



MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE CRONOGRAMA PARA ALOCAÇÃO DE  
RECURSOS CRÍTICOS NA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO:  
UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA  
COPPE-COSENZA(MAH)

Paulo Emilio Paes Rodrigues

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

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza  
Francisco Antonio de Moraes  
Accioli Doria

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2017

MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE CRONOGRAMA PARA ALOCAÇÃO DE  
RECURSOS CRÍTICOS NA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO:  
UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA  
COPPE-COSENZA(MAH)

Paulo Emilio Paes Rodrigues

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

Examinada por:

---

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

---

Prof. Francisco Antonio de Moraes Accioli Doria , D.Sc.

---

Prof. Mario César Rodriguez Vidal, D.Sc.

---

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco, D.Sc.

---

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

---

Prof. Alfredo Nazareno Pereira Boente, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
DEZEMBRO DE 2017

Rodrigues, Paulo Emilio Paes

Modelo de otimização de cronograma para alocação de recursos críticos na exploração e produção de petróleo: Uma aplicação do modelo de Análise Hierárquica Coppe-Cosenza(MAH)/Paulo Emilio Paes Rodrigues. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XII, 114 p.: il.; 29, 7cm.

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Francisco Antonio de Moraes Accioli

Doria

Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Produção, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 69 – 73.

1. Óleo & Gás. 2. Lógica Fuzzy. 3. Scheduling de projetos. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes *et al.*  
II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

*”A Natureza revela seus mais íntimos segredos e partilha a verdadeira sabedoria somente àquele que busca a verdade por amor à própria verdade, e que aspira ao conhecimento para conferir benefícios aos outros, não à sua insignificante personalidade.”*

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade da vida e ao meu mestre interior pela maneira que me ajuda a conduzi-la.

Aos meus pais por terem sido meus exemplos de educação, amizade e perseverança.

Ao Professor Carlos Alberto Nunes Cosenza, pela oportunidade e força para meu ingresso no doutorado, além dos preciosos conhecimentos adquiridos em Lógica Fuzzy que abriram um novo horizonte na minha forma de ver e analisar o mundo.

Ao Professor Francisco Antônio de Moraes Accioli Dória, pela sua amizade e paciência nos momentos mais críticos da minha dissertação, também pelos preciosos e sábios conhecimentos em diversas áreas, conhecimento este a ser levado para toda vida.

Ao professor Virgílio José Martins Ferreira Filho, que foi de grande ajuda com conhecimentos e orientações na área de Petróleo.

A professora Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, pelos seus ensinamentos em métodos computacionais, Heurísticas e Meta-Heurísticas.

Ao professor Armando Celestino Gonçalves Neto, pelas suas contribuições e sugestões para pesquisa e pelo artigo escrito em conjunto.

Ao pessoal do Labfuzzy Fábio, Sá Fortes, Morim, etc... que muito me apoiaram durante todo o percurso do Doutorado.

Ao Getúlio Marques e ao Alfredo Boente pelas suas sugestões no direcionamento e condução deste trabalho de pesquisa.

A Lindalva, Dona Perla, Renata e Pedro que sempre foram gentis e disponíveis. Além da paciência e apoio em todos os momentos em que precisei de ajuda e informações com a toda a infra estrutura do Doutorado.

Ao Pier Giovanni Taranti pela sua ajuda e disponibilidade no uso do software R e do pacote CoppeCosenzaR desenvolvido por ele.

Ao Cláudio Henrique dos Santos Grecco pela sua imensa colaboração na formatação e na conclusão deste trabalho.

Enfim, a todos os amigos e parceiros que me acompanharam ao longo desta jornada e nunca me deixaram desistir, mesmo em momentos difíceis que passei durante o curso. Os meus mais sinceros agradecimentos e admiração.

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

MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE CRONOGRAMA PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS CRÍTICOS NA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO: UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA COPPE-COSENZA(MAH)

Paulo Emilio Paes Rodrigues

Dezembro/2017

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Francisco Antonio de Moraes Accioli Doria

Programa: Engenharia de Produção

O mercado de energia, mais especificamente o de óleo e gás, é um dos grandes impulsionadores da economia tanto no cenário macroeconômico como no microeconômico. A produção de petróleo tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, e a perspectiva para os próximos anos com a descoberta da camada do pré-sal é de um aumento na produção, que alçará o país a figurar entre os principais produtores de petróleo mundiais. Para que este prognóstico se confirme, as empresas de petróleo vêm investindo intensivamente em pesquisas de novas tecnologias na exploração e produção de petróleo. Uma área que está dentro destas pesquisas é a de perfuração de poços de petróleo, onde a otimização da perfuração do poço pode trazer economia de vários milhões no custo total do projeto, pois os equipamentos envolvidos são de alto custo, além de serem um recurso escasso e concorrido. Hoje a alocação de equipamentos especiais considerados críticos no projeto de perfuração é determinada por modelos matemáticos determinísticos. Em um ambiente real, as variáveis não têm um comportamento determinístico: geralmente os cálculos são baseados em variáveis imprecisas, ambíguas e subjetivas, o que faz com que o planejamento da alocação de equipamentos não seja feita de maneira ótima. A presente pesquisa tem por objetivo apresentar um modelo de alocação de equipamentos baseado em lógica *fuzzy* com aplicação do modelo Coppe-Cosenza, no problema de Programação de Projetos com Restrição de Recursos, onde a utilização de aspectos imprecisos, subjetivos e ambíguos permite um planejamento de alocação de equipamentos mais adequado aos problemas enfrentados.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

TIMELINE OPTIMIZATION MODEL FOR ALLOCATION OF CRITICAL  
RESOURCES IN OIL EXPLORATION AND PRODUCTION: AN  
APPLICATION OF THE HIERARCHICAL ANALYSIS MODEL  
COPPE-COSENZA(MAH

Paulo Emilio Paes Rodrigues

December/2017

Advisors: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Francisco Antonio de Moraes Accioli Doria

Department: Production Engineering

The energy market, more specifically oil and gas, is one of the great drivers of the economy in both the macroeconomic and the microeconomic scenario. Oil production has risen sharply in recent years, and the outlook for the coming years with the discovery of the pre-salt layer is an increase in production, which will boost the country's position as one of the world's leading oil producers. For this prognosis to be confirmed, oil companies have been investing heavily in research on new technologies in the exploration and production of oil. One area within this research is drilling for oil wells where optimization of well drilling can bring savings of several million in the total cost of the project, since the equipment involved is of high cost, as well as being a scarce resource And concurred. Today the allocation of special equipment considered critical in the drilling project is determined by deterministic mathematical models. In a real environment, variables do not have a deterministic behavior: calculations are usually based on imprecise, ambiguous and subjective variables, which means that planning of equipment allocation is not optimal. The present research aims to submit an equipment allocation model based on fuzzy logic with the application of the Coppe-Cosenza model, to the problem of Programming of Projects with Restriction of Resources, where the use of imprecise, subjective and Ambiguity allows planning of equipment allocation more appropriate to the problems faced.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Apresentação do Tema .....	1
1.2 Relevância do Tema .....	1
1.3 Motivação .....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo Geral.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Organização da Tese .....	4
<b>2 Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
2.1 Aspectos das Operações em Poços de Petróleo <i>Offshore</i> .....	5
2.1.1 Introdução .....	5
2.1.2 Operações em Poços de Petróleo Marítimos .....	6
2.1.3 Seleção das Sondas para Operação .....	11
2.2 Aspectos de Gestão de projetos .....	13
2.2.1 Introdução .....	13
2.2.2 Programação de Projetos com Restrição de Recursos .....	17
2.2.3 Gerenciamento de Risco em Projetos .....	20
2.3 Modelo de Análise Hierárquica Coppe-Cosenza .....	22
2.3.1 Versão <i>Fuzzy</i> do Modelo Coppe/Cosenza .....	26
2.3.2 Modelo Básico de Operações de Matrizes .....	29
<b>3 Metodologia</b>	<b>31</b>
3.1 Tipo de Pesquisa .....	31
3.1.1 Universo e Amostra da Pesquisa.....	31
3.1.2 Quanto a Abordagem, aos Meios de Investigação e Coleta de Dados.....	36
3.1.3 Hipótese .....	37



3.2	O Problema de Programação de Sondas para Operações em Poços de Petróleo .....	37
3.2.1	Introdução .....	37
3.2.2	Descrição do Problema .....	37
3.2.3	Formulação Matemática do Problema de <i>Scheduling</i> .....	42
3.3	Descrição do Modelo Proposto .....	44
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussões</b>	<b>51</b>
4.1	Aplicação do Modelo .....	51
<b>5</b>	<b>Conclusões e Recomendações</b>	<b>67</b>
5.1	Conclusões .....	67
5.2	Recomendações .....	68
	<b>Referências</b>	<b>69</b>
<b>A</b>	<b>Primeiro Teste com CoppeCosenzaR Package</b>	<b>74</b>
<b>B</b>	<b>Segundo Teste com CoppeCosenzaR Package</b>	<b>79</b>
<b>C</b>	<b>Terceiro Teste com CoppeCosenzaR Package</b>	<b>88</b>
<b>D</b>	<b>Aspectos da utilização da lógica <i>fuzzy</i> em Projetos</b>	<b>94</b>
D.1	Método Analytic Hierarchy Process (AHP) .....	94
D.2	Raciocínio Aproximado em lógica <i>fuzzy</i> .....	98
D.3	Sistemas de Inferência <i>fuzzy</i> .....	99
D.3.1	Otimização <i>fuzzy</i> .....	101
D.4	Programação de projetos através da lógica <i>fuzzy</i> .....	104
<b>E</b>	<b>CoppeCosenzaR Package</b>	<b>109</b>

# Lista de Figuras

2.1	Planta Perfuração de Petróleo Marítima. Fonte Petróleo Infonet . . .	6
2.2	Plataforma Auto-Elevável. Fonte THOMAS (2001) .....	8
2.3	Plataforma Semi-Submersível. Fonte THOMAS (2001) .....	8
2.4	Plataforma Navio-Sonda. Fonte THOMAS (2001) .....	9
2.5	Barco PLSV. Fonte MATHEDI (2010).....	10
2.6	Áreas envolvidas em Gestão de Projetos. Fonte Patricia Collins . . .	14
2.7	Ciclo de vida do projeto subdividido em fases características. Fonte VARGAS (2003) .....	16
2.8	Ciclo do Gestão de Riscos. Fonte gp4us .....	21
3.1	Árvore de Natal Molhada (ANM). Fonte Petrobras .....	40
3.2	Manifold. Fonte Petrobras.....	41
3.3	Tubing Hanger. Fonte Petrobras.....	41
D.1	Estrutura Hierárquica Utilizada no Método AHP. Fonte PINHO (2006).....	95
D.2	Diagrama de modelos e Inferência. Fonte BOENTE (2003) .....	100
D.3	Modelo de inferência <i>fuzzy</i> . Fonte RIGONI (2009) .....	101
D.4	Função de pertinência para restrições do tipo "maior ou igual". Fonte ARRUDA (2006) .....	103
D.5	Função de pertinência para restrições do tipo "menor ou igual". Fonte ARRUDA (2006) .....	104
D.6	Função de pertinência para restrições do tipo "igual". Fonte ARRUDA (2006).....	104
D.7	comparação entre números <i>fuzzy</i> . Fonte ARRUDA (2009) .....	108

# Lista de Tabelas

2.1	Operação Produto $a_{ij} \quad b_{jk}$ . . . . .	24
2.2	Operação Produto $a_{ij} \quad b_{jk}$ . . . . .	25
2.3	Relação Binária <i>fuzzy</i> de A e B . . . . .	26
2.4	Matriz $\tilde{A}$ - Fatores demandados pelos projetos .....	27
2.5	Matriz $\tilde{B}$ - Oferta de fatores pelas Localizações Alternativas .....	28
2.6	Regra para Produto ( $\mathbf{N}$ ) de A e B .....	29
2.7	Variáveis Linguísticas para $b_{jk}$ e $a_{ij}$ .....	29
2.8	Matriz Diagonal Inferior $\tilde{c}_{ik}$ .....	30
2.9	Matriz de Diferença de Pertinências $\tilde{c}_{ik}$ .....	30
2.10	Matriz de Relacionamento de Pertinências $\tilde{c}_{ik}$ .....	30
3.1	Amostragem Utilizada na Pesquisa.....	32
3.2	Atividades e Recursos Usados.....	39
3.3	Atividades operações em poços(Fatores) .....	45
3.4	Recursos operações em poços(Projetos) .....	47
3.5	Projetos em poços(Opções) .....	47
3.6	Matriz de Demanda nas atividades de operação .....	48
3.7	Matriz de ofertas (opções) .....	48
3.8	Matriz de prioridades de projeto .....	49
3.9	Matriz de Agregação $\tilde{c}_{ik}$ .....	50
4.1	Tempos das Operações com Sonda .....	52
4.2	Tempo das Operações com Barcos .....	53
4.3	Projetos em poços(Opções) .....	54
4.4	Tabela de Ofertas Teste 1 .....	54
4.5	Tabela de Demandas Teste 1 .....	55
4.6	Tabela de Valores dos Fatores.....	55
4.7	Tabela de Fatores Específicos Teste 1 .....	55
4.8	Tabela Sondas e Barcos PLSV Não Alocados .....	56
4.9	Projetos em Poços(Opções) .....	57
4.10	Tabela de Ofertas Teste 2 .....	58

4.11	Tabela de Demandas Teste 2 .....	59
4.12	Tabela de Fatores Específicos Teste 2 .....	59
4.13	Tabela Sondas e Barcos PLSV Não Alocados .....	59
4.14	Tabela de ofertas Sondas Teste 3 .....	61
4.15	Tabela de ofertas Barcos PLSV Teste 3.....	62
4.16	Tabela de Demandas Sondas Teste 3 .....	62
4.17	Tabela de Demandas Barcos PLSV Teste 3.....	62
4.18	Tabela de Fatores Específicos Sondas Teste 3 .....	63
4.19	Tabela de Fatores Específicos Barcos PLSV Teste 3.....	63
4.20	Tabela Sondas Não Alocados .....	63
4.21	Tabela Barcos PLSV Não Alocados .....	63
4.22	Tabela Valores Agregados Sondas 2000m .....	64
4.23	Tabela Valores Agregados Sondas 2000m .....	64
4.24	Tabela Valores Agregados Sondas 2000m .....	65
4.25	Tabela Valores Agregados Barcos PLSV 2000m.....	65
D.1	Escala Fundamental. Fonte SAATY (1991) apud PINHO (2006) . . .	96
E.1	data frame de Opções de Portifólio .....	111
E.2	Portifólio de Projetos - data frame de avaliação .....	112
E.3	Portifólio de Projetos - data frame de fatores específicos .....	112
E.4	Tabela de avaliação .....	113
E.5	Tabela de avaliação - Um projeto x Portifólio de Opções .....	114

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Apresentação do Tema

Segundo ACCIOLY e ET AL. (2002) na atividade de desenvolvimento e manutenção da produção existem dois tipos de recursos que são fundamentais a sua realização: unidades de sondagem, que neste trabalho passaremos a denominar como Sondas, e barcos de lançamento de linhas que passaremos a denominar Barcos PLSV. Uma das características destes recursos é que eles só podem realizar uma atividade de cada vez. Outro aspecto importante é que cada recurso tem características técnicas que o diferenciam dos demais. A diferença entre os recursos torna importante à correta alocação destes às atividades. Estes casos denominados Programação de Projetos com Restrição de Recursos (Resource Constrained Project Scheduling Problem - RCPSP), é um dos problemas mais importantes na área de programação de projetos. A limitação real de recursos é determinante no momento do planejamento. Além da complexidade computacional do problema em situações reais, existe a dificuldade de se estimar tempo e recursos necessários para a realização das atividades de um projeto. Sendo assim, é necessário o tratamento das incertezas no planejamento, como durações das atividades e os recursos adequados para cada tipo de operação de acordo com as características técnicas deste recurso com as operações necessárias em cada projeto.

### 1.2 Relevância do Tema

Dado o grande impacto do valor da tarifa diária de sondas *offshore* nos investimentos em exploração de petróleo, é de grande relevância alocar da melhor maneira este recurso. A ordem em que estas sondas atendem aos poços é crucial para o projeto.

O planejamento adequado de qual sonda e em qual ordem deve perfurar os poços será útil para reduzir o tempo em que a sonda fica alugada para a empresa operadora

do campo, bem como a alocação do tipo de sonda adequado a ser utilizada . Este planejamento levará em consideração também o tempo que demorará para que o campo seja colocado em produção, já que pode não ser interessante reduzir a quantia gasta com aluguel, mas tendo que postergar demasiadamente o início da produção. Outro fator importante é o quanto a empresa deixará de produzir ao optar por determinada configuração.

”No universo das aplicações práticas dessa classe de problemas, as empresas encontram, via de regra, um ambiente de planejamento que contempla restrições com relação à disponibilidade de recursos e uma necessidade de utilizar valores determinísticos na previsão das durações das atividades a serem programadas, a despeito da alta incerteza que as caracteriza. Este cenário acarreta em erros na previsão da duração dos projetos, impactando negativamente as previsões orçamentárias.”VASCONCELLOS (2007).

### **1.3 Motivação**

A principal motivação atual para um modelo de otimização de alocação de equipamentos críticos de perfuração de poços de petróleo através de lógica *fuzzy* vem de uma necessidade da área de exploração e produção das empresas de petróleo de construir um modelo para otimização do dimensionamento de equipamentos críticos de poço, que leve em consideração os aspectos a imprecisão e a dinâmica das demandas, do atendimento do transporte, da operacionalidade dos equipamentos e da utilização de variáveis linguísticas que são uma constante no cenário de incerteza dos tempo associados aos projetos. As ferramentas consideradas críticas na perfuração de poços de petróleo abrangem todas as atividades de construção e avaliação de poços, de projetos exploratórios e de desenvolvimento e manutenção de produção no mar, em toda a costa do Brasil. Hoje a otimização de alocação é feita através de modelos matemáticos clássicos, onde variáveis imprecisas, ambíguas e subjetivas são tratadas de maneira determinística. A limitação real destes modelos por não considerarem as incertezas em algumas variáveis é determinante no momento do planejamento. Além da complexidade computacional do problema em situações reais, existe a dificuldade de se estimar tempo e recursos necessários para a realização das atividades de um projeto. Sendo assim, é necessário o tratamento das incertezas no planejamento do cronograma do projeto através da lógica *fuzzy*, pois as ferramentas disponibilizadas por esta abordagem tendem a otimizar os projetos para que as atividades e os recursos sejam alocados e adequados para cada tipo de operação, o que por si só diminui os custos do projeto.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

Como abordado por VASCONCELLOS e FERREIRA FILHO (2006), para a produção de petróleo é necessário perfurar poços e, após a etapa de perfuração, estes devem ser preparados para operar de forma segura e econômica, durante toda sua vida produtiva. Ao conjunto de operações destinadas a equipar o poço para produzir óleo ou gás, denomina-se completação. Eventualmente estes poços poderão necessitar de intervenções de manutenção futuras, atividades estas denominadas de “*workover*”. Para a execução dessas atividades o principal recurso a ser utilizado é a sonda (de perfuração, ou de completação). Quando estas operações são realizadas em poços no mar são também utilizados barcos PLSV, *manifolds*, árvores de natal molhadas (ANM) barcos de apoio e outros tipos de recursos considerados críticos. Esses recursos possuem restrições tecnológicas e operacionais onde eles operam. Sua produtividade é normalmente definida em função do tempo de intervenção e possuem diferentes valores para cada tipo de atividade em cada poço. Dadas as restrições tecnológicas e, portanto, as restrições de precedência das atividades, o número de recursos disponíveis e o tempo de intervenção de cada recurso em cada poço, o objetivo é determinar quais recursos são alocados para cada atividade de tal forma que os projetos sejam otimizados e também alocar recursos compatíveis com cada tipo de projeto de maneira que a subutilização destes recursos seja mínimo. O problema abordado neste trabalho é adaptar uma solução metodológica da lógica *fuzzy* baseada no modelo de localização industrial COPPE-COSENZA para um modelo multicritério de hierarquização que atenda a programação (*Scheduling*) de recursos críticos de um projeto de maneira otimizada, respeitando as relações de precedência entre as atividades e as restrições de recursos disponíveis. Este problema é conhecido na literatura acadêmica como Resource Constrained Project Schedule Problem (RCPSP).

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivo específico apresentar a utilização de uma metodologia baseada na adaptação do modelo COPPE-COSENZA para um modelo multicritério hierárquico onde são consideradas as variáveis aleatórias características das atividades desenvolvidas em um projeto para resolução do Problema de *Scheduling* de Projetos com Restrição de Recursos (Resource Constrained Project Scheduling Problem – RCSPP) como apoio ao gerenciamento das incertezas do Projeto para tomada de decisão.

## 1.5 Organização da Tese

O texto que se segue foi organizado em 5 capítulos. No primeiro capítulo, foram feitas a apresentação do tema, a relevância do trabalho a motivação para execução do mesmo. Também foram explicitados os objetivos da pesquisa.

No capítulo 2 Foi feita a revisão bibliográfica com as definições de Aspectos das Operações em Poços de Petróleo *Offshore*, Aspectos de Gestão de projetos, Programação de Projetos com Restrição de Recursos, Gerenciamento de Risco em Projetos, o modelo de Análise Hierárquica Coppe-Cosenza, a versão *Fuzzy* do modelo Coppe-Cosenza e um modelo básico de Operações de Matrizes.

No capítulo 3 foi apresentada toda a metodologia utilizada na pesquisa e a descrição do modelo proposto no trabalho.

No capítulo 4 foram apresentados os resultados e discussões obtidos na aplicação e testes do modelo proposto na pesquisa.

No capítulo 5 foram apresentadas as conclusões dos trabalhos e as recomendações para trabalhos futuros.

No apêndice A foram apresentados os resultados do primeiro teste do modelo proposto executado no pacote Coppe-Cosenza desenvolvido na linguagem de programação R.

No apêndice B foram apresentados os resultados do segundo teste do modelo proposto executado no pacote Coppe-Cosenza desenvolvido na linguagem de programação R.

No apêndice C foram apresentados os resultados do terceiro teste do modelo proposto executado no pacote Coppe-Cosenza desenvolvido na linguagem de programação R.

No Anexo D foi apresentado aspectos da utilização da Lógica *Fuzzy* em Projetos. No Anexo E foi apresentado um tutorial de utilização do pacote CoppeCosenzaR, um pacote desenvolvido na linguagem de programação R para aplicação do modelo Coppe-Cosenza.



# Capítulo 2

## Revisão Bibliográfica

### 2.1 Aspectos das Operações em Poços de Petróleo *Offshore*

#### 2.1.1 Introdução

Os estudos que tratam dos processos de inovações tecnológicas voltados à exploração e à produção de petróleo em águas profundas evidenciam as complexidades envolvidas na geração e na aplicação de tecnologias naquelas atividades. Os esforços em pesquisa e desenvolvimento (P & D) destinados à obtenção de novos equipamentos e sistemas para a produção de petróleo em novas fronteiras no mar demandam o concurso de amplo e variado conjunto de disciplinas e ciências, e a participação de extenso número de instituições de pesquisa. Igualmente, as experimentações em campo de novos equipamentos para a exploração e a produção de petróleo *offshore* ocorrem em condições complexas de instalação e observação no fundo do mar, e a longas distâncias da costa marítima, que intensificam as dificuldades no desenvolvimento tecnológico de equipamentos e sistemas para as atividades petrolíferas no mar MORAIS (2013).

Além das dificuldades encontradas em campos terrestres, os campos marítimos possuem desafios adicionais como ambientes mais hostis dificuldades logísticas devido a distância da costa e a necessidade de equipamentos avançados para realizar as atividades em lâminas d'água que podem superar 7.000m. (Figura 2.1)

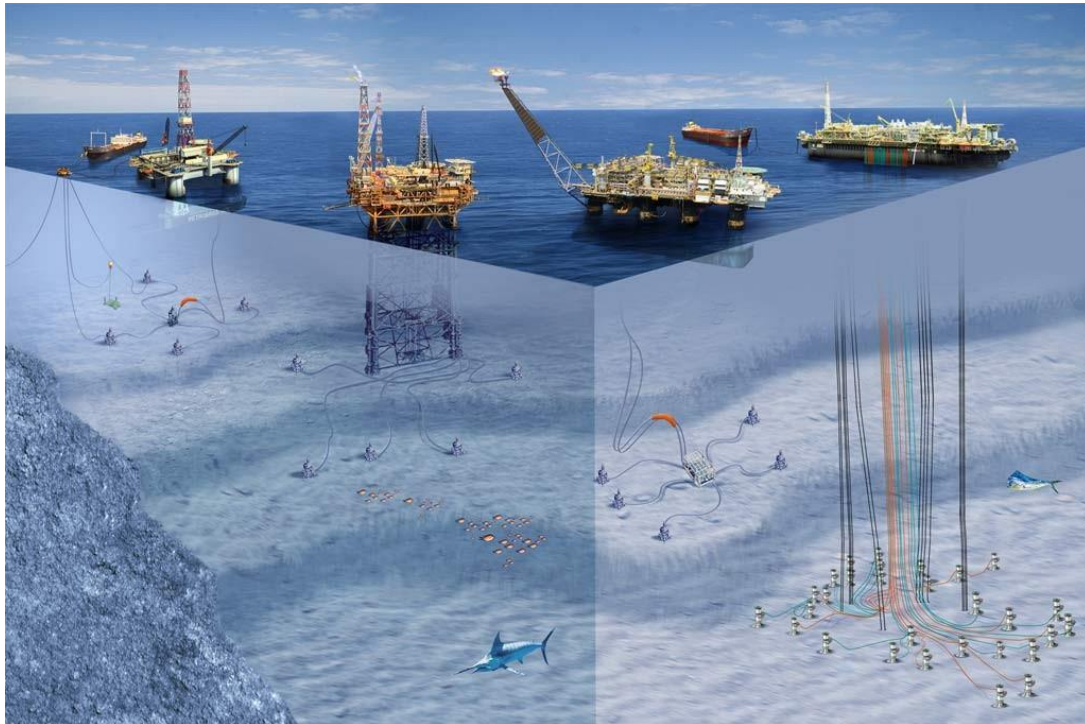


Figura 2.1: Planta Perfuração de Petróleo Marítima. Fonte Petróleo Infonet

### 2.1.2 Operações em Poços de Petróleo Marítimos

Segundo THOMAS (2001), a indústria do petróleo utiliza atualmente duas famílias de plataformas, segundo a função a que se destinam: plataformas de perfuração ou sondas de perfuração marítima e as plataformas de produção.

As plataformas ou unidades de perfuração submarina são de três tipos: autoelevatória, semisubmersível e navios sonda. Estes três tipos de unidades de perfuração têm, em comum, além das utilidades (alojamentos, refeitório, geradores, laboratório, heliporto e outros) a sonda de perfuração que fica no centro da plataforma.

Nas perfurações submarinas a sonda é instalada sobre plataformas fixas ou móveis e navios de perfuração e as operações são semelhantes às de terra, com riscos e complicadores inerentes às atividades em alto mar.

A sonda, equipamento utilizado para perfurar poços, é composta por uma torre, da altura de um edifício de 15 andares que sustenta os tubos de perfuração. Estes tubos que conduzem a broca passam por uma mesa giratória, na base da torre e, por rotação, vão atravessando as camadas do subsolo. Por dentro dos tubos corre um produto, denominado lama de perfuração, que serve como lubrificante da broca, age como reboco das paredes do poço, mantém a pressão da perfuração evitando erupções e funciona como veículo para trazer à superfície os fragmentos da perfuração que são examinados em laboratório na própria sonda, fornecendo informações importantes sobre as camadas atravessadas. A lama, que é um composto de bentonita, argila, óleo e água, depois de separada dos fragmentos da rocha é reutilizada na perfuração.

A perfuração é um trabalho duro e ininterrupto. A cada 27 m os sondadores encaixam um novo tubo. Como a vida útil da broca, que está na extremidade do primeiro tubo, é relativamente curta, em comparação com a duração da perfuração, ela precisa ser trocada várias vezes durante a sondagem. Para realizar esta operação é preciso retirar todos os tubos em seções de 27 m e, depois da troca da broca, recolocar tudo de novo no poço, sempre mantendo a pressão.

Se o poço estiver a 4 mil metros, o que é comum, serão necessárias mais de 200 operações com tubos, para retirar e colocar a nova broca. Em alguns intervalos da perfuração retiram-se cortes (testemunhos) da seção atravessada pela broca para serem analisados, fornecendo dados importantes para a continuação ou não da perfuração.

As Plataformas ou Sondas de Perfuração Submarina podem ser dos seguintes tipos:

### **Plataformas Auto-Eleváveis**

São constituídas basicamente de uma espécie de balsa ou pranchão, onde estão localizadas todas as facilidades de operação e de apoio, como sonda de perfuração, alojamentos, refeitórios, laboratórios, salas de controle, heliporto, etc. Possuem três ou quatro pernas, que, acionadas mecânica ou hidráulicamente, movimentam-se para baixo até atingirem o fundo do mar. Em seguida, inicia-se a elevação da plataforma acima do nível da água, a uma altura segura e fora da ação das ondas. Essas plataformas são móveis, sendo transportadas por rebocadores ou por propulsão própria. Destinam-se à perfuração de poços exploratórios na plataforma continental, em águas consideradas rasas para a indústria *offshore*, em profundidades que variam de 5 a 200 m. Termina a perfuração de um determinado poço, o convés da plataforma desce até o nível do mar e a unidade pode ser rebocada para outra locação. (Figura 2.2)

### **Plataformas Semi-Submersíveis**

As plataformas semi-submersíveis são compostas de uma estrutura de um ou mais conveses, apoiada em flutuadores submersos. Uma unidade flutuante sofre movimentações devido à ação das ondas, correntes e ventos, com possibilidade de danificar os equipamentos a serem descidos no poço. Por isso, torna-se necessário que ela fique posicionada com estabilidade na superfície do mar. Dois tipos de sistema são responsáveis pelo posicionamento e estabilidade da unidade flutuante: o sistema de ancoragem e o sistema de posicionamento dinâmico. O sistema de ancoragem é constituído por 8 a 12 âncoras com cabos ou correntes que atuam como molas, produzindo esforços capazes de restaurar a posição da plataforma, quando ela é



Figura 2.2: Plataforma Auto-Elevável. Fonte THOMAS (2001)

modificada pela ação das ondas, ventos e correntes marítimas.

No sistema de posicionamento dinâmico, não existe ligação física da plataforma com o fundo do mar (ancoragem), exceto a dos equipamentos de perfuração que têm que atingir o leito marinho. Sensores acústicos determinam a deriva da unidade flutuante, e propulsores no casco, acionados por computador, restauram a posição da plataforma.

As plataformas semi-submersíveis podem ou não ter propulsão própria. De qualquer forma, apresentam grande mobilidade e são utilizadas para a perfuração de poços e para produção em águas profundas e ultra profundas (acima de 200 m).(Figura 2.3)



Figura 2.3: Plataforma Semi-Submersível. Fonte THOMAS (2001)

### **Navios-Sonda**

Navio-sonda é um navio projetado para a perfuração de poços submarinos com autonomia de locomoção e grande velocidade quando comparado com outras estruturas. Não possui restrição de lâmina d'água, sua torre de perfuração localiza-se no centro do navio, onde uma abertura no casco permite a passagem da coluna de perfuração.

O sistema de posicionamento do navio-sonda, composto por sensores acústicos, propulsores e computadores, anula os efeitos do vento, ondas e correntes que tendem a deslocar o navio de sua posição.

Os navios-sonda, assim como as plataformas semi-submersíveis, são destinados à perfuração de poços em águas profundas e ultraprofundas.(Figura 2.4)



Figura 2.4: Plataforma Navio-Sonda. Fonte THOMAS (2001)

### **Pipe Laying Support Vessel – PLSV**

De acordo com MATHEDI (2010) barcos PLSV são embarcações destinadas ao lançamento e posicionamento no fundo do mar de linhas flexíveis e rígidas (Risers) de produção de petróleo, além de cabos de telecomunicações. Este tipo de embarcação, PLSV surgiu devido a expansão mundial do mercado de exploração de petróleo.

No Brasil, as descobertas de novos poços de petróleo e gás nas Bacias de Campos, Santos e Espírito Santo estão gerando uma demanda de novas plataformas e, com isso, aumentando a demanda por embarcações que realizem operações de lançamento de linhas dessas unidades. Os barcos PLSV não apresentam rota definida, pois não lançam constantemente linhas para as unidades de exploração, logo poderão atuar em diferentes blocos e bacias de petróleo ao redor do mundo. Em virtude disso, um projeto bem detalhado e otimizado para operar em qualquer mar é essencial.

As linhas nada mais são que os dutos submarinos, (flexíveis ou rígidos), que ligam os poços de petróleo até a plataforma ou bases em terra. Estas linhas podem

ser divididas em: linhas flexíveis ou rígidas.

- Linhas Flexíveis: são linhas de fácil armazenamento, se comparadas com as rígidas, devido sua maior flexibilidade e raio de armazenamento menor. De forma a não “quebrar” a linha. Estas são armazenadas em cestas ou bobinas.
- Linhas Rígidas: são linhas com maior dificuldade de armazenamento devido sua rigidez, e um alto raio de armazenamento para que não deforme a linha. Estas são armazenadas em carretel (enormes bobinas), e em alguns casos ela é transportada rebocada de forma que vá flutuando até o local onde vai ser instalada.(Figura 2.5)



Figura 2.5: Barco PLSV. Fonte MATHEDI (2010)

Para o escopo da pesquisa foram considerados somente os navio-sondas e embarcações do tipo PLSV.

### 2.1.3 Seleção das Sondas para Operação

Na escolha das sondas, o engenheiro de perfuração deve se ater aos seguintes requisitos:

- Profundidade da lâmina d'água e profundidade do furo
- Pressão interna, tamanho de riser, especificação de BOP (*blow out preventer*)
- Espaço na plataforma e capacidade de carregamento variável
- Capacidade de suspensão de tubos
- Capacidade de operação remota de veículos
- Segurança e desempenho ambiental
- Custos de movimentação e mobilização
- *Day rate*
- Duração do contrato
- Disponibilidade

Sob a ótica destes critérios, os responsáveis escolhem um grupo de companhias com os *rigs* (equipamentos) que lhe interessam, prosseguindo para a fase de negociações dos contratos de aluguel da sonda. Quando os *suppliers* potenciais submetem as suas propostas formais de contrato, é selecionada a contraparte que acreditam poder operar o poço da forma mais eficiente e segura.

Caso a sonda escolhida seja uma semi-submersível, um barco de transporte a carrega até a localização desejada para a perfuração. Sinais de satélite auxiliam no posicionamento inicial da semi e no monitoramento contínuo da atividade de perfuração. Semi subs precisam ser ancoradas na localidade escolhida, e algumas delas carregam o sistema de ancoragem acoplado. A medida que estas sondas cresceram em tamanho, de forma a lidar com águas mais profundas, o aparato para lidar com a sua ancoragem também adquiriu grandes dimensões. Tendo em vista antecipar este procedimento, as empresas de sonda iniciaram a prática de contratar barcos responsáveis por instalar o aparato de ancoragem antes de a sonda chegar ao local de perfuração, de forma que atualmente o ancoramento hoje leva algumas horas, e não dias, sendo essencial em um cenário de altos *dayrates*, gerando economias significativas de até 80% destes custos.

Se o contrato é baseado em um navio-sonda, este se move até o local desejado com sua própria capacidade de locomoção e através do uso de posicionamento dinâmico.

A tripulação que opera a sonda consiste de empregados da própria *drilling company* (empresas fornecedoras). Embarcados estão também funcionários de outras companhias de serviço que realizam testes e outras funções especiais. A representação da companhia de E&P, ironicamente chamada de operador, geralmente consiste em dois especialistas de perfuração. Estes têm a palavra final sobre como o poço será perfurado, dentro dos limites de segurança praticados pela companhia de *drilling* (Perfuração).

Durante a perfuração, com a ferramenta MWD (*measure while drilling*), os engenheiros têm maior acesso à litologia da região e maior visibilidade para determinar a presença de hidrocarbonetos à medida que a broca segue seu trajeto. O controle de pressão é uma das principais preocupações dos técnicos em perfuração. Conforme a broca penetra o poço, encontra crescente pressão na formação, devido ao peso dos variados *layers* (camadas) de rocha e a coluna de água acima do furo. Em muitas áreas a pressão varia de forma previsível, porém em águas profundas, pressões geológicas anormais contribuem para dificultar o processo de perfuração. À medida que o poço é explorado, a lama de perfuração circula para baixo do tubo e para cima do anel entre o tubo e a parede do poço, sendo útil por resfriar a broca e retirar os resíduos existentes. O peso desta lama pode variar, de forma que se este for leve demais para conter as pressões encontradas, o óleo e gás podem escoar sem controle através da cabeça do poço, obrigando os *drillers* a fechar o BOP. Caso seja muito leve, pode vir a comprometer a força da rocha, fraturar as paredes do poço e penetrar na formação, comprometendo as reservas. Conforme se perfura maiores profundidades, uma lama mais pesada é necessária para equilibrar as maiores pressões encontradas. Porém, a lama é homogênea e quanto mais peso for necessário para acomodar condições adversas no fundo do poço, mais pressão incide sobre em profundidades intermediárias. De fato, o peso desta lama pode eventualmente aumentar a ponto de fraturar a rocha em alturas mais rasas. Em busca de prevenir isto, em profundidades específicas são utilizadas proteções de aço e cimento, protegendo as rochas mais frágeis de fraturas contra a pressão gerada pela lama mais pesada. Estes tubos de proteção são colocados diversas vezes durante a perfuração do poço em busca da profundidade final. A geometria do poço exige que cada novo elo de proteção seja de menor diâmetro do anterior, uma vez que este deve passar por dentro dos demais para ser instalado.

Como outra forma de precaução contra eventos não usuais ou catastróficos que comprometam a pressão na cabeça do poço, é utilizado um sistema *blowout preventer* (BOP). Este sistema é capaz de lacrar o *flow* (fluxo) de fluidos do poço através de um ou mais compartimentos ativados da central de controle da sonda. Em um poço sendo perfurado por uma semi-sub ou navio-sonda, o BOP é instalado no fundo do mar, enquanto que em caso de uma plataforma fixa (*tension leg, spar*) o BOP



encontra-se na superfície, imediatamente abaixo da sonda.

Para que um poço possa produzir efetivamente, é necessário maior proteção as paredes perfuradas, com instalação de tubos através dos quais a produção escoar; uma árvore deve ser instalada na parte superior do poço e sistemas de segurança devem também ser acoplados. O processo prático de realização destes passos difere da exploração *onshore* ou águas rasas, basicamente, pela complexidade e custo. Os seguintes pontos fazem parte do processo de completação:

- Criar um reservatório modelo
- Especificar características de pressão e temperatura
- Estimar capacidade de escoamento e recuperação
- Identificar características especiais
- Desenvolver um plano de completação
- Estimar custos
- Selecionar as companhias provedoras de serviços

Mecanicamente, o poço deve se encontrar sem a lama de perfuração para que possa ser completado, sendo isto feito por meio de um fluido de água e sódio, cálcio ou zinco. Este fluido, por sua vez, ainda exerce o mesmo controle de pressão que a lama durante a perfuração.

## **2.2 Aspectos de Gestão de projetos**

### **2.2.1 Introdução**

Projeto pode ser definido VARGAS (2005) como um empreendimento ou evento não repetitivo caracterizado por uma sequencia clara e lógica de eventos, com início, meio e fim, que se destina a atingir um objetivo claro e definido, sendo conduzido por pessoas dentro de parâmetros predefinidos de tempo, custo, recursos envolvidos e qualidade. Ou ainda uma definição corporativa, “um conjunto de ações, executadas de forma coordenada por uma organização transitória, ao qual são alocados recursos necessários para, em certo prazo alcançar ou superar expectativas e necessidades dos clientes.” BOENTE (2003)

Desde o final da década de cinquenta a Ciência da “Gerência de Projetos” tem evoluído sempre. Ela foi formalizada nas universidades americanas no início da década de sessenta e teve seu emprego efetivo nas organizações de construção civil, aeroespacial e de defesa, particularmente nos EUA, Canadá, Europa e Japão. PRADO (2003)

A necessidade de boas práticas de gerenciamento de projetos veio dos resultados obtidos no princípio e que, nem sempre, eram satisfatórios. Alguns casos mostravam que o gerenciamento dos projetos em uma organização era mais ruidoso e conflituoso que o gerenciamento das operações rotineiras. PRADO (2003)

Os projetos podem ser aplicados em praticamente todas as áreas do conhecimento humano, incluindo os trabalhos administrativos, estratégicos e operacionais, bem como a vida pessoal de cada um, por ter essa variedade de aplicações, ele pode ser sub dividido em diversas partes que exigem atenção especial dos envolvidos como podemos ver na figura 2.6 abaixo.



Figura 2.6: Áreas envolvidas em Gestão de Projetos. Fonte Patricia Collins

Para VARGAS (2003) as principais características dos projetos são a temporariedade, a individualidade do produto ou serviço a ser desenvolvido pelo projeto, a complexidade e a incerteza.

1. Temporariedade - significa que todo projeto apresenta um início e um fim definidos, ou seja, é um evento com duração finita, determinada em seu objetivo. WIDEMAN (1992) afirma que o ciclo de vida do projeto caracteriza a sua temporariedade, partindo de um processo de trabalho estratégico inicial até atingir um topo de trabalho executivo de produção que antecede o seu término.
2. Individualidade - do produto ou serviço produzido pelo projeto, conforme o guia de conhecimento de gerenciamento de projetos do PMI (*Project Management Institute*), significa realizar algo que não tinha sido realizado antes. Como o produto de cada projeto é único, suas características precisam ser elaboradas de maneira progressiva de modo a garantirem as especificações do produto ou serviço a ser desenvolvido.

A partir dessas duas principais características, podem-se descrever as demais.

- Empreendimento não repetitivo - É um evento que não faz parte da rotina da empresa. É algo novo para as pessoas que o irão realizar.
- Sequencia clara e lógica de eventos - O projeto é caracterizado por atividades encadeadas logicamente de modo a permitir que, durante a execução, o acompanhamento e o controle sejam precisos.
- Início, meio e fim - Todo projeto respeita um determinado ciclo de vida, isto é, tem uma característica temporal. Muitas vezes, o término de um projeto coincide com o início de outro. Porém, um projeto que não tem término não é um projeto, é rotina.
- Objetivo claro e definido - Todo projeto tem metas e resultados bem estabelecidos a serem atingidos em sua finalização.
- Conduzido por pessoas - O cerne fundamental de qualquer projeto é o homem. Sem ele, o projeto não existe, mesmo que se disponha de equipamentos modernos de controle e gestão.
- Projetos utilizam recursos - Todo projeto utiliza recursos especificamente alocados a determinados trabalhos.
- Parâmetros pré-definidos - Todo projeto necessita ter estabelecidos valores para prazos, custos, pessoal, material e equipamentos envolvidos, bem como

a qualidade desejada para o projeto. É impossível estabelecer, previamente, com total precisão, esses parâmetros. Todos eles serão claramente identificados e quantificados no decorrer do plano do projeto. Entretanto, os parâmetros iniciais vão atuar como referências para o projeto e sua avaliação.

Todo projeto pode ser subdividido em determinadas fases de desenvolvimento. O entendimento dessas fases permite ao time do projeto um melhor controle do total de recursos gastos para atingir as metas estabelecidas. Esse conjunto de fases é conhecido como ciclo de vida. O ciclo de vida possibilita que seja avaliada uma série de similaridades que podem ser encontradas em todos os projetos, independentemente de seu contexto, aplicabilidade ou área de atuação.

As fases do ciclo de vida do projeto dependem, intimamente, da natureza do projeto. Um projeto é desenvolvido a partir de uma idéia, progredindo para um plano, que, por sua vez é executado e concluído. Cada fase do projeto é caracterizada pela entrega, ou finalização, de um determinado trabalho. Toda entrega deve ser tangível e de fácil identificação, como, por exemplo, um relatório confeccionado, um cronograma estabelecido ou um conjunto de atividades realizado.

Genericamente, o ciclo de vida de um projeto pode ser dividido em fases características (Figura 2.7) e definem qual é o trabalho técnico que deve ser realizado e quem deve estar envolvido.

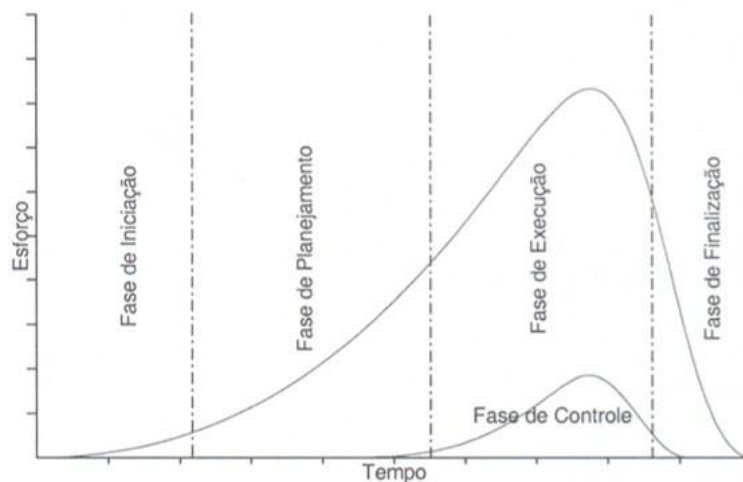


Figura 2.7: Ciclo de vida do projeto subdividido em fases características. Fonte VARGAS (2003)

- Fase de Iniciação - É a fase inicial do projeto, quando uma determinada necessidade é identificada e transformada em um problema estruturado a ser resolvido por ele. Nessa fase, a missão e o objetivo do projeto são definidos, bem como as melhores estratégias são identificadas e selecionadas.
- Fase de Planejamento - É a fase responsável por detalhar tudo aquilo que será realizado pelo projeto, incluindo cronogramas, interdependências entre atividades, alocação dos recursos envolvidos, análise de custos, etc., para que, no final dessa fase, ele esteja suficientemente detalhado para ser executado sem dificuldades e imprevistos. Nessa fase, os planos auxiliares de comunicação, qualidade, riscos, suprimentos e recursos humanos também são desenvolvidos.
- Fase de Execução - É a fase que materializa tudo aquilo que foi planejado anteriormente. Qualquer erro cometido nas fases anteriores fica evidente durante essa fase. Grande parte do orçamento e do esforço do projeto é consumida nessa fase.
- Fase de Controle - É a fase que acontece paralelamente ao planejamento operacional e à execução do projeto. Tem como objetivo acompanhar e controlar aquilo que está sendo realizado pelo projeto, 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, tomando ações corretivas em caso de desvio.
- Fase de Finalização - É a fase quando a execução dos trabalhos é avaliada através de uma auditoria interna ou externa (terceiros), os livros e documentos do projeto são encerrados e todas as falhas ocorridas durante o projeto são discutidas e analisadas para que erros similares não ocorram em novos projetos (aprendizado).

### **2.2.2 Programação de Projetos com Restrição de Recursos**

Segundo KE e LIU (2007) o problema de programação de projetos consiste em determinar o *schedule* de alocação de recursos, respeitando as restrições tecnológicas e atingindo alguma medida de desempenho. Nas situações reais, geralmente haverá incertezas na programação dos projetos, devido à falta de precisão das durações das atividades do projeto. De acordo com ARRUDA (2009) o tema de programação de projetos é um dos mais estudados nos últimos anos devido à sua demanda prática. Podemos verificar que os modelos propostos ultimamente têm se tornado cada vez mais realistas. Existem diversas variações de abordagens propostas pelos diferentes autores que têm se dedicado ao estudo do tema.

Para que seja feita uma comparação entre as alternativas de decisão de um projeto, podem ser utilizados vários critérios. Para VASCONCELLOS (2007), os critérios mais comuns e que possuem modelos estudados são:

1. duração total;
2. custo total;
3. relação custo x benefício;
4. medida do risco do projeto;
5. valor presente líquido.

Cabe ressaltar que, qualquer que seja o critério selecionado, existem restrições sobre o uso dos recursos (financeiros ou de pessoal) disponíveis. Além disso, para que o planejamento do projeto possa ser feito, é essencial que as durações das atividades sejam determinadas ou, no mínimo, bem estimadas.

O objetivo da programação por restrições é basicamente reduzir o esforço computacional necessário para se resolver problemas combinatórios, usando intensamente restrições. A Programação por Restrições é uma técnica de programação declarativa pertencente à área de Inteligência Artificial, sendo intrinsecamente não determinística. Desta forma, ao longo da busca pela solução existem pontos de ramificação onde diversas possibilidades podem ser exploradas. Eles são denominados pontos de escolha ACCIOLY e ET AL. (2002).

A programação por restrições é definida por LUSTIG e PUGET (2001) apud (SILVA (2012)) como uma técnica de programação de computadores dedicada à resolução de problemas combinatórios. Por meio dela, tais problemas são modelados com restrições projetadas para captar a estrutura do problema mais facilmente sobre as variáveis de decisão, sendo esta a razão para o nome e a vantagem subjacente à técnica. Dessa forma, o "termo programação" não assume o significado de um problema matemático, mas sim de uma técnica de codificação para gerar sistemas computacionais especializados na resolução de um determinado tipo de problema combinatório.

A Programação por Restrições representa uma alternativa à abordagem de problemas combinatórios, inserindo-se no nicho não atendido completamente pela Programação Linear Inteira devido ao tamanho das formulações resultantes de tais abordagens. Em programação por restrições, a modelagem é baseada em variáveis sobre domínios discretos e finitos com restrições arbitrárias, porém especializadas.

No caso de problemas de escalonamento, não apenas as restrições como as próprias variáveis de decisão empregadas são específicas ao domínio de aplicação,

constituindo o que se conhece por Escalonamento Baseado em Restrições ou *scheduling*. Em razão dessas peculiaridades de modelagem e da forma com que tais elementos são utilizados no processo de resolução dos problemas, atribui-se à técnica uma natureza declarativa.

Para SILVA (2012) problemas de escalonamento tratam da alocação de atividades a recursos e de sua programação no tempo, sendo sujeitos a restrições técnicas que devem ser satisfeitas para que essas decisões sejam válidas em cada situação possível. Há muitos casos em que é comum que esse tipo de problema envolva um detalhamento maior do que aquele encontrado em problemas de planejamento. Nestes casos, isso acaba levando a modelos matemáticos de representação que descrevem problemas computacionalmente difíceis. Por esse motivo, problemas de escalonamento nem sempre são abordados com a ambição de que uma solução ótima seja encontrada. A obtenção de uma solução factível já representa um grande avanço de acordo com o caso, como no problema de programação de transportes por dutos tratado por MOURA e ET AL. (2008).

A formulação do RCPSC clássico ou na forma padrão, pode ser observado abaixo, sob as seguintes suposições: DEMEULEMEESTER e HERROELEN (1996) apud ICHIHARA (2002)

- Um projeto consiste de diferentes atividades, as quais são representadas no formato atividade-no-nó (*activity-on-the-node format* - um grafo direcionado e acíclico, no qual os nós representam as atividades e os arcos representam as restrições de precedência). Duas atividades fantasmas são introduzidas: a atividade 1 representa a atividade de início do projeto e é a predecessora direta ou indireta de toda atividade do projeto, enquanto a atividade N denota a atividade de final do projeto e é uma sucessora direta ou indireta de toda atividade.
- As atividades estão relacionadas por um jogo de relações de precedência Final-Início com um atraso de tempo zero, implicando que nenhuma atividade pode iniciar antes que as suas predecessoras tenham sido completadas.
- Nenhuma data de início ou de término é imposta a qualquer atividade do projeto.
- Cada atividade  $i$   $i = 1, \dots, N$  tem uma duração constante  $d_i$  (tempos de preparação são desprezíveis ou estão incluídas na duração fixada).
- Cada atividade  $i$  requer um número constante de unidades  $r_{ik}$  de um recurso renovável do tipo  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ). Os requerimentos de recurso  $r_{ik}$  são constantes conhecidas sobre o intervalo de processamento da atividade.

- A disponibilidade  $a_k$  de um recurso renovável do tipo  $k$  é também uma constante conhecida ao longo do intervalo de duração do projeto.
- Nenhuma atividade pode ser interrompida depois de iniciada (não é permitido preempção de atividade).
- O objetivo é completar o projeto tão logo quanto possível, sem violar qualquer restrição de recurso e de precedência.

Problema da Programação de Projetos com Restrição de Recursos Minimizar  $f_N$   
 Sujeito a:

$$f_i \leq f_j - d_j \forall (i, j) \in H, f_1 = 0, \sum r_{ik} \leq a_k \forall k = 1, \dots, K; 1, \dots, f_n, i \in St$$

Onde:

$a_k$  : A disponibilidade total do recurso tipo  $k$ ;

$d_j$  : duração de atividade  $i$ ;

$f_j$  : data de término da atividade  $i$ ;

$N$  : número de atividades no projeto;

$H$  : conjunto de pares de atividades indicando relações de precedência Final-início;

$K$  : número de tipos de recurso;

$r_{ik}$  : a quantidade de recursos do tipo  $k$  que é requerida pela atividade  $i$ ;

$St$  : conjunto de atividades em progresso durante o intervalo de tempo  $[t-1, t] = t/f_i - d_i < t < f_i$ ;

### 2.2.3 Gerenciamento de Risco em Projetos

Segundo BERNSTEIN (1997), a palavra risco deriva do italiano antigo "resicare" que significa ousar. Desta maneira, risco não é destino e sim uma opção. Correr risco faz parte de toda história humana. Nos últimos tempos, o risco vem sendo estudado e aplicado nas mais diversas áreas do conhecimento humano, tais como: risco social, risco ambiental, risco econômico, risco de segurança, entre outros.

"Risco é um evento ou condição incerta que, se ocorrer, tem efeito positivo ou negativo sobre ao menos um dos objetivos do projeto" PMBOK (2013). Ainda de acordo com a *Association of Project Management (APM)* - "risco é a combinação da probabilidade ou frequência de ocorrência de uma ameaça ou oportunidade definida e a magnitude das consequências de sua ocorrência".

No caso do estudo em questão, o risco está diretamente associado a gestão de projetos, no qual o gerenciamento de risco é uma peça fundamental para o sucesso do projeto. Como podemos ver nas seguintes definições:



Gerência de Riscos é o processo de identificar, analisar, planejar, monitorar e controlar os recursos humanos e materiais de uma organização, no sentido de minimizar os efeitos dos riscos sobre essa organização ao mínimo possível. (Figura 2.8) É um conjunto de técnicas que visa reduzir ao mínimo os efeitos das perdas acidentais, enfocando o tratamento aos riscos que possam causar danos pessoais ao meio ambiente e à imagem da empresa.



Figura 2.8: Ciclo do Gestão de Riscos. Fonte gp4us

”O gerenciamento de riscos é um processo sistemático que tem por objetivo identificar, analisar e responder aos riscos de um projeto. Seu objetivo é diminuir ou até eliminar a probabilidade e o impacto de um evento negativo, ou seja adverso ao projeto, acontecer. Por outro lado, ele também se preocupa em aumentar a probabilidade e impacto de um evento positivo, ou seja, benéfico para o projeto, acontecer”PMBOK (2013).

Segundo a Norma Brasileira ABNT/NBR/ISO 31000, o gerenciamento de risco são atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que se refere ao efeito da incerteza nos objetivos. Ainda segundo ao APM, o gerenciamento de riscos é uma aplicação sistemática de políticas, procedimentos, métodos e práticas para as tarefas de identificar, analisar, avaliar, tratar e monitorar os riscos. É o processo no qual as decisões são tomadas para aceitar riscos conhecidos e avaliados e/ou para implementação de ações para reduzir as consequências ou a probabilidade de ocorrência desses riscos.

A otimização do monitoramento e controle de riscos em projetos e a incerteza encontrada nestes processos, se tornou uma área fértil para estudos acadêmicos. Neste contexto a lógica *Fuzzy* é uma ferramenta que tem contribuído sobremaneira nestes

processos.

## **2.3 Modelo de Análise Hierárquica Coppe-Cosenza**

A explicação que se segue do Modelo de Análise Hierárquica Coppe-Cosenza, foi retirada de MARTINS (2010) e também encontra-se no capítulo 8 de livro Projetos Empresariais e Públicos (CLEMENTE, 2002).

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

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

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

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

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

- a média ponderada dos elementos de uma determinada linha fornece um índice para o conjunto da área em estudo frente às demandas do correspondente ramo da indústria;

- a média ponderada dos elementos de uma determinada coluna fornece um índice para o conjunto das atividades industriais em relação à correspondente zona elementar.

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

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

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

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

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

Seja  $C = AxB = (c_{ij})_{h \times m}$  a matriz produto representativa das possibilidades de localização dos  $h$  tipos de indústrias nas  $m$  zonas elementares de planificação, tal que  $\max_k(c_{ik})$  indica a melhor localização para a atividade industrial  $i$ , e  $\max_i(c_{ik})$ , o melhor tipo de indústria para a zona elementar  $k$ . Para dois elementos genéricos,  $a_{ij}$  e  $b_{jk}$ , o produto  $a_{ij} \cdot b_{jk}$  é definido como sendo uma operação binária, como segue:

Tabela 2.1: Operação Produto  $a_{ij} \cdot b_{jk}$

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

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

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

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

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

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

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

$$t_i = 1/m \sum_k kd_{ik}; i = 1, 2, \dots, h \quad (2.1)$$

$$z_k = 1/h \sum_i id_{ik}; k = 1, 2, \dots, m \quad (2.2)$$

que indicam a disponibilidade média de recursos locacionais do território para cada tipo de indústria  $i$ , e o potencial médio de recursos locacionais de cada zona elementar de planificação  $k$ , frente ao conjunto de atividades industriais, respectivamente.

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

Tabela 2.2: Operação Produto  $a_{ij}$   $b_{jk}$

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

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

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

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

As possibilidades de simulação, entretanto, são ainda mais amplas. Pode-se por exemplo, incluir na análise apenas um conjunto de segmentos industriais de interesse,

especificado segundo o potencial de integração com atividades já instaladas na região ou segundo os objetivos estratégicos de desenvolvimento. Além disso, o conjunto de fatores pode variar em amplitude e em nível de detalhe, procurando-se a maior aproximação possível com os critérios de decisão do investidor.

### 2.3.1 Versão *Fuzzy* do Modelo Coppe/Cosenza

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

A intenção do modelo é encontrar uma medida de distância que satisfaça as propriedades de simetria não satisfeitas pela distância assimétrica retilínea. O modelo define, portanto, dois espaços *fuzzy*: um para o conjunto de demandas e outro para o conjunto de potencialidades regionais; avaliando as distâncias entre elementos idênticos dos dois conjuntos.

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

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

Tabela 2.3: Relação Binária *fuzzy* de A e B

	$b_1$	$b_2$	L	$b_{m-1}$	$b_m$
$a_1$	$\mu_c(a_1, b_1)$	$\mu_c(a_1, b_2)$	L	$\mu_c(a_1, b_{m1})$	$\mu_c(a_1, b_m)$
$a_2$	$\mu_c(a_2, b_1)$	$\mu_c(a_2, b_2)$	L	$\mu_c(a_2, b_{m1})$	$\mu_c(a_2, b)$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$a_n$	$\mu_c(a_n, b_1)$	$\mu_c(a_n, b_2)$	L	$\mu_c(a_n, b_{m1})$	$\mu_c(a_n, b_m)$

Onde  $\mu_c$  é um coeficiente *fuzzy* resultante de uma regra operacional definida, que explica, neste caso, o grau de adequabilidade ou de atendimento de  $a_i$  por  $b_i$ . Na teoria clássica dos conjuntos,  $a_i = b_i = x_i$ , i.e.,  $x_i$  pertence aos conjuntos A e B também, definido de acordo com suas características. Nesta versão *fuzzy*,  $a_i$  é um coeficiente *fuzzy* da demanda e  $b_i$  é um coeficiente *fuzzy* produzido por um atributo existente. A é um conjunto abstrato *fuzzy* procurando em B elementos de pertinência idêntica ou próxima à sua própria pertinência. O elemento  $i$  de A não é necessariamente igual ao elemento  $i$  de B.

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

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

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

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

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

Crítico – Condicionante – Pouco Condicionante – Irrelevante

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

Superior – Bom – Regular – Fraco

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

Tabela 2.4: Matriz  $\tilde{A}$  - Fatores demandados pelos projetos

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

Onde,

- $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$  : conjunto demandado pelos projetos;

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

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

Tabela 2.5: Matriz  $\tilde{B}$  - Oferta de fatores pelas Localizações Alternativas

		$B_1$	$B_2$	...	$B_k$	...	$B_m$
$f_1$	$w_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	...	$b_{1k}$	...	$b_{1m}$
$f_2$	$w_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	...	$b_{2k}$	...	$b_{2m}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
$f_j$	$w_j$	$b_{j1}$	$b_{j2}$	...	$b_{jk}$	...	$b_{jm}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
$f_n$	$w_n$	$b_{n1}$	$b_{n2}$	...	$b_{nk}$	...	$b_{nm}$

Onde,

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



### 2.3.2 Modelo Básico de Operações de Matrizes

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

Tabela 2.6: Regra para Produto ( $\overset{N}{\circ}$ ) de A e B  
Oferta de fatores ( $\tilde{B}$ )

		$\overset{N}{\circ}$			
$a_{ij}$	$b_{jk}$	0	.	.	1
0		$0^+$	.	.	$0^{++}$
.		1	.	.	.
.		.	1	.	.
.		.	.	1	.
1		0	.	.	1

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

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

Tabela 2.7: Variáveis Linguísticas para  $b_{jk}$  e  $a_{ij}$

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

Onde,

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

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

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

- Matriz Diagonal Inferior  $\tilde{c}_{ik}$
- Matriz de Diferença de Pertinências  $\tilde{c}_{ik}$

Tabela 2.8: Matriz Diagonal Inferior  $\tilde{c}_{ik}$

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

Tabela 2.9: Matriz de Diferença de Pertinências  $\tilde{c}_{ik}$

$a_{ij}$	$b_{jk}$	0	$\cdot$	$\mu\tilde{B}(x)$	$\cdot$	1
0	$0^+$	$0^+$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$0^{++}$
$\cdot$			1			$1 + [\mu\tilde{B}(x) - \mu\tilde{A}(x)]$
$\mu\tilde{B}(x)$				1		
$\cdot$		$1 + [\mu\tilde{B}(x) - \mu\tilde{A}(x)]$			1	
1		0	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	1

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

Tabela 2.10: Matriz de Relacionamento de Pertinências  $\tilde{c}_{ik}$

	0	$\mu_{B1}(x)$	$\mu_{B2}(x)$	$\mu_{B3}(x)$	$\mu_{B4}(x)$
0	$1/n!$	$\frac{1}{(n-3)}$	$\frac{1}{(n-2)}$	$\frac{1}{(n-1)}$	$\frac{1}{n}$
$\mu_{A1}(x)$	0	1	$1 + \frac{\mu_{B1}(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu_{B2}(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu_{B3}(x)}{n}$
$\mu_{A2}(x)$	0	$\frac{\mu_{B1}(x)}{\mu_{A2}(x)}$	1	$1 + \frac{\mu_{B1}(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu_{B2}(x)}{n}$
$\mu_{A3}(x)$	0	$\frac{\mu_{B1}(x)}{\mu_{A3}(x)}$	$\frac{\mu_{B2}(x)}{\mu_{A3}(x)}$	1	$1 + \frac{\mu_{B1}(x)}{n}$
$\mu_{A4}(x)$	0	$\frac{\mu_{B1}(x)}{\mu_{A4}(x)}$	$\frac{\mu_{B2}(x)}{\mu_{A4}(x)}$	$\frac{\mu_{B3}(x)}{\mu_{A4}(x)}$	1

# Capítulo 3

## Metodologia

### 3.1 Tipo de Pesquisa

#### 3.1.1 Universo e Amostra da Pesquisa

Para universo e a amostra da pesquisa foi utilizada amostragem de dados da tese de doutorado "Um Algoritmo Genético para o Problema de *Scheduling* de Projetos com Restrição de Recursos – Uma Solução com Gerenciamento de Risco" do Ricardo Vitor Jacomino da Cunha Vasconcellos da COPPE/UFRJ do ano de 2007, a qual tem a seguinte amostragem de pesquisa:

O campo escolhido é composto de 32 (trinta e dois) poços de produção e injeção. Estes últimos são poços que permitem a injeção de gás/água, como um recurso técnico para aumentar a produção dos demais poços. Porém, do ponto de vista de intervenção, eles se comportam exatamente como os poços de produção e, assim, serão considerados como tendo a mesma classificação. Ao se associar as atividades de desenvolvimento do poço aos poços que compõem este Campo, era um total de 137 atividades a serem programadas. Além disso, a partir de um banco de dados referentes à intervenção nesses poços, a profundidade, a lâmina d'água (uma vez que são poços submarinos) e a duração registrada também são obtidas. Por fim, no estudo realizado, são definidos como recursos disponíveis para a execução

das operações duas sondas – uma para intervenção até 1000m de lâmina d'água e a outra até 2000m e dois barcos - um para intervenção até 1000m de lâmina d'água e o outro até 2000m e as restrições técnicas à execução das tarefas que irão se traduzir em restrições de precedência. A Tabela 3.1 resume os dados que caracterizam o exemplo tratado. Dadas às restrições tecnológicas e, portanto, as restrições de precedência das atividades, o número de recursos disponíveis e o tempo de intervenção de cada recurso em cada atividade, o objetivo é determinar a sequência de atividades tal que a alocação de cada recurso nos projetos seja otimizada em relação a criticidade das operações e que se tenha uma menor ociosidade dos recursos utilizados.

Tabela 3.1: Amostragem Utilizada na Pesquisa.

Poço	Atividade - Nome	Duração (dias)	ID	Lamina (m)	Recurso
B6P1H	perfuração início de poço	19	1	1170	2
3P10H	perfuração horizontal	42	2	980	3
3P12H	perfuração horizontal	42	3	1017	2
3P14H	perfuração horizontal	42	4	1020	2
3P15H	perfuração horizontal	42	5	1040	2
5P10H	perfuração horizontal	42	6	910	3
5P11H	perfuração horizontal	42	7	950	3
B1I4H	perfuração horizontal	42	8	951	3
B1P4H	perfuração horizontal	42	9	1040	2
B4I3H	perfuração horizontal	53	10	1290	2
B4P2H	perfuração horizontal	53	11	1200	2
B6P1H	perfuração horizontal	95	12	1170	2
MRL5P1H	perfuração horizontal	42	20	980	3
MRL5P2H	perfuração horizontal	42	21	870	3
MRL5P9H	perfuração horizontal	42	23	955	3
MRL0028	perfuração direcional/vertical	37	13	950	3
MRL0033	perfuração direcional/vertical	32	14	890	3
MRL0061A	perfuração direcional/vertical	35	15	955	3
MRL0098	perfuração direcional/vertical	35	16	980	3
MRL3I7	perfuração direcional/vertical	37	17	1010	2
MRL5I5	perfuração direcional/vertical	37	18	945	3
MRL5I6	perfuração direcional/vertical	32	19	945	3
MRL5P6H	perfuração direcional/vertical	42	22	885	3
3P12H	completação tubing hanger	42	24	1017	2
3P14H	completação tubing hanger	42	25	1020	2
3P15H	completação tubing hanger	42	26	1040	2
5P10H	completação tubing hanger	42	27	910	3
5P11H	completação tubing hanger	42	28	950	3
B1I4H	completação tubing hanger	32	29	951	3
B1P4H	completação tubing hanger	27	30	1040	2
MRL0028	completação tubing hanger	27	31	950	3

Poço	Atividade - Nome	Duração (dias)	ID	Lamina (m)	Recurso
MRL0033	completação tubing hanger	27	32	890	3
MRL0061A	completação tubing hanger	25	33	955	3
MRL0098	completação tubing hanger	27	34	980	3
MRL0109	completação tubing hanger	31	35	770	3
MRL3I7	completação tubing hanger	32	36	1010	2
MRL5I5	completação tubing hanger	32	37	945	3
MRL5I6	completação tubing hanger	27	38	945	3
MRL5P14	completação tubing hanger	25	39	930	3
MRL5P1H	completação tubing hanger	42	40	980	3
MRL5P2H	completação tubing hanger	42	41	870	3
MRL5P6H	completação tubing hanger	42	42	885	3
MRL5P9H	completação tubing hanger	42	43	955	3
3P10H	completação descida ANM MCV	12	44	980	3
3P15H	completação descida ANM MCV	14	46	1040	2
5P11H	completação descida ANM MCV	14	48	950	3
B1P4H	completação descida ANM MCV	14	50	1040	2
MRL0109	completação descida ANM MCV	10	65	770	3
MRL5P14	completação descida ANM MCV	14	69	930	3
MRL5P2H	completação descida ANM MCV	14	71	870	3
B4I3H	completação descida ANM H/TH	35	51	1290	2
B4P2H	completação descida ANM H/TH	37	52	1200	2
B6P1H	completação descida ANM H/TH	37	53	1170	2
3P14H	completação descida ANM	14	45	1020	2
5P10H	completação descida ANM	14	47	910	3
B1I4H	completação descida ANM	14	49	951	3
MRL0028	completação descida ANM	17	54	950	3
MRL0033	completação descida ANM	14	55	890	3
MRL0061A	completação descida ANM	14	56	955	3
MRL0085	completação descida ANM	14	57	929	3
MRL0086	completação descida ANM	14	58	928	3
MRL0087	completação descida ANM	14	59	938	3
MRL0098	completação descida ANM	14	60	980	3
MRL0099	completação descida ANM	12	61	780	3
MRL0100	completação descida ANM	12	62	1015	2

Poço	Atividade - Nome	Duração (dias)	ID	Lamina (m)	Recurso
MRL0103	completação descida ANM	14	63	950	3
MRL0104	completação descida ANM	14	64	950	3
MRL3I7	completação descida ANM	14	66	1010	2
MRL5I5	completação descida ANM	14	67	945	3
MRL5I6	completação descida ANM	14	68	945	3
MRL5P1H	completação descida ANM	14	70	980	3
MRL5P6H	completação descida ANM	14	72	885	3
MRL5P9H	completação descida ANM	14	73	955	3
3P10H	interlig linhas-pullin p/m	7	74	980	6
3P12H	interlig linhas-pullin p/m	6	75	1017	5
3P14H	interlig linhas-pullin p/m	7	76	1020	5
3P15H	interlig linhas-pullin p/m	7	77	1040	5
5P10H	interlig linhas-pullin p/m	9	78	910	6
5P11H	interlig linhas-pullin p/m	7	79	950	6
B1I4H	interlig linhas-pullin p/m	6	80	951	6
B1P4H	interlig linhas-pullin p/m	7	81	1040	5
B4I3H	interlig linhas-pullin p/m	9	82	1290	5
B4P2H	interlig linhas-pullin p/m	9	83	1200	5
B6P1H	interlig linhas-pullin p/m	8	84	1170	5
MRL0028	interlig linhas-pullin p/m	5	85	950	6
MRL0033	interlig linhas-pullin p/m	5	86	890	6
MRL0061A	interlig linhas-pullin p/m	7	87	955	6
MRL0076A	interlig linhas-pullin p/m	7	88	980	6
MRL0085	interlig linhas-pullin p/m	6	89	929	6
MRL0086	interlig linhas-pullin p/m	6	90	928	6
MRL0087	interlig linhas-pullin p/m	6	91	938	6

Poço	Atividade - Nome	Duração (dias)	ID	Lamina (m)	Recurso
MRL0098	interlig linhas-pullin p/m	7	92	980	6
MRL0099	interlig linhas-pullin p/m	9	93	780	6
MRL0100	interlig linhas-pullin p/m	7	94	1015	5
MRL0103	interlig linhas-pullin p/m	6	95	950	6
MRL0104	interlig linhas-pullin p/m	6	96	950	6
MRL0109	interlig linhas-pullin p/m	9	97	770	6
MRL3I7	interlig linhas-pullin p/m	7	98	1010	5
MRL5I5	interlig linhas-pullin p/m	6	99	945	6
MRL5I6	interlig linhas-pullin p/m	6	100	945	6
MRL5P14	interlig linhas-pullin p/m	9	101	930	6
MRL5P1H	interlig linhas-pullin p/m	7	102	980	6
MRL5P2H	interlig linhas-pullin p/m	9	103	870	6
MRL5P6H	interlig linhas pullin p/m	9	104	885	6
MRL5P9H	interlig linhas-pullin p/m	7	105	955	6
3P10H	início de produção/injeção	1	106	980	6
3P12H	início de produção/injeção	1	107	1017	5
3P14H	início de produção/injeção	1	108	1020	5
3P15H	início de produção/injeção	1	109	1040	5
5P10H	início de produção/injeção	1	110	910	6
5P11H	início de produção/injeção	1	111	950	6
B1I4H	início de produção/injeção	1	112	951	6
B1P4H	início de produção/injeção	1	113	1040	5
B4I3H	início de produção/injeção	1	114	1290	5
B4P2H	início de produção/injeção	1	115	1200	5
B6P1H	início de produção/injeção	1	116	1170	5
MRL0028	início de produção/injeção	1	117	950	6
MRL0033	início de produção/injeção	1	118	890	6
MRL0061A	início de produção/injeção	1	119	955	6
MRL0076A	início de produção/injeção	1	120	980	6

Poço	Atividade - Nome	Duração (dias)	ID	Lamina (m)	Recurso
MRL0085	início de produção/injeção	1	121	929	6
MRL0086	início de produção/injeção	1	122	928	6
MRL0087	início de produção/injeção	1	123	938	6
MRL0098	início de produção/injeção	1	124	980	6
MRL0099	início de produção/injeção	1	125	780	6
MRL0100	início de produção/injeção	1	126	1015	5
MRL0103	início de produção/injeção	1	127	950	6
MRL0104	início de produção/injeção	1	128	950	6
MRL0109	início de produção/injeção	1	129	770	6
MRL3I7	início de produção/injeção	1	130	1010	5
MRL5I5	início de produção/injeção	1	131	945	6
MRL5I6	início de produção/injeção	1	132	945	6
MRL5P14	início de produção/injeção	1	133	930	6
MRL5P1H	início de produção/injeção	1	134	980	6
MRL5P2H	início de produção/injeção	1	135	870	6
MRL5P6H	início de produção/injeção	1	136	885	6
MRL5P9H	início de produção/injeção	1	137	955	6

### 3.1.2 Quanto a Abordagem, aos Meios de Investigação e Coleta de Dados

Neste trabalho foi abordado o método hipotético-dedutivo pois a partir de um trabalho de pesquisa realizado, foi identificada uma lacuna na qual a possibilidade de uma nova abordagem de solução foi formulada como hipóteses e por um processo de inferência dedutiva, o qual testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela referida hipótese. Neste sentido o método hipotético-dedutivo proposto por POPPER (2014) consiste na adoção da seguinte linha de raciocínio:

[...] quando os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto são insuficientes para a explicação de um fenômeno, surge o problema. Para tentar explicar as dificuldades expressas no problema, são formuladas conjecturas ou hipóteses. Das hipóteses formuladas, deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas. Falsear significa tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses. Enquanto no método dedutivo se procura a todo custo confirmar a hipótese, no método hipotético-dedutivo, ao contrário, procuram-se evidências empíricas para derrubá-la. GIL (2010)

Segundo LAKATOS e MARCONI (2003) O método comparativo ocupa-se da explicação dos fenômenos e permite analisar o dado concreto, deduzindo desse “os elementos constantes, abstratos e gerais.” Desta forma, foram realizadas comparações com o objetivo de verificar semelhanças e explicar divergências.



### **3.1.3 Hipótese**

Segundo PRODANOV e FREITAS (2013) Hipótese de um trabalho científico é a suposição que fazemos, na tentativa de explicar o que desconhecemos e o que pretendemos demonstrar, testando variáveis que poderão legitimar ou não o que queremos explicar ou descobrir. Para este trabalho foi testada a seguinte hipótese "A abordagem *fuzzy* para resolução do problema de *Scheduling* em projetos com restrição de recursos (RCPSP) como no caso da alocação de recursos críticos para exploração e produção de petróleo é uma solução adequada para hierarquização de projetos como alternativa às soluções tradicionais de pesquisa operacional, pois permite uma maior flexibilização das variáveis dinâmicas".

## **3.2 O Problema de Programação de Sondas para Operações em Poços de Petróleo**

### **3.2.1 Introdução**

Nesta tese foi aplicada uma metodologia alternativa baseada em lógica *fuzzy* a partir do trabalho de tese de doutorado "Um Algoritmo Genético para o Problema de *Scheduling* de Projetos com Restrição de Recursos – Uma Solução com Genciamento de Risco" VASCONCELLOS (2007). O trabalho foi desenvolvido da seguinte forma:

- Descrição do trabalho de pesquisa feito por VASCONCELLOS (2007) e as conclusões obtidas no mesmo;
- Utilização da mesma base de dados no trabalho citado para aplicação da metodologia proposta;
- Apresentação da metodologia Coppe-Cosenza, adaptada para a aplicação no trabalho de *Scheduling* de projeto com restrição de recursos;
- Aplicação da metodologia proposta baseada na metodologia Coppe-Cosenza substituindo as técnicas utilizadas no trabalho citado para a solução do Problema de *Scheduling* de Projetos;

### **3.2.2 Descrição do Problema**

De acordo com VASCONCELLOS (2007), para a produção de petróleo é necessário perfurar poços e, após a etapa de perfuração, estes devem ser preparados para operar de forma segura e econômica, durante toda sua vida produtiva. Ao conjunto de operações destinadas a equipar o poço para produzir óleo ou gás, denomina-se

completação. Eventualmente estes poços poderão necessitar de intervenções de manutenção futuras, atividades estas denominadas de “workover”. Para a execução dessas atividades o principal recurso a ser utilizado é a sonda (de perfuração, ou de completção). Quando estas operações são realizadas em poços no mar são também utilizados barcos PLSV. Esses recursos possuem restrições tecnológicas e operacionais, como por exemplo, a lâmina d’água onde eles operam. Sua produtividade é normalmente definida em função do tempo de intervenção e possuem diferentes valores para cada tipo de atividade em cada poço.

Segundo NEVES e ET AL. (2012), sendo o recurso mais crítico, é natural que as sondas marítimas recebam atenção da literatura. Em geral trata-se do problema de sequenciamento da construção dos poços onde se busca maximizar a produção de óleo e gás. Este sequenciamento é realizado alocando as tarefas necessárias para colocar um poço em produção às sondas marítimas e aos barcos especiais (PLSVs). Cada tarefa possui um conjunto de restrições que devem ser respeitadas.

Dentro de uma bacia exploratória existem diversos campos de petróleo em fases distintas do seu ciclo produtivo. Existem aqueles campos com alta atividade exploratória, onde as atividades de perfuração são predominantes, os campos em fase de desenvolvimento, onde predominam atividades de perfuração e completção e por fim campos em estágios mais avançados de exploração, onde predominam as atividades de manutenção. Todas estas atividades competem pelos recursos, barcos e sondas, que são caros e escassos. Por outro lado, o benefício da realização destas atividades é grande, portanto, quanto mais cedo elas forem realizadas, maior será o benefício auferido pela companhia produtora. Com o objetivo de limitar o escopo do problema a ser abordado, o exemplo ficou restrito a um único campo de petróleo em fase de desenvolvimento, a qual tem um horizonte de tempo determinado. Dadas as restrições tecnológicas e, portanto, as restrições de precedência das atividades, o número de recursos disponíveis e o tempo de intervenção de cada recurso em cada poço, o objetivo é determinar quais recursos são alocados para cada atividades de tal forma que os projetos sejam otimizados e também alocar recurso compatíveis com cada tipo de projeto de maneira que a sub utilização destes recursos seja mínimo. Por exemplo, SERRA e ET AL. (2011) apresentam um modelo de Programação por Restrições para encontrar um sequenciamento que maximiza a produção de petróleo no curto prazo.

Dentro do escopo do presente trabalho foram considerados dois tipos de sonda e dois tipos de barco classificados de acordo com a capacidade de operarem em lâminas d’água de até 1000m e de até 2000m de profundidade.

O conjunto de atividades a serem desenvolvidas nos projetos e os respectivos recursos necessários estão listados na tabela 3.2 e descritas a seguir:

1. Perfuração do Poço: atividade onde o solo e as rochas são perfurados até que

atinja a profundidade objetivo do poço. Finda esta etapa, as atividades seguintes são genericamente denominadas de completação e podem ser executadas em fases.

2. A segunda atividade envolve a instalação da Base Adaptadora de Produção (BAP). Este equipamento localiza-se na cabeça do poço e tem por função acomodar a Árvore de Natal Molhada e permitir sua interligação aos tubos de produção flexíveis.
3. A terceira atividade se refere à instalação dos equipamentos que ficarão no interior do poço, denominados coluna de produção. Esta coluna de produção termina com um equipamento denominado Suspensor de Coluna (TH – Tubing Hanger), que se assenta na cabeça do poço e sustenta a coluna de produção. A instalação deste equipamento marca o fim da terceira atividade.
4. A quarta atividade é a instalação da Árvore de Natal Molhada (ANM), conjunto de válvulas, instalado nos poços submarinos, que visa permitir o controle do fluxo de óleo oriundos dos poços e que será escoado por dutos até um ponto de concentração e controle de fluxo (Manifold).
5. A quinta atividade se refere exatamente à instalação e ancoragem do Manifold.

Todas as atividades até aqui descritas são realizadas por sondas. Outras três atividades adicionais são realizadas por barcos lançadores de linhas (PLSV – Pipe Layer Supply Vessel) e são a interligação das árvores de natal aos manifolds e destes às Unidades Estacionárias de Produção (UEP – plataformas). Os barcos lançadores de linhas são também utilizados para fazerem o lançamento e abandono temporário de linhas, operação que visa permitir que as operações de interligação não tenham que ser feitas de forma sincronizada.

Tabela 3.2: Atividades e Recursos Usados.

Atividades	Recurso Usado
Perfuração de poços	Sonda
Completção BAP	Sonda
Completção TH	Sonda
Completção ANM	Sonda
Instalação e Ancoragem Manifold	Sonda
Interligação ANM x Manifold	Barco PLSV
Interligação Manifold X UEP	Barco PLSV
Abandono de Linhas(início de produção/injecção)	Barco PLSV

Os equipamentos utilizados nas operações descritas estão definidos a seguir:

### **Árvore de Natal Molhada (ANM)**

O nome “árvore de natal” surgiu na década de 1930, quando habitantes de províncias petrolíferas terrestres, nos EUA, associaram o equipamento – que estava coberto de neve – a um pinheiro de Natal. Com a completação dos primeiros poços submarinos na década de 60, o termo ganhou o adjetivo “molhada” quando passou a ser instalada no fundo do mar.

Trata-se de um conjunto de válvulas operadas remotamente, que controlam o fluxo dos fluidos produzidos ou injetados no poço. Suporta elevadas pressões e diferentes faixas de temperatura ambiente. É instalada na cabeça do poço submarino, com o auxílio de mergulhadores (profundidades de até 300 metros) ou de veículos de operação remota (ROV), para águas profundas e ultraprofundas. (Figura 3.1)



Figura 3.1: Árvore de Natal Molhada (ANM). Fonte Petrobras

## Manifold

O manifold é um conjunto de válvulas e acessórios que serve para direcionar a produção de vários poços para um duto coletor, o qual conduz a produção total para uma unidade de produção. Esse tipo de equipamento ajuda a reduzir o número de linhas (dutos) conectadas à plataforma, além de diminuir o comprimento total das linhas de poços usadas num sistema de produção. Pode também ser usado para permitir que um grupo de poços compartilhe sistemas de injeção de água e gas lift (elevação de óleo e gás até a superfície por meio de gás pressurizado). (Figura 3.2)



Figura 3.2: Manifold. Fonte Petrobras

## Suspensor da Coluna de Produção (Tubing Hanger)

É o equipamento que realiza a interface entre a ANM e a Coluna de Produção. O Suspensor de Coluna de Produção é ancorado e travado tanto na Base Adaptadora de Produção, como poderá ser ancorado e travado no *Spool* da própria ANM. Produz também, a vedação entre a coluna de produção e o anular. (Figura 3.3)



Figura 3.3: Tubing Hanger. Fonte Petrobras

### 3.2.3 Formulação Matemática do Problema de *Scheduling*

Para VASCONCELLOS (2007) os modelos de programação matemática para solução do problema de *scheduling* de projetos com restrição de recursos são apresentados em BLAZEWICZ *et al.* (1991) e CHRISTOFIDES e ET AL. (1987). Estes modelos foram adequados à situação proposta por MAZZINI (2006) conforme descrito abaixo.

Sejam:

Conjuntos

A – conjunto de atividades  $i$ ;

E – conjunto de embarcações  $k$ ;

$T_{i,k} \in T$  se a atividade  $i$  pode ser realizada pela embarcação  $k$ ;

$S_{i,j} \in S$  se a atividade  $i$  deve ser realizada antes da atividade  $j$ ;

Parâmetros

$d_i$  - Duração da atividade  $i$ ;

N – Atividade fictícia de duração 0 tal que  $\exists(i, N) \in S, \forall i \in A$  (atividade terminal).

Variáveis

$x_{ik} \in \{0, 1\}$ , assumindo o valor 1 se a atividade  $i$  é realizada pela embarcação  $k$  e 0, caso contrário  $\forall(i, k) \in T$ ;

$y_{ik}$  - variável inteira, definindo o início da atividade  $i$  realizada pela embarcação  $k$   $\forall(i, k) \in T$ ;

$w_{ijk} \in \{0, 1\}$ , variável auxiliar, assumindo 1 quando a atividade  $j$  tem início antes do término da atividade  $i$ , 0 em caso contrário  $\forall(i, k) \in T, \forall(j, k) \in T$  e  $j > i$ ;

$u_{ijk} \in \{0, 1\}$ , variável auxiliar, assumindo 1 quando a atividade  $i$  tem início antes do término da atividade  $j$ , 0 em caso contrário  $\forall(i, k) \in T, \forall(j, k) \in T$  e  $j > i$ .

Problema de Programação de Operações:

$$\text{Min} \sum_{k \in E} y_{Nk} \quad (3.1)$$

sujeito a:

$$\sum_{k | (i,k) \in T} x_{ik} = 1, \forall i \in A \quad (3.2)$$

$$y_{ik} \leq x_{ik} \times \text{BigM}, \forall (i, k) \in T \quad (3.3)$$

$$\sum_{k \in E} y_{ik} + d_i \leq \sum_{k \in E} y_{jk}, \forall (i, j) \in S \quad (3.4)$$

$$y_{jk} - [y_{ik} + d_i] \leq w_{ijk} \times \text{Big M}, \forall i, j, k \mid (i, k) \in T, (j, k) \in T, j > i \quad (3.5)$$

$$[y_{ik} + d_i] - y_{jk} \leq u_{ijk} \times \text{BigM}, \forall i, j, k \mid (i, k) \in T, (j, k) \in T, j > i \quad (3.6)$$

$$w_{ijk} - 1 + u_{ijk} \leq 2 - [x_{ik} + x_{jk}], \forall i, j, k \mid (i, k) \in T, (j, k) \in T, j > i \quad (3.7)$$

OBS.: Big M = constante. Usada na restrição (3) para garantir que a desigualdade seja satisfeita, uma vez que:

$y_{ik}$  Define o início da atividade  $i$  (em dias) realizada pela embarcação  $k$ ;

$x_{ik} \in 0, 1$  Tal que  $x_{ik}$  é igual a 1 se a atividade é, de fato, realizada pela embarcação  $k$ .

Considerando então que o valor  $y_{ik} > 1$ , para que (3.3) seja satisfeita,  $y_{ik} \leq x_{ik}$ , é necessário que o valor de  $x \in 0, 1$  seja multiplicado por uma constante. Porém, o valor Big M, não deve ser estabelecido arbitrariamente (muito grande). O valor deve ser no máximo igual à duração resultante da soma das durações das atividades se todas fossem executadas em sequência por um único recurso, (ex: duração 1 + duração 2+ ...+ duração 137), uma vez que o maior valor de  $y_{ik}$  pode ser, no máximo, coincidente com o início da última atividade (a de número 137).

O objetivo do problema otimizar a utilização dos recursos, representado pela equação (3.1) onde se determina que o somatório das datas das operações  $N$  (operação terminal) realizado por todas as embarcações  $k$  seja minimizado. A equação (3.2) obriga que toda atividade  $i$  seja realizada por uma única embarcação  $k$ . A equação (3.3) estabelece que a atividade  $i$  só pode ser iniciada pela embarcação  $k$ , se a mesma tiver sido atribuída a  $i$ . A equação (3.4) garante que a relação de precedência entre duas atividades  $(i, j)$  seja respeitada. As equações (3.5) e (3.6) definem as variáveis auxiliares  $w$  e  $u$ . Essas equações garantem, juntamente com a equação (3.7), que no caso de uma atividade  $j$  ter seu início antes do término da atividade  $i$ , elas não sejam realizadas pelo mesmo recurso. A equação (3.7) impede que uma embarcação realize duas atividades simultaneamente. Esta restrição determina que  $w_{ijk}$  e  $u_{ijk}$  não podem assumir o valor 1 ao mesmo tempo, pois este caso representa a situação em que a embarcação  $k$  realiza simultaneamente as duas atividades  $(i, j)$ . O lado direito desta equação ativa a restrição apenas quando as atividades  $(i, j)$  são realizadas pela mesma embarcação  $k$ .

Segundo BARTHOLO e ET AL. (1999) procedimentos heurísticos são na maioria dos casos procedimentos "Gordian-knot-like" para resolver problemas difíceis, ou

obter uma solução para problemas onde geralmente as técnicas analíticas falham ou são muito difíceis de manipular. Como nos casos dos problemas NP-completos, onde todos os algoritmos conhecidos para estes casos se tornam intratáveis.

O desenvolvimento de modelos para hierarquizar potencialidades de forma multicriteriosa parte da real necessidade de transformar informações organizadas metodologicamente em um instrumento operacional eficiente de apoio à decisão. Introduz as noções básicas para avaliação de alternativas de estratégias em projetos com restrição de recursos usando conjuntos *fuzzy* COSENZA e ET AL. (2006). Desta maneira uma solução alternativa para o problema de *Scheduling* é o caso de estudo proposto nesta tese.

### 3.3 Descrição do Modelo Proposto

O modelo COPPE-COSENZA, foi concebido originalmente para estudos de localização industrial, é basicamente, uma operação com matrizes que representam a demanda por fatores de localização por parte de (h) tipos de indústrias expressa através de (n) atributos de desempenho, e a oferta dos (n) atributos de desempenho por (m) zonas elementares de planificação ou sítios locais, onde:

$a_{ij} \Rightarrow$  coeficiente resultante do grau de importância do atributo j com relação ao usuário i;

$b_{jk} \Rightarrow$  coeficiente resultante do nível do atributo j com relação ao projeto ou alternativa k.

Seu algoritmo consiste na comparação das matrizes de Demanda e de Oferta. uma exposição completa sobre o modelo se encontra no apêndice D.

Este estudo foi dedicado a adaptar o modelo COPPE-COSENZA, um programa de informações que permite hierarquizar de forma multicriteriosa vocações industriais de áreas geográficas, para aplicá-lo à hierarquização de recursos críticos utilizados nos projetos de perfuração e operações em poços de petróleo. Desta maneira faremos algumas adaptações no modelo original para que este funcione de maneira adequada na situação proposta na pesquisa.

Para maior entendimento do modelo algumas definições são dadas a seguir:

- Opção - Uma opção é a localização de um poço onde uma operação deve ser realizada;
- Projeto - Um projeto representa uma Sonda ou um Barco a ser alocado nas opções (poços);
- Fator - Um fator pode ser uma atividade de operação ou um critério de avaliação necessários ao projeto. Eles podem ser específicos ou comuns. Um fator



específico para um projeto significa que este fator é indispensável para aquele projeto, se ele não for satisfeito deve ser excluído das opções de decisão para o projeto.

As atividades (fatores) de operação em poços especificadas no banco de dados inicial foram simplificadas de maneira que refletisse a realidade do que acontece nas alocações de recursos críticos (tabela 3.3).

Tabela 3.3: Atividades operações em poços(Fatores)

Fatores	Atividades
FS1000	Perfuração de poços e Completação TH/ANM 1000m
FS2000	Perfuração de poços e Completação TH/ANM 2000m
FB1000	Interligação ANM/Manifold/UEP/Inicio Prod. 1000m
FB2000	Interligação ANM/Manifold/UEP/Inicio Prod. 2000m
CS1000	Criticidade das Operações Sonda 1000m
CS2000	Criticidade das Operações Sonda 2000m
CB1000	Criticidade das Operações PLSV 1000m
CB2000	Criticidade das Operações PLSV 2000m
CTempo	Criticidade de Tempo de Projeto

Uma vez que um recurso como um navio sonda é alocado para operação em um projeto de poço, algumas atividades como Perfuração de poço, Completação BAP, Completação TH, Completação ANM e Instalação e Ancoragem Manifold são feitas em sequencia, então todas as atividades foram divididas em somente duas atividades, "Perfuração de poços e Completação TH/ANM 1000m" e "Perfuração de poços e Completação TH/ANM 2000m".

Da mesma forma, quando um recurso como um barco PLSV é alocado para operação em um projeto de poço, as atividades Interligação ANM x Manifold, Interligação Manifold X UEP e Abandono de Linhas(início de produção/injeção) foram divididas em somente duas atividades, "Interligação ANM/Manifold/UEP/Inicio Prod. 1000m" e "Interligação ANM/Manifold/UEP/Inicio Prod. 2000m".

Os critérios de avaliação para a alocação de recursos críticos nas operações em poços foram divididos em 9 (nove) fatores a saber:

- Perfuração de poços e Completação TH/ANM 1000m - Limite operacional de lâmina d'água para operações de perfuração e completção executados pelo navio sonda P01;
- Perfuração de poços e Completação TH/ANM 2000m - Limite operacional de lâmina d'água para operações de perfuração e completção executados pelo navio sonda P02;

- Interligação ANM/Manifold/UEP/Inicio Prod. 1000m - Limite operacional de lâmina d'água para operações de interligação de dutos ANM/Manifold/UEP executados pelo barco PLSV P03;

Interligação ANM/Manifold/UEP/Inicio Prod. 1000m - Limite operacional de lâmina d'água para operações de interligação de dutos ANM/Manifold/UEP executados pelo barco PLSV P04;

- Criticidade das Operações Sonda 1000m - Criticidade na operação dos navios sonda naquele poço de lâmina d'água até 1000m, isto é, qual a necessidade de produção de um determinado poço em relação ao número de recursos de navios sonda disponíveis com limite de operação em lâmina d'água até 1000m. Determinado pelos especialistas;
- Criticidade das Operações Sonda 2000m - Criticidade na operação dos navios sonda naquele poço de lâmina d'água até 2000m, isto é, qual a necessidade de produção de um determinado poço em relação ao número de recursos de navios sonda disponíveis com limite de operação em lâmina d'água até 2000m. Determinado pelos especialistas;
- Criticidade das Operações PLSV 1000m - Criticidade na operação de barco PLSV naquele poço de lâmina d'água até 1000m, isto é, qual a necessidade de produção de um determinado poço em relação ao número de recursos de barcos PLSV disponíveis com limite de operação em lâmina d'água até 1000m. Determinado pelos especialistas;
- Criticidade das Operações PLSV 2000m - Criticidade na operação de barco PLSV naquele poço de lâmina d'água até 2000m, isto é, qual a necessidade de produção de um determinado poço em relação ao número de recursos de barcos PLSV disponíveis com limite de operação em lâmina d'água até 2000m. Determinado pelos especialistas;
- Criticidade de Tempo de Projeto - Criticidade no tempo de alocação do recurso para operação em um poço em relação as necessidades de produção e/ou necessidades de intervenções operacionais. Determinado pelos especialistas.

Os recursos utilizados nas operações em poços serão considerados como o projetos a serem utilizados nas opções (poços) do modelo (tabela 3.4).

Os fatores de localização serão opções de projetos de operações a serem feitos nos diversos poços selecionados para pesquisa (tabela 3.5).

Tabela 3.4: Recursos operações em poços(Projetos)

Projetos	Recursos
S1000	Navio Sonda 1000m
S2000	Navio Sonda 2000m
B1000	Barco PLSV 1000m
B2000	Barco PLSV 2000m

Tabela 3.5: Projetos em poços(Opções)

Opção Poço	Poço	Opção Poço	Poço	Opção Poço	Poço
oS01	B6P1H	oS12	MRL0028	oS23	MRL0109
oS02	3P10H	oS13	MRL0033	oS24	MRL5P14
oS03	3P12H	oS14	MRL0061A	oS25	MRL0085
oS04	3P14H	oS15	MRL0098	oS26	MRL0086
oS05	3P15H	oS16	MRL3I7	oS27	MRL0087
oS06	5P10H	oS17	MRL5I5	oS28	MRL0099
oS07	5P11H	oS18	MRL5I6	oS29	MRL0100
oS08	B1I4H	oS19	MRL5P1	oS30	MRL0103
oS09	B1P4H	oS20	MRL5P2	oS31	MRL0104
oS10	B4I3H	oS21	MRL5P6H		
oS11	B4P2H	oS22	MRL5P9H		
oB01	B6P1H	oB12	MRL0028	oB23	MRL0109
oB02	3P10H	oB13	MRL0033	oB24	MRL5P14
oB03	3P12H	oB14	MRL0061A	oB25	MRL0085
oB04	3P14H	oB15	MRL0098	oB26	MRL0086
oB05	3P15H	oB16	MRL3I7	oB27	MRL0087
oB06	5P10H	oB17	MRL5I5	oB28	MRL0099
oB07	5P11H	oB18	MRL5I6	oB29	MRL0100
oB08	B1I4H	oB19	MRL5P1	oB30	MRL0103
oB09	B1P4H	oB20	MRL5P2	oB31	MRL0104
oB10	B4I3H	oB21	MRL5P6H	oB32	MRL0076A
oB11	B4P2H	oB22	MRL5P9H		

### Atributos de Desempenho

A comparação entre oferta e demanda tem como base um conjunto de requisitos e/ou restrições presentes nas atividades de operações nos poços considerados, que também são necessários à satisfação dos projetos dos poços de petróleo. A este conjunto de requisitos/restrições denominamos atributos de desempenho, que podem ser mensurados em diversos níveis de ocorrência/exigência.

### Matriz de Demandas $[a_{ij}]_{h \times n}$

A Matriz de Demanda (Tabela 3.6) relaciona a demanda nas atividades de operações nos poços e/ou critérios de avaliação (fatores), expressa através de um conjunto (n) de atividades de operação e/ou critérios de avaliação necessários as opções de

projetos (colunas), com os (h) diferentes tipos de recursos de projetos oferecidos (linhas) considerados no estudo.

Tabela 3.6: Matriz de Demanda nas atividades de operação

h x n	atividades de operação e/ou critérios de avaliação (fatores)
tipos de recursos oferecidos (projetos)	valores possíveis do elemento $a_{ij} = Cr, C, LC$ ou I

Esta matriz formaliza os níveis de exigência de desempenho nas atividades das operações cabíveis a cada projeto segundo o desempenho de suas funções. Os valores atribuídos a cada um elementos  $a_{ij}$  são classificados em função da demanda percebida junto aos projetos e/ou da opinião de especialistas, empregando uma escala de 4 valores (Cr, C, LC e I), que podem ser modificadas em função da maior ou menor precisão desejada na aferição dos resultados, correspondendo a:

(Cr) crucial – A ausência do atributo inviabiliza o êxito do projeto, caracterizando uma expectativa que deve ser prioritariamente atendida.

(C) condicionante – A ausência do atributo compromete o êxito do projeto mas não o inviabiliza, caracterizando uma expectativa que deve ser atendida com alguma prioridade.

(LC) pouco condicionante – A ausência do atributo não compromete o êxito do projeto, mas torna-o menos atrativo, caracterizando uma expectativa que é sem prioridade, por ser apenas desejável.

(I) irrelevante – A ausência do atributo não compromete o êxito do projeto, caracterizando uma total ausência de demanda.

### Matriz de Opções $[b_{ik}]_{n \times m}$

A Matriz de Ofertas (Tabela 3.7) relaciona disponibilidade das (n) atividades de operação e/ou critérios de avaliação (fatores) necessários as opções de projetos (colunas) com os (m) localizações dos poços onde as operações devem ser realizadas (linhas) consideradas no estudo.

Tabela 3.7: Matriz de ofertas (opções)

n x m	atividades de operação ou critérios de avaliação (fatores)
Localização dos poços (opções)	valores possíveis do elemento $b_{jk} = Ex, G, R, W, Em, Z, In$

A exemplo da Matriz de demandas, os elementos  $b_{jk}$  são classificados pelo operador (ou por um grupo de especialistas) numa escala de 7 valores [Ex, G, R e W, Em, Z, In], correspondendo a:

(Ex) excelente: atributo encontrado em condições plenas de operacionalidade, refletindo o estado da arte em termos de confiabilidade, qualidade e regularidade; caracterizando uma situação privilegiada.

(G) bom: atributo encontrado em condições desejáveis de operacionalidade em termos de confiabilidade, qualidade e regularidade, caracterizando uma situação de normalidade.

(R) regular: atributo encontrado em condições pouco aceitáveis de operacionalidade em termos de confiabilidade, qualidade e regularidade, caracterizando uma situação de relativa precariedade.

(W) fraco: atributo encontrado em pequena intensidade ou não é encontrado, caracterizando uma situação de escassez.

(Em) vazio: atributo não preenchido mas que tem potencialmente condições para tal.

(Z) zero: atributo ausente.

(IN) inexistente: atributo inexistente.

**Matriz<sub>N</sub> de Prioridades de execução das Operações**  $[c_{ik}]_{hxm} = [a_{ij}]_{hxn} [b_{jk}]_{nxm}$

A Matriz de Prioridades de execução das operações nos poços (Tabela 3.8) é resultante da operação matricial de multiplicação (agregação) entre as matrizes de demanda e de oferta e confronta os tipos de recursos com alternativas projetos de operações. Como numa operação matricial clássica, o confronto do elemento linha da matriz de demanda com o elemento coluna da matriz de oferta determina o cálculo a ser efetuado entre os valores Ex, G, R e W.

Tabela 3.8: Matriz de prioridades de projeto

h x m	Localização dos poços (opções)
atividades de operação e/ou critérios de avaliação (fatores)	valores possíveis do elemento $c_{ik}$ : ver matriz de agregação

A operação matricial  $a_{ij} \mathbf{N} b_{jk}$ , obedece à regra de operação indicada na matriz de agregação (Tabela 3.9), onde n é o número de atributos considerados no modelo, e os valores adotados durante a agregação representam, quando próximos a 1, um equilíbrio entre oferta e demanda. Na medida em que a oferta tende a ser menor que a demanda, o valor cotejado tende a 0, e quando a oferta tende a ser superior à demanda, este valor tende a  $1+x/n$  (interpretação matemática do operador).

O modelo COPPE-COSENZA considera a possibilidade de determinado tipo de recurso oferecido ofertar mais ou menos atributos do que os demandados pelas atividades de operação e/ou critérios de avaliação. A representação matemática da combinação Oferta x Demanda, obedece às formulações indicadas na Tabela 3.9.

**N** Tabela 3.9: Matriz de Agregação  $\tilde{c}_{ik}$

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

onde,

$X$  = valor atribuído em função da quantidade de níveis de oferta/demanda considerados no estudo.

$n$  = número de atributos de desempenho considerados.

$X/n$  = valor acrescido/subtraído ao número 1, indica excesso/carência de oferta em relação à demanda de um determinado atributo, ou seja, a possibilidade de obter valor maior ou menor do que 1 para um atributo da operação no poço cuja oferta é, respectivamente, maior ou menor do que a necessidade demandada.

# Capítulo 4

## Resultados e Discussões

### 4.1 Aplicação do Modelo

Para a aplicação do modelo, foi utilizado o ambiente de programação R, onde foi implementado um pacote para executar o modelo Coppe-Cosenza na sua forma original (sem alterações). Informações mais detalhadas sobre o pacote, podem ser encontradas no apêndice E.

Algumas premissas para execução dos testes foram colocadas abaixo para que os testes de aplicação do modelo fossem possíveis.

- Os critérios de avaliação utilizados no teste do modelo foram dados não por especialistas da área, mas sim pelo autor como forma de verificação do funcionamento do modelo.
- Os fatores de demanda de criticidade das sondas, barcos e tempo foram acrescentados ao banco de dados original para representar de uma maneira mais consistente a realidade do planejamento das operações, já que aquele tem poucos fatores de demanda para utilização adequada do modelo.
- Os projetos onde os recursos são utilizados por menos tempo de acordo com o banco de dados terão uma criticidade maior, pois de acordo com o autor quanto mais cedo um poço entra em produção maior o retorno sobre o investimento esperado, além do que diminui-se consideravelmente o custo com o uso das sondas, já que o valor diário de aluguel de uma Sonda vai de de US\$ 300 mil (para equipamentos mais antigos) a quase US\$ 1 milhão (no caso de navios sondas mais modernos).
- Como no modelo existem poucos fatores de demanda e recursos para alocação, os projetos onde os fatores de utilização tem pesos e valores iguais, terão a tendência de os valores de agregação para hierarquização também serem iguais,

causando empates nos valores agregados. Nestes casos a opção de escolha do recurso a ser utilizado poderão ser feitos a posteriori por tomada de decisão de especialistas o que não afeta os resultados obtidos nos testes.

Para o teste do método proposto, foi analisada a criticidade de tempo de acordo com as tabelas de de operações em dias nos poços, baseadas no banco de dados inicial, onde temos a Tabela 4.1 para operações com Sondas e a Tabela 4.2 para operações com barcos PLSV. A análise das demais criticidades, de Sondas e Barcos PLSV foi analisada de modo subjetivo pelo autor.

Tabela 4.1: Tempos das Operações com Sonda

Opção Poço	Poço	Operação (dias)
oS01	B6P1H	151
oS02	3P10H	54
oS03	3P12H	84
oS04	3P14H	98
oS05	3P15H	98
oS06	5P10H	98
oS07	5P11H	98
oS08	B1I4H	88
oS09	B1P4H	83
oS10	B4I3H	88
oS11	B4P2H	90
oS12	MRL0028	81
oS13	MRL0033	73
oS14	MRL0061A	74
oS15	MRL0098	76
oS16	MRL3I7	83
oS17	MRL5I5	83
oS18	MRL5I6	73
oS19	MRL5P1	98
oS20	MRL5P2	98
oS21	MRL5P6H	98
oS22	MRL5P9H	98
oS23	MRL0109	41
oS24	MRL5P14	39
oS25	MRL0085	14
oS26	MRL0086	14
oS27	MRL0087	14
oS28	MRL0099	12
oS29	MRL0100	12
oS30	MRL0103	14
oS31	MRL0104	14



Tabela 4.2: Tempo das Operações com Barcos

Opção Poço	Poço	Operação (dias)
oB01	B6P1H	9
oB02	3P10H	8
oB03	3P12H	7
oB04	3P14H	8
oB05	3P15H	8
oB06	5P10H	10
oB07	5P11H	8
oB08	B1I4H	7
oB09	B1P4H	8
oB10	B4I3H	10
oB11	B4P2H	10
oB12	MRL0028	6
oB13	MRL0033	6
oB14	MRL0061A	8
oB15	MRL0098	8
oB16	MRL3I7	8
oB17	MRL5I5	7
oB18	MRL5I6	7
oB19	MRL5P1	8
oB20	MRL5P2	10
oB21	MRL5P6H	10
oB22	MRL5P9H	8
oB23	MRL0109	10
oB24	MRL5P14	10
oB25	MRL0085	7
oB26	MRL0086	7
oB27	MRL0087	7
oB28	MRL0099	10
oB29	MRL0100	8
oB30	MRL0103	7
oB31	MRL0104	7
oB32	MRL0076A	8

Foram feitos 3 (três) testes do modelo com variações na forma de implementação das matrizes de oferta e demanda para que pudéssemos obter a configuração das alocações das sondas e barcos nos projetos de poços, da maneira mais otimizada possível.

### Primeiro Teste

Neste teste, foram utilizados os 9 (nove) fatores de demanda de Sondas e Barcos PLSV juntos com 32 (trinta e duas) Opções de Projetos.(Tabela 4.3)

Tabela 4.3: Projetos em poços(Opções)

o01	B6P1H	o12	MRL0028	o23	MRL0109
o02	3P10H	o13	MRL0033	o24	MRL5P14
o03	3P12H	o14	MRL0061A	o25	MRL0085
o04	3P14H	o15	MRL0098	o26	MRL0086
o05	3P15H	o16	MRL3I7	o27	MRL0087
o06	5P10H	o17	MRL5I5	o28	MRL0099
o07	5P11H	o18	MRL5I6	o29	MRL0100
o08	B1I4H	o19	MRL5P1	o30	MRL0103
o09	B1P4H	o20	MRL5P2	o31	MRL0104
o10	B4I3H	o21	MRL5P6H	o32	MRL0076A
o11	B4P2H	o22	MRL5P9H		

Na tabela de ofertas (Tabela 4.4) foi atribuído o valor "Inexistente (In)" para as Sondagens ou Barcos PLSV que operam até uma lâmina d'água de 1000m e onde a lâmina d'água das opções de projeto estão entre 1000m e 2000m pois estes recursos não podem atender estas opções. Para que as necessidades de hierarquização fossem satisfeitas de acordo com as premissas, utilizamos os demais valores (Ex, G, R, W) nos demais critérios e fatores.

Tabela 4.4: Tabela de Ofertas Teste 1

	FS1000	FS2000	FB1000	FB2000	CS1000	CS2000	CB1000	CB2000	CTempo
o01	In	Ex	In	Ex	In	Ex	In	Ex	Ex
o02	G	Ex	G	Ex	W	Ex	W	G	G
o03	In	Ex	In	Ex	In	R	In	R	Ex
o04	In	Ex	In	Ex	In	G	In	Ex	Ex
o05	In	Ex	In	Ex	In	Ex	In	G	Ex
o06	Ex	W	Ex	W	G	W	G	W	G
o07	Ex	W	Ex	W	Ex	W	R	W	G
o08	Ex	W	Ex	W	Ex	W	R	W	R
o09	In	Ex	In	Ex	In	R	In	R	G
o10	In	Ex	In	Ex	In	G	In	R	Ex
o11	In	Ex	In	Ex	In	G	In	G	Ex
o12	G	Ex	G	Ex	W	G	W	G	G
o13	G	Ex	G	Ex	W	G	W	G	R
o14	G	Ex	G	Ex	W	G	W	G	W
o15	Ex	W	Ex	W	G	W	R	W	R
o16	In	Ex	In	Ex	In	Ex	In	Ex	G
o17	Ex	W	Ex	W	R	W	R	W	R
o18	Ex	W	Ex	W	R	W	R	W	W
o19	Ex	W	Ex	W	G	W	G	W	G
o20	Ex	W	Ex	W	Ex	W	Ex	W	Ex
o21	Ex	W	Ex	W	Ex	W	Ex	W	G
o22	Ex	W	Ex	W	Ex	W	G	W	G
o23	Ex	G	Ex	R	Ex	R	Ex	R	Ex
o24	G	Ex	G	Ex	W	Ex	W	Ex	Ex
o25	G	Ex	G	Ex	W	Ex	W	G	G
o26	Ex	G	Ex	R	G	W	G	W	G
o27	G	Ex	G	Ex	W	G	W	G	G
o28	Ex	G	Ex	R	Ex	W	Ex	R	G
o29	In	Ex	In	Ex	In	Ex	In	Ex	Ex
o30	G	Ex	G	Ex	W	Ex	W	Ex	G
o31	Ex	G	Ex	R	Ex	R	G	W	G
o32	G	W	Ex	G	G	W	Ex	G	Ex

Na tabela de demandas (Tabela 4.5) foram atribuídos valores de acordo com o seguinte critério:(Tabela 4.6)

Tabela 4.5: Tabela de Demandas Teste 1

	FS1000	FS2000	FB1000	FB2000	CS1000	CS2000	CB1000	CB2000	CTempo
S1000	C	LC	I	I	I	LC	I	I	I
S2000	LC	C	I	I	I	I	I	I	I
B1000	I	I	C	LC	I	I	I	LC	I
B2000	I	I	LC	C	I	I	I	I	I

Tabela 4.6: Tabela de Valores dos Fatores

Relação matricial	Valor Atribuído
Sondas 1000m (S1000) x Fator (FS1000)	Condicionante (C)
Sondas 2000m (S2000) x Fator (FS2000)	Condicionante (C)
Barcos PLSV 1000m (B1000) x Fator (FB1000)	Condicionante (C)
Barcos PLSV 2000m (B2000) x Fator (FB2000)	Condicionante (C)
Sondas 1000m (S1000) x Fator (FS2000)	Pouco Condicionante (LC)
Sondas 2000m (S2000) x Fator (FB1000)	Pouco Condicionante (LC)
Sondas 1000m (S1000) x Fator (CS2000)	Pouco Condicionante (LC)
Barcos PLSV 1000m (B1000) x Fator (FB2000)	Pouco Condicionante (LC)
Barcos PLSV 2000m (B2000) x Fator (FB1000)	Pouco Condicionante (LC)
Barcos PLSV 1000m (B1000) x Fator (CB2000)	Pouco Condicionante (LC)

Onde a relação matricial tem o valor "Condicionante (C)" de acordo com a matriz de agregação podemos utilizar os atributos "Excelente (Ex)" e "bom (G)" que possuem valores de referências  $1 + (1/n)$  e 1 respectivamente.

Onde a relação matricial tem o valor "Pouco Condicionante (LC)", de acordo com a matriz de agregação podemos utilizar os atributos "Excelente (Ex)", "bom (G)" e "Regular (R)" que possuem valores de referências  $1 + (2/n)$ ,  $1 + (1/n)$  e 1 respectivamente.

Nos demais relacionamentos matriciais, foi atribuído o valor "Irrelevante (I)", pois de acordo com a matriz de agregação podemos utilizar os atributos "Excelente (Ex)", "bom (G)", "Regular (R)" e "Fraco (W)" que possuem valores de referências  $1 + (3/n)$ ,  $1 + (2/n)$ ,  $1 + (1/n)$  e 1 respectivamente.

Na tabela de Fatores Específicos (Tabela 4.7), foi atribuído o valor "TRUE" aos relacionamentos Sondas 1000m (S1000) x Fator (FS1000) e Barcos PLSV 1000m (B1000) x Fator (FB1000) pois estes relacionamentos são específicos para opções de projetos com lâmina d'água de até 1000m.

Tabela 4.7: Tabela de Fatores Específicos Teste 1

	FS1000	FS2000	FB1000	FB2000	CS1000	CS2000	CB1000	CB2000	CTempo
S1000	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
S2000	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
B1000	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
B2000	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Após a execução do teste algumas análises puderam ser feitas a partir dos resultados obtidos.

Podemos ver na tabela 4.8, que as Sondas e Barcos PLSV de 1000m não foram alocados em opções de projetos onde a lâmina d'água estava entre 1000m e 2000m.

Tabela 4.8: Tabela Sondas e Barcos PLSV Não Alocados

	Dropped Project	Incompatible Option
1	B1000	o01
2	B1000	o03
3	B1000	o04
4	B1000	o05
5	B1000	o09
6	B1000	o10
7	B1000	o11
8	B1000	o16
9	B1000	o29
10	S1000	o01
11	S1000	o03
12	S1000	o04
13	S1000	o05
14	S1000	o09
15	S1000	o10
16	S1000	o11
17	S1000	o16
18	S1000	o29

Os resultados obtidos neste teste estão apresentados no apêndice A deste trabalho.

Alguns problemas foram encontrados no teste que limitaram a otimização da hierarquização.

Esta configuração de matrizes de ofertas e demandas causou uma alteração na hierarquização já que nas opções de projetos onde a lâmina d'água é maior que 1000m, as Sondas 1000m e os Barcos PLSV 1000m não receberam valores, penalizando os projetos com lâmina d'água acima de 1000m, como é o caso dos projetos o01, o03, o04, o05, o09, o10, o11, o16 e o29.

Outro ponto a destacar foi que os recursos de Sondas e Barcos PLSV foram considerados juntos por opção de projeto, o que resultou em valores agregados pouco otimizados já que os fatores de demanda de criticidade de Sondas e Barcos PLSV tem pesos diferentes para cada situação dentro do mesmo projeto.

A divisão 32 (trinta e duas) opções de projetos com a alocação de Sondas e barcos PLSV juntos por projeto, fez com que estes fossem alocados com o mesmo atributos de valores, sendo que os tempos de alocação de Sondas e Barcos PLSV são muito diferentes dentro dos projetos. Se fossem alocados de maneira separada nas

opções de projeto, a hierarquização de cada um deles poderia ser melhor otimizada, facilitando a tomada de decisão pelos especialistas.

Os fatores de demanda de Sondas e barcos PLSV apesar de terem demandas diferentes, influenciam nas opções de projeto de maneira conjunta fazendo com que os resultados apresentados fossem distorcidos em algumas situações, como no caso da opção de projeto o32 que deveria ter priorização máxima para os Barcos PLSV já que este projeto tem somente os Barcos PLSV como atividade de operação, mas recebe valores de demanda relativos a Sondas.

## Segundo Teste

Neste teste, foram utilizados os 9 (nove) fatores de demanda de Sondas e Barcos PLSV juntos com 63 (sessenta e três) Opções de Projetos.(Tabelas 4.9)

Tabela 4.9: Projetos em Poços(Opções)

Opção Poço	Poço	Opção Poço	Poço	Opção Poço	Poço
oS01	B6P1H	oS12	MRL0028	oS23	MRL0109
oS02	3P10H	oS13	MRL0033	oS24	MRL5P14
oS03	3P12H	oS14	MRL0061A	oS25	MRL0085
oS04	3P14H	oS15	MRL0098	oS26	MRL0086
oS05	3P15H	oS16	MRL3I7	oS27	MRL0087
oS06	5P10H	oS17	MRL515	oS28	MRL0099
oS07	5P11H	oS18	MRL5I6	oS29	MRL0100
oS08	B1I4H	oS19	MRL5P1	oS30	MRL0103
oS09	B1P4H	oS20	MRL5P2	oS31	MRL0104
oS10	B4I3H	oS21	MRL5P6H		
oS11	B4P2H	oS22	MRL5P9H		
oB01	B6P1H	oB12	MRL0028	oB23	MRL0109
oB02	3P10H	oB13	MRL0033	oB24	MRL5P14
oB03	3P12H	oB14	MRL0061A	oB25	MRL0085
oB04	3P14H	oB15	MRL0098	oB26	MRL0086
oB05	3P15H	oB16	MRL3I7	oB27	MRL0087
oB06	5P10H	oB17	MRL515	oB28	MRL0099
oB07	5P11H	oB18	MRL5I6	oB29	MRL0100
oB08	B1I4H	oB19	MRL5P1	oB30	MRL0103
oB09	B1P4H	oB20	MRL5P2	oB31	MRL0104
oB10	B4I3H	oB21	MRL5P6H	oB32	MRL0076A
oB11	B4P2H	oB22	MRL5P9H		

Na tabela de ofertas (Tabela 4.10) foram atribuídos os mesmos valores relativos da tabela de ofertas do primeiro teste, com a diferença que as opções de projetos de Sondas e Barcos PLSV foram dismenbrados em opções de projetos separados.

Tabela 4.10: Tabela de Ofertas Teste 2

	FS1000	FS2000	FB1000	FB2000	CS1000	CS2000	CB1000	CB2000	CTempo		FS1000	FS2000	FB1000	FB2000	CS1000	CS2000	CB1000	CB2000	CTempo	
0s01	In	Ex	In	In	In	G	In	In	G	0b01	In	In	In	In	In	In	In	In	In	G
0s02	Ex	G	Ex	In	R	W	In	In	W	0b02	Ex	In	Ex	G	In	In	R	G	W	G
0s03	In	G	In	In	In	G	In	In	R	0b03	In	In	In	In	In	In	In	G	R	W
0s04	In	G	In	In	In	R	In	In	G	0b04	In	In	In	In	In	In	In	G	R	G
0s05	In	G	In	In	In	G	In	In	G	0b05	In	In	In	G	In	In	In	G	G	G
0s06	Ex	G	Ex	In	G	R	In	In	G	0b06	Ex	In	Ex	G	In	In	G	R	G	G
0s07	G	Ex	G	In	G	G	In	In	G	0b07	G	In	G	Ex	In	In	G	G	G	G
0s08	Ex	G	Ex	In	Ex	R	In	In	R	0b08	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	R	R	R
0s09	In	G	In	In	In	R	In	In	G	0b09	In	In	In	G	In	In	In	R	R	G
0s10	In	Ex	In	In	In	Ex	In	In	G	0b10	In	In	In	Ex	In	In	In	Ex	Ex	G
0s11	In	Ex	In	In	In	G	In	In	Ex	0b11	In	In	In	In	In	In	In	G	Ex	Ex
0s12	G	R	G	In	W	R	In	In	Ex	0b12	G	In	G	R	In	In	W	R	R	Ex
0s13	G	R	G	In	W	R	In	In	G	0b13	G	In	G	R	In	In	W	R	R	G
0s14	G	R	G	In	W	R	In	In	W	0b14	G	In	G	R	In	In	W	R	R	R
0s15	G	R	G	In	W	R	In	In	W	0b15	G	In	G	R	In	In	W	R	R	W
0s16	In	G	In	In	In	Ex	In	In	R	0b16	In	In	In	G	In	In	In	Ex	R	Ex
0s17	G	G	G	In	R	R	In	In	R	0b17	G	In	G	G	In	In	R	R	R	R
0s18	G	R	G	In	R	R	In	In	W	0b18	G	In	G	R	In	In	R	R	R	W
0s19	Ex	G	Ex	In	G	Ex	In	In	R	0b19	Ex	In	Ex	G	In	In	G	Ex	R	R
0s20	Ex	G	Ex	In	Ex	G	In	In	G	0b20	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	G	G	G
0s21	G	Ex	G	In	Ex	G	In	In	R	0b21	G	In	G	Ex	In	In	Ex	G	R	R
0s22	G	R	G	In	W	R	In	In	R	0b22	G	In	G	R	In	In	W	R	R	R
0s23	G	Ex	G	In	G	Ex	In	In	Ex	0b23	G	In	G	Ex	In	In	G	Ex	Ex	Ex
0s24	G	G	G	In	G	G	In	In	G	0b24	G	In	G	G	In	In	G	G	G	G
0s25	Ex	G	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	0b25	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	G	G	Ex
0s26	Ex	G	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	0b26	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	G	G	G
0s27	Ex	G	Ex	In	Ex	G	In	In	R	0b27	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	G	R	R
0s28	G	Ex	G	In	G	G	In	In	G	0b28	G	In	G	Ex	In	In	G	R	R	G
0s29	In	Ex	In	In	In	R	In	In	Ex	0b29	In	In	In	Ex	In	In	In	Ex	Ex	Ex
0s30	Ex	G	Ex	In	Ex	R	In	In	R	0b30	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	R	R	R
0s31	Ex	G	Ex	In	Ex	R	In	In	R	0b31	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	R	R	R
										0b32	Ex	In	Ex	G	In	In	Ex	G	R	Ex

A tabela de demandas tabela 4.11 tem a mesma configuração da tabela de demandas do primeiro teste. Foram utilizados os mesmos valores e atributos para que se pudesse analisar os resultados com a mesma perspectiva e as variações na hierarquização obtida.

Tabela 4.11: Tabela de Demandas Teste 2

	FS1000	FS2000	FB1000	FB2000	CS1000	CS2000	CB1000	CB2000	CTempo
S1000	C	LC	I	I	I	LC	I	I	I
S2000	LC	C	I	I	I	I	I	I	I
B1000	I	I	C	LC	I	I	I	LC	I
B2000	I	I	LC	C	I	I	I	I	I

A tabela 4.12 de fatores específicos também tem a mesma configuração do primeiro teste pelas mesmas razões acima citada.

Tabela 4.12: Tabela de Fatores Específicos Teste 2

	FS1000	FS2000	FB1000	FB2000	CS1000	CS2000	CB1000	CB2000	CTempo
S1000	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
S2000	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
B1000	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
B2000	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Como no primeiro teste, podemos ver na tabela 4.13, que as Sondas e Barcos PLSV de 1000m também não foram alocados em opções de projetos onde a lâmina d'água estava entre 1000m e 2000m.

Tabela 4.13: Tabela Sondas e Barcos PLSV Não Alocados

Dropped Project Incompatible Option		
1	B1000	o01
2	B1000	o03
3	B1000	o04
4	B1000	o05
5	B1000	o09
6	B1000	o10
7	B1000	o11
8	B1000	o16
9	B1000	o29
10	S1000	o01
11	S1000	o03
12	S1000	o04
13	S1000	o05
14	S1000	o09
15	S1000	o10
16	S1000	o11
17	S1000	o16
18	S1000	o29

Os resultados obtidos neste teste estão apresentados no apêndice B deste trabalho.

Os resultados obtidos neste teste mostram que a hierarquização funcionou parcialmente de acordo com as premissas, pois apesar de as opções de projeto de Sondas e Barcos PLSV terem sido separados, tabela de fatores e demandas única causaram as mesmas problemas encontrados no primeiro teste, com o agravante de uma multiplicidade maior de opções de projeto. Esta configuração do teste causou uma maior complexidade na identificação na hierarquia de alocação. A ordem de Sondas e Barcos PLSV tiveram seus valores agregados influenciados pelos fatores de demanda colocados em conjunto.

Os principais problemas encontrados neste teste foram:

- As opções de projetos de Sondas e Barcos PLSV foram separados por opção de projeto em uma única tabela o que gerou um excesso de opções de projetos e uma quantidade de opções de projetos com quase a mesma hierarquização do primeiro teste sem nenhuma melhora visível na otimização.
- Os fatores de demanda de Sondas e barcos PLSV continuaram a serem influenciados uns pelos outros, pois como visto no primeiro teste as demandas pelos fatores entre eles não são os mesmos.
- Um grande número de valores agregados iguais por projeto tornou a decisão de alocação mais complexa por parte do especialista. O que aumentou sobremaneira o risco nas decisões do projeto.



### Terceiro Teste

Neste teste foram separadas as demandas e as ofertas de Sondas e Barcos PLSV para as opções de projeto, desta maneira foram utilizados os 5 (cinco) fatores de demanda para Sondas (Tabela 4.16) e 5 (cinco) fatores de demanda para Barcos PLSV (Tabela 4.17) em 31 (trinta e um) Opções de Projetos de Sonda (Tabela 4.14) e 32 (trinta e dois) projetos de Barcos PLSV (Tabela 4.15) separados.

Tabela 4.14: Tabela de ofertas Sondas Teste 3

	FS1000	FS2000	CS1000	CS2000	Ctempo
os01	In	Ex	In	G	G
os02	Ex	G	R	W	W
os03	In	G	In	G	R
os04	In	G	In	R	G
os05	In	G	In	G	G
os06	Ex	G	G	R	G
os07	G	Ex	G	G	G
os08	Ex	G	Ex	R	R
os09	In	G	In	R	G
os10	In	Ex	In	Ex	G
os11	In	Ex	In	G	Ex
os12	G	R	W	R	Ex
os13	G	R	W	R	G
os14	G	R	W	R	R
os15	G	R	W	R	W
os16	In	G	In	Ex	R
os17	G	G	R	R	R
os18	G	R	R	R	W
os19	Ex	G	G	Ex	R
os20	Ex	G	Ex	G	G
os21	G	Ex	Ex	G	R
os22	G	R	W	R	R
os23	G	Ex	G	Ex	Ex
os24	G	G	G	G	G
os25	Ex	G	Ex	G	Ex
os26	Ex	G	Ex	G	G
os27	Ex	G	Ex	G	R
os28	G	Ex	G	R	G
os29	In	Ex	In	Ex	Ex
os30	Ex	G	Ex	R	R
os31	Ex	G	Ex	R	R

Tabela 4.15: Tabela de ofertas Barcos PLSV Teste 3

	FB1000	FB2000	CB1000	CB2000	CTempo
ob01	In	Ex	In	G	G
ob02	Ex	G	R	W	W
ob03	In	G	In	G	R
ob04	In	G	In	R	G
ob05	In	G	In	G	G
ob06	Ex	G	G	R	G
ob07	G	Ex	G	G	G
ob08	Ex	G	Ex	R	R
ob09	In	G	In	R	G
ob10	In	Ex	In	Ex	G
ob11	In	Ex	In	G	Ex
ob12	G	R	W	R	Ex
ob13	G	R	W	R	G
ob14	G	R	W	R	R
ob15	G	R	W	R	W
ob16	In	G	In	Ex	R
ob17	G	G	R	R	R
ob18	G	R	R	R	W
ob19	Ex	G	G	Ex	R
ob20	Ex	G	Ex	G	G
ob21	G	Ex	Ex	G	R
ob22	G	R	W	R	R
ob23	G	Ex	G	Ex	Ex
ob24	G	G	G	G	G
ob25	Ex	G	Ex	G	Ex
ob26	Ex	G	Ex	G	G
ob27	Ex	G	Ex	G	R
ob28	G	Ex	G	R	G
ob29	In	Ex	In	Ex	Ex
ob30	Ex	G	Ex	R	R
ob31	Ex	G	Ex	R	R
ob32	Ex	G	Ex	G	Ex

As tabelas de demandas tabela 4.16 e tabela 4.17 seguem o mesmo padrão de valores da tabela de demandas do primeiro teste, só que como foram separadas por demanda para Sondas e Demandas para Barcos PLSV. Desta forma os atributos referentes a cada demanda foram utilizados com valores e atributos específicos para cada situação o que permitiu que se pudesse analisar os resultados com uma perspectiva mais adequada das demandas nas operações nos pocos.

Tabela 4.16: Tabela de Demandas Sondas Teste 3

	FS1000	FS2000	CS1000	CS2000	CTempo
S1000	C	LC	I	LC	LC
S2000	LC	C	I	I	LC

Tabela 4.17: Tabela de Demandas Barcos PLSV Teste 3

	FB1000	FB2000	CB1000	CB2000	CTempo
B1000	C	LC	I	LC	LC
B2000	LC	C	I	I	LC

Nas tabelas de Fatores Específicos (Tabela 4.18) e (Tabela 4.19), como nos testes anteriores, foi atribuído o valor "TRUE" aos relacionamentos Sondas 1000m (S1000) x Fator (FS1000) e Barcos PLSV 1000m (B1000) x Fator (FB1000) pois estes relacionamentos são específicos para opções de projetos com lâmina d'água de até 1000m.

Neste teste foram utilizadas matrizes de demandas e ofertas de Sondas e Barcos PLSV separados. O programa foi executado separadamente para cada situação (ver

Tabela 4.18: Tabela de Fatores Específicos Sondas Teste 3

	FS1000	FS2000	CS1000	CS2000	CTempo
S1000	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
S2000	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Tabela 4.19: Tabela de Fatores Específicos Barcos PLSV Teste 3

	FB1000	FB2000	CB1000	CB2000	CTempo
B1000	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
B2000	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

apêndice C). Desta forma o resultado da hierarquização das alocações puderam ser feitas para as opções de projetos com fatores de demandas de Sondas e Barcos PLSV de forma separada também. Com esta abordagem, as tomadas de decisão das alocações de cada uma podem ser tomadas de forma independente, pois os tempos de alocação de Sondas e Barcos PLSV são bastante diferentes. As Sondas normalmente tem tempos de alocação bem superiores, pois fazem mais atividades nas operações em poços.

Neste teste, também pode ser observado que as Sondas e Barcos PLSV de 1000m não foram alocados em opções de projetos onde a lâmina d'água estava entre 1000m e 2000m. (Tabelas 4.20 e 4.21)

Tabela 4.20: Tabela Sondas Não Alocados  
Dropped Project Incompatible Option

1	S1000	os01
2	S1000	os03
3	S1000	os04
4	S1000	os05
5	S1000	os09
6	S1000	os10
7	S1000	os11
8	S1000	os16
9	S1000	os29

Tabela 4.21: Tabela Barcos PLSV Não Alocados  
Dropped Project Incompatible Option

1	B1000	ob01
2	B1000	ob03
3	B1000	ob04
4	B1000	ob05
5	B1000	ob09
6	B1000	ob10
7	B1000	ob11
8	B1000	ob16
9	B1000	ob29

Os resultados mostram que os projetos que demandam menos tempo tiveram valores agregados maiores nas alocações das Sondas. No caso dos Barcos PLSV os tempos de alocação são próximos, mesmo assim a hierarquização deles ficou parecida com a das Sondas que tem diferenças nos tempos de alocação bem maiores, isto se deu porque os atributos de demandas e ofertas utilizados foram atribuídos com as mesmas premissas. Como podemos ver parcialmente nas tabelas 4.22 e 4.23.

Foi observado que os valores agregados obtidos com as Sondas 2000m e Barcos PLSV 2000m foram na maioria dos casos maiores que os valores agregados obtidos com as Sondas 1000m e os Barcos PLSV 1000m. Isso ocorreu por causa da disponibilidade de ofertas das Sondas 2000m e Barcos PLSV 2000m serem mais abrangentes (eles atendem lâmina d'água de até 1000m também) do que as Sondas 1000m e os Barcos PLSV 1000m. Estes casos poderiam ser minimizados caso fossem utilizados mais fatores de demandas específicos.

Tabela 4.22: Tabela Valores Agregados Sondas 2000m

	os01	os02	os03	os04	os05	os06	os07	os08	os09	os10	os11	os12	os13	os14	os15
S1000	NA	4.6	NA	NA	NA	6.2	6.4	6.2	NA	NA	NA	5.6	5.4	5.2	5.0
S2000	4	5.6	3.6	3.6	3.8	6.4	6.6	6.4	3.6	4.2	4.2	5.0	4.8	4.6	4.4
	os16	os17	os18	os19	os20	os21	os22	os23	os24	os25	os26	os27	os28	os29	os30
S1000	NA	5.6	5.2	6.4	6.6	6.4	5.2	6.8	6.2	6.8	6.6	6.4	6.2	NA	6.2
S2000	3.8	5.8	4.6	6.6	6.8	6.6	4.6	7.0	6.4	7.0	6.8	6.6	6.4	4.4	6.4
	os31														
S1000	6.2														
S2000	6.4														

Tabela 4.23: Tabela Valores Agregados Sondas 2000m

	ob01	ob02	ob03	ob04	ob05	ob06	ob07	ob08	ob09	ob10	ob11	ob12	ob13	ob14	ob15
B1000	NA	4.6	NA	NA	NA	6.2	6.4	6.2	NA	NA	NA	5.6	5.4	5.2	5.0
B2000	4	5.6	3.6	3.6	3.8	6.4	6.6	6.4	3.6	4.2	4.2	5.0	4.8	4.6	4.4
	ob16	ob17	ob18	ob19	ob20	ob21	ob22	ob23	ob24	ob25	ob26	ob27	ob28	ob29	ob30
B1000	NA	5.6	5.2	6.4	6.6	6.4	5.2	6.8	6.2	6.8	6.6	6.4	6.2	NA	6.2
B2000	3.8	5.8	4.6	6.6	6.8	6.6	4.6	7.0	6.4	7.0	6.8	6.6	6.4	4.4	6.4
	ob31	ob32													
B1000	6.2	6.8													
B2000	6.4	7.0													

Por outro lado nos projetos onde somente as Sondas 2000m e Barcos PLSV 2000m puderam ser alocados (pocos com lâmina d'água acima de 1000m), os valores agregados foram os mais baixos obtidos por não terem sido somados os atributos de valores das Sondas 1000m e dos Barcos PLSV 1000m (Tabelas 4.24 e 4.25). Esta distorção também poderia ser corrigida caso se utilizasse mais fatores de demandas específicos.

Tabela 4.24: Tabela Valores Agregados Sondas 2000m

51	S2000	os29	4.4
32	S2000	os10	4.2
33	S2000	os11	4.2
23	S2000	os01	4.0
27	S2000	os05	3.8
38	S2000	os16	3.8
25	S2000	os03	3.6
26	S2000	os04	3.6
31	S2000	os09	3.6

Tabela 4.25: Tabela Valores Agregados Barcos PLSV 2000m

38	B2000	ob15	4.4
52	B2000	ob29	4.4
33	B2000	ob10	4.2
34	B2000	ob11	4.2
24	B2000	ob01	4.0
28	B2000	ob05	3.8
39	B2000	ob16	3.8
26	B2000	ob03	3.6
27	B2000	ob04	3.6
32	B2000	ob09	3.6

Na aplicação dos testes alguns resultados podem ser destacados para discussão.

No teste 1 os projetos acima de 1000m foram penalizados nos valores pois as sondas e barcos PLSV de 1000m não pontuaram para a agregação. Considerar as demandas de sondas e barcos PLSV juntos em cada projeto tornou a otimização distorcida pois os tempos de alocação das sondas no projeto são bem maiores que o dos barcos PLSV, causando uma ociosidade por parte dos barcos PLSV. Dessa maneira a divisão em 32 opções de projetos não permite uma hierarquização otimizada.

No teste 2 foram encontrados os mesmos problemas que o teste 1 com o agravante da utilização de 63 opções de projetos tornar a hierarquização mais complexa com a otimização sendo afetada com um número grande de empates de valores de agregação. Outro fator importante foi que os fatores de demandas de sondas e barcos PLSV considerados juntos aumentou a distorção nos resultados.

No teste 3 as demandas e as opções de projetos de sondas e barcos PLSV foram separados, tornando a hierarquização mais otimizada e realista em termos de alocação dos recursos. Os projetos com menor tempo de alocação foram priorizados na otimização o que atendeu uma das principais premissas dos testes.

Como resultado final percebemos que o teste 3 que foi feito com a separação das demandas e das opções de projetos entre sondas e barcos PLSV foi o que melhor otimizou a hierarquização dos projetos, sendo o mais adequado para utilização na alocação de recursos críticos em projetos de poços de petróleo.

# Capítulo 5

## Conclusões e Recomendações

### 5.1 Conclusões

Este trabalho procurou atingir dois objetivos inter-relacionados. O primeiro era de introduzir a técnica de Programação de projetos por Restrições de recursos e seu desdobramento com foco na abordagem de problemas de escalonamento com utilização da metodologia Coppe-Cosenza como ferramental válido à abordagem de problemas de otimização. A apresentação se deu por meio de uma revisão bibliográfica sobre o tema, incluindo uma definição dos principais conceitos, a contextualização da abordagem da metodologia pela ferramenta R com o método Coppe-Cosenza disponível e um tutorial para facilitar o uso da modelagem na ferramenta. O segundo era de abordar o Problema da Programação de Recursos Críticos, que consiste na programação de sondas e barcos para o desenvolvimento de poços de petróleo. Tendo em vista as incertezas e imprecisões na obtenção eficiente de soluções de alta qualidade em tempo razoável. A abordagem do problema por meio do uso da técnica permitiu ilustrar como empregá-la em um problema real, com o intuito de que sirva de exemplo e encorajamento para que outros profissionais também tentem utilizá-la.

Alguns pontos devem ser destacados na aplicação do modelo.

- Uma das limitações encontradas no estudo foi que os valores agregados obtidos com valores empatados nos resultados da hierarquização de Sondas e Barcos PLSV, se deram pelos poucos fatores de demanda e de oferta de recursos utilizados. Observou-se no estudo que uma quantidade maior de fatores de demanda e de oferta poderia gerar resultados mais específicos, com menor chance de empates de valores, pois a agregação matricial com mais possibilita uma maior combinação de valores.
- A utilização de um banco de dados menos completo em termos de fatores de demanda para seleção das Sondas e Barcos PLSV, pois muitos fatores de

demanda relevantes não puderam ser obtidos (como descrito no capítulo 2.1.3), afetou de maneira negativa a aplicação do modelo.

- A dificuldade de entrevistas com especialistas da área tanto pela escassez como pelos contratos de confidencialidade, afetou sobremaneira o modo como foram avaliadas as premissas e as atribuições de valores para as variáveis linguísticas.
- A matriz de agregação utilizada foi a matriz original para localização territorial. Mais uma vez a falta de especialistas da área impossibilitou a criação de uma matriz de agregação adequada a realidade no planejamento das alocações de recursos críticos.

## 5.2 Recomendações

Com base nos estudos e conclusões obtidos nesta pesquisa, sugerimos algumas recomendações para trabalhos e pesquisas futuras a fim de enriquecer os trabalhos de escalonamento de recursos críticos baseados em lógica *fuzzy*.

- Abordar tanto em um maior nível de detalhe o problema tratado quanto recorrer a outras técnicas de resolução para a promoção de uma análise comparativa para que haja uma validação da metodologia apresentada.
- A metodologia testada não prevê as correções de *scheduling* a serem feitas durante a execução do projeto. Sugerimos a criação de um modelo dinâmico de maneira haver a possibilidade de replanejamento das alocações.
- Por fim, recomendamos a obtenção de um número maior de recursos e de variáveis mais precisos com entrevistas com especialistas da área de forma a obter funções de pertinência e matrizes de agregação mais adequadas ao problema para avaliar a qualidade das soluções.



# Referências

- ACCIOLY, R. M. S., ET AL., 2002, “Uma Aplicação da Programação por Restrições no Escalonamento de Atividades em Poços de Petróleo”, *XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- ARRUDA, D. M., 2006, *Modelagem do Planejamento Mestre da Produção Através do Emprego de Regras Nebulosa*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Departamento Engenharia de Produção, Rio de Janeiro.
- ARRUDA, H. H., 2009, *Programação de projetos sob restrições de recursos e incertezas com utilização de lógica fuzzy*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Departamento Engenharia de Produção, Rio de Janeiro.
- BALDWIN, F. F., GUILD, N. C. F., 1979, “Comparison of fuzzy sets on the same decision space”, *Fuzzy Sets and Systems, Volume 2, Issue 3*.
- BARTHOLO, R., ET AL., 1999, *A Heuristic Algorithmic Procedure to Solve Allocation Problems with Fuzzy Evaluations*. Fuzzy Sets and Systems.
- BELLMAN, R. E., ZADEH, L. A., 1970, “Decision-Making in a Fuzzy Environment”, *Management Science*, v. Vol. 17, N. 4, dezembro.
- BERNSTEIN, P. L., 1997, *DESAFIO AOS DEUSES: A Fascinante História do Risco*. Rio de Janeiro, 16 ed, Editora Campus.
- BLAZEWICZ, J., DROR, M. E., WEGLARZ, J., 1991, “Mathematical Programming Formulation for Machine Scheduling: A Survey”, *European Journal of Operational Research* 51.
- BOENTE, A., 2003, *Gerenciamento & Controle de Projetos*. Rio de Janeiro, 1 ed, Axcel Books.
- CHRISTOFIDES, N., ET AL., 1987, “Project scheduling with Resource Constraints: A Branch and Bound Approach”, *European Journal of Operational Research* 29.

- COSENZA, C. A. N., 2001, “A Evolução do Modelo COPPETEC-COSENZA de Modelo de Localização Industrial para Modelo de Hierarquia Fuzzy e sua Aplicabilidade”, *XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.
- COSENZA, C. A. N., 2009, “Metrics and Operators for Facility Site Selection”, *Sabbatical Paper. (Draft). Cambridge University*.
- COSENZA, C. A. N., 2005, *Introdução à Lógica Fuzzy (Apostila do Curso)*. Relatório técnico, Programa de Engenharia da Produção COPPE / UFRJ.
- COSENZA, H. J. S. R., ET AL., 2006, “Aplicação da Lógica Fuzzy em um Modelo para Hierarquização de Produtos e Serviços – Caso da Polibrasil S.A.” *XXX ENANPAD*.
- COX, E., 1994, *The Fuzzy Systems Handbook, a Practitioner’s Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems*. USA: Academic Press.
- DEMEULEMEESTER, E. L., HERROELEN, W. S., 1996, “An Efficient Optimal Solution Procedure for the Preemptive Resource-Constrained Scheduling Problem”, *European Journal of Operational Research*, v. 90.
- FELIZARI, L. C., LÜDERS, R., 2003, “Otimização Fuzzy Aplicada a um Sistema de Mistura de Óleo Combustível”, *XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- GIL, A. C., 2010, *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. São Paulo, Ed. Atlas.
- HAPKE, M., SLOWINSKI, R., ET AL., 1994, *Fuzzy project scheduling system for software development*. Fuzzy Sets and Systems.
- ICHIHARA, J. A., 2002, “O Problema de Programação de Projetos com Restrição de Recursos (Resource-Constrained Project Scheduling Problem)”, *XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*.
- KE, H., LIU, B., 2007, “Project scheduling problem with mixed uncertainty of randomness and fuzziness”, *European Journal of Operational Research*.
- LAKATOS, E. M., MARCONI, M. A., 2003, *Fundamentos da Metodologia Científica*. São Paulo, Ed. Atlas.
- LUSTIG, I. J., PUGET, J. F., 2001, *Program does not equal program: Constraint programming and its relationship to mathematical programming*. Relatório técnico, Interfaces, 31:29, 53(6).

- MAMDANI, E., ASSILIAN, S., 1999, “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller”, *International Journal of Man-Machine Studies*, volume 51, issue 2.
- MARTINS, G. W., 2010, *Uma Contribuição aos Estudos de Localização Industrial: Determinando o Potencial de Transporte Aéreo de uma Região com base no Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Departamento Engenharia de Produção, Rio de Janeiro.
- MATHEDI, J. O. P., 2010, *Embarcações de Apoio à Exploração de Petróleo e Gás*. Santos, Editora USP.
- MAZZINI, F. F., 2006, “Problema de Scheduling de Projetos com Restrição de Recursos”, *Relatório Técnico Petrobras - TI/TI-PEC/PO*.
- MORAIS, J. M., 2013, *Petróleo em águas profundas: Uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção Offshore*. Brasília, IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada.
- MOURA, A. V., ET AL., 2008, “Planning and scheduling the operation of a very large oil pipeline network”, *Principles and Practice of Constraint Programming*, v. volume 5202.
- NEVES, M. L., ET AL., 2012, “Alocação de Equipamentos Críticos em Projetos de Produção de Petróleo Offshore”, *XLIV SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- PINHO, S. F. C., 2006, *Uma Metodologia de Apoio à Decisão para Priorização de Projetos de Tecnologia da Informação*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Departamento Engenharia de Civil, Rio de Janeiro.
- PMBOK, 2013, *A Guide to Project Management Body of Knowledge - PMBOK Guide 5a. ed.* Relatório técnico, Project Management Institute.
- POPPER, K., 2014, *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. New York, Routledge.
- PRADO, R. V., 2003, *Gerenciamento de Projetos nas Organizações*. Minas Gerais, Editora de Desenvolvimento Gerencial.
- PRODANOV, C. C., FREITAS, E. C., 2013, “Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da pesquisa e do Trabalho Acadêmico”. [www.feevale.com.br/editora](http://www.feevale.com.br/editora), Novo Hamburgo.

- REZENDE, S. O., 2003, *Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações*. São Paulo, Ed. Manole.
- RIGONI, E., 2009, *Metodologia para Implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Fuzzy*. Tese de Doutorado, UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis.
- ROMMELFANGER, H., 1990, *FULPAL: An Interactive Method for Solving (Multiobjective) Fuzzy Linear Programming Problems Stochastic Versus Fuzzy Approaches to Multiobjective Mathematical Programming Under Uncertainty*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher.
- SAATY, T. L., 1991, *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo, Makron Books.
- SERRA, T., ET AL., 2011, “A Constraint-based Scheduling of Offshore Well Development Activities with Inventory Management”, *XLIII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- SHAW, I. S. AND SIMÕES, M. G., 1999, *Controle e modelagem fuzzy*. Ed. Edgar Blüker Ltda.
- SILVA, T. S. A., 2012, *Programação por restrições e escalonamento baseado em restrições: Um estudo de caso na programação de recursos para o desenvolvimento de poços de petróleo*. Tese de Mestrado, USP, Instituto de Matemática e Estatística, São Paulo.
- THOMAS, J. E., 2001, *Fundamentos de Engenharia do Petróleo*. Rio de Janeiro, 2 ed, Editora Interciência.
- VARGAS, R., 2005, *Gerenciamento de Projetos: Estratégia, Planejamento e Controle com o MS Project 98*. Rio de Janeiro, 4 ed, Editora Brasport.
- VARGAS, R., 2003, *Manual Prático do Plano de Projeto – Utilizando o PMBOK Guide – 2000 Edition*. Rio de Janeiro, 4 ed, Editora Brasport.
- VASCONCELLOS, R. V. J. C., 2007, *Um Algoritmo Genético para o Problema de Scheduling de Projetos com Restrição de Recursos – Uma Solução com Gerenciamento de Risco*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Departamento Engenharia de Produção, Rio de Janeiro.
- VASCONCELLOS, R. V. J. C., FERREIRA FILHO, V. J. M., 2006, “Algoritmo Genético para o Problema de Scheduling de Projetos com Restrição de Recurso: Uma aplicação em Operações em Poços de Petróleo”, *Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.

WIDEMAN, R. M., 1992, *Project and Program risk management: a guide to managing project risks and opportunities*. Newtown Square, Project Management Institute.

ZADEH, L., 1965, "Fuzzy Sets", *Information and Control*, v. 8.

ZIMMERMANN, H. J., 1985, *Fuzzy set theory and its applications*. Boston, Kluwer-Nijhoff Publishing.

# Apêndice A

## Primeiro Teste com CoppeCosenzaR Package

```
      o01      o02 o03      o04      o05      o06      o07      o08      o09
B1000      NA 10.44444 NA      NA      NA 8.111111 8.111111 8.000000      NA
B2000 6.444444 10.55556 6 6.333333 6.333333 9.222222 9.222222 9.111111 5.888889
S1000      NA 10.44444 NA      NA      NA 8.111111 8.111111 8.000000      NA
S2000 6.444444 10.55556 6 6.333333 6.333333 9.222222 9.222222 9.111111 5.888889
      o10      o11      o12      o13      o14      o15      o16      o17
B1000      NA      NA 10.33333 10.22222 10.11111 7.888889      NA 7.777778
B2000 6.111111 6.222222 10.44444 10.33333 10.22222 9.000000 6.333333 8.888889
S1000      NA      NA 10.33333 10.22222 10.11111 7.888889      NA 7.777778
S2000 6.111111 6.222222 10.44444 10.33333 10.22222 9.000000 6.333333 8.888889
      o18      o19      o20      o21      o22      o23      o24      o25
B1000 7.666667 8.111111 8.444444 8.333333 8.222222 10.77778 10.66667 10.44444
B2000 8.777778 9.222222 9.555556 9.444444 9.333333 10.00000 10.77778 10.55556
S1000 7.666667 8.111111 8.444444 8.333333 8.222222 10.77778 10.66667 10.44444
S2000 8.777778 9.222222 9.555556 9.444444 9.333333 10.88889 10.77778 10.55556
      o26      o27      o28      o29      o30      o31      o32
B1000 9.333333 10.33333 10.555556      NA 10.55556 9.555556 10.444444
B2000 9.444444 10.44444 9.777778 6.444444 10.66667 9.666667 10.555556
S1000 9.333333 10.33333 9.666667      NA 10.55556 10.444444 8.666667
S2000 10.333333 10.44444 10.666667 6.444444 10.66667 10.555556 9.777778
> summary(cc)
```

-----Coppe.cosenza method-----

-----  
Solutions using the Aggregation.matrix.default  
-----

	Project	Option	Aggregate.value
101	S2000	o23	10.888889
15	B1000	o23	10.777778
47	B2000	o24	10.777778
70	S1000	o23	10.777778
102	S2000	o24	10.777778
16	B1000	o24	10.666667
53	B2000	o30	10.666667
71	S1000	o24	10.666667
106	S2000	o28	10.666667
108	S2000	o30	10.666667
20	B1000	o28	10.555556
21	B1000	o30	10.555556
25	B2000	o02	10.555556
48	B2000	o25	10.555556
55	B2000	o32	10.555556
76	S1000	o30	10.555556
80	S2000	o02	10.555556
103	S2000	o25	10.555556
109	S2000	o31	10.555556
1	B1000	o02	10.444444
17	B1000	o25	10.444444
23	B1000	o32	10.444444
35	B2000	o12	10.444444
50	B2000	o27	10.444444
56	S1000	o02	10.444444
72	S1000	o25	10.444444
77	S1000	o31	10.444444
90	S2000	o12	10.444444
105	S2000	o27	10.444444
5	B1000	o12	10.333333
19	B1000	o27	10.333333
36	B2000	o13	10.333333
60	S1000	o12	10.333333
74	S1000	o27	10.333333
91	S2000	o13	10.333333

104	S2000	o26	10.333333
6	B1000	o13	10.222222
37	B2000	o14	10.222222
61	S1000	o13	10.222222
92	S2000	o14	10.222222
7	B1000	o14	10.111111
62	S1000	o14	10.111111
46	B2000	o23	10.000000
51	B2000	o28	9.777778
110	S2000	o32	9.777778
54	B2000	o31	9.666667
75	S1000	o28	9.666667
22	B1000	o31	9.555556
43	B2000	o20	9.555556
98	S2000	o20	9.555556
44	B2000	o21	9.444444
49	B2000	o26	9.444444
99	S2000	o21	9.444444
18	B1000	o26	9.333333
45	B2000	o22	9.333333
73	S1000	o26	9.333333
100	S2000	o22	9.333333
29	B2000	o06	9.222222
30	B2000	o07	9.222222
42	B2000	o19	9.222222
84	S2000	o06	9.222222
85	S2000	o07	9.222222
97	S2000	o19	9.222222
31	B2000	o08	9.111111
86	S2000	o08	9.111111
38	B2000	o15	9.000000
93	S2000	o15	9.000000
40	B2000	o17	8.888889
95	S2000	o17	8.888889
41	B2000	o18	8.777778
96	S2000	o18	8.777778
78	S1000	o32	8.666667
12	B1000	o20	8.444444
67	S1000	o20	8.444444



13	B1000	o21	8.333333
68	S1000	o21	8.333333
14	B1000	o22	8.222222
69	S1000	o22	8.222222
2	B1000	o06	8.111111
3	B1000	o07	8.111111
11	B1000	o19	8.111111
57	S1000	o06	8.111111
58	S1000	o07	8.111111
66	S1000	o19	8.111111
4	B1000	o08	8.000000
59	S1000	o08	8.000000
8	B1000	o15	7.888889
63	S1000	o15	7.888889
9	B1000	o17	7.777778
64	S1000	o17	7.777778
10	B1000	o18	7.666667
65	S1000	o18	7.666667
24	B2000	o01	6.444444
52	B2000	o29	6.444444
79	S2000	o01	6.444444
107	S2000	o29	6.444444
27	B2000	o04	6.333333
28	B2000	o05	6.333333
39	B2000	o16	6.333333
82	S2000	o04	6.333333
83	S2000	o05	6.333333
94	S2000	o16	6.333333
34	B2000	o11	6.222222
89	S2000	o11	6.222222
33	B2000	o10	6.111111
88	S2000	o10	6.111111
26	B2000	o03	6.000000
81	S2000	o03	6.000000
32	B2000	o09	5.888889
87	S2000	o09	5.888889

-----

Incompatible solutions using the Aggregation.matrix.default:

-----

	Dropped Project	Incompatible	Option
1	B1000		o01
2	B1000		o03
3	B1000		o04
4	B1000		o05
5	B1000		o09
6	B1000		o10
7	B1000		o11
8	B1000		o16
9	B1000		o29
10	S1000		o01
11	S1000		o03
12	S1000		o04
13	S1000		o05
14	S1000		o09
15	S1000		o10
16	S1000		o11
17	S1000		o16
18	S1000		o29

-----  
Description of the used Aggregation.matrix.default:

Agregation Matrix Default:  
general evaluation matrix

	Ex	G	R	W	Em	Z	In
Cr	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
C	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
LC	"(1 + 2/nf)"	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"
I	"(1 + 3/nf)"	"(1 + 2/nf)"	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0.01"	"0.001"	"0"

# Apêndice B

## Segundo Teste com CoppeCosenzaR Package

	ob01	ob02	ob03	ob04	ob05	ob06	ob07	ob08
B1000	NA	5.666667	NA	NA	NA	7.000000	7.000000	7.000000
B2000	3.555556	6.666667	3.333333	3.333333	3.444444	7.111111	7.111111	7.111111
S1000	NA	6.777778	NA	NA	NA	7.222222	7.222222	7.222222
S2000	3.777778	6.888889	3.555556	3.555556	3.666667	7.333333	7.333333	7.333333
	ob09	ob10	ob11	ob12	ob13	ob14	ob15	ob16
B1000	NA	NA	NA	6.555556	6.444444	6.333333	6.222222	NA
B2000	3.333333	3.666667	3.666667	5.777778	5.666667	5.555556	5.444444	3.444444
S1000	NA	NA	NA	6.777778	6.666667	6.555556	6.444444	NA
S2000	3.555556	3.888889	3.888889	6.888889	6.777778	6.666667	6.555556	3.666667
	ob17	ob18	ob19	ob20	ob21	ob22	ob23	ob24
B1000	6.555556	6.333333	7.111111	7.222222	7.000000	6.333333	7.222222	6.888889
B2000	6.666667	5.555556	7.222222	7.333333	7.111111	5.555556	7.333333	7.000000
S1000	6.777778	6.555556	7.333333	7.444444	7.222222	6.555556	7.444444	7.111111
S2000	6.888889	6.666667	7.444444	7.555556	7.333333	6.666667	7.555556	7.222222
	ob25	ob26	ob27	ob28	ob29	ob30	ob31	ob32
B1000	7.333333	7.222222	7.111111	6.888889	NA	7.000000	7.000000	7.333333
B2000	7.444444	7.333333	7.222222	7.000000	3.777778	7.111111	7.111111	7.444444
S1000	7.555556	7.444444	7.333333	7.111111	NA	7.222222	7.222222	7.555556
S2000	7.666667	7.555556	7.444444	7.222222	4.000000	7.333333	7.333333	7.666667
	os01	os02	os03	os04	os05	os06	os07	os08
B1000	NA	6.777778	NA	NA	NA	7.222222	7.222222	7.222222
B2000	3.777778	6.888889	3.555556	3.555556	3.666667	7.333333	7.333333	7.333333
S1000	NA	5.666667	NA	NA	NA	7.000000	7.000000	7.000000
S2000	3.555556	6.666667	3.333333	3.333333	3.444444	7.111111	7.111111	7.111111
	os09	os10	os11	os12	os13	os14	os15	os16

```

B1000      NA      NA      NA 6.777778 6.666667 6.555556 6.444444      NA
B2000 3.555556 3.888889 3.888889 6.888889 6.777778 6.666667 6.555556 3.666667
S1000      NA      NA      NA 6.555556 6.444444 6.333333 6.222222      NA
S2000 3.333333 3.666667 3.666667 5.777778 5.666667 5.555556 5.444444 3.444444
      os17      os18      os19      os20      os21      os22      os23      os24
B1000 6.777778 6.555556 7.333333 7.444444 7.222222 6.555556 7.444444 7.111111
B2000 6.888889 6.666667 7.444444 7.555556 7.333333 6.666667 7.555556 7.222222
S1000 6.555556 6.333333 7.111111 7.222222 7.000000 6.333333 7.222222 6.888889
S2000 6.666667 5.555556 7.222222 7.333333 7.111111 5.555556 7.333333 7.000000
      os25      os26      os27      os28      os29      os30      os31
B1000 7.555556 7.444444 7.333333 7.111111      NA 7.222222 7.222222
B2000 7.666667 7.555556 7.444444 7.222222 4.000000 7.333333 7.333333
S1000 7.333333 7.222222 7.111111 6.888889      NA 7.000000 7.000000
S2000 7.444444 7.333333 7.222222 7.000000 3.777778 7.111111 7.111111

```

```
> summary(cc)
```

```
-----Coppe.cosenza method-----
```

```
-----
```

```
Solutions using the Aggregation.matrix.default
```

```
-----
```

	Project	Option	Aggregate.value
102	B2000	os25	7.666667
178	S2000	ob25	7.666667
185	S2000	ob32	7.666667
40	B1000	os25	7.555556
97	B2000	os20	7.555556
100	B2000	os23	7.555556
103	B2000	os26	7.555556
125	S1000	ob25	7.555556
131	S1000	ob32	7.555556
173	S2000	ob20	7.555556
176	S2000	ob23	7.555556
179	S2000	ob26	7.555556
35	B1000	os20	7.444444
38	B1000	os23	7.444444
41	B1000	os26	7.444444

70	B2000	ob25	7.444444
77	B2000	ob32	7.444444
96	B2000	os19	7.444444
104	B2000	os27	7.444444
120	S1000	ob20	7.444444
123	S1000	ob23	7.444444
126	S1000	ob26	7.444444
172	S2000	ob19	7.444444
180	S2000	ob27	7.444444
210	S2000	os25	7.444444
17	B1000	ob25	7.333333
23	B1000	ob32	7.333333
34	B1000	os19	7.333333
42	B1000	os27	7.333333
65	B2000	ob20	7.333333
68	B2000	ob23	7.333333
71	B2000	ob26	7.333333
83	B2000	os06	7.333333
84	B2000	os07	7.333333
85	B2000	os08	7.333333
98	B2000	os21	7.333333
107	B2000	os30	7.333333
108	B2000	os31	7.333333
119	S1000	ob19	7.333333
127	S1000	ob27	7.333333
148	S1000	os25	7.333333
159	S2000	ob06	7.333333
160	S2000	ob07	7.333333
161	S2000	ob08	7.333333
174	S2000	ob21	7.333333
183	S2000	ob30	7.333333
184	S2000	ob31	7.333333
205	S2000	os20	7.333333
208	S2000	os23	7.333333
211	S2000	os26	7.333333
12	B1000	ob20	7.222222
15	B1000	ob23	7.222222
18	B1000	ob26	7.222222
25	B1000	os06	7.222222

26	B1000	os07	7.222222
27	B1000	os08	7.222222
36	B1000	os21	7.222222
44	B1000	os30	7.222222
45	B1000	os31	7.222222
64	B2000	ob19	7.222222
72	B2000	ob27	7.222222
101	B2000	os24	7.222222
105	B2000	os28	7.222222
110	S1000	ob06	7.222222
111	S1000	ob07	7.222222
112	S1000	ob08	7.222222
121	S1000	ob21	7.222222
129	S1000	ob30	7.222222
130	S1000	ob31	7.222222
143	S1000	os20	7.222222
146	S1000	os23	7.222222
149	S1000	os26	7.222222
177	S2000	ob24	7.222222
181	S2000	ob28	7.222222
204	S2000	os19	7.222222
212	S2000	os27	7.222222
11	B1000	ob19	7.111111
19	B1000	ob27	7.111111
39	B1000	os24	7.111111
43	B1000	os28	7.111111
51	B2000	ob06	7.111111
52	B2000	ob07	7.111111
53	B2000	ob08	7.111111
66	B2000	ob21	7.111111
75	B2000	ob30	7.111111
76	B2000	ob31	7.111111
124	S1000	ob24	7.111111
128	S1000	ob28	7.111111
142	S1000	os19	7.111111
150	S1000	os27	7.111111
191	S2000	os06	7.111111
192	S2000	os07	7.111111
193	S2000	os08	7.111111

206	S2000	os21	7.111111
215	S2000	os30	7.111111
216	S2000	os31	7.111111
2	B1000	ob06	7.000000
3	B1000	ob07	7.000000
4	B1000	ob08	7.000000
13	B1000	ob21	7.000000
21	B1000	ob30	7.000000
22	B1000	ob31	7.000000
69	B2000	ob24	7.000000
73	B2000	ob28	7.000000
133	S1000	os06	7.000000
134	S1000	os07	7.000000
135	S1000	os08	7.000000
144	S1000	os21	7.000000
152	S1000	os30	7.000000
153	S1000	os31	7.000000
209	S2000	os24	7.000000
213	S2000	os28	7.000000
16	B1000	ob24	6.888889
20	B1000	ob28	6.888889
79	B2000	os02	6.888889
89	B2000	os12	6.888889
94	B2000	os17	6.888889
147	S1000	os24	6.888889
151	S1000	os28	6.888889
155	S2000	ob02	6.888889
165	S2000	ob12	6.888889
170	S2000	ob17	6.888889
24	B1000	os02	6.777778
28	B1000	os12	6.777778
32	B1000	os17	6.777778
90	B2000	os13	6.777778
109	S1000	ob02	6.777778
113	S1000	ob12	6.777778
117	S1000	ob17	6.777778
166	S2000	ob13	6.777778
29	B1000	os13	6.666667
47	B2000	ob02	6.666667

62	B2000	ob17	6.666667
91	B2000	os14	6.666667
95	B2000	os18	6.666667
99	B2000	os22	6.666667
114	S1000	ob13	6.666667
167	S2000	ob14	6.666667
171	S2000	ob18	6.666667
175	S2000	ob22	6.666667
187	S2000	os02	6.666667
202	S2000	os17	6.666667
5	B1000	ob12	6.555556
9	B1000	ob17	6.555556
30	B1000	os14	6.555556
33	B1000	os18	6.555556
37	B1000	os22	6.555556
92	B2000	os15	6.555556
115	S1000	ob14	6.555556
118	S1000	ob18	6.555556
122	S1000	ob22	6.555556
136	S1000	os12	6.555556
140	S1000	os17	6.555556
168	S2000	ob15	6.555556
6	B1000	ob13	6.444444
31	B1000	os15	6.444444
116	S1000	ob15	6.444444
137	S1000	os13	6.444444
7	B1000	ob14	6.333333
10	B1000	ob18	6.333333
14	B1000	ob22	6.333333
138	S1000	os14	6.333333
141	S1000	os18	6.333333
145	S1000	os22	6.333333
8	B1000	ob15	6.222222
139	S1000	os15	6.222222
57	B2000	ob12	5.777778
197	S2000	os12	5.777778
1	B1000	ob02	5.666667
58	B2000	ob13	5.666667
132	S1000	os02	5.666667



198	S2000	os13	5.666667
59	B2000	ob14	5.555556
63	B2000	ob18	5.555556
67	B2000	ob22	5.555556
199	S2000	os14	5.555556
203	S2000	os18	5.555556
207	S2000	os22	5.555556
60	B2000	ob15	5.444444
200	S2000	os15	5.444444
106	B2000	os29	4.000000
182	S2000	ob29	4.000000
87	B2000	os10	3.888889
88	B2000	os11	3.888889
163	S2000	ob10	3.888889
164	S2000	ob11	3.888889
74	B2000	ob29	3.777778
78	B2000	os01	3.777778
154	S2000	ob01	3.777778
214	S2000	os29	3.777778
55	B2000	ob10	3.666667
56	B2000	ob11	3.666667
82	B2000	os05	3.666667
93	B2000	os16	3.666667
158	S2000	ob05	3.666667
169	S2000	ob16	3.666667
195	S2000	os10	3.666667
196	S2000	os11	3.666667
46	B2000	ob01	3.555556
80	B2000	os03	3.555556
81	B2000	os04	3.555556
86	B2000	os09	3.555556
156	S2000	ob03	3.555556
157	S2000	ob04	3.555556
162	S2000	ob09	3.555556
186	S2000	os01	3.555556
50	B2000	ob05	3.444444
61	B2000	ob16	3.444444
190	S2000	os05	3.444444
201	S2000	os16	3.444444

48	B2000	ob03	3.333333
49	B2000	ob04	3.333333
54	B2000	ob09	3.333333
188	S2000	os03	3.333333
189	S2000	os04	3.333333
194	S2000	os09	3.333333

-----

Incompatible solutions using the Aggregation.matrix.default:

-----

	Dropped Project	Incompatible Option
1	B1000	ob01
2	B1000	ob03
3	B1000	ob04
4	B1000	ob05
5	B1000	ob09
6	B1000	ob10
7	B1000	ob11
8	B1000	ob16
9	B1000	ob29
10	B1000	os01
11	B1000	os03
12	B1000	os04
13	B1000	os05
14	B1000	os09
15	B1000	os10
16	B1000	os11
17	B1000	os16
18	B1000	os29
19	S1000	ob01
20	S1000	ob03
21	S1000	ob04
22	S1000	ob05
23	S1000	ob09
24	S1000	ob10
25	S1000	ob11
26	S1000	ob16
27	S1000	ob29
28	S1000	os01

29	S1000	os03
30	S1000	os04
31	S1000	os05
32	S1000	os09
33	S1000	os10
34	S1000	os11
35	S1000	os16
36	S1000	os29

-----  
Description of the used Aggregation.matrix.default:

Agregation Matrix Default:

general evaluation matrix

	Ex	G	R	W	Em	Z	In
Cr	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
C	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
LC	"(1 + 2/nf)"	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"
I	"(1 + 3/nf)"	"(1 + 2/nf)"	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0.01"	"0.001"	"0"

# Apêndice C

## Terceiro Teste com CoppeCosenzaR Package

```
      os01 os02 os03 os04 os05 os06 os07 os08 os09 os10 os11 os12 os13 os14 os15
S1000  NA  4.6   NA   NA   NA   6.2  6.4  6.2   NA   NA   NA   5.6  5.4  5.2  5.0
S2000   4  5.6  3.6  3.6  3.8  6.4  6.6  6.4  3.6  4.2  4.2  5.0  4.8  4.6  4.4
      os16 os17 os18 os19 os20 os21 os22 os23 os24 os25 os26 os27 os28 os29 os30
S1000  NA  5.6  5.2  6.4  6.6  6.4  5.2  6.8  6.2  6.8  6.6  6.4  6.2   NA  6.2
S2000  3.8  5.8  4.6  6.6  6.8  6.6  4.6  7.0  6.4  7.0  6.8  6.6  6.4  4.4  6.4
      os31
S1000  6.2
S2000  6.4
> summary(cc)
```

-----Coppe.cosenza method-----

-----

Solutions using the Aggregation.matrix.default

-----

	Project	Option	Aggregate.value
45	S2000	os23	7.0
47	S2000	os25	7.0
15	S1000	os23	6.8
17	S1000	os25	6.8
42	S2000	os20	6.8
48	S2000	os26	6.8
12	S1000	os20	6.6

18	S1000	os26	6.6
29	S2000	os07	6.6
41	S2000	os19	6.6
43	S2000	os21	6.6
49	S2000	os27	6.6
3	S1000	os07	6.4
11	S1000	os19	6.4
13	S1000	os21	6.4
19	S1000	os27	6.4
28	S2000	os06	6.4
30	S2000	os08	6.4
46	S2000	os24	6.4
50	S2000	os28	6.4
52	S2000	os30	6.4
53	S2000	os31	6.4
2	S1000	os06	6.2
4	S1000	os08	6.2
16	S1000	os24	6.2
20	S1000	os28	6.2
21	S1000	os30	6.2
22	S1000	os31	6.2
39	S2000	os17	5.8
5	S1000	os12	5.6
9	S1000	os17	5.6
24	S2000	os02	5.6
6	S1000	os13	5.4
7	S1000	os14	5.2
10	S1000	os18	5.2
14	S1000	os22	5.2
8	S1000	os15	5.0
34	S2000	os12	5.0
35	S2000	os13	4.8
1	S1000	os02	4.6
36	S2000	os14	4.6
40	S2000	os18	4.6
44	S2000	os22	4.6
37	S2000	os15	4.4
51	S2000	os29	4.4
32	S2000	os10	4.2

33	S2000	os11	4.2
23	S2000	os01	4.0
27	S2000	os05	3.8
38	S2000	os16	3.8
25	S2000	os03	3.6
26	S2000	os04	3.6
31	S2000	os09	3.6

-----

Incompatible solutions using the Aggregation.matrix.default:

-----

	Dropped Project	Incompatible	Option
1	S1000		os01
2	S1000		os03
3	S1000		os04
4	S1000		os05
5	S1000		os09
6	S1000		os10
7	S1000		os11
8	S1000		os16
9	S1000		os29

-----

Description of the used Aggregation.matrix.default:

Agregation Matrix Default:

general evaluation matrix

	Ex	G	R	W	Em	Z	In
Cr	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
C	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
LC	"(1 + 2/nf)"	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"
I	"(1 + 3/nf)"	"(1 + 2/nf)"	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0.01"	"0.001"	"0"

```

      ob01 ob02 ob03 ob04 ob05 ob06 ob07 ob08 ob09 ob10 ob11 ob12 ob13 ob14 ob15
B1000  NA  4.6  NA   NA   NA   6.2  6.4  6.2  NA   NA   NA   5.6  5.4  5.2  5.0
B2000   4  5.6  3.6  3.6  3.8  6.4  6.6  6.4  3.6  4.2  4.2  5.0  4.8  4.6  4.4
      ob16 ob17 ob18 ob19 ob20 ob21 ob22 ob23 ob24 ob25 ob26 ob27 ob28 ob29 ob30
B1000  NA  5.6  5.2  6.4  6.6  6.4  5.2  6.8  6.2  6.8  6.6  6.4  6.2  NA  6.2
B2000  3.8  5.8  4.6  6.6  6.8  6.6  4.6  7.0  6.4  7.0  6.8  6.6  6.4  4.4  6.4
      ob31 ob32
B1000  6.2  6.8
B2000  6.4  7.0
> summary(cc)

```

-----Coppe.cosenza method-----

-----  
Solutions using the Aggregation.matrix.default  
-----

	Project	Option	Aggregate.value
46	B2000	ob23	7.0
48	B2000	ob25	7.0
55	B2000	ob32	7.0
15	B1000	ob23	6.8
17	B1000	ob25	6.8
23	B1000	ob32	6.8
43	B2000	ob20	6.8
49	B2000	ob26	6.8
12	B1000	ob20	6.6
18	B1000	ob26	6.6
30	B2000	ob07	6.6
42	B2000	ob19	6.6
44	B2000	ob21	6.6
50	B2000	ob27	6.6
3	B1000	ob07	6.4
11	B1000	ob19	6.4
13	B1000	ob21	6.4
19	B1000	ob27	6.4
29	B2000	ob06	6.4
31	B2000	ob08	6.4

47	B2000	ob24	6.4
51	B2000	ob28	6.4
53	B2000	ob30	6.4
54	B2000	ob31	6.4
2	B1000	ob06	6.2
4	B1000	ob08	6.2
16	B1000	ob24	6.2
20	B1000	ob28	6.2
21	B1000	ob30	6.2
22	B1000	ob31	6.2
40	B2000	ob17	5.8
5	B1000	ob12	5.6
9	B1000	ob17	5.6
25	B2000	ob02	5.6
6	B1000	ob13	5.4
7	B1000	ob14	5.2
10	B1000	ob18	5.2
14	B1000	ob22	5.2
8	B1000	ob15	5.0
35	B2000	ob12	5.0
36	B2000	ob13	4.8
1	B1000	ob02	4.6
37	B2000	ob14	4.6
41	B2000	ob18	4.6
45	B2000	ob22	4.6
38	B2000	ob15	4.4
52	B2000	ob29	4.4
33	B2000	ob10	4.2
34	B2000	ob11	4.2
24	B2000	ob01	4.0
28	B2000	ob05	3.8
39	B2000	ob16	3.8
26	B2000	ob03	3.6
27	B2000	ob04	3.6
32	B2000	ob09	3.6

-----

Incompatible solutions using the Aggregation.matrix.default:

-----



Dropped Project Incompatible Option

1	B1000	ob01
2	B1000	ob03
3	B1000	ob04
4	B1000	ob05
5	B1000	ob09
6	B1000	ob10
7	B1000	ob11
8	B1000	ob16
9	B1000	ob29

-----

Description of the used Aggregation.matrix.default:

Agregation Matrix Default:

general evaluation matrix

	Ex	G	R	W	Em	Z	In
Cr	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
C	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"	"0"
LC	"(1 + 2/nf)"	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0"	"0"	"0"	"0"
I	"(1 + 3/nf)"	"(1 + 2/nf)"	"(1 + 1/nf)"	"1"	"0.01"	"0.001"	"0"

## Anexo D

# Aspectos da utilização da lógica *fuzzy* em Projetos

A utilização da lógica *fuzzy* para a otimização de problemas tem como objetivo, encontrar a melhor alternativa de decisão a partir de informação incompleta ou imprecisa, com limites pouco definidos. Para ARRUDA (2006) a otimização *fuzzy* como também é chamada, é um conjunto de técnicas que são empregadas em problemas de otimização e que objetivam trabalhar em ambientes de decisão caracterizado pela incerteza, fazendo uso da teoria dos conjuntos *fuzzy*. Podemos dizer em outras palavras, que a otimização *fuzzy* pode ser entendida como um problema clássico de otimização, flexibilizado de forma a permitir a tomada de decisão num escopo mais amplo e flexível, uma vez que podemos, por exemplo, não querer descartar uma decisão muito favorável apenas por que violaria uma restrição excessivamente rígida. Alguns conceitos sobre lógica *fuzzy* colocados no texto se fazem necessário para melhor entendimento do assunto. Os conceitos básicos sobre o lógica *fuzzy* tais como conjunto *fuzzy*, função de Pertinência, operações com conjuntos *fuzzy*, variáveis linguísticas e regras *fuzzy*, poderão ser encontrados com explicações pormenorizadas em BOENTE (2003) e também em ARRUDA (2006).

### D.1 Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

Segundo PINHO (2006) AHP é um método de Análise Hierárquica que permite decompor o problema em níveis hierárquicos, proporcionando maior facilidade à sua compreensão e avaliação. Desta maneira, o decisor é conduzido a pensar na decisão de uma maneira lógica (hierárquica) e, eventualmente, avaliar a inconsistência de seus julgamentos. Através de uma análise paritária, o método estabelece os pesos relativos assim como as prioridades dos elementos de um nível da hierarquia em relação a cada um dos elementos do nível superior. A estrutura hierárquica do

método utiliza a estrutura de Árvore de Decisão onde os critérios de julgamento estão agrupados em diversos níveis hierárquicos e as linhas de ação ocupam o nível mais baixo. Conforme apresentado na figura D.1, a hierarquia tem pelo menos três níveis:

- O superior onde se localiza o objetivo principal do processo decisório;
- O intermediário contendo os múltiplos critérios que avaliarão as alternativas propostas; e
- O inferior composto por estas alternativas.

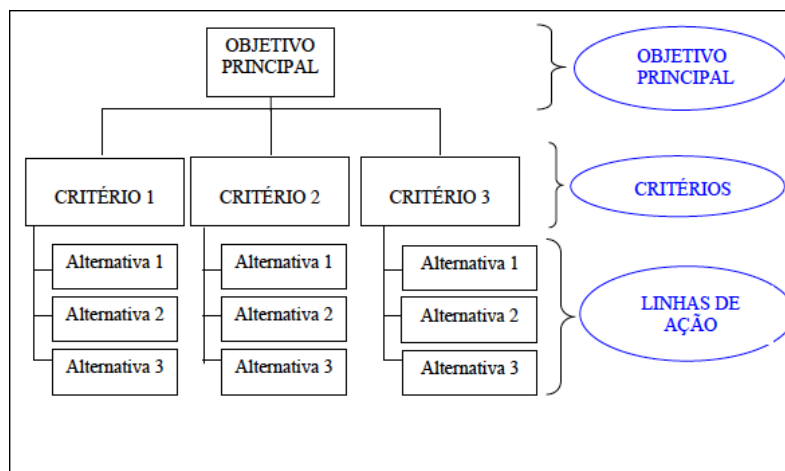


Figura D.1: Estrutura Hierárquica Utilizada no Método AHP. Fonte PINHO (2006)

O método parte de uma situação não estruturada e complexa, decompondo-a em partes ordenadas hierarquicamente e, através de julgamentos sucessivos, obtém a melhor solução para o problema. Ele combina o uso de duas abordagens:

- a abordagem dedutiva, que decompõe o sistema em partes, para a melhor compreensão do comportamento e funcionamento;
- a abordagem de sistemas, que busca analisar o comportamento do sistema como um todo, não importando suas partes constituintes.

Para SAATY (1991) a estrutura hierárquica “É uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais e seus impactos no sistema total”. A seguir são apresentadas algumas vantagens da estrutura hierárquica:

- A representação hierárquica de um problema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos.

- É estável e flexível. Estável porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; e flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada, em geral, não perturbam o desempenho global.
- Sistemas naturais montados hierarquicamente, através de construção modular e montagem final de módulos, desenvolve-se muito mais eficientemente do que aqueles montados de um modo geral. Utilizando esta estrutura hierárquica, o método AHP determina a força com a qual vários elementos de um nível influenciam os elementos do nível mais alto seguinte.

Nesse procedimento, denominado Comparação Paritária, os elementos do nível inferior são comparados com um elemento X do nível superior utilizando uma escala própria de 9 pontos definida por SAATY (1991), denominada Escala Fundamental e apresentada na Tabela D.1, a seguir.

Tabela D.1: Escala Fundamental. Fonte SAATY (1991) apud PINHO (2006)

<b>Intensidade da Importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Mesma Importância	As duas atividades contribuem igualmente para os objetivos
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem uma atividade levemente em relação a outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem uma atividade fortemente em relação a outra
7	Importância muito grande	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra e pode ser demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade $i$ recebe uma designação diferente de zero, comparadas com $j$ , então $j$ tem o valor recíproco quando comparada com $i$	Uma designação razoável

Conforme já mencionado, o método utiliza uma escala de proporções, através de comparações de pares de elementos em relação a um dado critério imediatamente superior, partindo do topo da hierarquia. Para  $m$  critérios,  $C_1, C_2, \dots, C_m$ , é construída uma escala de proporção, que evidencia a importância relativa de cada critério em relação a cada um dos outros. Essa importância relativa é manifestada através do julgamento de especialistas, que se baseiam na escala fundamental do

AHP, para representar a importância relativa de um elemento sobre outro. Os julgamentos quantificados em pares de critérios  $C_i$  e  $C_j$  são armazenados na Matriz de Comparações Paritárias  $m \times m$ :

$$M = \{a_{ij} : i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, m\}$$

Após a realização de todos os julgamentos quantificados dos pares  $C_i, C_j$  tem-se a matriz  $M_{m \times m}$ , com a seguinte forma:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & a_{24} \\ & & 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 \\ 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1/a_{34} & 1 \end{bmatrix}$$

Os elementos  $a_{ij}$  são definidos pelas seguintes regras:

Regra 1: Se  $a_{ij} = a$ , então  $a_{ji} = 1/a$ , onde  $a > 0$ .

Regra 2: Se  $C_i$  é julgado como de igual importância relativa a  $C_i$ , então  $a_{ij} = 1$ ,  $a_{ji} = 1$

Regra 3: Atribuir na posição onde a linha  $C_i$  encontra a coluna  $C_j$ :

Valor = 3: Se  $C_i$  for um pouco mais importante do que  $C_j$ ;

Valor = 5: Se  $C_i$  for muito mais importante do que  $C_j$ ;

Valor = 7: Se  $C_i$  for clara e fortemente mais importante do que  $C_j$ ;

Valor = 9: Se  $C_i$  for absolutamente mais importante do que  $C_j$ .

Todos os elementos diagonais  $a_{ii} = 1$  para  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Buscando a Ordem de Prioridade, uma alternativa é considerada superior a outra, se ela domina a segunda alternativa em um número de fatores maior que o número de fatores nos quais a segunda alternativa domina a primeira. Cada elemento  $a_{ij}$  do vetor linear da matriz representará a dominação da alternativa  $a_i, j$  sobre a alternativa  $a_{i+1}, j$ .

Para isso, SAATY (1991) propõe que após a construção da matriz de comparação paritária, ou matriz de julgamento, e a verificação de sua consistência, o próximo passo seja o cálculo do vetor de prioridade. Este vetor estabelecerá uma ordenação cardinal entre os elementos comparados.

Vários métodos foram propostos para realizar o cálculo do vetor de prioridade. No entanto, SAATY (1991) demonstrou que o melhor processo para lidar com a inconsistência da matriz de comparação paritária é o método do autovetor direito. O autovetor com maior autovalor, autovetor principal, é escolhido para definir as prioridades.

Após a execução de todas as fases do Método AHP, o vetor de prioridades resultante poderá ser utilizado das formas descritas a seguir SAATY (1991):

- No caso de escolha entre alternativas: selecionar a alternativa de mais alta prioridade;
- No caso de alocação de recursos: avaliar o custo das alternativas, computar a razão custo/benefício e alocar os recursos de acordo com tais resultados; e
- No caso de priorização de custos: alocar os recursos proporcionalmente às prioridades.

Desse modo, o Método AHP ao longo de seu emprego vêm se mostrando como uma importante ferramenta gerencial por contribuir significativamente para a organização da complexidade dos problemas que se apresentam e na identificação das prioridades que refletem suas crenças e atitudes. O objetivo do modelo é desenvolver uma ordem consistente, buscando como resultado uma síntese de julgamentos de vários especialistas. Os resultados devem combinar com aquilo que, intuitivamente, espera-se ser um resultado racional. Assim, o AHP é um instrumento poderoso para aqueles que desejam implementar prospecção de suas próprias estratégias PINHO (2006).

## **D.2 Raciocínio Aproximado em lógica *fuzzy***

Segundo ARRUDA (2006), o raciocínio aproximado (*fuzzy*), corresponde a um processo de inferência que deriva conclusões a partir de um conjunto de regras nebulosas e de fatos conhecidos.

O procedimento de inferência se compõe de duas etapas principais: avaliação de cada uma das regras e agregação dos resultados obtidos para todas as regras.

No primeiro estágio, é gerado um valor para a regra, a partir do vetor de premissas utilizado (dados de entrada). Este valor é resultante da combinação da parte antecedente com a parte conseqüente. Para cada regra obtemos assim, um determinado grau de ativação ( $w_i$ ), que indica a aplicabilidade da regra numa situação particular, isto é, o quanto aqueles dados de entrada, satisfazem às condições daquela regra.

Este passo corresponde, portanto, a avaliação do nível de compatibilidade dos dados de entrada com os antecedentes da regra e posterior “ativação” dos conseqüente empregando esses valores obtido.

Uma vez que tenhamos avaliado o efeito de um determinado vetor de premissas para cada uma das regras, precisamos que as respostas sejam combinadas de forma a obter um conjunto nebuloso correspondente a conclusão do processo de inferência. Esta etapa equivale a combinação dos conjuntos resultantes das regras, para chegar a um conjunto nebuloso final, relativo a conclusão da base de regras como um todo.

No sistema de inferência nebulosa, proposto originariamente por MAMDANI e ASSILIAN (1999) e bastante disseminado, é empregado o operador de mínimo para a avaliação das regras, e o operador de máximo para a etapa de agregação.

### **D.3 Sistemas de Inferência *fuzzy***

Para RIGONI (2009), dada uma base de conhecimento *fuzzy* representativa de um sistema, e um vetor de entradas crisp, pode-se definir Inferência *fuzzy* como: o processo pelo qual obtemos as conclusões ou saídas de tal sistema, pela avaliação dos níveis de compatibilidade das entradas com as condições impostas pela referida base de conhecimento (regras). O conjunto *fuzzy* resultante (conclusão) pode ou não, de acordo com a necessidade, ser convertido para um escalar chamado de valor condensado ou "desfuzzyficado". O processamento dos antecedentes, os indicadores de disparos das regras e os operadores utilizados em um sistema de conhecimento *fuzzy* são definidos, de acordo com a semântica, pelo mecanismo de inferência. Desta forma, então, é executado o processamento de conhecimento.

Para ARRUDA (2006), um Sistema *fuzzy* pode ser definido como uma estrutura computacional baseada nos conceitos da teoria dos conjuntos *fuzzy*, nas regras *fuzzy* e no raciocínio aproximado.

Dada a sua natureza multidisciplinar é também conhecido por vários outros nomes, tais como Sistemas Especialistas *fuzzy*, Sistemas *fuzzy* Baseados em Regras ou Modelos *fuzzy*.

É importante ressaltar aqui a diferença entre estes e os Sistemas Especialistas denominados como "convencionais" por COX (1994), que empregam a lógica clássica como base para seu mecanismo de inferência.

Apesar de vários pontos em comum, existem alguns aspectos que diferenciam significativamente os Sistemas Especialistas convencionais dos Sistemas Especialistas *fuzzy*, dando a estes últimos uma série de vantagens. Uma distinção que podemos fazer, é que os Sistemas Especialistas clássicos normalmente usam variáveis discretas ou variáveis simbólicas convertidas em números discretos. Desta forma precisam manipular uma quantidade imensa de regras, da ordem de centenas ou milhares, enquanto que nos Sistemas *fuzzy*, que manipulam variáveis linguísticas, a base de regras normalmente se situa na faixa entre 20 e 100 regras SHAW (1999). Como são construídos a partir dos instrumentais da lógica nebulosa, os Sistemas *fuzzy* podem expressar melhor as imprecisões e aproximações dos processos de decisão dos especialistas, além de serem mais robustos e conseguirem trabalhar bem até mesmo com falta de regras em sua base.

Outro aspecto diferenciador é que os Sistemas Especialistas clássicos são executados serialmente e usam heurísticas de poda para reduzir o número de regras a

serem examinadas, enquanto que os Sistemas *fuzzy* empregam o paradigma do processamento paralelo e todas as regras são ativadas, acumulando evidências contra e a favor. Aquelas regras cujas premissas não possuem nenhum grau de verdade, não contribuem com o resultado final.

MAMDANI e ASSILIAN (1999) propôs um método de inferência que foi por muitos anos um padrão para a utilização dos conceitos da lógica *fuzzy* em processamento de conhecimento. As regras de produção em um modelo de Mamdani possuem relações *fuzzy* tanto em seus antecedentes como em seus consequentes. O modelo de Mamdani possui módulos de interface que transformam as variáveis de entrada baseadas em grandezas numéricas (*crisp*), em conjuntos *fuzzy* equivalentes e, posteriormente, as variáveis *fuzzy* geradas em variáveis numéricas (*crisp*) proporcionais. A Figura D.2 apresenta um diagrama do modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani. Os dados provenientes da interface com o usuário são "fuzzyficados" no módulo de conversão Escalar  $\Rightarrow$  *fuzzy*, a máquina de inferência recebe estes dados e processa as regras existentes na base de conhecimento gerando, a partir da composição de todas as regras disparadas, um conjunto *fuzzy* de saída para o módulo de conversão *fuzzy*  $\Rightarrow$  Escalar que "desfuzzyfica" os resultados do processo de inferência, para posterior apresentação ao usuário. Uma regra é disparada quando o processamento dos antecedentes para as entradas atuais gera graus de pertinência maiores que zero.

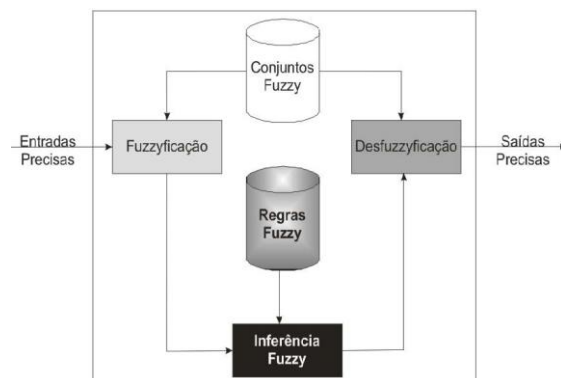


Figura D.2: Diagrama de modelos e Inferência. Fonte BOENTE (2003)

No modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani, a regra semântica tradicionalmente usada para o processamento de inferência é denominada de Máx-Min, a qual, segundo REZENDE (2003), utiliza as operações de união e interseção entre conjuntos da mesma forma que ZADEH (1965), por meio de operadores de máximo e mínimo, respectivamente.

Para ilustrar os conceitos abordados neste item, RIGONI (2009) mostra um exemplo de processo de inferência *fuzzy*. No caso desse exemplo, figura D.3, o usuário pondera 2 Quesitos (Documentação da Manutenção e Documentação do Sistema), os quais irão compor o processo da avaliação do Critério (Disponibilidade



da Informação/Recursos) o qual faz parte da avaliação da Etapa 0 do procedimento de referência. O primeiro Quesito foi ponderado com uma Nota 1,8, a qual tem um grau de pertinência  $\mu = 0,2$  ao termo primário Ruim e  $\mu = 0,8$  ao termo primário Baixa. O segundo Quesito foi ponderado com uma Nota 7,5, a qual tem um grau de pertinência  $\mu = 1,0$  ao termo primário Alta. Os termos primário se referem a aderência da empresa/sistema aos Quesitos ponderados.

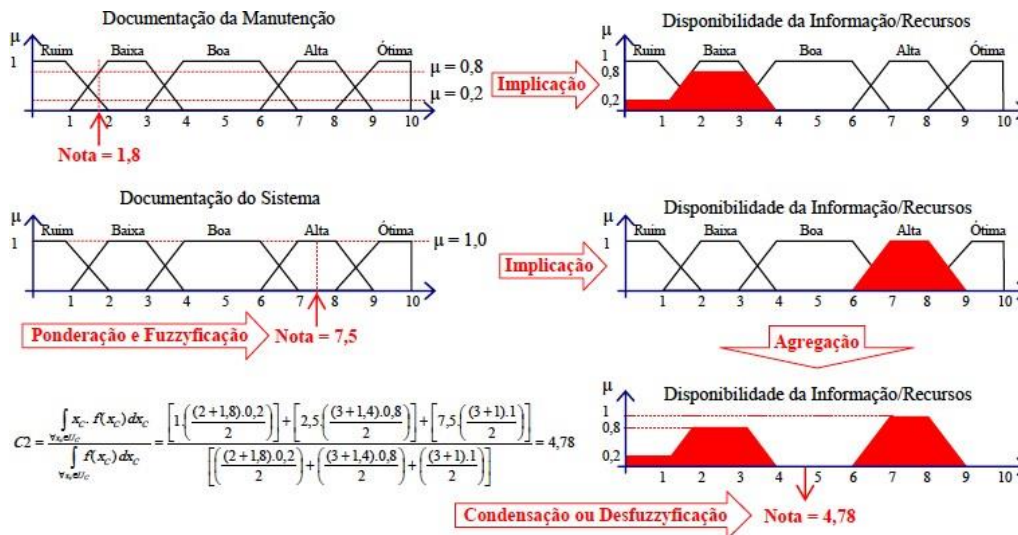


Figura D.3: Modelo de inferência fuzzy. Fonte RIGONI (2009)

### D.3.1 Otimização fuzzy

Segundo ARRUDA (2006) a otimização fuzzy é um conjunto de técnicas que são empregadas em problemas de otimização e que objetivam trabalhar em ambientes de decisão caracterizado pela incerteza, fazendo uso da teoria dos conjuntos fuzzy. Podemos dizer em outras palavras, que a otimização fuzzy pode ser entendida como um problema clássico de otimização, flexibilizado de forma a permitir a tomada de decisão num escopo mais amplo e flexível, uma vez que podemos, por exemplo, não querer descartar uma decisão muito favorável apenas por que violaria uma restrição excessivamente rígida.

A maioria dos modelos convencionais de otimização (programação linear ou não linear) não contemplam certas características encontradas em problemas práticos:

- Incertezas nos dados;
- Restrições flexíveis;
- Múltiplos objetivos;

O principal objetivo na otimização fuzzy, é encontrar a “melhor” alternativa de decisão, a partir de informação incompleta ou imprecisa, com limites pouco definidos.

No tratamento de incertezas, a abordagem *fuzzy* representa uma formulação generalizada de intervalos que são manipulados segundo algumas regras, similarmente ao cálculo de intervalos utilizando *a – cuts*. Na abordagem da flexibilização, o aspecto *fuzzy* representa o grau de satisfação das restrições ou o nível de aspiração das metas, que apesar de serem essencialmente *crisp*, assumem ter alguma flexibilidade que pode ser explorada para melhorar a otimização do objetivo. No estudo de caso apresentado adiante, a formulação dentro desses termos se refere à flexibilidade de metas e restrições FELIZARI e LÜDERS (2003).

Para ARRUDA (2006) e FELIZARI e LÜDERS (2003) a Programação Linear *fuzzy* pode ser visto como um caso particular da otimização *fuzzy*. É importante salientar, no entanto que a programação linear *fuzzy* não consiste de um modelo único, mas sim de uma série de modelos, cuja formulação depende dos pressupostos ou características do problema tratado. No caso da programação linear *fuzzy* temos dois aspectos que são comuns a todas as propostas:

i) existência de uma “situação de base” - ou seja um conjunto de valores cuja pertinência é igual a um, correspondendo ao conjunto de valores que atende inteiramente às restrições estipuladas. Difere basicamente do PL clássico, porque não é o único conjunto permitido, outros conjuntos com valores que contrariam em diferentes graus às restrições do problema também são aceitos, porém com um grau de pertinência menor;

ii) necessidade de tomar decisões – normalmente na formulação do PL clássico a decisão ótima já é a própria solução do problema, mas no caso da PLN, que leva em consideração a incerteza, é necessário decidir o quanto se está disposto a aumentar o risco em troca de obter uma solução “melhor”.

O problema geral de programação linear *fuzzy*, com flexibilidade nos coeficientes tecnológicos dadas por  $n$  variáveis de decisão, uma função objetivo,  $m$  restrições, é formulado por ZIMMERMANN (1985) como:

$$\text{Maximizar } f(x) = c^T x$$

$$x \in X$$

sujeito a:

$$Ax \text{ } \overset{\sim}{\sim} b$$

$$x \geq 0$$

onde:

$$c, x \in R^n, b \in R^m, A \in R^{m \times n}$$

O símbolo  $\overset{\sim}{\sim}$  denota uma flexibilidade das restrições, indicando que  $Ax \overset{\sim}{\sim} b$  pode ser satisfeito num grau menor do que 1. Vamos assumir que pode ser estabelecido um nível de satisfação  $z$ , para o valor da função objetivo que desejamos atingir e definimos para cada restrição um conjunto *fuzzy*. Vamos representar a função objetivo e as restrições como conjuntos *fuzzy*, e então agrega-los de forma a maximizar

a decisão. Vale ressaltar, que tanto a função objetivo, como as restrições, recebem tratamento equivalente, fazendo com que este modelo seja chamado “simétrico” FELIZARI e LÜDERS (2003) apud ARRUDA (2006). Consideremos um desvio  $p_i$  para flexibilizar as restrições e/ou a função objetivo, com isso, se usamos funções de pertinência triangulares, podemos representar equações do tipo menor ou igual, maior ou igual, ou apenas igual, como mostrados nas figuras D.4, D.5 e D.6:

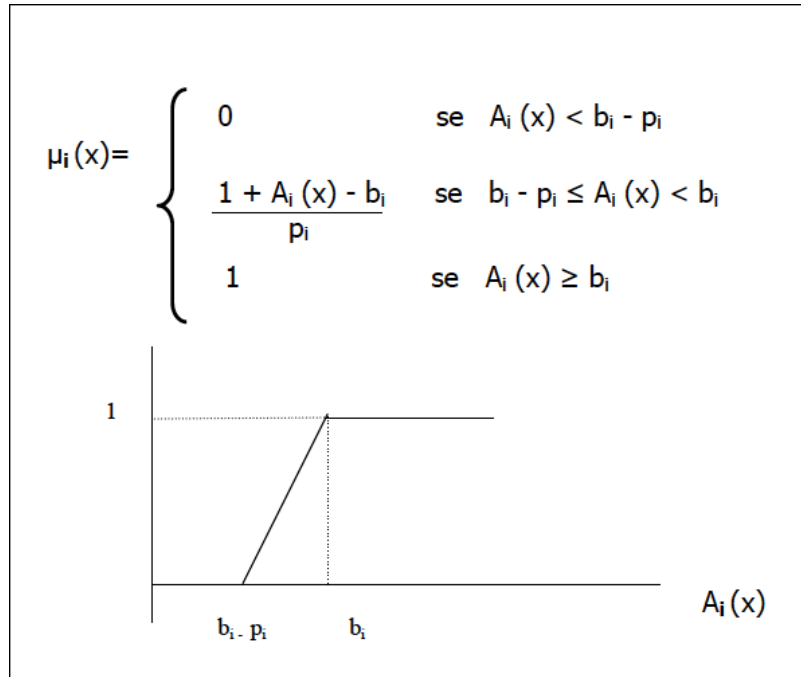


Figura D.4: Função de pertinência para restrições do tipo "maior ou igual". Fonte ARRUDA (2006)

Para ZIMMERMAN (1985), as funções acima podem ser usadas para representar tanto as restrições como a função objetivo. É justamente com base nessas funções que a transformação matemática mantém a linearidade no problema transformado de acordo com a proposta feita por BELLMAN e ZADEH (1970), que partem do pressuposto de que a tomada de decisão sobre as alternativas disponíveis resulta na interseção dos objetivos e das restrições, ou seja, pode ser interpretada como uma operação de mínimo entre estes conjuntos. A melhor decisão numérica, por sua vez é dada pela união das decisões sobre cada alternativa, que corresponde a operação de máximo entre conjuntos nebulosos.

Em termos práticos, a função objetivo é transformada numa restrição adicional e a decisão “ótima” é considerada a interseção do conjunto “x satisfaz as restrições” com o conjunto “x satisfaz o objetivo”.

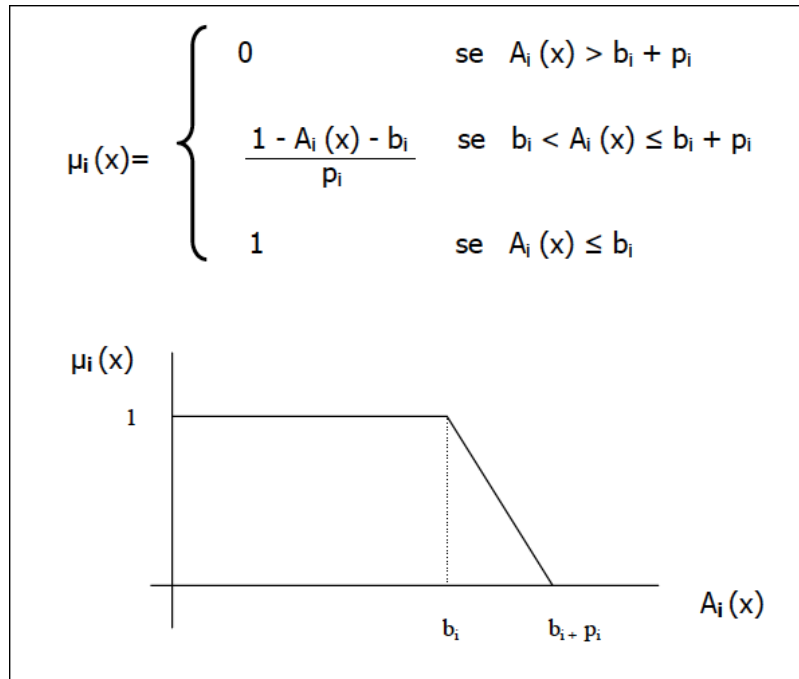


Figura D.5: Função de pertinência para restrições do tipo "menor ou igual". Fonte ARRUDA (2006)

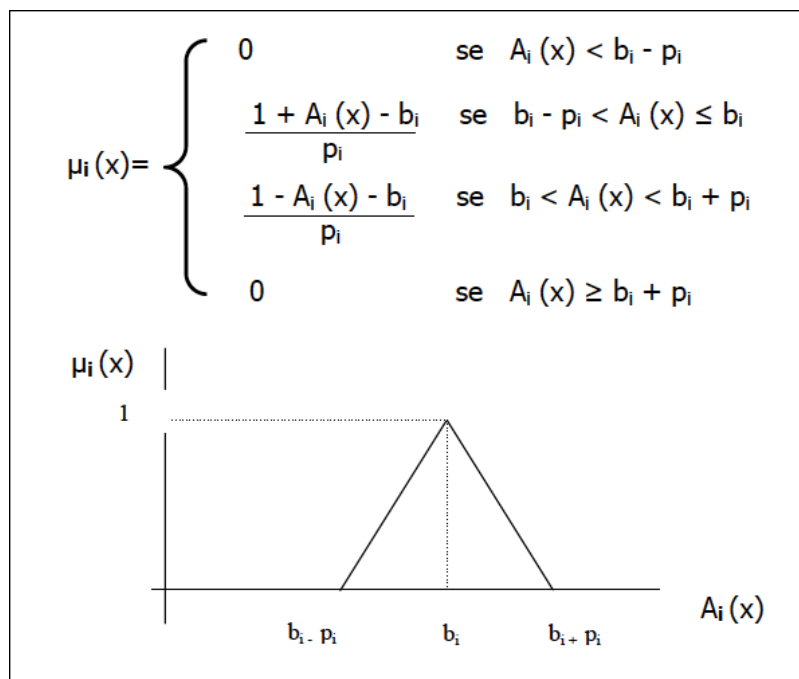


Figura D.6: Função de pertinência para restrições do tipo "igual". Fonte ARRUDA (2006)

## D.4 Programação de projetos através da lógica *fuzzy*

De acordo com ARRUDA (2006), o grande motivo para o uso de lógica *fuzzy* na programação de projetos é a falta de dados históricos para a determinação da dis-

tribuição probabilística das durações das atividades. Sendo assim, profissionais com experiência no assunto do projeto estimam as durações das atividades. Como essas estimativas podem ser vagas e imprecisas, em vez de usar distribuições de probabilidade, a literatura recomenda o uso de números *fuzzy*, de forma a representar uma função de pertinência baseada na teoria de possibilidade.

KE e LIU (2007) apud ARRUDA (2009) consideraram o problema de programação de projetos com incerteza mista de aleatoriedade e lógica *fuzzy*, com as durações das atividades sendo variáveis *fuzzy* aleatórias.

São propostos três tipos de modelos para diferentes requisitos gerenciais:

*fuzzy* como modelo de minimização do custo esperado, modelo de minimização de custo ( $\alpha, \beta$ ) e o modelo de maximização das chances.

Simulações *fuzzy* aleatórias para algumas funções de incerteza são incorporadas no algoritmo genético, de forma a alcançar um algoritmo híbrido inteligente.

A idéia de Programação de Projetos *fuzzy* (FPS) segundo HAPKE *et al.* (1994), é de tratar as incertezas utilizando números *fuzzy* para as variáveis de tempo, apresentando a possibilidade de vários tipos de recursos e dois critérios possíveis para a avaliação da programação: o tempo total do projeto ( $C_{max}$ ) e a máxima latência ( $L_{max}$ ).

A programação de projetos *fuzzy* pode ser abordada com os seguintes passos HAPKE *et al.* (1994):

1. Formulação matemática;
2. Tratamento das incertezas;
  - (a) Modelagem das incertezas;
  - (b) Transformação em problema determinístico;
  - (c) Solução do problema determinístico;
3. Comparação entre números *fuzzy*.

#### 1. Formulação matemática

Segundo ARRUDA (2009), os recursos são renováveis e podem ser de  $K$  tipos, representados no conjunto  $R$ , por  $R_1, \dots, R_K$  com o limite de uso de  $N_1, \dots, N_K$  unidades em cada unidade de tempo. O conjunto  $Z$  é composto de  $n$  atividades, com necessidades discretas de recursos, representadas pelo vetor  $r = [r_1, \dots, r_k]$ . Para cada atividade  $Z_j$ , são conhecidos os seguintes parâmetros de tempo: a duração  $\tilde{p}$  e a data devida (em que precisa estar pronta)  $\tilde{d}$ . Os parâmetros citados são modelados como números *fuzzy* (utilizando  $\tilde{\cdot}$ ).

Como as variáveis de tempo são números *fuzzy*, o tempo total do projeto também é representado assim ( $\tilde{\cdot}$ ).

A formulação matemática do problema é baseada na seguinte definição das variáveis binárias de decisão:

$$x_{jt} = \begin{cases} 1 & , \text{ se a atividade } Z_{ij} \text{ está terminada no instante } t \\ 0 & , \text{ caso contrário} \end{cases}$$

Os parâmetros  $\tilde{e}_j$ , instante mais cedo em que atividade pode ser concluída e  $\tilde{l}_j$  instante mais tarde em que a atividade pode ser concluída, são calculadas utilizando o Método de Caminho Crítico (CPM), utilizando a modelagem *fuzzy* devido às incertezas.

O conjunto  $B_j$  é composto das atividades predecessoras da atividade  $Z_j$ .

Então, o problema pode ser modelado da seguinte forma:

$$\min \tilde{C}_{max} = \sum_{t=\tilde{e}_n}^{\tilde{l}_n} tx_{nt}$$

ou

$$\min \tilde{L}_{max} = \max_j \{0, \sum_{t=0}^{\tilde{l}_j} (tx_{jt} - \tilde{q}_j)\}$$

Sujeito a:

- Restrições de precedência

$$\sum_{t=\tilde{e}_j}^{\tilde{l}_j} (t - \tilde{p}_j) x_{jt} - \sum_{t=\tilde{e}_f}^{\tilde{l}_f} tx_{ft} \geq 0, j = 1, \dots, n+1, \forall f \in B_j$$

- Restrições de recursos

$$\sum_{j=1}^n \sum_{q=t}^{t+\tilde{p}_j-1} r_{jk} x_{jq} \leq N_{kt}, K = 1, \dots, K, t = 1, \dots, T$$

A solução do problema pode ser feita pelos métodos conhecidos de programação *fuzzy* binária. Devido a grande escala dos problemas reais, a aplicação dos métodos exatos de solução fica inviável. HAPKE *et al.* (1994) propuseram, então, a abordagem heurística.

## 2. Tratamento das incertezas

Como visto anteriormente, os números *fuzzy* podem ser representados por seis pontos, com três cortes, baseados na função de pertinência. Os três passos propostos para tratar as incertezas são:

- iv. modelar as incertezas;
- v. transformar o problema com incertezas em um problema determinístico associado;
- vi. solucionar o problema determinístico associado, verificar os resultados e o possível retorno a (ii) para revisão de parâmetros.

### 2.1 Modelagem das incertezas

Um método adequado de se modelar as incertezas é, segundo ROMMELFANGER (1990) apud ARRUDA (2009), definir níveis de corte da função de pertinência. Para isso, ele propôs a seguinte divisão:

- $\alpha = 1$  :  $\mu(x) = 1$  significa que o valor de  $x$  certamente pertence ao conjunto de valores possíveis;

- $a = \lambda : \mu(x) > \lambda$  significa que os valores de  $x$  com  $\mu(x) \geq \lambda$  apresentam boas chances de pertencer ao conjunto de valores possíveis;
- $a = \varepsilon : \mu(x) < \varepsilon$  significa que valores estes valores de  $x$  têm poucas chances de pertencer ao conjunto de valores possíveis.

## 2.2 Transformação em problema determinístico

Como cada número *fuzzy* é composto de três  $\alpha$ -cortes, e cada  $\alpha$ -corte determina dois valores de durações de atividades, pode-se concluir que cada número *fuzzy* representa seis possíveis valores de duração.

Com estes seis valores de duração para cada atividade, o problema de programação de projetos com incerteza está associado a seis problemas determinísticos.

## 2.3 Solução do problema determinístico

Na fase de solução do problema, existem, então, seis programações diferentes, que devem ser ordenadas para a apresentação de um único resultado de programação *fuzzy*. No artigo original, é exibida uma primeira solução viável, que não leva em conta as restrições de recursos. Assim, o gerente de projeto pode perceber possíveis casos onde são usados muitos recursos por um curto período. Nestes casos, o gerente poderia reduzir a utilização dos recursos, implicando em *makespan* maior. Porém, quando o gerente restringe os recursos, é apresentada uma programação final *fuzzy*, relativo àquela oferta de recursos. O gerente poderia, então, fazer algumas configurações diferentes de recursos, obtendo com isso diferentes programações *fuzzy*. De posse dessas programações diferentes, ele escolhe qual é a configuração de recursos que lhe parecer mais favorável.

Nesta comparação entre as diferentes configurações de recursos, é necessária a utilização de técnicas para comparação de números *fuzzy*.

## 3. Comparação entre números *fuzzy*

Uma explicação básica sobre a comparação entre números *fuzzy* pode ser feita de forma intuitiva, considerando as áreas determinadas pelas funções de pertinência BALDWIN e GUILD (1979).

Sejam  $a$  e  $b$  números *fuzzy*, com  $S_L$  e  $S_R$  sendo as áreas determinadas pelas respectivas funções de pertinência (Figura D.7).

$$S_L(a \geq b) = \int_{U_1(a,b)} [\inf_{x \in R} I(a, x) - \inf_{x \in R} I(b, x)] dx$$

onde  $U_1(a, b)$  é um subconjunto de  $[\varepsilon, 1] : \{a | \inf_{x \in R} I(a, x) \geq \inf_{x \in R} I(b, x)\}$  e

$$S_R(a \geq b) = \int_{V_1(a,b)} [\sup_{x \in R} I(a, x) - \sup_{x \in R} I(b, x)] dx ,$$

onde  $V_1(a, b)$  é um subconjunto de  $[\varepsilon, 1] : \{a | \sup_{x \in R} I(a, x) \geq \sup_{x \in R} I(b, x)\}$

As áreas  $S_L(a \leq b)$  e  $S_R(a \leq b)$  podem ser definidos analogamente.

A partir dos resultados obtidos, os resultados devem ser analisados para se necessário revisar os parâmetro de entrada.

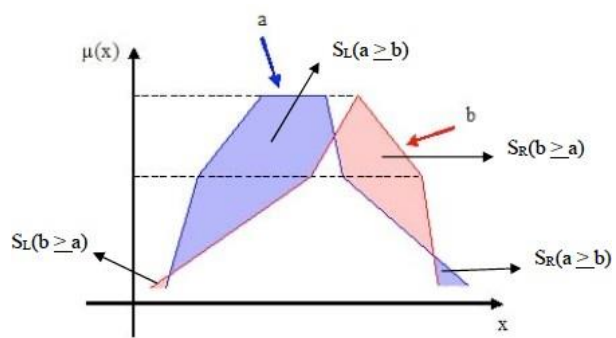


Figura D.7: comparação entre números *fuzzy*. Fonte ARRUDA (2009)



# Anexo E

## CoppeCosenzaR Package

O pacote CoppeCosenzaR foi desenvolvido em linguagem de programação R para implementar via software o método de localização (MAH) Coppe-Cosenza. Foi desenvolvido por Pier Giovanni Taranti e Leonardo Antônio Monteiro Pessôa.

Apesar de ser um método para implementar o modelo Coppe-Cosenza, ele é um modelo aberto que disponibiliza ao tomador de decisão uma ferramenta intuitiva, para hierarquizar e/ou selecionar através de variáveis linguísticas e preferências subjetivas, imprecisas ou vagas no modelo de projeto analisado. Ele pode ser utilizado além do contexto de localização industrial, como por exemplo competência organizacional, testes de personalidade, avaliação educacional, priorização de projetos, ainda muitos outros tipos de problema onde um modelo de decisão hierárquica *fuzzy* se faça necessário.

Por ser um ambiente de programação desenvolvido em código livre, o código do pacote está disponível no github, onde é possível postar problemas e erros. O endereço é:

<https://github.com/ptaranti/coppeCosenzaR>.

A seguir ilustraremos o uso do pacote a partir de um exemplo dado pelos autores.

### **O uso do Pacote**

É possível inserir dados para serem processados de duas maneiras diferentes: criar manualmente os objetos ou Fornecendo uma tabela. Primeiro discutiremos a criação manual de objetos, que também dará uma noção sobre o código interno que executa o software.

### **Criação manual de Opções/Portifólios de Projetos**

Um dos elementos principais a serem criados, são os fatores que serão usados. Um fator pode ser algo como estradas, logística Capacidade, eletricidade, mão de obra e assim por diante. O parâmetro para um Fator S4 é o nome dele.

```
##### Factors  
fat1 <- Factor("fat1")
```

```
fat2 <- Factor("fat2")
fat3 <- Factor("fat3")
fat4 <- Factor("fat4")
fat5 <- Factor("fat5")
```

Um projeto é um objeto composto pelo nome do projeto e o conjunto de critérios para todos os projetos. Um conjunto de critérios é composto por uma lista de critérios. O critério é a avaliação da importância de um fator para um projeto. Este nível deve respeitar os níveis estabelecidos (Cr, C, LC, I).

```
##### Project 1 criterion
p1.con1 <- Project.criterion(fat1, "Cr", FALSE)
p1.con2 <- Project.criterion(fat2, "C", TRUE)
p1.con3 <- Project.criterion(fat3, "I", FALSE)
##### Project 1 criteria
p1.cra <- Project.criteria(list(p1.con1, p1.con3, p1.con4, p1.con5))
##### Project 1
p1 <- Project("p1", p1.cra)
```

Uma opção é um objeto composto por seu nome e os recursos que ele possui. Os recursos são uma lista de disponibilidade de fatores para esta opção. A disponibilidade do fator é representada usando níveis estabelecidos (Ex, G, R, W, Em, Z, In).

```
##### Option 1 factor availability
o1.ofa1 <- Option.factor.availability(fat1, "W")
o1.ofa2 <- Option.factor.availability(fat2, "Ex")
o1.ofa3 <- Option.factor.availability(fat3, "G")
##### Option 1 option resources
o1.or <- Option.resources(list(o1.ofa1, o1.ofa2, o1.ofa3, o1.ofa4, o1.ofa5))
##### Option 1
o1 <- Option("o1", o1.or)
```

Opções e Projetos devem ser agrupados como carteiras para uso imediato ou futuro (por exemplo, usando o formato "rdata" ou exportar usando o método "as.data.frame ()"). As carteiras de projetos e opções são listas de projetos e opções, respectivamente.

```
##### project portfolio
pp <- Project.portfolio(list(p1, p4, p3, p2))
##### Option 1 option portfolio
op <- Option.portfolio(list(o1, o4, o3, o2))
```

Outra maneira de criar carteiras é usar tabelas como entrada. Como exemplo, uma planilha eletrônica pode ser usado para salvar dados no formato csv, que pode ser facilmente importado como "data.frame". A entrada para criar um portfólio de opções deve ter colunas denominadas como fatores e as linhas como opções, da seguinte maneira (tabela B.1):

Tabela E.1: data frame de Opções de Portifólio

	fat1	fat2	fat3	fat4	fat5
o1	W	Ex	G	R	G
o2	G	EX	Ex	R	R
o3	G	G	Em	R	Z
o4	Em	Z	Z	EX	G

Para criar carteiras de projetos, é necessário dois dados. A primeira avaliação dos fatores de exibição para cada projeto, mostrado na tabela B.2.

Tabela E.2: Portifólio de Projetos - data frame de avaliação

	fat1	fat2	fat3	fat4	fat5
p1	Cr	C	I	Cr	LC
p2	C	LC	C	Cr	C
p3	Cr	C	I	Cr	LC
p4	Cr	C	I	Cr	LC

A segunda com a mesma ordem de colunas e linhas, informando se o fator é específico ou não para um Projeto, apresentado na tabela B.3.

Todas as informações serão verificadas na construção dos objetos associados. Uma vez que as carteiras estejam disponíveis, é possível chamar o construtor "Coppe.cosenza ()". O objeto resultado, engloba as informações necessárias para fornecer o resumo ao usuário.

O primeiro passo é definir o conjunto de fatores de interesse, já que muitos outros podem estar disponíveis nos portfólios.

Tabela E.3: Portifólio de Projetos - data frame de fatores específicos

	fat1	fat2	fat3	fat4	fat5
p1	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE
p2	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
p3	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	TRUE
p4	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE

```
##### factors of interest
foi <- Factors.of.interest(list(fat2, fat3, fat4, fat5))
```

Agora, é possível executar o método. É possível analisar um conjunto de projetos contra um conjunto de opções, ou mesmo analisar projetos e opções individualmente, como mostrado:

```
##### executing the method (project portfolio and option portfolio)
Coppe.cosenza(pp, op, foi, "default", FALSE)
##### executing the method (single project and option portfolio)
Coppe.cosenza(p1, op, foi, "default", FALSE)
##### executing the method (project portfolio and single option)
Coppe.cosenza(pp, o1, foi, "default", FALSE)
```

Os parâmetros são o portfólio de projeto/projeto, carteira de opção/opção, fatores de interesse, nome da matriz de agregação e opção de normalização.

O resultado será o objeto "Coppe.cosenza". Se impresso, mostra uma tabela com os resultados. A Tabela B.4 apresenta uma avaliação de um conjunto de projetos, contra um conjunto de opções.

Tabela E.4: Tabela de avaliação

	o1	o2	o3
p2	3.50	2.75	1.25
p3	4.00	4.00	
p4			

O método de resumo fornecerá informações úteis para o analista:

```
-----Coppe.cosenza method-----
Warning messages:
Disregarding projects with NA value for any factors: p1
Disregarding options with NA value for any factors: o4
-----
Solutions using the Aggregation.matrix.default
-----
Project Option Aggregate.value
4 p3 o1 4.00
5 p3 o2 4.00
1 p2 o1 3.50
2 p2 o2 2.75
3 p2 o3 1.25
-----
Incompatible solutions using the Aggregation.matrix.default:
-----
Dropped Project Incompatible Option
1 p3 o3
2 p4 o1
3 p4 o2
4 p4 o3
-----
```

Conforme apresentado em resumo, projetos e opções sem avaliação para um fator considerado serão retirados antes dos cálculos, e também projetos que requerem recursos específicos que não estão disponíveis em uma opção também não serão considerados para a opção acima mencionada

A Tabela B.5 apresenta o resultado do uso do método para analisar um projeto (p3) contra um portfólio de opções.

Tabela E.5: Tabela de avaliação - Um projeto x Portifólio de Opções

	o1	o2	o3
fat2	1.25	1.25	1.00
fat3	1.50	1.75	0.01
fat4	0.00	0.00	0.00
fat5	1.25	1.00	

O resumo resultante é apresentado abaixo, e inclui estatísticas para cada opção possível.

```
-----Coppe.cosenza method-----
Warning messages:
Disregarding options with NA value for any factors: o4
-----
Solutions for p3
Using Aggregation.matrix.default
-----
Project p3 cannot use option o3 since factor fat5 is specific and not satisfied
-----
Options and factor value analysis - considering project p3
Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
o2 0 0.7500 1.125 1 1.375 1.75
o1 0 0.9375 1.250 1 1.312 1.50
-----
```

Os níveis de 0 ++ e 0+ foram estabelecidos como 0,01 e 0,001, respectivamente, para permitir soluções de cálculo e priorização. Esses valores ocorrem quando um fator que é irrelevante para um projeto apresenta o nível *Vazio* ou *Zero* em uma opção.