

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE  
INVESTIMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA COM FOCO EM GANHOS  
OPERACIONAIS E FINANCEIROS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Bruno Niederauer Soares**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2015**



# **METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM FOCO EM GANHOS OPERACIONAIS E FINANCEIROS**

**Bruno Niederauer Soares**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de grau de **Mestre em Engenharia Elétrica.**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Alzenira da Rosa Abaide**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Soares, Bruno Niederauer

Metodologia para priorização de investimentos em redes de distribuição de energia elétrica com foco em ganhos operacionais e financeiros. / Bruno Niederauer Soares.- 2015.

149 p.; 30cm

Orientadora: Alzenira da Rosa Abaide

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, RS, 2015

1. Método AHP 2. Método PROMETHEE 3. Programação Linear Inteira 4. Método Branch-and-Bound. Planejamento 5. Priorização. Otimização I. Abaide, Alzenira da Rosa II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Bruno Niederauer Soares. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: brunon@rge-rs.com.br

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a  
Dissertação de Mestrado

**METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE  
INVESTIMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA COM FOCO EM GANHOS  
OPERACIONAIS E FINANCEIROS**

elaborado por  
**Bruno Niederauer Soares**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Elétrica**

**Comissão Examinadora**

---

**Alzenira da Rosa Abaide, Dr<sup>a</sup>.**  
(Presidente/Orientadora)

---

**Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. (UFSM)**

---

**Paulo Ricardo da Silva Pereira, Dr. (UNISINOS)**

Santa Maria, 13 de Março de 2015.



À minha família.

“Faça o que for necessário para ser feliz. Mas não se esqueça que a felicidade é um sentimento simples, você pode encontrá-la e deixá-la ir embora por não perceber sua simplicidade”

*Martha Medeiros*





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde, força, coragem e determinação, para vencer este grande desafio em minha vida.

Agradeço a professora Alzenira da Rosa Abaide, pela orientação, confiança e amizade.

Agradeço aos meus pais Jorge Carlos Trindade Soares e Isabel Cristina Niederauer Soares, as minhas irmãs Bibiana Niederauer Soares e Isabela Niederauer Soares; pessoas essenciais em minha vida, por todo carinho, suporte e confiança que sempre tiveram em mim. Obrigado por sempre terem acreditado e me apoiado em todos os momentos de minha vida até aqui.

Em especial à minha amada esposa Laiane Schirmer Soares, sem a qual com certeza não estaria concluindo este trabalho. Obrigado pelo carinho, por sempre ter acreditado em mim, me apoiado e não ter deixado desanimar. Sei que em muitas vezes acabei estando ausente. Eu a amo muito e sou muito grato por tudo que fazes por mim e por nossa família. Ter você e nossa pintinha na minha vida é o maior presente que já recebi.

Também em especial à minha pequena e amada filha Agatha Schirmer Soares, por quem vivo, trabalho e me dedico em ser uma pessoa melhor. Que seu papai possa lhe ensinar todos os valores desta vida e ser um exemplo de quem possa te orgulhar e inspirar.

*“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar”. Chico Xavier*



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria

### **METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM FOCO EM GANHOS OPERACIONAIS E FINANCEIROS**

Autor: Bruno Niederauer Soares

Orientadora: Alzenira da Rosa Abaide, Dra. Eng.

Data e Local da defesa: Santa Maria, 06 de Março de 2015.

O atual cenário do setor elétrico brasileiro, através das constantes e recentes alterações regulatórias impostas pela ANEEL nos últimos anos, tem como objetivo garantir a melhoria contínua nos padrões de qualidade no fornecimento de energia elétrica, aumentando significativamente a fiscalização sobre a qualidade da energia entregue aos consumidores. Seguindo esta diretriz, a ANEEL instituiu o Fator X, que define o volume de investimentos mínimos exigidos às empresas de distribuição de energia elétrica. Em 2010, através do PRORET a ANEEL estabeleceu uma nova metodologia para o cálculo do Fator X, incluindo o componente Q, referente à qualidade do serviço prestado, configurando como um marco no recente histórico regulatório do setor elétrico brasileiro, pois permite pela primeira vez ganhos no reajuste tarifário anual ou perdas de acordo com o desempenho medido no ano.

Neste contexto de inovações regulatórias e exigências cada vez maiores com os padrões de desempenho e níveis de investimentos realizados no sistema elétrico, a aplicação correta e eficiente dos cada vez mais escassos recursos disponíveis para melhoria e ampliação do sistema elétrico se apresentam como um desafio vital à saúde financeira das empresas do setor elétrico. Este trabalho apresenta uma metodologia para priorização de investimentos em redes primárias de distribuição de energia elétrica, associando duas consolidadas metodologias de auxílio à tomada de decisões de elevada complexidade (AHP e PROMETHEE) e métodos de pesquisa operacional para otimização no planejamento de obras de melhoria a serem realizadas no horizonte de curto prazo, com reflexo direto nas questões regulatórias, buscando ainda contemplar características regionais da empresa e a capacidade de execução de obras de cada região.

**Palavras-chave:** Método AHP. Método PROMETHEE. Programação Linear Inteira. Método Branch-and-Bound. Planejamento. Priorização. Otimização.



## **ABSTRACT**

Master's Dissertation  
Graduate Program in Electrical Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil.

### **METHODOLOGY INVESTMENT PRIORITIZATION IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH FOCUS ON FINANCIAL AND OPERATING PROFIT**

Author: Bruno Niederauer Soares  
Advisor: Alzenira da Rosa Abaide, Dra. Eng.  
Date e Local of presentation: March 06, 2015, Santa Maria.

The current scenario of the Brazilian electricity sector, through the constant and recent regulatory changes imposed by ANEEL in recent years, aims to ensure continuous improvement in quality standards in the provision of electricity, significantly increased surveillance on the power quality delivered to consumers. Following this guideline, ANEEL established X Factor, which set the minimum volume of investments required to electricity distribution companies. In 2010, through the PRORET ANEEL established a new methodology for the calculation of the X Factor, including the Q component, relating to quality of service, setting a milestone in the recent regulatory history of the Brazilian electricity sector, as it allows for the first time gains the annual tariff adjustment or loss according to the performance measured in the year. In this context of regulatory innovations and increasing demands with performance standards and levels of investment made on the electrical system, the correct and efficient use of increasingly scarce resources to improve and expand the electrical system are presented as a vital challenge to financial health of companies. This paper presents a methodology for prioritizing investments in primary networks of electricity distribution, involving two consolidated methodologies aid to decision-making high complexity (AHP and PROMETHEE) and operations research methods to optimize the planning of improvement works to be held in short-term horizon, with direct reflection on regulatory issues, seeking still accommodate regional characteristics of the company and the ability to execute works of each region.

**Key-words:** AHP. PROMETHEE. Integer Linear Programming. Branch-and-Bound. Planning. Prioritization. Optimization.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Componente P do Fator X .....	64
Tabela 3.2 – Comparações do AHP. ....	74
Tabela 3.3 – Modelo da tabela de comparações dos critérios utilizada.....	76
Tabela 3.4 – Índices de inconsistência aleatória para o método AHP .....	80
Tabela 4.1 – Resumo Impacto UMO's quanto aos Critério estabelecidos na Regional Centro .....	97
Tabela 4.2 – Tabela de Comparação entre os Critérios (Avaliação Especialistas). 98	
Tabela 4.3 – Média Geométrica da Avaliação dos Especialistas .....	99
Tabela 4.4 – Matriz Normalizada dos Cirtérios .....	99
Tabela 4.5 – RI – Índice de Inconsistência Aleatória Método AHP .....	100
Tabela 4.6 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério DEC .....	100
Tabela 4.7 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério FEC .....	101
Tabela 4.8 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério DIC/FIC/DMIC .....	101
Tabela 4.9 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério Nível Tensão .....	101
Tabela 4.10 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério Risco de Imagem. 102	
Tabela 4.11 – Cálculo $I_c$ e $R_c$ matriz alternativas .....	102
Tabela 4.12 – Índice de Prioridade de Cada UMO.....	103
Tabela 4.13 – Relação obras de melhoria elencadas e sugeridas para cada UMO 105	
Tabela 4.14 – Cálculo índices de Preferência de cada obra $Q(a)$ .....	118
Tabela 4.15 – Amostra da Relação Obras Pré-Selecionadas .....	125
Tabela 4.16 – Amostra da Relação Obras Pré-Selecionadas .....	126
Tabela 5.1 – Relação total de obras de melhoria .....	132
Tabela 5.2 – Relação de obras de melhoria pré-selecionadas (Linha de Corte – PROMETHEE) .....	132
Tabela 5.3 – Detalhe obras selecionadas por meio do Diagrama de Pareto .....	134
Tabela 5.4 – Detalhe obras selecionadas pela metodologia proposta .....	135
Tabela 5.5 – Resumo final de obras selecionadas pelo Diagrama de Pareto .....	136
Tabela 5.6 – Resumo final de obras selecionadas pela metodologia proposta ....	136
Tabela 5.7 – Maximização dos Benefícios oferecidos por cada metodologia.....	136
Tabela 5.8 – Otimização da utilização do orçamento oferecidos por cada metodologia .....	136
Tabela 5.9 – Maximização quantidade de obras selecionadas para execução por cada metodologia.....	137





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 –	Objetivos Específicos do trabalho .....	26
Figura 2.1 –	Estrutura Hierárquica Básica Método AHP .....	33
Figura 2.2 –	Intersecção das funções de pertinência e obtenção da solução ótima .....	40
Figura 2.3 –	Estimativa de especialistas (de 0 a 10). .....	42
Figura 2.4 –	Comparação dos objetos em pares.....	42
Figura 2.5 –	Comparação dos Objetos em Pares .....	43
Figura 2.6 –	Definição das Prioridades dos Objetos.....	43
Figura 2.7 –	Fases do estudo de Pesquisa Operacional .....	49
Figura 2.8 –	Árvore de Decisões com Três Variáveis Binárias. ....	51
Figura 3.1 –	Fluxograma Completo da Metodologia de Priorização de Obras Proposta .....	59
Figura 3.2 –	Cálculo Reajuste Tarifário Anual a partir do 3º CRTP .....	63
Figura 3.3 –	Potencial de Ganho ou Perda do Componente Q. ....	66
Figura 3.4 –	Estrutura Hierárquica Básica.....	72
Figura 3.5 –	Matriz-exemplo de comparações paritárias.....	75
Figura 3.6 –	Posições transpostas dos valores de uma matriz de comparação. ...	75
Figura 3.7 –	Matriz inconsistente. ....	77
Figura 3.8 –	Matriz exemplo.....	78
Figura 3.9 –	Somatório linhas matriz exemplo .....	78
Figura 3.10 –	Cálculo $\lambda_i$ . ....	79
Figura 3.11 –	Representação racional da matriz consistente .....	83
Figura 3.12 –	Representação usual matriz do cálculo autovetor e autovalor.....	84
Figura 3.13 –	Funções de Preferência Típicas Método PROMETHEE .....	85
Figura 3.14 –	Função de preferência utilizada neste trabalho .....	87
Figura 3.15 –	Árvore de Decisões para o Método Branch-and-Bound. ....	89
Figura 3.16 –	Etapas Generalistas do Método Branch-and-Bound.....	90
Figura 4.1 –	Área de Abrangência RGE).....	91
Figura 4.2 –	UMO (Unidades Mínimas Operacionais) Regional Centro.....	93
Figura 4.3 –	Estrutura Hierárquica do Problema de Proposto .....	94
Figura 4.4 –	Impacto UMO's DEC Regional Centro .....	95
Figura 4.5 –	Impacto UMO's FEC Regional Centro .....	95
Figura 4.6 –	Impacto UMO's Compensações DIC/FIC/DMIC Regional Centro.....	96
Figura 4.7 –	Impacto UMO's Reclamações Nível de Tensão Regional Centro.....	96
Figura 4.8 –	Impacto UMO's Risco de Imagem Regional Centro .....	97
Figura 4.9 –	Índice de Prioridade de Cada UMO.....	103
Figura 4.10 –	Prioridades Médias Locais UMO SAG frente cada critério .....	104
Figura 4.11 –	Função de preferência Critério por Nível.....	106
Figura 4.12 –	Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério DEC .....	106

Figura 4.13 – Peso cada alternativa frente ao critério DEC .....	107
Figura 4.14 – Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério FEC.....	108
Figura 4.15 – Peso cada alternativa frente ao critério FEC .....	108
Figura 4.16 – Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério DIC/FIC/DMIC ...	109
Figura 4.17 – Peso cada alternativa frente ao critério DIC/FIC/DMIC .....	110
Figura 4.18 – Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério Reclamações NT	110
Figura 4.19 – Peso cada alternativa frente ao critério Reclamações NT .....	111
Figura 4.20 – Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério Risco de Imagem .....	112
Figura 4.21 – Peso cada alternativa frente ao Risco de Imagem.....	112
Figura 4.22 – Matriz Comparação alternativas a luz de cada critério. – CHI (DEC	114
Figura 4.23 – Matriz Comparação alternativas a luz de cada critério. – CI (FEC)..	114
Figura 4.24 – Matriz Comparação alternativas a luz de cada critério. – DIC/FIC/DMIC .....	115
Figura 4.25 – Matriz Comparação alternativas a luz de cada critério. – R. NT .....	115
Figura 4.26 – Matriz Comparação alternativas a luz de cada critério. – R. Imagem .....	116
Figura 4.27 – Matriz Comparação alternativas a luz de cada critério. – R. Imagem .....	117
Figura 4.28 – Gráfico dispersão obras priorizadas UMO SAG.....	118
Figura 4.29 – Sobreclassificação de Obras UMO SAG .....	119
Figura 4.30 – Gráfico dispersão obras priorizadas UMO CAL .....	119
Figura 4.31 – Sobreclassificação de Obras UMO CAL .....	120
Figura 4.32 – Gráfico dispersão obras priorizadas UMO PFU .....	120
Figura 4.33 – Sobreclassificação de Obras UMO PFU.....	120
Figura 4.34 – Gráfico dispersão obras priorizadas UMO SRO .....	121
Figura 4.35 – Sobreclassificação de Obras UMO SRO .....	121
Figura 4.36 – Gráfico dispersão obras priorizadas UMO TPA .....	121
Figura 4.37 – Sobreclassificação de Obras UMO TPA .....	122
Figura 4.38 – Gráfico dispersão obras priorizadas UMO ERE .....	122
Figura 4.39 – Sobreclassificação de Obras UMO ERE.....	122
Figura 4.40 – Gráfico dispersão obras priorizadas UMO FWE .....	123
Figura 4.41 – Sobreclassificação de Obras UMO FWE .....	123
Figura 4.42 – Gráfico dispersão obras priorizadas UMO PMI.....	123
Figura 4.43 – Sobreclassificação de Obras UMO PMI.....	124
Figura 4.44 – Tela de Programação Software Otimiza .....	127
Figura 5.1 – Seleção obras por meio do Diagrama de Pareto. ....	133
Figura 5.2 – Detalhe obras selecionadas por meio do Diagrama de Pareto. ....	133
Figura 5.3 – Seleção final de obras pela metodologia proposta. ....	134
Figura 5.4 – Detalhe obras selecionadas pela metodologia proposta. ....	135

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AHP	– Analytic Hierarchy Process.
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica.
CEA	– Associação Canadense de Eletricidade.
CHI	– Clientes Hora Interrompidos.
CI	– Clientes Interrompidos.
DEC	– Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.
DIC	– Duração Individual de Interrupção por Unidade Consumidora.
DMIC	– Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora.
ELECTRE	– Elimination and (Et) Choice Translating Reality.
FEC	– Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.
FIC	– Frequência Individual de Interrupção por Unidade Consumidora.
IGPM	– Índice Geral de Preços do Mercado
MAUT	– Teoria da Utilidade Multiatributo.
PRODIST	– Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
PROMETHEE	– Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations.
PRORET	– Procedimentos de Regulação Tarifária.
RGE	– Rio Grande Energia.
RN	– Resolução Normativa.
SAIDI	– System Average Interruption Duration Index.
SAIFI	– System Average Interruption Frequency Index.
SIN	– Sistema Interligado Nacional.
TOPSIS	– Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution.
UMO	– Unidade Mínima Operacionail.



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>1.1</b>	<b>Caracterização e justificativa</b> .....	<b>23</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>25</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho</b> .....	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>Métodos de priorização</b> .....	<b>31</b>
2.1.1	Método AHP (Analytic Hierarchy Process).....	32
2.1.2	Método ELECTRE ( <b>Elimination and (Et) Choice Translating Reality</b> ) .....	34
2.1.3	Método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations).....	38
2.1.4	Método Bellman-Zadeh .....	39
2.1.5	Método MAUT (Teoria da Utilidade Multiatributo) .....	40
2.1.6	Método Estimativa de Especialista .....	41
2.1.7	Método TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution): .....	43
2.1.8	Método Multicriterial Produtório: .....	45
<b>2.2</b>	<b>Métodos de otimização</b> .....	<b>46</b>
2.2.1	Programação Linear Inteira: .....	50
2.2.1.1	Método de Enumeração Implícita: .....	51
2.2.1.2	Método de Enumeração Branch-and-Bound:.....	52
<b>2.3</b>	<b>Definição pelas Metodologias Utilizadas:</b> .....	<b>53</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA PROPOSTA</b> .....	<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>Análise Geral Banco Dados da Empresa:</b> .....	<b>60</b>
<b>3.2</b>	<b>Tratamento dos Dados:</b> .....	<b>60</b>
<b>3.3</b>	<b>Definição das UMO's</b> .....	<b>61</b>
<b>3.4</b>	<b>Definição dos Critérios</b> .....	<b>61</b>
3.4.1	Critério DEC / FEC: .....	62
3.4.2	Critério DIC/FIC/DMIC .....	67
3.4.3	Critério Nível de Tensão: .....	69
3.4.4	Critério Risco de Imagem .....	70
<b>3.5</b>	<b>Priorização das UMO's:</b> .....	<b>72</b>
<b>3.6</b>	<b>Priorização de Obras em Cada UMO:</b> .....	<b>84</b>
<b>3.7</b>	<b>Otimização na Seleção Final de Obras:</b> .....	<b>88</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO NA REGIONAL CENTRO DA RGE</b> .....	<b>91</b>
<b>4.1</b>	<b>Priorização Unidades Mínimas Operacionais – AHP</b> .....	<b>93</b>
<b>4.2</b>	<b>Priorização Obras Em Cada UMO – PROMETHEE</b> .....	<b>104</b>
<b>4.3</b>	<b>Priorização final de obras – Programação Linear Inteira</b> .....	<b>124</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	<b>131</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>139</b>
<b>6.1</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>139</b>
<b>6.2</b>	<b>Trabalhos futuros</b> .....	<b>140</b>
<b>6.3</b>	<b>Trabalhos publicados</b> .....	<b>141</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>143</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Caracterização e justificativa

Desde a privatização do Setor Elétrico Brasileiro, em meados dos anos 90, tanto as concessionárias de distribuição de energia quanto o governo, através da agência reguladora do setor, a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - têm concentrado esforços com o objetivo de melhorar a qualidade de energia no país. Nesse sentido, a ANEEL publicou duas resoluções estabelecendo as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras (ANEEL - Resolução Normativa Nº 24/2000) e as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente (ANEEL – Resolução Normativa Nº 505/2001). Ambas as resoluções estabeleceram um novo modelo de gestão da qualidade de energia elétrica, tendo como base índices de desempenho do sistema, como DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). Ambos índices equivalem respectivamente ao SAIDI (System Average Interruption Duration Index) e ao SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), criados pela Associação Canadense de Eletricidade (CEA).

Em busca da melhoria contínua dos padrões de qualidade no fornecimento de energia elétrica a ANEEL tem aumentado significativamente a fiscalização sobre a qualidade do serviço e do produto entregue aos consumidores, criando novos indicadores e estabelecendo limites cada vez menores para os indicadores de qualidade das concessionárias de energia elétrica, aplicando severas multas às mesmas quando não cumpridas às metas estabelecidas.

Assim sendo, em 2008 a ANEEL publicou o PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional), o que representou um marco na legislação do setor elétrico brasileiro, no que diz respeito ao serviço de distribuição, agregando novos conceitos e desafios para os agentes que atuam no setor. Em especial, no oitavo módulo dos procedimentos de distribuição são abordados os tópicos qualidade do serviço e qualidade do produto, no qual são definidos novos critérios para avaliação dos indicadores de desempenho do sistema,

assim como novos níveis de exigência de desempenho do órgão fiscalizador junto às distribuidoras de energia, de modo que a fiscalização sobre a qualidade da energia elétrica no sistema de distribuição passa a ser realizada de forma mais detalhada, a partir dos limites de desempenho traçados para os conjuntos de unidades consumidoras, e para as próprias unidades consumidoras individualmente, revogando as resoluções Nº 024 e Nº 505.

Desta forma, em 2009 entra em vigor as definições do PRODIST, onde extinguem-se as multas por descumprimento dos limites de DEC e FEC e promove-se uma drástica redução nos limites de DIC, FIC e DMIC passando o desempenho das empresas a serem penalizados pelas violações dos limites de continuidade individuais, pagos diretamente aos consumidores. Tal ação provocou um aumento vertiginoso nas penalidades impostas às empresas de distribuição de energia elétrica.

Seguindo a diretriz de constante melhora no fornecimento de energia elétrica, aliada à necessidade de se garantir a aplicação de investimentos no sistema a fim de manter a malha elétrica nacional conservada, cada vez mais robusta e confiável, a ANEEL estabeleceu o Fator X a partir do segundo ciclo de revisões tarifárias periódicas.

Esta avaliação é feita a cada intervalo de quatro ou cinco anos através da Revisão Tarifária periódica na área de concessão de cada empresa de distribuição de energia elétrica. Os investimentos feitos pelas empresas são validados e reconhecidos de modo a aumentar o valor da tarifa de energia elétrica cobrada por cada empresa em sua área de concessão, ou diminuir este valor se não atingidas as metas mínimas exigidas de investimentos na infraestrutura da rede de distribuição. Tal ação tem impacto direto nos lucros de cada empresa, e conseqüentemente nos resultados obtidos pelos acionistas.

Em 2010 a ANEEL publicou o PRORET - Procedimentos de Regulação Tarifária - em que trata de uma nova metodologia a ser utilizada para o cálculo do Fator X a partir do Terceiro Ciclo de Revisões Tarifárias Periódicas de cada concessionária, estabelecido em especial em seu módulo 2.5.

Esta nova metodologia figura como um marco no recente histórico regulatório do setor elétrico brasileiro, pois estabelece dentre os critérios para definição do fator X, que define o volume de investimentos mínimos exigidos pela ANEEL a cada empresa concessionária de distribuição de energia elétrica no país, o



acompanhamento de três fatores. O fator  $Pd$  referente aos ganhos de produtividade da atividade de distribuição, o fator  $T$  que acompanha a trajetória de custos operacionais das empresas, exigindo cada vez mais eficiência em seus processos, e por fim o mais importante, o fator  $Q$  que estabelece uma comparação anual de desempenho das empresas em relação aos seus limites nos indicadores coletivos de continuidade e em relação a si próprias no ano antecedente, promovendo pela primeira vez uma oportunidade de reconhecimento pelo bom desempenho das empresas de distribuição permitindo ganhos no reajuste tarifário anual ou perdas de acordo com o desempenho medido pelo fator  $Q$ .

Logo, neste contexto de inovações regulatórias e exigências cada vez maiores com os padrões de desempenho e níveis de investimentos realizados no sistema elétrico por parte das empresas concessionárias dos serviços de distribuição de energia elétrica, a aplicação correta e eficiente dos cada vez mais escassos recursos disponíveis para melhoria e ampliação do sistema elétrico se apresentam como um desafio vital à saúde financeira das empresas e conseqüente sobrevivência destas no setor elétrico.

Neste contexto, a principal proposta deste trabalho propende em suprimir o modelo usual e ultrapassado de planejamento orçamentário das empresas distribuidoras de energia elétrica, onde os recursos de investimentos eram alocados por áreas e regiões com base em montantes orçamentários históricos e estatísticas de desempenho ultrapassadas, que na maioria das vezes não asseguram nem a correta manutenção, quanto menos a melhoria efetiva da rede com reflexo nos indicadores operacionais de qualidade do serviço e do produto.

Desta forma, investimentos sensatos, que retornem em melhorias no desempenho dos sistemas elétricos e ainda possam ser reconhecidos e repassados na tarifa de energia elétrica, com o cumprimento das metas regulatórias e a maximização dos resultados para os acionistas se fazem o objetivo deste estudo.

## **1.2 Objetivos**

Dado o atual cenário do setor elétrico nacional, a constante e cada vez mais acirrada preocupação com os padrões de desempenho no fornecimento de energia elétrica, associado à necessidade de investimento nas redes de distribuição a fim de aumentar o valor ativo da empresa e conseqüentemente o valor contábil da mesma

no mercado de ações, faz com que a aplicação eficaz dos cada vez mais escassos recursos seja essencial para sanidade financeira e a garantia de um futuro rentável e lucrativo para as empresas distribuidoras de energia elétrica.

A fim de atender tal necessidade do setor elétrico nacional, apresenta-se o desafio de associar grandezas e variáveis, das mais distintas naturezas, envolvidas no complexo processo de priorização e otimização dos investimentos feitos em obras de melhoria e expansão do sistema elétrico.

Para tal, associa-se a entrada de dados de diversas fontes distintas, com metodologias de auxílio à tomada de decisões por múltiplos critérios e ainda a metodologias de pesquisa operacional onde possam ser processadas questões orçamentárias e de aplicação de recursos, principal foco deste trabalho.

De modo a atender este objetivo estima-se trabalhar com cinco objetivos específicos, conforme Figura 1.1, a seguir.

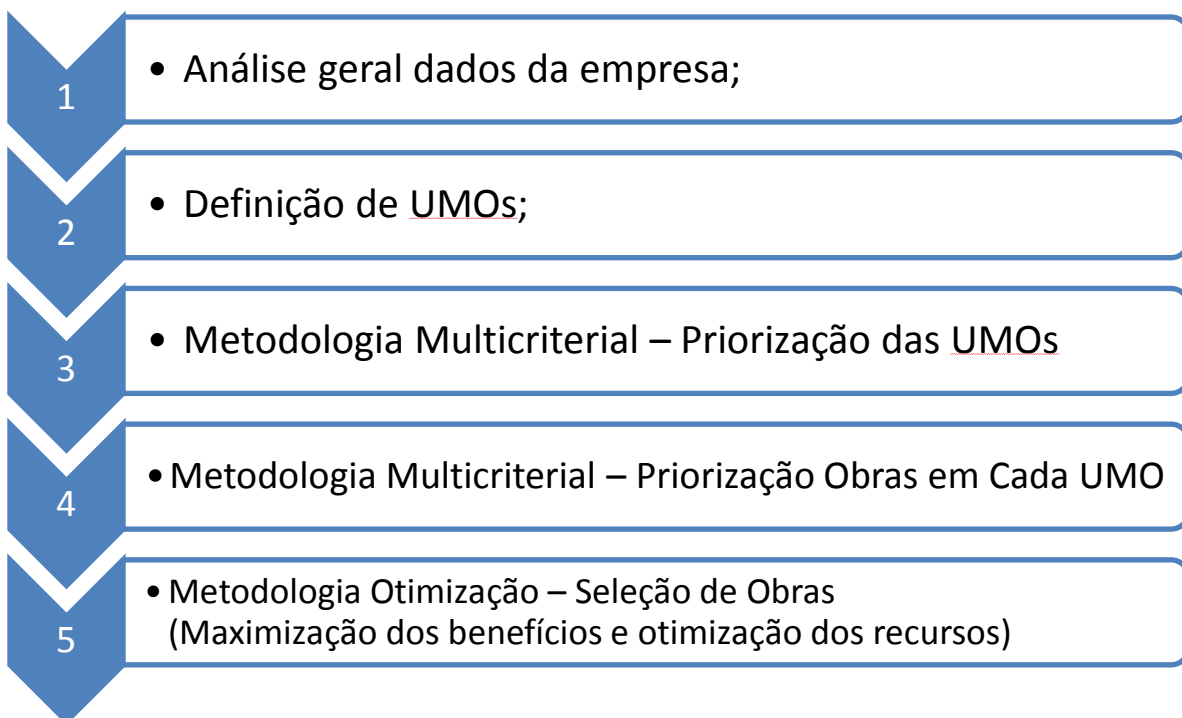


Figura 1.1 – Objetivos Específicos do trabalho.

1. Análise detalhada dos dados gerais da empresa. Identificar áreas críticas, padrões de desempenho, necessidades de melhoria e características gerais.

2. Analisar e mapear a área de concessão. Surge como primeira oportunidade de ganho ao processo de priorização de obras em redes de distribuição de energia elétrica a necessidade de se identificar e dividir a área de concessão em unidades mínimas operacionais (UMO), ou seja, regiões com capacidade de execução de obras independentes entre si, de modo a otimizar a aplicação de recursos em uma primeira instância de forma homogênea, evitando sobrecarregar uma região em detrimento de outra, perdendo prazos e oportunidades de melhoria nos indicadores de desempenho de forma mais consistente e contínua.
3. Definir uma metodologia de auxílio à tomada de decisões de elevada complexidade, de modo a hierarquizar as unidades mínimas operacionais e atribuir a cada uma um índice de prioridade frente à área da empresa como um todo.
4. Definir uma nova metodologia de auxílio à tomada de decisões por múltiplos critérios, de modo a priorizar as obras mais relevantes para cada unidade mínima operacional.
5. Atribuir os custos de execução associados a cada obra, e assim aplicam-se metodologias de pesquisa operacional para a distribuição ótima dos recursos disponíveis dentre as obras prioritárias e as unidades mínimas operacionais, considerando o grau de relevância de cada um para o sistema como um todo, sob uma mesma base de dados.

### **1.3 Organização do trabalho**

Para alcançar os objetivos, o presente trabalho é dividido em seis capítulos, incluindo este introdutório.

O Capítulo 2, REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, compreende uma contextualização sobre o problema de planejamento de obras no sistema elétrico associado a

evolução da regulação no setor elétrico nacional desde a criação da ANEEL até os dias atuais.

Ainda neste capítulo são apresentadas as principais metodologias de auxílio à tomada de decisões por múltiplos critérios conhecidas na literatura atual, bem como as principais metodologias de pesquisa operacional com enfoque no problema de planejamento de obras através da programação linear inteira.

O Capítulo 3 aborda a metodologia de tratamento dos dados, a forma de interação entre as metodologias aplicadas a este estudo, bem como as etapas para a elaboração da metodologia proposta. São definidos os critérios a serem utilizados no processo de priorização e sobreclassificação de obras, sendo demonstradas todas as análises realizadas bem como, as justificativas para cada critério utilizado no trabalho e seu devido tratamento até tornar-se apto para aplicação nas metodologias expostas.

Ainda neste capítulo é dada a interface entre cada etapa do processo e os resultados obtidos por cada método,.

O Capítulo 4 apresenta um estudo de caso realizado na RGE (Rio Grande Energia SA) bem como os resultados obtidos através da priorização de obras de forma clássica através de um ranking de prioridade, tendo as obras sido expostas em forma de um gráfico de Pareto e os resultados obtidos pela metodologia proposta.

O Capítulo 5 apresenta os resultados por meio de análises individuais e coletivas das obras pertencentes às regiões de estudo, com a análise e comparação dos resultados obtidos e os ganhos fornecidos pela metodologia proposta.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais, assim como algumas propostas para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O problema de planejamento e priorização de obras é uma conhecida questão do sistema elétrico em todo o mundo.

A necessidade por uma boa seleção de obras de melhoria e reforço de redes de distribuição, transmissão e subestações se faz crucial para o desenvolvimento e crescimento das empresas do setor elétrico, com uma aplicação eficiente dos recursos disponíveis.

Ao longo das últimas décadas inúmeros investimentos foram feitos em pesquisa e desenvolvimento nas áreas de geração e transmissão de energia elétrica, uma vez que qualquer falha na geração e na transmissão afeta um número muito maior de consumidores do que uma falha no sistema de distribuição. Entretanto tal situação acabou fazendo com que essas áreas do sistema de potência tivessem um grande desenvolvimento em detrimento do sistema de distribuição de energia elétrica.

Em razão desta situação atualmente cerca de 80% das falhas no sistema elétrico nacional se dá nas redes de distribuição, segundo (TENG and LU, 2002).

Neste sentido, é cada vez maior a necessidade de investimentos corretos e eficientes no sistema de distribuição de energia elétrica, sendo estes cada vez mais cobrados por parte do órgão regulador até chegar à atual situação, onde o volume de investimentos é cobrado e acompanhado diretamente através do Fator X. Da mesma forma, o retorno destes investimentos enquanto melhora nos índices de qualidade do serviço e do produto é cobrado e acompanhado anualmente através do Componente Q do fator X, com reflexo direto no reajuste tarifário anual das empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil.

Logo, a configuração, robustez, confiabilidade e qualidade das redes de distribuição de energia elétrica, é um aspecto fundamental para o planejamento do sistema elétrico em horizontes de longo, médio e curto prazo.

Historicamente, o planejamento de longo prazo tem vital importância para o sistema de distribuição, pois é responsável pela definição dos investimentos em horizontes de 15 a 20 anos, e sendo bem realizado permite a otimização dos investimentos e ainda a diminuição de perdas.

Até meados dos anos 70, o planejamento de obras de expansão e melhorias no sistema de distribuição de energia elétrica era feito de maneira bastante simples. A tarefa de planejar os reforços a serem feitos no sistema de modo a suportar o crescimento de demanda, dar flexibilidade e confiabilidade a rede era feita diretamente pelos planejadores do sistema, utilizando somente o auxílio de programas de fluxo de potência, curto-circuito e estabilidade transitória, de acordo com (R. FISCHL, 1975).

Tal simplicidade para a análise se reforçava pelo cenário da época, onde além de haver poucas alternativas de expansão, as incertezas relacionadas à demanda e ao número de fontes energéticas no sistema eram mínimos. Frente ao cenário exposto os métodos de análise da expansão nos sistemas de potência eram basicamente de origem determinística, uma vez que o planejamento de reforços em redes elétricas limitava-se à análise de alguns cenários de demanda, hidrológicos e parâmetros econômicos.

A partir de então, com a disponibilidade de maiores recursos computacionais, e o crescimento vertiginoso da demanda por energia elétrica, com consequente aumento na necessidade de reforços nos sistemas de potência, surge o interesse pela utilização de algoritmos de programação matemática para auxiliar no planejamento do sistema, sendo desenvolvidos a partir de então programas baseados em técnicas de priorização e otimização.

O planejamento a médio prazo segue o plano definido para longo prazo fazendo um maior detalhamento das obras necessárias considerando características técnicas atualizadas da rede em questão, tendo como faixa de ação um horizonte de 3 a 5 anos.

O planejamento do sistema de distribuição a curto prazo, por sua vez, tem como objetivo definir a configuração da rede de distribuição com mínimas perdas, máxima confiabilidade, flexibilidade de manobras e capacidade de suportar o aumento pontual e gradual de carga no sistema.

De acordo com o atual cenário regulatório e as necessidades impostas por ele ao setor elétrico, estabelece-se um panorama positivo e necessário para as técnicas de planejamento a curto prazo (planejamento para o horizonte de 1 ano), tendo em vista um melhor retorno econômico e operacional para as empresas na medida em que se consegue diminuir perdas das mais distintas naturezas, diminuir a quantidade de energia não distribuída e não faturada e ainda evitar penalidades que podem ser

aplicadas pela ANEEL de acordo com índices de qualidade produto e serviço prestado pelas empresas de distribuição de energia elétrica aos seus consumidores.

Logo, o planejamento de curto prazo, alvo principal deste estudo remete diretamente a priorização de investimentos no sistema de distribuição de energia elétrica e conseqüentemente à utilização de Métodos de Auxílio à Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios e métodos de Pesquisa Operacional para resolução deste problema, de modo a se otimizar os resultados obtidos.

## **2.1 Métodos de priorização**

A tomada de decisões é um fato rotineiro, constantemente presente em todas as atividades desenvolvidas pelo homem, e tem papel fundamental na gestão de qualquer negócio ou processo.

Segundo Gomes et al. (2002, p. 12), a tomada de decisão pode ser definida como “o processo de colher informações, atribuir importância a elas, posteriormente buscar possíveis alternativas de solução e, depois, fazer a escolha entre alternativas”.

Ainda, segundo Zeleny apud Gomes et al. (2002, p. 12), a tomada de decisão pode ser definida como “um esforço para tentar resolver problemas de objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da solução ótima e conduz à procura do melhor compromisso”.

Desta forma, o processo de tomada de decisões de elevada complexidade está cada vez mais presente nas mais diversas atividades desenvolvidas pelo homem.

No setor elétrico, o processo de tomada de decisões se dá cada vez de forma mais complexa, remetendo a uma realidade em que os processos de decisão não podem mais ser feitos considerando apenas dados financeiros, como análises de custo benefício, tempo médio de retorno e análises afins.

Fatores qualitativos e quantitativos das mais diversas ordens se fazem cada vez mais relevantes, aumentando o grau de dificuldade das decisões e abrindo espaço para muitos estudos a respeito do assunto.

No setor elétrico, inúmeros estudos abordam a priorização de investimentos e ações através de métodos de auxílio à tomada de decisões por múltiplos critérios, tendo a cada caso um método mais indicado conforme as particularidades de cada

universo, os critérios e incertezas utilizados, conforme (ARANGO, 1993), (GOUVEA, 1992), (GOMES, et al., 2004), (SOUZA, 2002), (YAYLA, et al., 2011), (PEDRYCZ, W. 2011), (KAGAN, et al., 1998), (BERNARDON, D. P. 2007), (HUANG, et al., 2008), (JEON, et al., 2002), dentre vários outros autores deste ramo.

A seguir são apresentados alguns dos principais métodos de auxílio a tomada de decisões, utilizados no mundo.

### 2.1.1 Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido na década de 70 por Tomas L. Saaty.

É o método de apoio à tomada de decisões por múltiplos critérios mais utilizado no mundo. Tal posição se explica por tratar-se de um método simples e bastante genérico, baseado nas lógicas newtonianas e cartesianas, que por sua vez visam decompor um problema complexo através da divisão de seus fatores, sendo possível decompor sucessivamente os mesmos de modo a se explorar cada fator componente do problema principal de forma mais clara e objetiva para posterior sintetização das informações.

Desta forma o resultado obtido, se não ótimo, é muito próximo ao ideal em relação aos critérios considerados.

Justamente por essas razões o método AHP é capaz de se moldar a quase que todos os processos de decisão por múltiplos critérios, desde que devidamente adaptado, justificando sua alta empregabilidade e o número de derivações e aperfeiçoamentos existentes a partir da proposta inicial de Saaty.

Segundo Saaty, a metodologia de comparações paritárias dos critérios, reflete a forma natural do funcionamento do cérebro humano, tornando mais simples as comparações entre critérios por parte dos especialistas.

Para a aplicação do método AHP a qualquer problema, é necessária a estruturação do problema proposto em níveis hierárquicos, de modo a atender as especificidades da metodologia adotada.

Conforme Bornia e Wernke (2001), a ordenação hierárquica possibilita ao decisor uma “visualização do sistema como um todo e seus componentes, bem como interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema”.



As principais etapas para aplicação e resolução do AHP são:

- Construção Hierárquica;
- Comparação paritária entre elementos;
- Verificação da inconsistência nos julgamentos;
- Cálculo da Medida de Inconsistência;
- Cálculo da Prioridade Global das Alternativas;

A seguir, a Figura 2.1 apresenta a estrutura hierárquica básica do método AHP, oferecendo de forma clara e objetiva o objetivo final, as alternativas e os critérios considerados para obtenção dos resultados pelo aplicação do método.

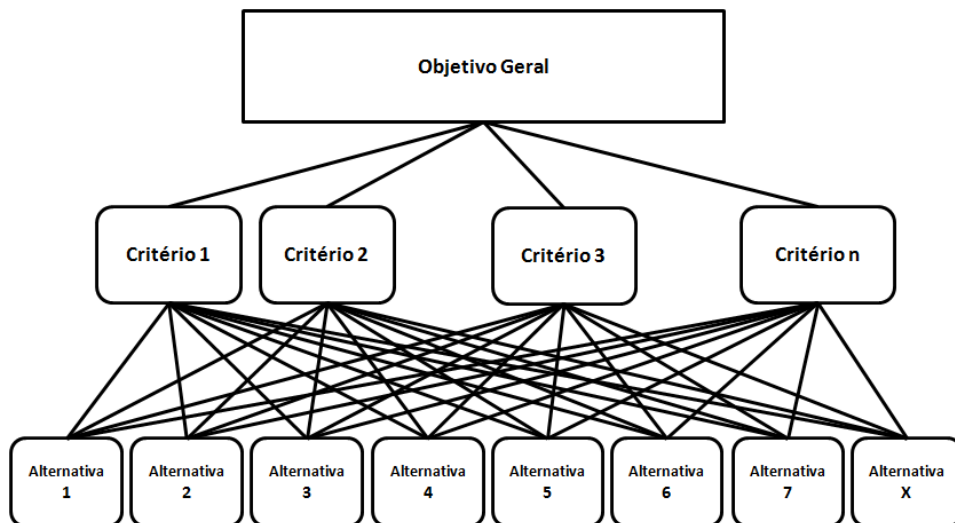


Figura 2.1 - Estrutura Hierárquica Básica (Fonte: adaptado de (Saaty, 1990).

Após aplicação do método AHP e realizadas as devidas verificações de consistência, os resultados são normalmente dispostos em um Ranking normalizado de alternativas.

Cada alternativa recebe um índice de prioridade de acordo com os critérios utilizados, priorizando-a entre as demais.

Dentre as diversas aplicações do Método AHP para os mais distintos objetivos, destacam-se alguns trabalhos que servirão de inspiração e referência para o trabalho aqui apresentado.

Em 2011, Xavier publica trabalho em que utiliza o Método AHP para auxílio na seleção de uma linguagem de programação.

Em 2009, Marins utiliza o Método AHP para auxílio na tomada de decisões gerenciais.

Em 2005, Grandzol publicou um trabalho onde utiliza o Método AHP para auxílio na seleção de corpo docente na Universidade da Pensilvania.

Em 2004, Feng publicou um trabalho em que utiliza o Método AHP para medição de eficiência do gerenciamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento em universidades.

Em 2004, Santana utiliza o método AHP para seleção de operador logístico.

Em 2003, Murakami utiliza o Método AHP para uma decisão estratégica em uma empresa de TI.

Em 2002, Hummel utiliza o Método AHP para o planejamento de projetos de produto.

### 2.1.2 Método ELECTRE (**E**limination and (**E**t) **C**hoice **T**ranslating **R**eality)

Esta metodologia surgiu em 1965 na Europa, através da companhia SEMA, esta empresa permanece ativa nos dias de hoje. O método basicamente consiste em normalizar a matriz de dados, pesos, critérios, realizando posteriormente uma série de comparações de concordância e discordância, buscando aquela que atende os requisitos esperados no maior número de comparações.

O procedimento do método começa definindo a matriz de decisão  $P$ , a qual representa os pesos preferenciais de cada alternativa com o respectivo critério.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{mn} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Onde  $m$  é o número de alternativas a  $n$  é o número de critérios considerados.

Os pesos da matriz  $W$  são definidos de acordo com pesquisas bibliográficas ou através de especialistas.

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & W_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

A matriz K é formada pela normalização dos elementos da matriz P conforme a equação (2.3).

$$K = \frac{P_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m P_{ij}^2}} \quad (2.3)$$

O peso da matriz de decisão normalizada N, pode ser obtido usando a equação (2.4).

$$N = K \cdot W \quad (2.4)$$

Ressalta-se que a multiplicação na equação (2.4) não representa uma multiplicação matricial, é uma multiplicação de cada elemento da matriz K pelo respectivo elemento da matriz W (posição na linha da matriz).

A matriz de concordância C é formada usando o conjunto de concordância. Para cada par de alternativas k e l ( $k, l = 1, 2, \dots, m$  e  $k \neq l$ ), o conjunto dos critérios de decisão  $J = \{j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$  é dividido em dois subconjuntos distintos. A matriz de concordância C de  $A_k$  e  $A_l$  é composta de todos os critérios para qual  $A_k$  é preferencial em relação à  $A_l$ .

$$C_{kl} = \{j \mid p_{jk} \geq p_{lj}\} \quad (2.5)$$

O valor relativo do conjunto de concordância é mensurado por meio dos índices de concordância. O índice de concordância é igual a soma dos pesos associados aqueles critérios a qual estão contidos no conjunto de concordância. Sendo assim, os índices de concordância  $C_{kl}$  entre  $A_k$  e  $A_l$  pode ser definido como:

$$C_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} W_j \quad (2.6)$$

Os índices de concordância refletem a importância de  $A_k$  em relação à  $A_l$ . Obviamente,  $0 \leq C_{kl} \leq 1$ . O maior valor de  $C_{kl}$  indica que  $A_k$  é preferencial em relação à  $A_l$  tanto quanto o critério de concordância esta indicando. Os sucessivos

valores dos índices de concordância ( $k, l = 1, \dots, m$  e  $k \neq l$ ) formam a matriz de concordância  $C$  de tamanho ( $m \times m$ ):

$$C = \begin{bmatrix} - & C_{12} & C_{1m} \\ C_{21} & - & C_{2m} \\ C_{m1} & C_{m2} & - \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

A matriz de discordância  $D$  é complementar a matriz de concordância  $C$  e é formada por:

$$D_{kl} = \{j | p_{kl} < p_{lj}\} = J - C_{kl} \quad (2.8)$$

Os índices de concordância refletem a relativa dominância de uma determinada alternativa sobre uma alternativa concorrente, ambas com pesos na mesma base. Para determinar o grau na qual  $A_k$  é pior que  $A_t$ , outro índice é definido pela equação (2.9):

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |n_{kj} - n_{lj}|}{\max_{j \in J} |n_{kj} - n_{lj}|} \quad (2.9)$$

Sendo que  $0 \leq d_{kl} \leq 1$ . Um maior valor de  $d_{kl}$  implica que  $A_k$  é menos favorável que  $A_l$ , sendo que o menor valor de  $d_{kl}$  representa o oposto. Os índices de discordância formam a matriz de discordância  $D$  de tamanho ( $m \times m$ ):

$$D = \begin{bmatrix} - & D_{12} & D_{1m} \\ D_{21} & - & D_{2m} \\ D_{m1} & D_{m2} & - \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

A matriz dominante de concordância é calculada com auxílio da média dos índices de concordância conforme equação (2.11):

$$r = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m \frac{C_{kl}}{m(m-1)} \quad (2.11)$$

Com base no valor de  $r$ , a matriz  $F$  pode ser construída, sendo os elementos definidos como:

$$f_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{se } C_{kl} \geq r \\ 0, & \text{se } C_{kl} < r \end{cases} \quad (2.12)$$

A quantidade de número 1 na matriz  $F$  indicada a dominância de uma alternativa sobre outra.

De forma similar, a matriz dominante de discordância é calculada com auxílio da média dos índices de discordância conforme equação (2.13):

$$z = \sum_{k=1}^m \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^m \frac{d_{kl}}{m(m-1)} \quad (2.13)$$

Com base no valor de  $z$ , a matriz  $G$  pode ser construída, sendo os elementos definidos como:

$$g_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{se } d_{kl} \leq z \\ 0, & \text{se } d_{kl} > z \end{cases} \quad (2.14)$$

Finalmente a matriz de dominância agregada  $T$  pode ser encontrada pela intersecção das matrizes de concordância dominante  $F$  e discordância dominante  $G$ . A matriz  $T$  pode ser definida calculando os elementos  $t_{kl}$  conforme a equação (2.15):

$$t_{kl} = f_{kl} \times g_{kl} \quad (2.15)$$

A matriz de dominância agregada  $T$  nos dá a ordem de preferência das alternativas. Se o elemento  $t_{kl}$  da matriz  $T_{kl}$  for igual a 1, então a alternativa  $A_k$  tem preferência frente a alternativa  $A_l$ .

Em 2011, Yayla e Karacasu publicaram um trabalho em que utilizam o método ELECTRE para auxílio na incorporação de opiniões públicas e de especialistas para a avaliação sobre a privatização do sistema de transporte público de Eskisehir, na Turquia.

Em 2010, Shi e Zhang fazem uso do método ELECTRE III associado ao método TOPSIS para avaliação de segurança na fonte de alimentação de empresas.

### 2.1.3 Método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)

O método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) é um método de sobreclassificação da escola francesa de tomada de decisão. Foi desenvolvido pelos professores J. P. Brans, B. Mareschal e P. Vincke, em 1985, e aperfeiçoado desde então (BRANS e MARESCHAL, 1994; 2002).

O método baseia-se na formação de uma função de preferência para cada critério, que é dada pela comparação par a par de todas alternativas frente aos critérios estabelecidos, associando o peso dado a cada critério.

Para a aplicação do método pode-se utilizar julgamentos de especialistas de modo a estabelecer uma relação de sobreclassificação entre as alternativas, ou ainda estabelecer lógicas de comparação entre os pesos de cada alternativa em relação à cada critério e assim estabelecer a comparação pela diferença do desempenho de uma determinada alternativa sobre outra, para todos os critérios.

Aplicadas as funções de preferência associadas a cada critério de acordo com sua natureza, quantifica-se o peso de cada alternativa em um valor entre zero e um de acordo com a lógica determinada.

Por fim são calculados dois índices de preferência para cada alternativa através da diferença entre o fluxo positivo, expressa quanto uma determinada alternativa sobreclassifica as demais alternativas, e o fluxo negativo, expressa quanto uma determinada alternativa é sobreclassificada pelas demais alternativas.

Uma das principais qualidades deste método está na sua objetividade e flexibilidade, verificada pela rápida utilização, fácil verificação, elevada transparência nos resultados e pela flexibilização do processo de comparação.

A facilidade dos decisores entenderem os conceitos e parâmetros inerentes ao método simplifica o processo de modelagem de preferências e, conseqüentemente, aumenta a efetividade da aplicação do método multicritério.

Esta é uma grande vantagem do método PROMETHEE sobre outros métodos de sobreclassificação, tais como o método ELECTRE que utiliza conceitos de

concordância e discordância para medir as vantagens e desvantagens entre pares de alternativas; muitas vezes, esses conceitos não são devidamente compreendidos pelos decisores, dificultando a implementação do método (SILVA; MORAIS; ALMEIDA, 2010).

Em 2004, Pereira publicou o trabalho chamado “Utilização do método multicritério PROMETHEE para definição da ordem de desenvolvimento de programas de indicadores de negócio”.

#### 2.1.4 Método Bellman-Zadeh

O algoritmo de decisão multicritério de Bellman-Zadeh garante que todas as soluções existentes devem pertencer à área de soluções ótimas. A decisão a ser tomada, com o maior nível possível, satisfaz todos os objetivos, podendo diminuir a incerteza da “noção da solução ótima” nos problemas de otimização vetorial. Além disso, o algoritmo permite analisar, ao mesmo tempo, tanto critérios qualitativos quanto quantitativos.

No algoritmo de Bellman-Zadeh, inicialmente alteram-se todas as funções objetivo pelas funções objetivo Fuzzy, apresentadas na forma de conjuntos Fuzzy. As funções de pertinência podem ser construídas a partir das equações (2.16) e (2.17):

$$\mu_{A_j} = \left[ \frac{F_j(x)}{\max_{x \in D_x} F_j(x)} \right]^{1/\lambda_j} \quad (2.16)$$

$$\mu_{A_j} = \left[ \frac{\min_{x \in D_x} F_j(x)}{F_j(x)} \right]^{1/\lambda_j} \quad (2.17)$$

Em que:

$\mu_{A_j}$ : Função objetivo fuzzy j;

$F_j(x)$ : Função objetivo j;

$\lambda_j$ : nível de importância da função objetivo j [0,10].

A Equação (2.16) deve ser aplicada às funções objetivo que devem ser maximizadas e a Equação (2.17) às funções objetivo que devem ser minimizadas.

De acordo com o método de Bellman-Zadeh, a solução ótima será função que apresentar o valor máximo da intersecção das funções de pertinência (calculadas a partir das Equações (2.16) e (2.17)). Matematicamente, a solução é obtida através da Equação (2.18).

$$\max_{x \in D_X} \mu_D(x) = \max_{x \in D_X} \min_{j=1, \dots, n} \mu_{A_j}(x) \quad (2.18)$$

A obtenção da solução ótima é descrita graficamente através da Figura 2.2.

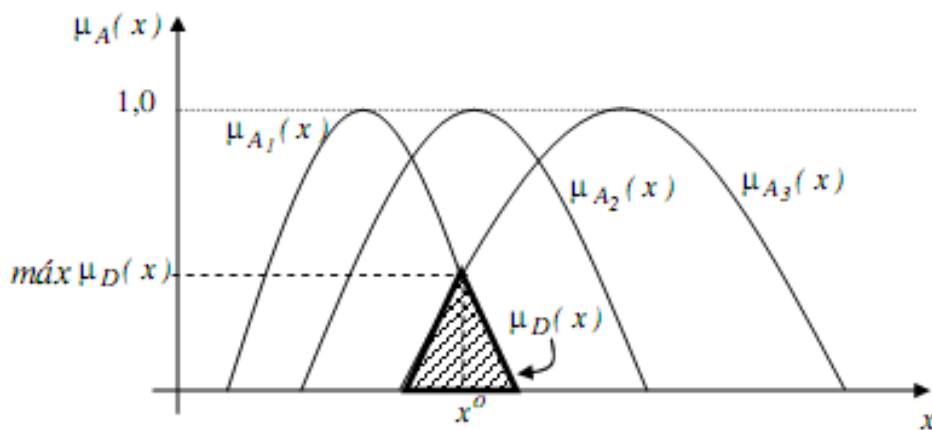


Figura 2.2 - Intersecção das funções de pertinência e obtenção da solução ótima.  
Fonte: (Bernardon, 2007)

### 2.1.5 Método MAUT (Teoria da Utilidade Multiatributo)

A teoria da utilidade multiatributo (MAUT) é uma metodologia de ajuda na tomada de decisões adequada para incorporação de incertezas em problemas de decisão multicriterial. No MAUT, uma função de utilidade multiatributo  $U$  é usada para descrever as preferências do processo decisório.

Uma função de utilidade pode ser representada por (2.19):

$$U(a) = \sum_{i=1}^k w_i \cdot u_i(x_i(a)) \quad (2.19)$$



Onde:

$U(a)$  representa o valor total (score) da alternativa  $a$ ;

$x_i(a)$  É a performance da alternativa  $a$  para um atributo  $i$ ;

$u_i$  É o valor parcial (score) representando a performance;

$w_i$  É o fator de importância (peso) do atributo  $i$ .

No MAUT, quando avaliadas diferentes alternativas, são comparadas suas utilidades totais esperadas. A melhor escolha será aquela que apresentar a maior utilidade total esperada.

Uma parte crítica na aplicação do MAUT é a determinação das funções de utilidade multiatributo do processo decisório.

Estas funções são usualmente determinadas em dois passos.

Em um primeiro momento são definidas as funções de utilidade parciais para os atributos.

A seguir, são determinados os pesos de cada critério utilizado, atribuindo a estes um índice de prioridade.

Cabe aos decisores avaliar qual critério analisado é o mais importante. Esse critério é usado como referência na determinação dos pesos dos demais.

#### 2.1.6 Método Estimativa de Especialista

O método de estimativa de especialistas aplicado ao auxílio à tomada de decisões de elevada complexidade proporciona a utilização de dados informais advindos deste, com modelos matemáticos conhecidos a fim de se resolver o problema final.

Uma das formas de apresentação das estimativas de especialistas é baseada na contribuição de pessoas com elevada experiência nas áreas de aplicação do método proposto, chamados especialistas, onde inicialmente atribui-se valores numéricos de 0 (zero) a 10 (dez), de acordo com o grau de importância, a todos os objetos, conforme destacado na Figura 2.3.

Objetos	Especialistas		
	1	...	m
1			
...			
n			

Figura 2.3 - Estimativa de especialistas (de 0 a 10). Fonte: adaptado de (Beshelev, 1980)

Onde:

$n$  = número de objetos que devem ser comparados.

Em seguida são comparadas as estimativas numéricas em pares, através da equação (2.20); calculados os fatores  $k_1$  e  $k_2$ , pelas equações (2.21) e (2.22); e feito o preenchimento do quadro da Figura 2.4.

$$O_i > O_j \rightarrow x_{ij} = 1,5; x_{ji} = 0,5 \quad (2.20)$$

$$O_i \approx O_j \rightarrow x_{ij} = x_{ji} = 1$$

$$k_1 = \frac{\sum_m x_{ij}}{m} \quad (2.21)$$

$$k_2 = 2 - k_1 \quad (2.22)$$

Pares de Objetos $i,j$	Especialistas			Estimativas	
	1	...	m	$k_1$	$k_2$

Figura 2.4 - Comparação dos objetos em pares. Fonte: adaptado de (Beshelev, 1980)

Onde:

$x_{ij}$  = Estimativa do nível de importância do objeto  $i$  em relação ao objeto  $j$ .

$m$  = Quantidade de especialistas.

A partir daí efetua-se o preenchimento do quadro da Figura 2.5, inserindo em todas as células acima da diagonal principal os respectivos valores de  $k_1$ , bem como nas células abaixo da diagonal principal os respectivos valores de  $k_2$ . O

coeficiente de prioridade de cada um dos objetos ( $k_p$ ) é calculado através da equação (2.23).

Objetos	1	...	n	$\Sigma$	$k_p$
1					
...					
N					

Figura 2.5 - Comparação dos Objetos em Pares. Fonte: adaptado de (Beshelev, 1980)

$$Kp = \frac{\sum_{i=1}^n ki}{n(n-1)} \quad (2.23)$$

Onde:

$n$  = número de objetos que devem ser comparados.

O próximo passo consiste na correção das estimativas iniciais de acordo com o resultado em pares, multiplicando os valores atribuídos inicialmente a cada objeto pelos seus respectivos valores do coeficiente  $k_p$ .

Por fim dever ser realizado o somatório das estimativas dos especialistas, definindo-se as prioridades dos objetos, conforme quadro da Figura 2.6.

Objetos	Estimativas dos Especialistas			$\Sigma$	Prioridade
	1	...	m		
1					
...					
n					

Figura 2.6 - Definição das Prioridades dos Objetos. Fonte: adaptado de (Beshelev, 1980)

2.1.7 Método TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution):

O método TOPSIS consiste na técnica para avaliar o desempenho de alternativas através da similaridade com a solução ideal.

Em geral, os critérios de avaliação podem ser classificados em dois tipos: benefício e custo. O critério benefício significa que um valor maior é melhor

enquanto que para o critério custo vale o inverso. O algoritmo para calcular a melhor alternativa segundo a técnica TOPSIS é descrito de acordo com os seguintes passos:

Passo 1: Cálculo das soluções ideais positivas  $A^+$  (benefícios) e das soluções ideais negativas  $A^-$  (custos) da seguinte forma:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+) \quad (2.24)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-) \quad (2.25)$$

Onde:

$$P_j^+ = (\max_i p_{ij}, j \in J_1; \min_i p_{ij}, j \in J_2) \quad (2.26)$$

$$P_j^- = (\min_i p_{ij}, j \in J_1; \max_i p_{ij}, j \in J_2) \quad (2.27)$$

Onde  $J_1$  e  $J_2$  representam respectivamente o critério benefício e custo.

Passo 2: Cálculo das distâncias Euclidianas entre  $A_i$  e  $A^+$  (benefícios) e entre  $A_i$  e  $A^-$  (custos) da seguinte forma:

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j - p_{ij})^2} \quad \text{com } i=1, \dots, m. \quad (2.28)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j - p_{ij})^2} \quad \text{com } i=1, \dots, m. \quad (2.29)$$

Passo 3: Cálculo da proximidade relativa  $\xi_i$  para cada alternativa  $A_i$  em relação à solução ideal positiva  $A^+$  conforme:

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (2.30)$$

### 2.1.8 Método Multicriterial Produtório:

Por fim, um dos mais clássicos métodos de auxílio à tomada de decisões com múltiplos critérios é feito através do produto dos pesos normalizados de cada critério.

Uma vez que mais de uma função objetivo é considerada e a ordem de grandeza de cada uma pode ser diferente, é usual utilizar técnicas de análise multicriterial para determinar os pesos que devem ser atribuídos a cada função para que se possa avaliar a melhor solução.

A técnica do produtório avalia a melhor solução, de modo que para utilizá-la, primeiramente é necessário normalizar cada valor de função objetivo calculado. No caso de um problema que envolva índices de continuidade do sistema essa normalização é de minimização, uma vez que se procura a minimização das funções objetivo do problema.

$$f_{P,norm} = f_P / f_{P,min} \quad (2.31)$$

$$f_{FEC,norm} = f_{FEC} / f_{FEC, min} \quad (2.32)$$

$$f_{END,norm} = f_{END} / f_{END, min} \quad (2.33)$$

$$f_{C,norm} = f_C / f_{C, min} \quad (2.34)$$

Onde:

$f_{P,norm}$  = função de perdas elétricas normalizada;

$f_{FEC,norm}$  = função de confiabilidade normalizada;

$f_{END,norm}$  = função de energia não distribuída normalizada;

$f_{C,norm}$  = função de custo normalizada;

$f_{P,min}$  = menor valor da função de perdas elétricas;

$f_{FEC, min}$  = menor valor da função de confiabilidade;

$f_{END, min}$  = menor valor da função de energia não distribuída;

$f_{C, min}$  = menor valor da função de custo.

Os valores mínimos de cada objetivo são obtidos por meio da heurística de busca utilizada, ou seja, as modificações topológicas são realizadas iterativamente até que nenhuma melhoria na função objetivo de interesse seja obtida. Dessa forma, diferentes configurações finais da rede podem ser obtidas para que se alcance o valor mínimo de cada objetivo.

Cada solução possuirá, então, quatro valores normalizados, cada um associado a um objetivo. Então, para cada solução, o produto dos quatro valores normalizados de cada objetivo é realizado. Aquela solução que apresentar o menor valor do produtório é considerada a melhor frente às outras.

## **2.2 Métodos de otimização**

Além dos métodos de priorização, outra abordagem para seleção de obras muito utilizada em problemas de engenharia são os métodos de otimização.

Com origem nas teorias de pesquisa operacional, relacionam as alternativas incluindo a análise financeira e de restrições de cenários, possibilitando a inclusão de aspectos econômicos quantitativos à decisão, tornando-a mais robusta e consolidada.

A Pesquisa Operacional teve seu início formalizado ainda na segunda guerra mundial, quando houve a convocação de um grupo de cientistas com o intuito de elaborar estratégias e táticas associadas à defesa da Inglaterra. Neste cenário, o objetivo era decidir sobre a utilização eficaz de recursos militares disponíveis de forma muito limitada (ANDRADE, E. L., 1998).

A obtenção de resultados positivos pelo grupo inglês estimulou o uso da metodologia em diversos países, principalmente nos Estados Unidos, onde a PO se propagou de maneira significativa ainda nessa mesma época, sendo denominada pelos americanos como Método Simplex a partir de então (ANDRADE, E. L., 1998).

Com o fim da guerra, a utilização de técnicas de pesquisa operacional atraiu o interesse de diversas outras áreas. A natureza dos problemas encontrados é bastante abrangente e complexa, exigindo uma abordagem que permita reconhecer os múltiplos aspectos envolvidos.

A utilização de modelos é uma característica importante da pesquisa operacional, facilitando o processo de análise e de decisão. Eles permitem a experimentação da solução proposta. Isto significa que uma decisão pode ser

melhor avaliada e testada antes de ser efetivamente implementada. A economia obtida e a experiência adquirida pela experimentação justificam a utilização da PO (LISBOA, E. F. A., 2002).

A evolução da tecnologia computacional, com o aumento da velocidade de processamento e quantidade de memória impactaram em um grande progresso na Pesquisa Operacional. Este avanço possibilitou que os modelos desenvolvidos pelos profissionais de PO sejam mais rápidos e versáteis, além de serem interativos, permitindo a participação do usuário ao longo do processo de cálculo (CAIXETA FILHO, J.V., 2001).

Os métodos de otimização são responsáveis diretamente pelo resultado financeiro do modelo elaborado para a solução de problemas de planejamento.

O ponto mais importante a ser considerado para se obter um bom resultado através da utilização de uma metodologia de otimização está na modelagem correta do problema.

Através desta, pode-se definir pela melhor técnica para o problema, e assim obter uma solução mais próxima possível da ideal, uma vez que para uma mesma modelagem várias técnicas podem trazer resultados significativamente divergentes.

Quanto ao desenvolvimento de metodologias de otimização, é importante ter bem claras algumas definições básicas que compõem qualquer problema de otimização.

- *Funções Objetivo:* É uma função matemática que define a solução em função das variáveis de decisão.
- *Variáveis de decisão:* incógnitas a serem determinadas pela solução do modelo;
- *Parâmetros:* Valores fixos no problema (constantes);
- *Restrições:* características físicas do sistema que limitam as variáveis de decisão a seus valores viáveis;
- *Número de Estágios:* Na resolução de um problema de otimização podem-se considerar as condições em múltiplos estágios ou um único estágio

As técnicas utilizadas para o tratamento dos problemas de otimização são classificadas em três grupos:

Técnicas baseadas em modelos de otimização clássicos.

Modelos Híbridos – Métodos de otimização e métodos heurísticos;

Técnicas que utilizam conceitos ou ferramentas de área de inteligência artificial.

Os métodos de otimização clássicos e mais utilizados em todo o mundo são os abaixo designado. PL (Programação Linear), PI (Programação Inteira) e PLIM (Programação Linear Inteira Mista).

- Programação Linear (PL):

Tem por objetivo maximizar ou minimizar uma função linear, sujeita a restrições representadas por equações e inequações lineares. O problema clássico de PL consiste na alocação de recursos limitados a atividades concorrentes, de forma ótima.

- Programação Inteira (PI):

Utilizadas em problemas de otimização onde todas variáveis são inteiras. O problema clássico de PI é o programa de planejamento, onde desejamos otimizar os investimentos, optando pela realização ou não do investimento.

- Programação Linear Inteira Mista (PLIM):

Utilizada em problemas de programação linear em que as variáveis são inteiras e contínuas.

Diretamente associado à priorização de investimentos, se apresentam durante a análise de viabilidade financeira as metodologias provenientes da área de Pesquisa Operacional, como o Método SIMPLEX aplicado ao problema de seleção de obras de maior custo-benefício dado um recurso limitado.

Um estudo de pesquisa operacional geralmente envolve as seguintes fases (MARINS, F. A., 2011).

- *Definição do problema:* baseia-se na descrição exata dos objetivos do estudo, identificação das alternativas e decisão existentes e reconhecimentos das limitações, restrições e exigências do sistema;



- *Construção do modelo*: representação simplificada da realidade. Permite a análise do problema modelado e possibilita a tentativa de várias alternativas de ação sem interromper o funcionamento do sistema em estudo;
- *Solução do modelo*: baseada geralmente em técnicas matemáticas existentes, representa a fase em que os cálculos são realizados de acordo com a construção do modelo;
- *Validação do modelo*: verificação de possíveis distorções no modelo construído, corrigindo-as quando necessário. Em alguns casos o modelo pode ser testado com o uso de dados históricos, verificando-se a adequação do modelo às informações disponíveis;
- *Implementação da solução*: envolve um aspecto especialmente técnico através da aplicação do modelo desenvolvido ao problema apresentado. Nesta fase serão obtidos os resultados do estudo.

Segue as etapas básicas para um estudo para Pesquisa Operacional.

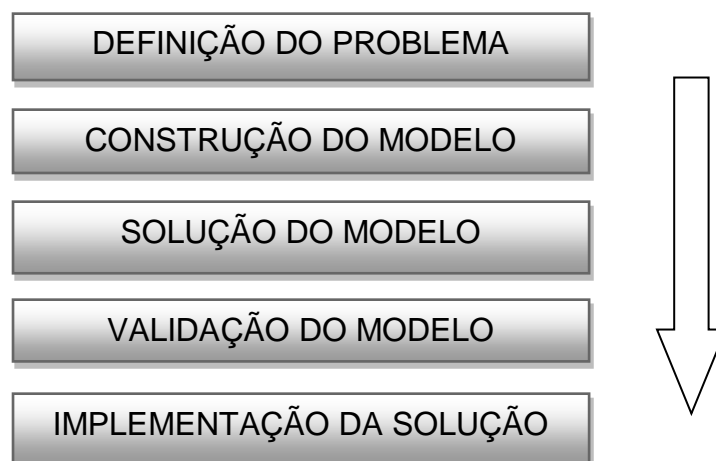


Figura 2.7. Fases do estudo de Pesquisa Operacional.

Dado o problema de planejamento com a proposta de seleção de obras de melhoria em redes de distribuição de energia elétrica, conforme foco deste trabalho, configura-se um problema de Programação Linear Inteira.

### 2.2.1 Programação Linear Inteira:

A programação inteira surgiu com a necessidade da modelagem de problemas com variáveis discretas (inteiras), ou seja, excluindo os valores contínuos como resposta do sistema. Utilizando-se a programação linear inteira exclui-se a possibilidade de que todas variáveis são reais e contínuas, devendo os valores de resposta do sistema serem discretas e desta forma se adequando melhor a diversos problemas do cotidiano (Kagan, N. et al, 2009).

A programação inteira utiliza variáveis onde todos os valores pertencem ao conjunto dos números inteiros, destaca-se neste caso a programação binária, do tipo “não ou sim” ou  $(0,1)$ .

Considerando-se que para problemas de programação inteira pura exista um número finito de soluções a serem avaliadas, o problema se tornaria de menor complexidade.

Na programação mista, como na programação linear, não existem condições de otimização conhecidas para testar se uma dada solução viável é ótima a não ser através da comparação explícita ou implícita desta solução com cada uma das soluções viáveis do problema.

A solução de problemas de Programação Linear Inteira passa por uma busca de combinações de soluções, dentro do conjunto de soluções viáveis, que retorne com maior resultado para a função objetivo do problema, a considerar esta uma função de maximização.

Os métodos de resolução de problemas combinatórios de programação inteira são classificados em:

- **Métodos Exatos:** Ideais para problemas com poucas variáveis.
- **Métodos “Aproximados”:** Ideais para problemas com elevado número de variáveis, muitas vezes utilizam métodos de heurística para determinação da solução ótima inteira.

Para a resolução de problemas de programação inteira binária faz-se o uso de duas técnicas muito difundidas, Enumeração Implícita e Método de Branch-and-Bound.

### 2.2.1.1 Método de Enumeração Implícita:

O método de enumeração implícita consiste num processo de resolução de problemas de otimização para variáveis de decisão que assumem valores 0 ou 1. Este método é assim chamado pois dado um conjunto de variáveis binárias fixadas, pode-se concluir através de testes que não é necessário enumerar explicitamente todas as possibilidades, pois as soluções não avaliadas explicitamente serão avaliadas de forma implícita.

A solução dos problemas de programação inteira pode ser avaliada através da enumeração de todas as soluções possíveis, normalmente isto é realizada com o desenvolvimento de uma árvore de decisão.

A árvore de decisões é dividida em níveis que estão associados a cada uma das variáveis, sendo que para cada nó da árvore as variáveis do nível acima estão fixadas até que em seu último nível correspondam a uma enumeração explícita, conforme figura 2.8, abaixo.

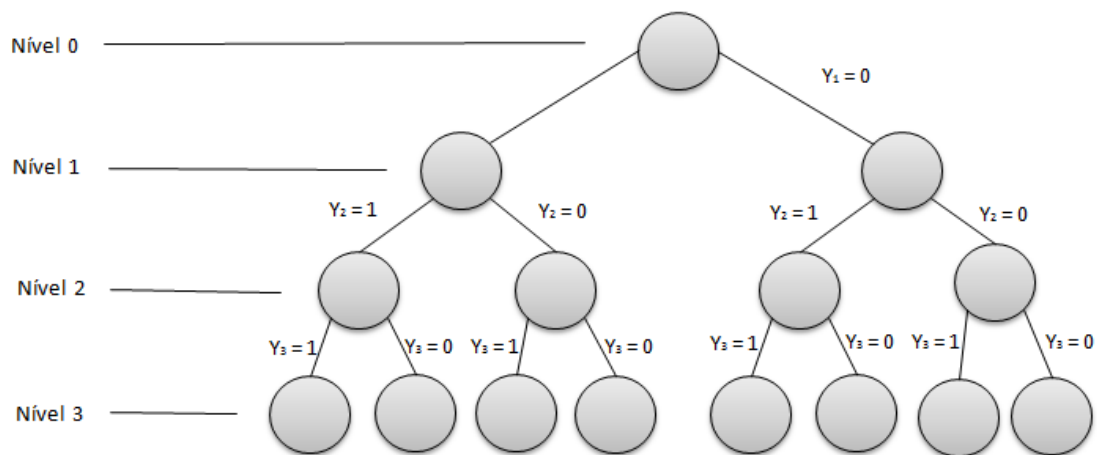


Figura 2.8. Árvore de Decisões com Três Variáveis Binárias.

Por meio de testes, são analisados subconjuntos de alternativas que levam a soluções inviáveis ou piores que uma solução já encontrada, sendo chamado este processo de enumeração implícita.

A medida que melhores forem sendo os testes, menos soluções serão explicitamente analisadas, logo mais eficiente se torna método de solução.

O método de enumeração implícita é aplicado em três etapas, a preparação do problema, a formação da árvore de busca e a eliminação de ramos ou subproblemas.

#### 2.2.1.2 Método de Enumeração Branch-and-Bound:

O Método Branch-and-Bound, consiste na solução do problema original através da resolução de subproblemas de programação linear.

O método foi proposto por A. H. Land e A. G. Doig em 1960 para um problema de programação discreta, sendo atualmente utilizado para vários problemas de programação inteira.

A solução de problemas de programação linear inteira pelo método de Branch-and-Bound baseia-se na ideia de uma enumeração inteligente das soluções candidatas a ótima inteira de um problema, efetuando partições sucessivas do espaço de soluções e cortando a árvore de decisões através de limites calculados através da enumeração.

Desta forma, o problema parte da solução inicial de um problema linear  $P_0$ , cuja solução representa o ótimo com relação ao valor da função objetivo  $Z_0$ .

A partir deste passo, são definidos criados subproblemas em forma de árvore, com acréscimo progressivo de restrições, até o encontro da solução inteira ótima.

Em resumo o método consiste em três etapas:

- *Ramificação*: Acréscimo de restrições de forma a reduzir os problemas a subconjuntos cuja união corresponda ao espaço do problema inicial;
- *Cálculo de limites*: Para cada nó o valor ótimo do problema de programação linear consiste em limite superior ou inferior (maximização ou minimização);
- *Corte de ramos*: Pode ocorrer de em três possibilidades, sendo: Solução inteira para o subproblema (factível); A solução do problema de programação linear relaxado é pior do que a solução inteira encontrada anteriormente ou; a resolução do problema linear relaxado não tem solução viável (infactível).

O Método de Branch-and-Bound apresenta inúmeras aplicações para resolução de problemas de Programação Linear Inteira.

Em 2006, Fukunaga e Narendra apresentaram trabalho para busca de filiais mais próximas através do método de branch-and-bound, utilizando os limites superior e inferior da metodologia para reduzir cálculos e esforços computacionais com cálculos de distâncias de toda a amostra.

Em 1998, Norkin, Pflug e Ruszczyński publicaram trabalho com a aplicação do Método de Branch-and-Bound para utilização em problemas de otimização global estocástica.

Em 1986, Berrada e Stecke apresentaram trabalho referente a ao balanceamento de carga em máquinas de usinagem em sistemas industriais flexíveis, através da aplicação do método de Branch-and-Bound.

### **2.3 Definição pelas Metodologias Utilizadas:**

Dada a proposta deste trabalho em desenvolver uma metodologia de priorização de obras de melhoria em redes de distribuição de energia elétrica, em um horizonte de planejamento anual, definido como de curto prazo, algumas características e particularidades precisam ser observadas para a definição por quais as melhores metodologias a serem aplicadas em cada etapa do processo.

Desta forma, considerando a dinâmica de constantes alterações, no que refere as exigências regulatórias do setor elétrico no Brasil, um aspecto fundamental para a definição da metodologia a ser utilizada passa pela facilidade de reavaliação das prioridades dentre os critérios estabelecidos e pela facilidade de compreensão desta métrica de avaliação por partes de pessoas de áreas técnicas e não técnicas.

Após analisadas as características e aplicabilidades das principais metodologias de auxílio à tomada de decisões por múltiplos critérios, dado o cenário apresentado, o Método AHP destaca-se em relação aos demais para aplicabilidade na primeira etapa do trabalho que consiste na definição de micro regiões dentro da área de concessão e priorização destas frente aos critérios estabelecidos atendendo aspectos técnicos, econômicos, regulatórios e de mercado.

O método AHP apresenta como pontos fortes a característica de ser um método intuitivo de fácil adaptação e aplicação, baseado na matemática e na psicologia, fornece ainda mecanismos que permite a utilização de critérios

qualitativos e quantitativos numa mesma análise, oferece a oportunidade de consideração de avaliações de diversos especialistas de diferentes meios e origens capazes de trazer ao trabalho diferentes pontos de vista sem que hajam incoerências.

O método apresenta ainda como principal vantagem em relação à grande maioria de seus concorrentes a possibilidade de avaliação dos índices de consistência e razão de consistência sobre as avaliações obtidas, de modo que o resultado obtido seja um resultado confiável.

Todavia, o Método AHP apresenta também pontos de atenção e restrições quanto a sua utilização.

A maior restrição apresentada pelo método é o fato de o mesmo não ser aplicável a problemas com número muito elevado de alternativas e critérios, uma vez que isto exigiria um número muito elevado de avaliações de especialistas causando desconfortos aos mesmos e aumentando muito a probabilidade de inconsistência dos julgamentos, uma vez que a capacidade do cérebro humano acaba por se saturar após um número elevado de avaliações.

Logo, para a primeira etapa do estudo que consiste na priorização de microrregiões dentro da área de estudo, o método AHP é totalmente aplicável e aconselhável, sendo escolhido para esta finalidade.

Para a segunda etapa, que consiste na priorização de obras dentro de cada microrregião estabelecida, o número de alternativas (obras) é muito elevado, tornando inviável a aplicação do método AHP.

Nesta etapa, dado o grande número de alternativas a serem avaliadas e priorizadas, uma metodologia que forneça uma pré-classificação destas de modo a diminuir os esforços computacionais se apresenta com grande utilidade.

Exatamente neste quesito o Método de sobreclassificação *PROMETHEE*, se destaca em relação aos demais.

O método *PROMETHEE* faz uma sobreclassificação entre as alternativas comparando-as todas entre si e estabelece um índice de prioridade a cada uma que pode ser positivo ou negativo conforme sua relação com as demais obras concorrentes.

Logo, esta aplicação apresenta-se com grande vantagem na medida em que aquelas obras em que o índice de prioridade foi menor que zero (negativas) já são automaticamente excluídas da priorização final.

Na terceira e última etapa do processo, que consiste na resolução do problema de Programação Linear Inteira, um número menor de alternativas e diminuindo os esforços computacionais para a otimização dos resultados, respeitando restrições impostas.





### **3 METOLOGIA PROPOSTA**

De acordo com o atual cenário do setor elétrico nacional, a exigência por melhorias quanto aos índices de desempenho do sistema de distribuição de energia elétrica no que refere à qualidade do serviço e do produto, somado a maior cobrança por parte da sociedade por um serviço de melhor qualidade, associado ainda à elevada dinâmica de alterações regulatórias vividas pelo setor, apresenta o problema de planejamento de obras no horizonte de curto prazo como o grande desafio a ser superado pelas empresas de distribuição de energia elétrica.

Historicamente o planejamento da expansão e de melhorias nos sistemas de distribuição de energia elétrica é feito sob horizontes de planejamento de médio e longo prazo, baseados em dados de carregamentos e oportunidades de melhoria na confiabilidade das redes.

Estando os padrões de qualidade do produto e serviço sendo acompanhados de forma muito próxima pelo órgão regulador, com reflexos diretos nos aspectos financeiros das companhias, apenas ações de manutenção preventiva, preditiva e corretiva não se fazem mais capazes de retornar os resultados necessários, no atual cenário do setor.

Em contrapartida obras de planejamento tradicionais normalmente são de grandes dimensões e envolvem elevados tempos de execução até que se obtenham os resultados em termos de indicadores.

Neste sentido, uma avaliação pontual das necessidades do sistema, de modo a identificar oportunidades de melhorias rápidas, sensatas e objetivas são essenciais para que as empresas possam buscar os resultados desejados.

Oportunidades de instalação de equipamentos Reguladores de Tensão para correção de quedas de tensão em alimentadores extensos são aplicáveis no que diz respeito à problemas relacionados a níveis de tensão e a qualidade do produto.

Instalação de novos religadores telecomandados, a fim de seccionar trechos de rede e diminuir o universo de clientes interrompidos por faltas permanentes, eliminar desarmes por faltas transitórias através do religamento automático ou ainda possibilitar maiores opções de manobras telecomandadas para seccionamento de defeitos e realimentação de blocos de carga, se mostram como opções de melhoria na confiabilidade da rede e flexibilidade do sistema.

Oportunidades de reconduzimentos, complementações de rede monofásicas ou bifásicas para trifásicas ou ainda interligações que possam retornar em benefícios diretos no que diz respeito à confiabilidade, qualidade da energia e percepção da comunidade também são alvos destas propostas.

Logo, a necessidade de uma metodologia de priorização de obras de melhoria de curto prazo, com foco direto nos aspectos regulatórios de qualidade do serviço, produto e percepção da sociedade, são de extrema importância para as empresas de distribuição de energia elétrica.

O custo por não cumprir os padrões exigidos acaba por se tornar muito maior do que não investir em melhorias para que os mesmos sejam atendidos.

Esta nova e importantíssima modalidade de planejamento não substitui o planejamento de médio e longo prazo, apenas os complementa, de modo a buscar resultados mais rápidos frente aos cenários cada vez mais exigentes impostos pelo setor elétrico nacional.

Para tal objetivo, a Figura 3.1, abaixo ilustra o fluxograma completo da metodologia proposta, discriminando as principais etapas do mesmo.

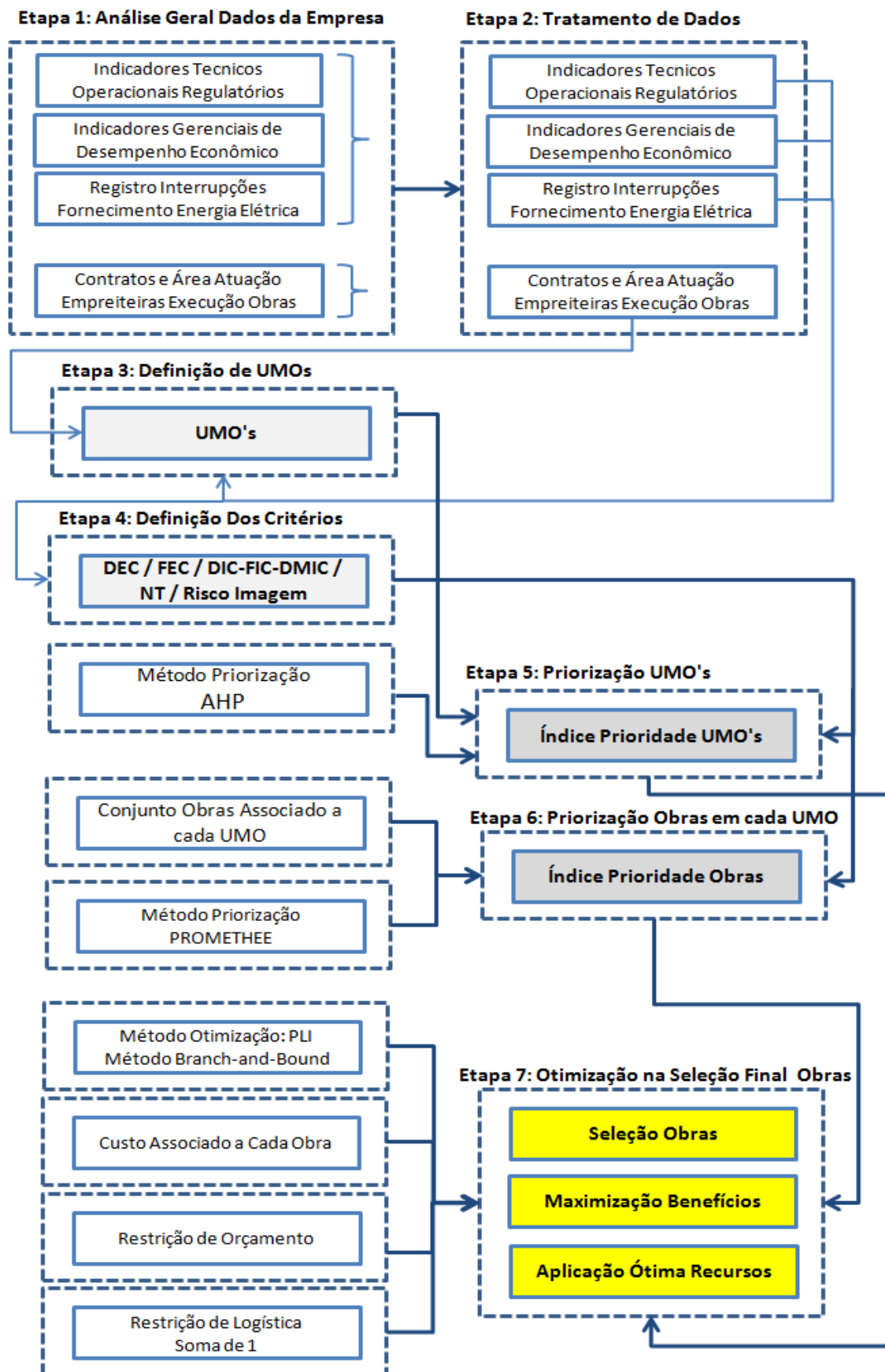


Figura 3.1. Fluxograma Completo da Metodologia de Priorização de Obras Proposta.

Logo cada etapa da metodologia é abordada, a seguir.

### **3.1 Análise Geral Banco Dados da Empresa:**

Inicialmente é realizado um estudo considerando todos os dados disponibilizados pela concessionária de energia elétrica.

São analisados os registros de interrupções, onde é feita uma análise e um mapeamento das regiões críticas de desempenho.

São obtidos os dados de desempenho operacional regulatório da empresa e suas regiões, onde são considerados indicadores de DEC (Duração Equivalente de Interrupções por Unidade Consumidora), FEC (Frequência Equivalente de Interrupções por Unidade Consumidora), TMA (Tempo Médio de Atendimento), DIC (Duração de interrupções por Unidade Consumidora), FIC (Frequência de interrupções por Unidade Consumidora), DMIC (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora), DRP (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária) e DRC (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica).

São obtidos ainda dados financeiros como os valores de compensações pagas aos clientes por transgressões dos limites de DIC, FIC, DMIC, DRC e DRP.

Por fim são analisados os contratos existentes com empresas executoras de obras em redes de distribuição dentro do universo de estudo, e mapeadas as regiões de atuação de cada uma, considerando a capacidade e velocidade de execução de cada uma destas a fim de não sobrecarregar a mesma região com mais de uma obra simultânea, otimizando a capacidade de execução de cada região.

### **3.2 Tratamento dos Dados:**

A seguir, são obtidas as taxas de falhas dos componentes do sistema elétrico, CHI (Clientes Hora Interrompido), CI (Clientes Interrompidos) e os tempos médios de atendimento praticados em cada região e alimentadores, discriminando os tempos de preparo, deslocamento e execução, no atendimento aos eventos e identificando oportunidades de melhoria para estes locais determinados, indicando ações para cada oportunidade mapeada.

São calculados os índices para avaliação da qualidade do serviço prestado e do produto entregue ao consumidor final, gerando base para definição dos critérios a serem utilizados nas priorizações das obras e regiões com maior relevância para a empresa.

### **3.3 Definição das UMO's**

A partir deste conhecimento, a área de abrangência do estudo é subdividida em microrregiões com capacidade de execução de obras independentes, que foram denominadas de Unidades Mínimas Operacionais (UMO) da empresa.

Para estas UMO's são obtidos critérios de desempenho da rede, os índices de confiabilidade e qualidade propostos, aspectos regulatórios e a capacidade de execução das empresas executoras contratadas.

A partir do tratamento de todos os dados técnicos, financeiros e de imagem da empresa, são calculados índices para cada UMO de forma a facilitar a definição dos critérios a serem utilizados para priorização das unidades mínimas operacionais.

### **3.4 Definição dos Critérios**

Após a definição das UMO's, analisados e tratados todos os dados da empresa, são definidos os critérios utilizados para priorização das UMO's e de Obras em cada UMO.

Deste modo, uma única matriz de julgamentos a ser aplicada à pessoas de áreas gerenciais e de cargos estratégicos da empresa pode ser utilizada para aplicação das duas metodologias de priorização utilizadas, mantendo total coerência entre as abordagens e facilitando a alteração das prioridades através da alteração de um único parâmetro de entrada, dado pela matriz de julgamentos a ser aplicada.

A principal aplicação deste trabalho situa-se no planejamento e seleção de obras de melhoria a serem realizadas nas redes de distribuição em um plano anual de execução, definido como planejamento de curto prazo.

Normalmente a cada ano, de acordo com o desempenho das empresas e o comportamento do setor alguns critérios podem assumir maior ou menor relevância para a empresa, devendo ser reajustados os julgamentos de prioridades a cada início do ciclo de planejamento de curto prazo, considerando as opiniões de

especialistas, gerentes, diretores e representantes dos demais cargos de gestão da empresa.

Todavia, embora os pesos de cada critério estejam altamente propensos a alterações de um ano para outro, em geral os principais critérios que representam os índices de qualidade do serviço prestado pelos distribuidores de energia elétrica, qualidade do produto entregue aos consumidores e a percepção da sociedade sobre a imagem da empresa não sofrem grandes alterações em sua essência.

Desta forma para aplicação ao estudo são definidos 5 critérios globais que melhor representam todos os aspectos abordados.

A fim de tornar mais fácil a alteração e aplicação da metodologia a cada aplicação, utiliza-se a avaliação de especialistas associadas conforme o Método AHP para se atribuir os índices de relevância de cada critério.

Estes mesmos índices obtidos pelo Método AHP são reutilizados na aplicação do Método PROMETHEE, de modo a evitar novas avaliações e manter a coerência de julgamentos e prioridades entre as unidades mínimas operacionais e as obras pertencentes à cada unidade mínima operacional.

Os cinco critérios estabelecidos para utilização na metodologia proposta, são:

- DEC
- FEC
- DIC/FIC/DMIC
- Níveis de Tensão
- Risco de Imagem

A seguir são discutidas as abordagens de cada critério, bem como apresentadas as razões pela definição de cada um e o impacto destes nos interesses e resultados das empresas em termos técnicos, regulatórios e econômicos.

#### 3.4.1 Critério DEC / FEC:

Os índices coletivos de confiabilidade dos sistemas de distribuição de energia elétrica, DEC (Duração equivalente de interrupções por unidade consumidora) e

FEC (Frequência equivalente de interrupções por unidade consumidora), já bastante utilizados em problemas de planejamento do sistema de distribuição de energia elétrica assumem no atual cenário do setor elétrico papel de destaque e de discussão entre as empresas do setor com o advento do Componente Q no cálculo do Fator X trazido pelo PRORET a partir de 2011.

De acordo com a nova regulação, os reajustes tarifários anuais aplicados pelas empresas sobre o valor da tarifa de energia elétrica, com implicação direta no fluxo de caixa das empresas e na lucratividade do negócio, passam a ser dados a partir do 3º Ciclo de Revisões Tarifárias Periódicas (CRTP) pela diferença entre o IGPM (Índice Geral de Preços do Mercado), apurado no ano corrente, pelo Fator X, conforme Figura 3.2 abaixo.



Figura 3.2. Cálculo Reajuste Tarifário Anual a partir do 3º CRTP.

O Fator X é dado pela equação (3.1).

$$\text{Fator X} = X_P + X_T + X_Q \quad (3.1)$$

Onde:

$X_P$  = Referente ao componente de produtividade (P).

$X_T$  = Referente a trajetória de eficiência para os custos operacionais (T).

$X_Q$  = Referente a qualidade na prestação do serviço (Q).

O componente P, é aplicado nos reajustes tarifários em função do crescimento de mercado verificado nos 12 (doze) meses anteriores ao reajuste vigente em relação aos 12 meses apurados no reajuste do ano anterior, conforme tabela 3.1 abaixo

Tabela 3.1. Componente P do Fator X. Fonte: (PRORET, 2010)

Crescimento de Mercado	Produtividade (P)
$\leq 0\%$	0,3%
$0\% < - \leq 3\%$	1,7%
$3\% < - \leq 4\%$	2,5%
$4\% < - \leq 5\%$	3,3%
$5\% < - \leq 6\%$	4,1%
$6\% < - \leq 7\%$	4,9%
$7\% < - \leq 8\%$	5,7%
$> 8\%$	6,5%

Onde o crescimento de mercado é dado pela equação (3.2).

$$\Delta M = \left( \frac{M_{A_t}}{M_{A_{t-1}}} - 1 \right) \times \pi_A + \left( \frac{M_{M_t}}{M_{M_{t-1}}} - 1 \right) \times \pi_M + \left( \frac{M_{B_t}}{M_{B_{t-1}}} - 1 \right) \times \pi_B \quad (3.2)$$

Onde:

$\Delta M$  = Crescimento de Mercado;

$M_{X_t}$  = Mercado verificado no nível de tensão X (A= Alta Tensão, M=Média Tensão e B=Baixa Tensão) entre o 12º mês anterior à data do reajuste e o último mês do reajuste;

$M_{X_{t-1}}$  = Mercado verificado no nível de tensão X (A= Alta Tensão, M=Média Tensão e B=Baixa Tensão) entre o 24º mês anterior à data do reajuste e o 13º mês anterior ao reajuste;

$\pi_X$  = Participação do nível de tensão X (A= Alta Tensão, M=Média Tensão e B=Baixa Tensão) na Parcela B definida na Revisão Tarifária.

O componente T, tem a função de amortizar o impacto do reposicionamento tarifário considerando uma trajetória de eficiência para os custos operacionais.

O cálculo é feito a partir da diferença dos valores de custos operacionais definidos no 2º CRTP (Ciclo de Revisões Tarifárias Periódicas), atualizados pelos ganhos de produtividade, e os custos eficientes a serem alcançados ao final do 3º CRTP, conforme equação (3.3).



$$T = \left( 1 - \sqrt[N]{\frac{CO_n^3}{CO_3}} \right) \cdot \left( \frac{CO_3}{VPB_0} \right) \quad (3.3)$$

Onde:

$T$ : valor a ser adicionado ao Fator X em função da metodologia de custos operacionais;

$N$ : número de reajustes entre duas revisões tarifárias sucessivas;

$CO_3$ : custos operacionais definidos na Etapa 1 (ER atualizada com produtividade);

$CO_n^3$ : limite do intervalo definido na Etapa 2 que seja mais próximo de  $CO_0$ ;

$VPB_0$  : total da parcela B no início do ciclo tarifário.

Por sua vez o componente Q tem a finalidade de incentivar a melhoria da qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras ao longo do ciclo tarifário, adequando a tarifa paga pelo consumidor à qualidade do serviço prestado.

O componente Q é dado pela comparação dos resultados de DEC e FEC da empresa em relação às suas metas no ano corrente e em relação ao seu próprio desempenho no ano anterior, de modo a oferecer pela primeira vez a oportunidade de ganhos às empresas pela melhora na prestação de seus serviços medidos pelos índices de DEC e FEC.

Desta forma a análise do componente Q pode ser dado sob duas perspectivas.

O índice de qualidade, que compara os resultados de DEC e FEC apurados em relação às metas de DEC e FEC estabelecidas pela ANEEL, conforme equação (3.4), a seguir.

$$\text{Índice de Qualidade} = \frac{1}{2} \left( \frac{DEC \text{ Realizado}}{Meta \text{ DEC}} + \frac{FEC \text{ Realizado}}{Meta \text{ FEC}} \right) \quad (3.4)$$

A evolução no desempenho, que compara a empresa com ela própria no ano anteriores através da comparação dos resultados de DEC e FEC apurados em relação aos resultados de DEC e FEC apurados no ano anterior, conforme equação (3.5), a seguir.

$$Evolução no Desempenho \text{ (Var DEC,FEC)} = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{DEC Q \text{ (Último Ano)}}{DEC Q \text{ (Penúltimo Ano)}} - 1 \right) + \left( \frac{FEC Q \text{ (Último Ano)}}{FEC Q \text{ (Penúltimo Ano)}} - 1 \right) \right] \quad (3.5)$$

Logo, o componente Q é dado por completo pela equação (3.6), a seguir.

$$XQ = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{DEC Q \text{ (Último Ano)}}{DEC Q \text{ (Penúltimo Ano)}} - 1 \right) + \left( \frac{FEC Q \text{ (Último Ano)}}{FEC Q \text{ (Penúltimo Ano)}} - 1 \right) \right] + \frac{1}{2} \left( \frac{DEC Realizado}{Meta DEC} + \frac{FEC Realizado}{Meta FEC} \right) \quad (3.6)$$

Calculado o componente  $XQ$ , as empresas são enquadradas conforme seu desempenho, podendo o componente Q implicar em índices de até +1% (representando perda direta de 1% a ser descontado do IGPM apurado) ou de até -1% (representando ganho direto de 1% a ser somado ao reajuste do IGPM apurado).

A Figura 3.3, abaixo demonstra de maneira mais clara os potenciais de perdas ou ganhos através do Componente Q do Fator X.

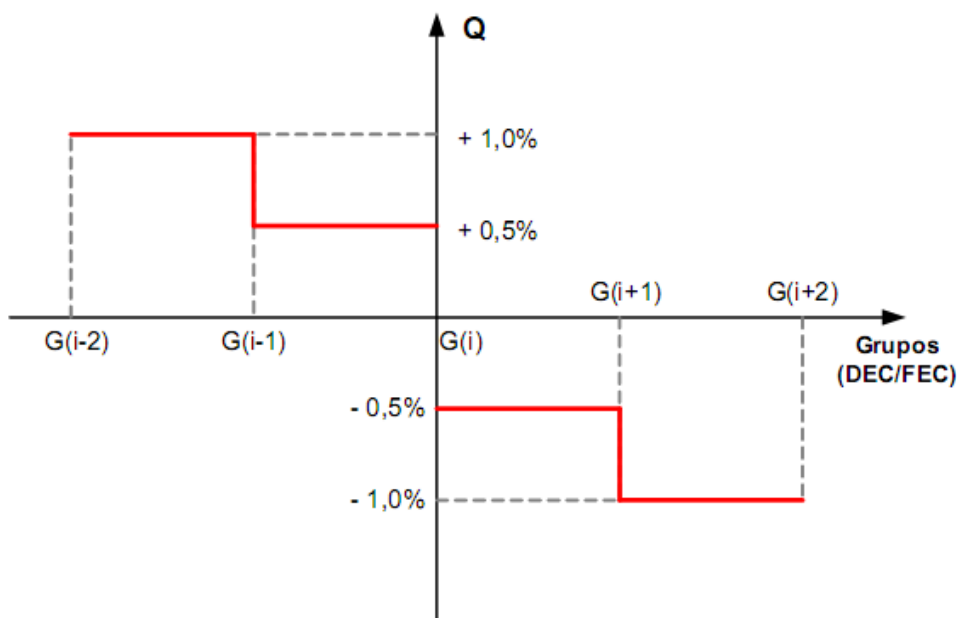


Figura 3.3. Potencial de Ganho ou Perda do Componente Q. Fonte: (PRORET, 2010)

Logo, o indicador de DEC de cada UMO é calculado pela soma do CHI (Cliente Hora Interrompido) apurado na UMO no último ano, dividido pela média do número de clientes ativos na Regional no mesmo período, conforme equação (3.7).

$$DEC_{UMO\ m} = \frac{\sum_{i=1}^n CHI_{UMO\ i}}{C_{m\u00e9dio}} \quad (3.7)$$

Onde:

$DEC_{UMO\ m}$  : Impacto das Interrupções no fornecimento de energia elétrica da U.M.O. “m” sobre o DEC da Regional Centro.

$CHI_{UMO\ i}$  : Número de clientes interrompidos por cada interrupção no fornecimento de energia elétrica dividido pelo tempo da interrupção em horas.

$n$  : Número de interrupções no fornecimento de energia para a UMO m no período considerado (1 ano).

$C_{m\u00e9dio}$  : média do número de clientes ativos na Regional Centro nos últimos 12 meses (1 ano).

Da mesma forma, o FEC de cada UMO é calculado pela soma do CI (Cliente Interrompido) apurado na UMO no último ano, dividido pela média do número de clientes ativos na Regional no mesmo período, conforme equação (3.8).

$$FEC_{UMO\ m} = \frac{\sum_{i=1}^n CI_{UMO\ i}}{C_{m\u00e9dio}} \quad (3.8)$$

Onde:

$FEC_{UMO\ m}$  : Impacto das Interrupções no fornecimento de energia elétrica da U.M.O. “m” sobre o FEC da Regional Centro.

$CI_{UMO\ i}$  : Número de clientes interrompidos por cada interrupção no fornecimento de energia elétrica.

$n$  : Número de interrupções no fornecimento de energia para a UMO m no período considerado (1 ano).

$C_{m\u00e9dio}$  : média do número de clientes ativos na Regional Centro nos últimos 12 meses (1 ano).

### 3.4.2 Critério DIC/FIC/DMIC

Tal qual os índices coletivos DEC e FEC, os índices de avaliação individual da confiabilidade do sistema DIC (Duração Individual de Interrupções por unidade

consumidora), FIC (Frequência individual de Interrupções por unidade consumidora) e DMIC (Duração Máxima de Interrupções por unidade consumidora) possuem forte impacto no resultado financeiro da empresa uma vez que implicam em elevados montantes de compensações pagas aos consumidores por transgressões dos limites estabelecidos pelo órgão regulador.

Em muitos estudos aponta-se redundância sobre a utilização dos indicadores coletivos (DEC/FEC) e individuais (DIC/FIC/DMIC) como critérios distintos para a priorização de ações.

Isto se dá devido à convergência entre um número elevado de consumidores interrompidos e a consequente compensação paga a este mesmo grupo dado o número de compensações a serem pagas.

Todavia, em algumas localidades, principalmente em regiões rurais do estado do Rio Grande do Sul há a existência de Cooperativas de Eletrificação Rural, ou Permissionárias de distribuição de energia elétrica que são entendidas pelo sistema de distribuição como uma carga de um cliente de AT.

Estes “clientes” perante as compensações por DIC/FIC/DMIC acabam por distorcer a lógica de convergência dos indicadores coletivos e individuais, pois as multas pagas a estes é dada em cima da demanda contratada, e os limites de continuidade para estas instalações é bem mais baixo que do restante dos clientes.

Logo em algumas localidades há grande concentração de compensações pagas em pontos específicos de tomadas de cooperativas e não nos centros urbanos.

Somado a isto, a alteração válida a partir de 2015 no setor elétrico, onde os valores de compensações pagas aos clientes por transgressões dos limites individuais de continuidade no fornecimento de energia elétrica passam a contabilizar na conta de despesas operacionais das empresas, implicando também em eficiência operacional e produtividade da empresa.

Desta forma a redução dos custos com compensações pagas aos clientes por transgressões dos indicadores individuais de continuidade se torna importante alvo de atenção, figurando como prejuízo direto a impactar nos resultados financeiros da empresa.

Logo, o critério relacionado às compensações por transgressões dos limites individuais de continuidade, é calculado pela soma dos valores de todas

compensações por DIC/FIC/DMIC pagas em cada UMO no último ano, conforme equação (3.9).

$$DIC/FIC/DMIC_{UMO\ m} = \sum_{i=1}^c DIC\ i + \sum_{i=1}^c FIC\ i + \sum_{i=1}^c DMIC\ i \quad (3.9)$$

Onde:

$DIC/FIC/DMIC_{UMO\ m}$  : Somatório das compensações pagas por transgressões dos limites individuais de continuidade no fornecimento de energia elétrica da UMO “m” nos últimos 12 meses (1 ano).

$DIC\ i$  : Compensação paga por transgressão da duração de interrupções no fornecimento de energia elétrica por unidade consumidora.

$FIC\ i$  : Compensação paga por transgressão da quantidade de interrupções no fornecimento de energia elétrica por unidade consumidora.

$DMIC\ i$  : Compensação paga por transgressão da duração máxima de interrupção no fornecimento de energia elétrica por unidade consumidora.

$c$  : Número de compensações por DIC/FIC/DMIC pagas na UMO “m” nos últimos 12 meses (1 ano).

### 3.4.3 Critério Nível de Tensão:

Além dos índices de qualidade do serviço prestado pelas empresas de distribuição de energia elétrica, analisados até o momento, os índices de qualidade do produto entregue aos consumidores também merece atenção.

Em especial, quando se trata de qualidade do produto se tem diretamente em mente a condição de níveis de tensão em regime permanente, item regulado e fiscalizado pelo órgão regulador, com limites e metodologia de apuração definidas, implicando em compensações pagas diretamente aos clientes em casos de violações dos índices Precários e Críticos de tensão entregue aos consumidores.

Tal qual as compensações por DIC/FIC;DMIC o valor destinado a compensações por Níveis de Tensão tem impacto direto nos resultados da empresa.

Deste modo é muito relevante a utilização do critério Nível de Tensão para a priorização de obras, uma vez que este critério possui reflexo direto nos aspectos econômicos da empresa.

Além do impacto direto nos resultados da empresa dado pela compensação financeira aos clientes, o critério Nível de Tensão ainda tem grande influência sobre o quinto critério que diz respeito a percepção da sociedade sobre a distribuidora de energia e seus serviços.

Grande parte das reclamações e solicitações junto a empresa estão relacionadas a este problema, reforçando a importância da consideração deste critério para priorização de obras.

O critério relacionado às reclamações de Nível de Tensão é calculado pela soma da quantidade de reclamações de NT em cada UMO no último ano, conforme equação (3.10).

$$NT_{UMO\ m} = \sum_{i=1}^r NT\ i \quad (3.10)$$

Onde:

$NT_{UMO\ m}$  : Somatório das reclamações de nível de Tensão entrantes da UMO “m” nos últimos 12 meses (1 ano).

$NT\ i$  : Reclamação de Nível de Tensão.

$r$  : Número de reclamações de Nível de Tensão geradas na UMO “m” nos últimos 12 meses (1 ano).

Para esta análise são consideradas todas as solicitações independente de sua procedência ou não. Desta forma, considera-se que havendo a reclamação está formalizado a insatisfação do cliente, gerando potencial de perda, da mesma forma que gera necessidade de deslocamento e atribuição de equipes a esta atividade, gerando perdas enquanto eficiência operacional.

Estima-se desta forma o grau de risco de cada UMO em relação a este critério.

#### 3.4.4 Critério Risco de Imagem

Diferentemente dos demais critérios utilizados, o critério Risco de Imagem não possui associação direta sobre seu impacto em termos econômicos a empresa.

Todavia, na atual condição do setor elétrico, com um grande número de empresas privadas estando estas trabalhando diretamente no mercado de ações, o

impacto de atos contra a imagem da empresa acabam por vezes tomando proporções muito grandes e até mesmo causando prejuízos muitas vezes maiores que todos demais critérios.

O valor financeiro de uma empresa está diretamente associado à imagem que ela representa perante a sociedade, e por isso este critério é essencial dentre a relação de demais critérios a serem utilizados na metodologia proposta.

Logo para quantificar as informações qualitativas referentes a este critério, contabiliza-se a quantidade de reclamações e solicitações recebidas via órgãos públicos de defesa do consumidor como PROCON, AGERGS, Ministérios Públicos, Prefeituras Municipais, Câmaras de Vereadores, dentre outros órgãos representativos da sociedade brasileira, em cada UMO.

Logo, o critério referente ao risco de imagem da empresa é calculado pela soma da quantidade de solicitações recebidas em cada UMO no último ano, conforme equação (3.11).

$$RI_{UMO\ m} = \sum_{i=1}^s RI\ i \quad (3.11)$$

Onde:

$RI_{UMO\ m}$  : Somatório das solicitações recebidas pela UMO “m” nos últimos 12 meses (1 ano).

$RI\ i$  : Solicitações emitidas por órgãos representativos da sociedade brasileira.

$s$  : Número de solicitações geradas na UMO “m” nos últimos 12 meses (1 ano).

Desta forma, o atendimento a estas demandas e demais solicitações da sociedade das mais diversas naturezas, representa uma boa perspectiva do desempenho da empresa nas pesquisas IASC (Índice ANEEL de Satisfação do Cliente) e ABRADDEE (Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica), que são realizadas anualmente a fim de estabelecer as melhores empresas do país no que diz respeito ao atendimento aos clientes e percepção de satisfação da sociedade.

### 3.5 Priorização das UMO's:

Após esta etapa, são avaliados os principais métodos de auxílio à tomada de decisões por múltiplos critérios, de modo a se definir pelo método AHP para a priorização das UMO's e atribuição de um índice de prioridade à cada uma de modo a se estabelecer uma hierarquia.

Para a aplicação do método AHP a qualquer problema, é necessária a estruturação do problema proposto em níveis hierárquicos, de modo a atender as especificidades da metodologia adotada. Desta forma algumas definições iniciais são necessárias.

#### I. Construção de hierarquias:

Para a aplicação do método AHP a estruturação do problema proposto deve se dar de forma hierárquica, onde no primeiro nível da hierarquia situa-se o objetivo geral do problema, no segundo nível os critérios e atributos e no terceiro nível as alternativas.

Desta forma, o decisor possui uma visualização do sistema como um todo.

A seguir, a Figura 3.4 apresenta a estrutura hierárquica básica do método AHP.

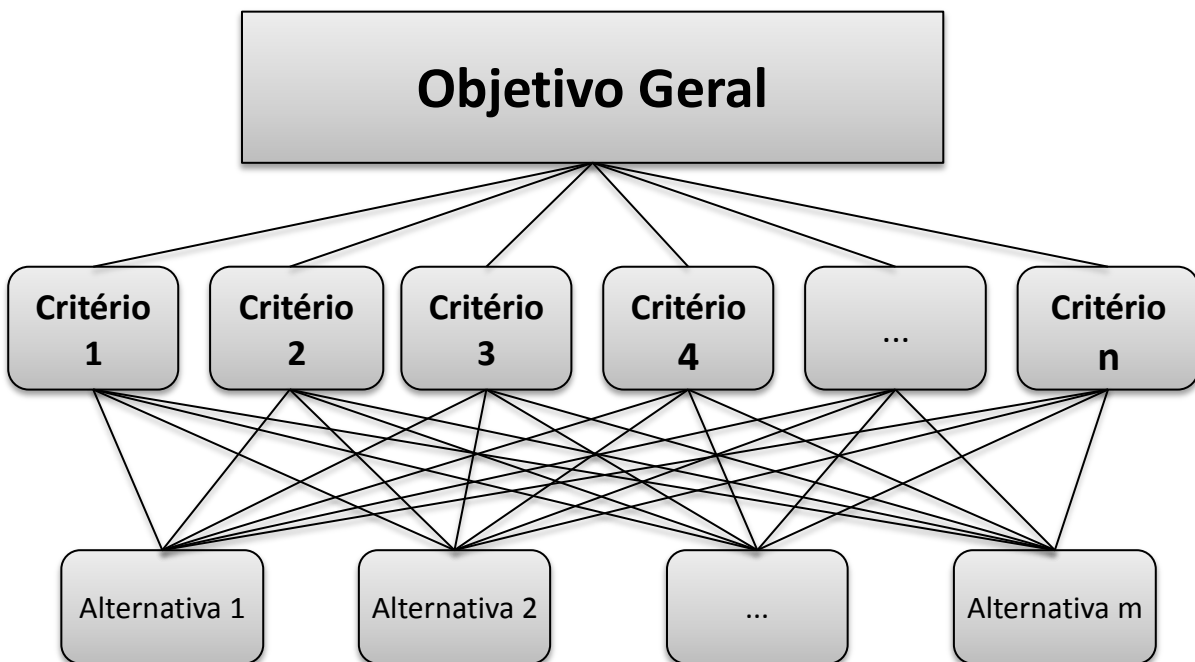


Figura 3.4 - Estrutura Hierárquica Básica. Fonte: adaptado de (Saaty, 1990).



- **Objetivo geral:** É a definição da decisão que se pretende tomar (objetivo principal do método)
- **Objetivos:** Além da definição do objetivo geral do trabalho, pode-se dividi-lo em alguns objetivos específicos, que entram em um segundo nível na estrutura de objetivos da metodologia. Muitas vezes esse nível estrutural é composto por critérios ou atributos do problema proposto.
- **Critérios ou Atributos:** Os critérios são definidos por quem desenvolve o método com o auxílio dos especialistas, e influenciam diretamente no objetivo geral, cada um com seu grau de relevância.
- **Alternativas:** As alternativas são as ações possíveis de se tomar, que serão priorizadas conforme o julgamento de sua relação com os critérios estabelecidos. Estão situadas no terceiro nível estrutural do método.

## II. Comparação paritária entre elementos:

A próxima etapa do método diz respeito às comparações entre elementos de mesmo nível, através das chamadas matrizes de comparação ou matrizes de julgamento.

Nesta etapa os especialistas começam a estabelecer as prioridades no método, através de comparações paritárias entre os “m” elementos de um mesmo nível, tomando como critérios os “n” elementos do nível imediatamente superior.

Seguindo a estrutura da Figura 3.4, o primeiro elemento considerado é o próprio Objetivo Geral, que por sua vez funciona como critério de comparação para os elementos do nível seguinte, os “n” Critérios.

Desta forma, o primeiro passo a ser tomado é comparar os “n” critérios entre si, dois a dois, em relação à contribuição de cada um para o objetivo geral.

No método AHP, as comparações entre os critérios são realizadas através da atribuição de valores que variam de 1 a 9, conforme estabelecido na Tabela 3.2, a seguir, onde o valor determinado representa a significância de um critério em relação ao outro.

Segundo Saaty (1990), a escala de 1 a 9 se mostra suficiente para a necessidade e mantém ainda a possibilidade de distinguir a intensidade das relações entre os elementos.

Além de Saaty, Harker e Vargas (1987), apresentaram demonstrações comparando a escala de 1 a 9 com outros tipos de escala e concluem que a escala proposta é aceitável e indicada para o uso com o AHP.

Tabela 3.2 – Comparações do AHP. Fonte: (Saaty, 1990)

<b>Intensidade de Importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
<b>1</b>	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
<b>3</b>	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
<b>5</b>	Importância Grande ou Essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
<b>7</b>	Importância Muito Grande ou Demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
<b>9</b>	Importância Absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
<b>2, 4, 6,8</b>	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
<b>Recíprocos dos valores acima de zero</b>	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
<b>Racionais</b>	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz

O próximo passo consiste na comparação análoga de cada alternativa com as demais alternativas, em relação a cada critério.

Diferentemente do primeiro nível em que se comparavam os critérios entre si uma só vez, por se tratar de um só um elemento no nível imediatamente acima, agora se compara as alternativas entre si “n” vezes, por haver “n” critérios no nível imediatamente superior.

A partir da atribuição de valores a todos os pares, é gerada uma matriz de avaliação de  $n \times n$ , conforme a matriz apresentada na Figura 3.5, a seguir.

C	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>n</sub>	
A <sub>1</sub>	1	x	...	y
A <sub>2</sub>	1/x	1	...	z
	⋮	⋮	⋱	⋮
A <sub>n</sub>	1/y	1/z	...	1

Figura 3.5 – Matriz-exemplo de comparações paritárias. Fonte: adaptado de (Saaty, 1990).

De um modo geral, a pergunta a ser feita é: “quanto mais importante é a contribuição do elemento “i” para o objetivo ou critério avaliado do que o elemento “j”?”.

Assim, cada julgamento representa a dominância do elemento da linha em relação ao elemento da coluna. De modo que se o elemento A<sub>i</sub>, da linha, for igualmente importante ao elemento A<sub>j</sub>, da coluna, o valor a<sub>ij</sub> atribuído a esse par deve ser 1. Conseqüentemente, se A<sub>i</sub> for mais importante do que o elemento A<sub>j</sub>, algum valor de 2 a 9 deverá ser escolhido, e se for menos importante que A<sub>j</sub>, um número inverso aos valores 2 a 9 deverá ser escolhido, como por exemplo, 1/2, 1/3, 1/4, etc.

Logo, os valores a<sub>ij</sub> e a<sub>ji</sub> da matriz serão sempre inversos um do outro, conforme a Figura 3.5, acima.

Na Figura 3.6, abaixo, o triângulo inferior representa que os valores ali presentes são os simétricos aos valores do triângulo superior, transpostos. Logo, é necessário apenas fazer as comparações localizadas na área de um dos triângulos, e inverter o resultado na sua posição correspondente no outro triângulo.

C	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
A <sub>1</sub>	1			
A <sub>2</sub>		1		
A <sub>3</sub>			1	
A <sub>4</sub>				1

Figura 3.6 – Posições transpostas dos valores de uma matriz de comparação.

Fonte: adaptado de (Saaty, 1990).

Sato (2005), desenvolveu um modelo de questionário onde o especialista visualiza bem os elementos que está comparando, podendo se ater apenas às comparações par a par, esquecendo por momento o conjunto de comparações necessárias ao método.

A partir de então, alguns melhoramentos e pequenas modificações foram feitas por diversos autores. Desta forma a tabela de comparações mais utilizada atualmente segue o modelo apresentado na Tabela 3.3, a seguir.

Tabela 3.3 – Modelo da tabela de comparações dos critérios utilizada.

Matriz de Comparação dos Critérios																		
Critério 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 2
Critério 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 3
Critério 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 4
Critério 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 5
Critério 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 3
Critério 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 4
Critério 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 5
Critério 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 4
Critério 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 5
Critério 4	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critério 5

### III. Inconsistência nos julgamentos:

Um dos pontos mais significativos do método AHP, e um dos seus diferenciais em relação a outros métodos de tomadas de decisões por múltiplos critérios é a possibilidade de se verificar o grau de inconsistência das comparações, de modo a validar ou não os resultados obtidos.

Desta forma o método AHP estrutura problemas complexos de modo a serem desenvolvidos com base em atributos humanos, como experiência, intuição, instinto, emoção, lógica, e diversos outros atributos importantes inerentes ao ser humano, que acabam sendo utilizados em todos os tipos de decisão implicitamente.

A grande diferença se dá pelo fato do método AHP estruturar estas questões, hierarquizando os elementos do problema e quebrando-o em problemas menores.

Desta forma, a inconsistência pode ser medida e calculada. De um modo geral é definido que o máximo de inconsistência aceitável é 10%, quando cinco ou

mais elementos são comparados, visto que um valor superior a este leva a crer que os julgamentos foram feitos de maneira aleatória. Para quatro elementos, a inconsistência recomendada é de 8%, e para três elementos, 5%.

Entretanto, se os valores de inconsistência extrapolarem esses valores máximos estabelecidos existem maneiras de melhorá-la alterando apenas alguns julgamentos.

A Figura 3.7, a seguir, traz um exemplo de matriz inconsistente.

C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	1	1/3	1/5
A <sub>2</sub>	3	1	1/3
A <sub>3</sub>	5	3	1

Figura 3.7 – Matriz inconsistente. Fonte: adaptado de (Saaty, et al., 2005).

A partir da matriz apresentada, observa-se  $A_1 = \frac{1}{3} A_2$  e  $A_1 = \frac{1}{5} A_3$ . Logo,  $\frac{1}{5} A_3 = \frac{1}{3} A_2$ .

Deste modo, um possível valor consistente de  $a_{23}$  seria 3/5, dado pela associação dos valores acima referidos isolando  $A_2$  em relação a  $A_3$ . Entretanto a título de facilitar a exemplificação foi escolhido 1/3 para demonstrar a inconsistência na relação entre  $A_2$  e  $A_3$ . Pelo mesmo motivo o valor de  $a_{32}$  que deveria ser 5/3, foi atribuído como 3.

Logo a primeira forma de se garantir a consistência de uma matriz de julgamentos é verificar se são verdadeiras as equações (3.12) e (3.13), a seguir.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (3.12)$$

$$a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \quad (3.13)$$

Desta forma em (3.12), assegura-se que os elementos transpostos são inversos, e em (3.13), assegura-se a consistência entre os elementos do mesmo triângulo.

Com base nas equações (3.12) e (3.13), testa-se a matriz da Figura 3.7, de modo a verificar se  $a_{12} \times a_{23} = a_{13}$ , e verifica-se que  $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3} \neq \frac{1}{5}$ , logo a matriz da Figura 3.8 não é consistente.

#### IV. Cálculo da Medida de Inconsistência:

Conforme visto, os métodos de verificação da consistência em matrizes de julgamento são relativamente simples. Entretanto deve-se ainda calcular os índices de inconsistências das matrizes a fim de avaliar se os mesmos encaixam-se dentro dos limites aceitáveis, mencionados anteriormente.

Dada a matriz exemplo da Figura 3.8, calcula-se o vetor  $w$  da mesma, conforme estabelecido a seguir.

$$\begin{array}{c}
 C_1 \quad A_1 \quad A_2 \quad A_3 \\
 A_1 \quad \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 \end{bmatrix} \\
 A_2 \quad \begin{bmatrix} 3 & 1 & 1/3 \end{bmatrix} \\
 A_3 \quad \begin{bmatrix} 5 & 3 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Figura 3.8 – Matriz exemplo. Fonte: adaptado de (Saaty, et al., 2005).

O primeiro passo para o cálculo de  $w$  é fazer o somatório das linhas da matriz, conforme Figura 3.9.

$$\begin{array}{c}
 C_1 \quad A_1 \quad A_2 \quad A_3 \quad \text{Total} \\
 \text{linha} \\
 A_1 \quad \begin{bmatrix} 1 & 0,33 & 0,2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1,53 \end{bmatrix} \\
 A_2 \quad \begin{bmatrix} 3 & 1 & 0,33 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 4,33 \end{bmatrix} \\
 A_3 \quad \begin{bmatrix} 5 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 9 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Figura 3.9 – Somatório linhas matriz exemplo. Fonte: adaptado de (Saaty, et al., 2005).

A seguir é feito o somatório total da coluna resultante.

$$S \text{ total} = 1,53 + 4,33 + 9 = 14,86 \quad (3.14)$$

A terceira etapa é dividir a soma de cada linha pela soma total.

$$Pr1 = \frac{1,53}{14,86} \cong 0,1029 \quad (3.15)$$

$$Pr2 = \frac{4,33}{14,86} \cong 0,2913 \quad (3.16)$$

$$Pr3 = \frac{9}{14,86} \cong 0,6056 \quad (3.17)$$

Por fim tem-se o vetor de prioridades  $w = \begin{bmatrix} 0,10 \\ 0,29 \\ 0,61 \end{bmatrix}$ .

Calculado o vetor  $w$ , obtem-se os  $\lambda_i$  através da equação (3.18), a seguir, multiplicando-se cada linha da matriz original pelo vetor  $w$ , e dividindo pelo  $w_i$  correspondente, conforme Figura 3.10.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,333 & 0,2 \\ 3 & 1 & 0,333 \\ 5 & 3 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,10 \\ 0,29 \\ 0,61 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,10 \\ 0,29 \\ 0,61 \end{bmatrix}$$

Figura 3.10 – Cálculo  $\lambda_i$ . . Fonte: adaptado de (Saaty, et al., 2005).

$$Aw = \lambda máx w \quad (3.18)$$

$$\lambda_1 = \frac{(1 \times 0,10) + (0,333 \times 0,29) + (0,2 \times 0,61)}{0,10}$$

$$\lambda_2 = \frac{(3 \times 0,10) + (1 \times 0,29) + (0,333 \times 0,61)}{0,29}$$

$$\lambda_3 = \frac{(5 \times 0,10) + (3 \times 0,29) + (1 \times 0,61)}{0,61}$$

Logo, tem-se:

$$\lambda = \begin{bmatrix} 3,18 \\ 2,73 \\ 3,24 \end{bmatrix}$$

A seguir o  $\lambda_{máx}$  aproximado é obtido pela média dos  $\lambda_i$ .

$$\lambda_{máx} = 3,05 \quad (3.19)$$

Tendo  $\lambda_{máx}$  calculado, obtem-se o valor da inconsistência através do índice de inconsistência  $CI$ .

$$CI = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad (3.20)$$

Sendo “ $n$ ” o número de alternativas, ou a ordem da matriz  $A$ .  
Conforme o exemplo adotado, temos que:

$$CI = \frac{3,05 - 3}{3 - 1} = 0,025$$

A seguir, é necessário consultar o índice de inconsistência aleatória  $RI$ , que por sua vez é o mesmo índice de inconsistência calculado em uma matriz gerada aleatoriamente na escala de julgamentos de 1 a 9, com os valores correspondentes calculados de modo a forçar a consistência.

O índice de inconsistência aleatória  $RI$  varia de acordo com a ordem da matriz, e é apresentado na Tabela 3.4, a seguir.

Tabela 3.4 – Índices de inconsistência aleatória para o método AHP. Fonte: (Saaty, et al., 2005).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Os valores da Tabela 3.4 foram desenvolvidos por Saaty e Mariano (1979 apud Wind e Saaty, 1980), através de experimentos com matrizes recíprocas aleatórias de várias ordens.

Por fim, a razão de inconsistência  $CR$  é dada pela razão entre o índice de inconsistência  $CI$  da matriz em questão e o índice de inconsistência aleatória  $RI$ . Sendo o  $CR$  o valor que mede a inconsistência dos julgamentos de uma matriz propriamente dita.



Segundo Liberatore e Nydick (1997), se  $CR=0$  pode-se afirmar que a matriz é dita absolutamente consistente.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.21)$$

A partir da Tabela 3.4, para  $n = 3$  tem-se  $RI = 0,58$ .

Logo a razão de inconsistência é:

$$CR = \frac{0,025}{0,58} = 0,04807$$

Logo a consistência está dentro dos padrões mínimos determinados, caracterizando a matriz como aceitável, sem necessidades de correções.

Desta forma o  $\lambda_{máx}$  deve ser calculado separadamente para cada matriz de julgamentos, a fim de determinar a inconsistência de cada comparação.

## V. Decisões em Grupo:

Em um processo de decisão complexo, que envolve vários critérios muitas vezes é aconselhado tomar-se a opinião de diversos especialistas, a fim de tornar o método mais robusto e não tão dependente do senso crítico de apenas um especialista.

Logo, esta é a etapa mais crítica do processo, onde se pode ter um maior número de problemas, devido a interesses conflitantes por parte dos especialistas a julgarem os critérios e alternativas, e ainda por questões de diferentes níveis de experiência entre os mesmos.

Entretanto a média a ser adotada não pode ser qualquer tipo de média, devendo ser a média geométrica, conforme Rabbani e Rabbani (1996).

Desta forma, a média geométrica de  $n$  elementos se dá pela raiz enésima da multiplicação entre esses elementos

Outra questão relevante, quando na aplicação de questionários a diversos participantes de diferentes níveis, é o fato de a opinião de alguns serem julgadas mais significativas ao processo do que a opinião de outros, de acordo com os níveis

hierárquicos envolvidos. Para tal é possível que se atribua diferentes pesos a cada participante, de modo a ponderar suas importâncias no momento de se realizar a média das opiniões.

A cerca do discorrido Saaty e Vargas (2005), fazem um estudo sobre as decisões em grupo, onde se ratifica que a média geométrica é a única válida para sintetização dos julgamentos de um grupo, e coloca-se a condição de que quando os julgamentos de um grupo são muito dispersos, a média geométrica resultante não deve ser usada como o julgamento representativo do grupo.

## VI. Solução exata método AHP por Autovalores e Autovetores:

O cálculo das prioridades de um problema através do método AHP pode ser feito através de diversos enfoques e derivações do método original desenvolvido por Saaty. Logo os principais métodos de cálculo desenvolvidos para a solução do método AHP são os métodos dos mínimos quadrados (LSM), o método dos mínimos quadrados logarítmicos (logarithmic LSM) e o método dos autovalores e autovetores, Harker e Vargas, (1987).

Dentre estes, o método dos autovetores se mostra o único capaz de tratar matrizes que não sejam consistentes, de acordo com Harker e Vargas, (1987), sendo este, portanto, o método escolhido para o desenvolvimento deste trabalho.

Para tal, temos que cada matriz de julgamento de ordem  $n \times n$  é chamada de  $A$ , que por sua vez traz a relação das  $i$  linhas com as  $j$  colunas, sendo  $i$  e  $j$  números naturais.

Logo, a solução se dá pela determinação do vetor de prioridades  $x$  da matriz. De modo que esse vetor satisfaça a relação  $Ax = cx$ , com  $c$  constante e maior que zero. Como condição para satisfazer essa relação, o vetor de prioridades  $x$  deve ser múltiplo positivo do autovetor principal de  $A$ , e  $c$  deve ser o autovalor máximo de  $A$ , segundo Saaty (2003).

Teoricamente, quando falamos da representação  $Ax = cx$  remete-se a matrizes quase consistentes, que são matrizes do tipo  $A = (a_{ij})$  que são uma pequena perturbação da matriz consistente  $W = (w_i / w_j)$ .

Assim, as matrizes utilizadas devem obedecer aos valores mínimos necessários de consistência, estabelecidos por Saaty. Caso as matrizes ultrapassem

os índices de inconsistência aceitáveis, os julgamentos devem ser refeitos ou deverá utilizar-se métodos para a melhoria da consistência.

Através dos pesos relativos  $w_i / w_j$ , demonstra-se a dominância de uma alternativa em relação à outra. Como no exemplo, em que a alternativa 1 é moderadamente melhor do que a alternativa 2, recebendo nota 3 na escala de Saaty, o elemento  $a_{12}$  da matriz tem valor  $3/1$ , ou seja,  $w_i = 3$  e  $w_j = 1$ , e consequentemente o elemento  $a_{21}$  terá valor  $1/3$ .

A matriz consistente é representada na forma da Figura 3.11, a seguir.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\
 A_1 & \left[ \begin{array}{cccc}
 \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\
 \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n}
 \end{array} \right] \\
 A_2 & & & & \\
 \vdots & & & & \\
 A_n & & & &
 \end{array}
 \end{array}$$

Figura 3.11 – Representação racional da matriz consistente. Fonte: adaptado de (Saaty, 2003).

Prosseguindo, uma matriz quase consistente  $A = (a_{ij})$ , conforme exemplificada anteriormente consiste em uma pequena perturbação multiplicativa de uma matriz consistente  $W = (w_i / w_j)$ , logo seu vetor  $x$  é também uma pequena perturbação do autovetor  $w$  da matriz consistente.

O produto de Hadamard  $A = W \cdot E$ , descreve a relação entre as matrizes quase consistentes e consistentes, de modo que a perturbação  $E = (\varepsilon_{ij})$  é multiplicado por cada elemento da matriz modificando cada um destes,  $(\varepsilon_{ij} \cdot a_{ij})$ , onde  $\varepsilon_{ji} = 1$  quando não existem perturbações. Temos ainda que  $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}^{-1}$ .

O produto de Hadamard entre duas matrizes de mesma dimensão é a multiplicação direta entre os termos de mesma posição, conforme:

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x & y \\ z & w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ax & by \\ cz & dw \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Comumente se vê na literatura a relação  $Ax = cx$ , do cálculo do autovetor e autovalor representada pela relação  $Aw = \lambda_{\text{máx}}w$ , onde  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  é o

autovetor principal e  $\lambda_{m\acute{a}x}$  é o autovalor máximo correspondente, conforme a Figura 3.12, a seguir.

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda_{m\acute{a}x} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Figura 3.12 – Representação usual matriz do cálculo autovetor e autovalor.

Fonte: adaptado de (Saaty, 2003).

Temos ainda que na matriz quase consistente, o somatório em  $j$  das perturbações  $\varepsilon_{ij}$  de seus elementos em relação aos da matriz absolutamente consistente equivalem a  $\lambda_{m\acute{a}x}$ .

$$\sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} = \lambda_{m\acute{a}x} \quad (3.23)$$

De outra maneira, temos que quando a matriz tiver uma inconsistência aceitável a soma de todos os  $\varepsilon_{ij}$  de uma linha qualquer é igual ao valor de  $\lambda_{m\acute{a}x}$ .

Em Saaty (2003), vemos que  $\lambda_{m\acute{a}x} \geq n$ .

Somente quando a matriz for consistente, teremos todos os  $\varepsilon_{ij} = 1$ , nesse caso  $\lambda_{m\acute{a}x}$  se iguala a  $n$ , que por sua vez representa o número de alternativas, ou ainda a ordem da matriz. Logo, o desvio de  $\lambda_{m\acute{a}x}$  em relação a  $n$  é o que possibilita o cálculo da inconsistência dos julgamentos.

### 3.6 Priorização de Obras em Cada UMO:

Tendo discriminadas e priorizadas as UMO's, são elencadas as obras de melhoria estimadas pertencentes a cada unidade mínima operacional.

Torna-se a utilizar os dados levantados e tratados nas primeiras etapas, de modo a se reaproveitar os mesmos critérios estabelecidos para aplicação do método

AHP, utilizando da mesma matriz de julgamentos dos critérios para aplicação do Método PROMETHEE quanto a tarefa de priorização de obras em cada UMO

O método PROMETHEE baseia-se na formação de uma função de preferência para cada critério, que é dada pela comparação par a par de todas alternativas frente aos critérios estabelecidos, associando o peso dado a cada critério.

Para a aplicação do método pode-se utilizar julgamentos de especialistas de modo a estabelecer uma relação de sobreclassificação entre as alternativas, ou ainda estabelecer lógicas de comparação entre os pesos de cada alternativa em relação à cada critério e assim estabelecer a comparação pela diferença do desempenho da alternativa "a" sobre a alternativa "b" para todos os critérios.

O método PROMETHEE estabelece seis padrões de funções de preferência para aplicação conforme a natureza do critério e conforme o objetivo da aplicação do estudo, conforme Figura 3.13, abaixo.

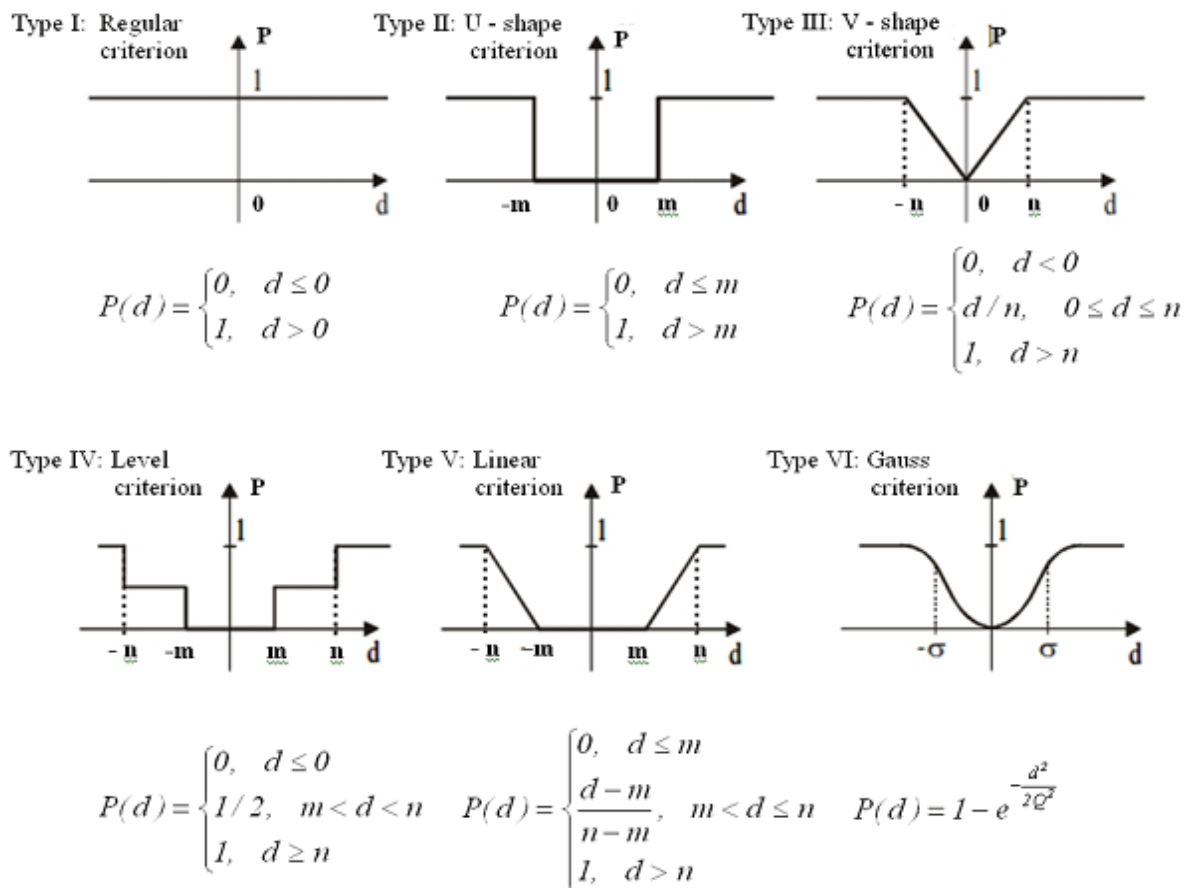


Figura 3.13 - Funções de Preferência Típicas Método PROMETHEE P(d). Fonte: (Tomic, et al., 2011)

Aplicadas as funções de preferência associadas a cada critério de acordo com sua natureza, quantifica-se o peso de cada alternativa em um valor entre zero e um de acordo com a lógica determinada.

Logo, a função de preferência  $P(a,b)$  do método é dada pelas equações (3.24) e (3.25), abaixo.

$$P(a, b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j P_j(a, b) \quad (3.24)$$

$$W = \sum_{j=1}^n w_j \quad (3.25)$$

Onde  $W_j$  é o peso do critério  $j$  e  $n$  é o número de critérios.

Por fim são calculados dois índices de preferência para cada alternativa,  $Q+(a)$  significa fluxo positivo, expressa quanto uma alternativa a sobreclassifica as demais alternativas,  $Q-(a)$  significa fluxo negativo, expressa quanto uma alternativa a é sobreclassificada pelas demais alternativas. Calculadas conforme equações (3.26) e (3.27) abaixo.

$$Q + (a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(a,b)}{m-1} \quad (3.26)$$

$$Q - (a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(a,b)}{m-1} \quad (3.27)$$

Logo, obtém-se a pré-ordem completa das alternativas dadas pelo método através da subtração da parcela  $Q+(a)$  pela  $Q-(a)$ , conforme equação (3.28).

$$Q(a) = Q + (a) - Q - (a) \quad (3.28)$$

Por fim, o método PROMETHEE fornece também um índice de prioridade de cada obra pertencente a cada UMO.

Este índice pode variar de valores positivos, das obras mais relevantes, a valores negativos, referente às obras menos relevantes, permitindo já nesta etapa realizar um corte das alternativas a fim de diminuir esforços computacionais.

Logo, para aplicação do método PROMETHEE se faz necessária definição por uma função de preferência para cada critério, dada pela comparação par a par de todas alternativas frente aos critérios estabelecidos, associando o peso dado a cada critério.

Conforme visto na Figura 2.10, o método PROMETHEE estabelece seis padrões de funções de preferência para aplicação conforme a natureza do critério e conforme o objetivo da aplicação do estudo.

Para o tratamento dos pesos de cada alternativa frente a cada critério foi utilizada a função de preferência Tipo 4, que estabelece níveis de importância para cada alternativa frente a cada critério.

Desta forma, a relação de nivelamento entre os pesos das alternativas para todos os critérios foi estabelecida em quatro níveis de relevância (0; 0,33; 0,67; 1), conforme Figura 3.14, abaixo.

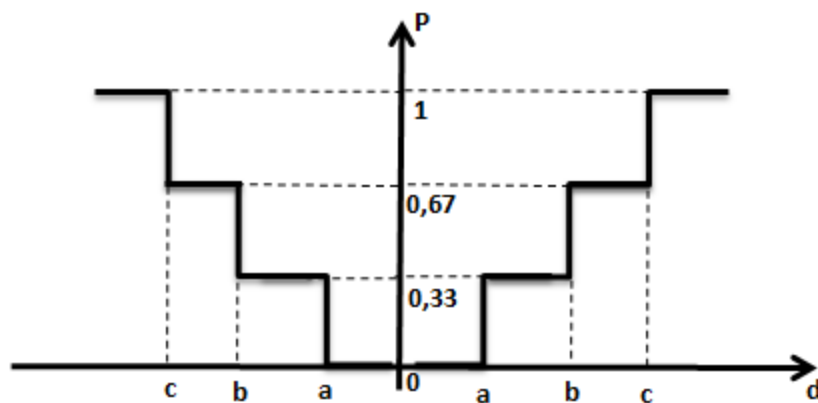


Figura 3.14 - Função de preferência utilizada neste trabalho – Critério por Nível

Onde:

$$P(d) = 0 \text{ se } d \leq a$$

$$P(d) = 0,33 \text{ se } a < d < b$$

$$P(d) = 0,67 \text{ se } b < d < c$$

$$P(d) = 1 \text{ se } d \geq c$$

Dadas as diferentes naturezas e grandezas de cada critério, este tipo de função de preferência proporciona criação de lógicas de comparação entre as obras e estabelecimento de regras que melhor classifiquem seus impactos frente aos critérios estabelecidos.

### **3.7 Otimização na Seleção Final de Obras:**

Priorizadas as Unidades Mínimas Operacionais, atribuído a estas seus respectivos graus de importância para a região de abrangência do estudo.

Priorizadas as obras mais relevantes para cada unidade mínima operacional com seus respectivos graus de importância quanto aos critérios estabelecidos, multiplica-se o índice de prioridade de cada obra ao índice de prioridade da UMO a que pertence, gerando um índice de prioridade global para cada obra pré-selecionada.

De modo a estabelecer uma restrição que exija que no mínimo a principal obra de cada UMO seja executada, soma-se a constante 1 à principal obra de cada UMO.

Também a título de restrição entra-se com o orçamento disponível para aplicação em obras de melhoria.

Nesta etapa, são atribuídos os custos modulares estimados associados a cada obra, configurando um típico problema de planejamento de Programação Linear Inteira, e aplicam-se metodologias de pesquisa operacional associado ao método Branch-and-Bound para a distribuição ótima dos recursos disponíveis dentre as obras prioritárias e as unidades mínimas operacionais, considerando o grau de relevância de cada um para o sistema como um todo, de modo a maximizar os benefícios obtidos pelas obras selecionadas frente aos critérios estabelecidos.

O Método Branch-and-Bound, consiste na solução do problema original através da resolução de subproblemas de programação linear e análise de seus resultados.

A solução de problemas de programação linear inteira pelo método de Branch-and-Bound baseia-se na ideia de uma enumeração inteligente das soluções candidatas a ótima inteira de um problema, efetuando partições sucessivas do espaço de soluções e cortando a árvore de decisões através de limites calculados através da enumeração.



Desta forma, o problema parte da solução inicial de um problema linear  $P_0$ , cuja solução representa o ótimo, isto pode ser verificado na figura 3.15. O nó  $P_0$  é o nó inicial da árvore de busca, com valor de função objetivo  $Z_0$ , em problemas de maximização  $Z_0$  corresponderia a um limite superior da função objetivo. A partir deste passo, são definidos criados subproblemas em forma de árvore, como apresentado anteriormente, com acréscimo progressivo de restrições, até o encontro da solução inteira ótima.

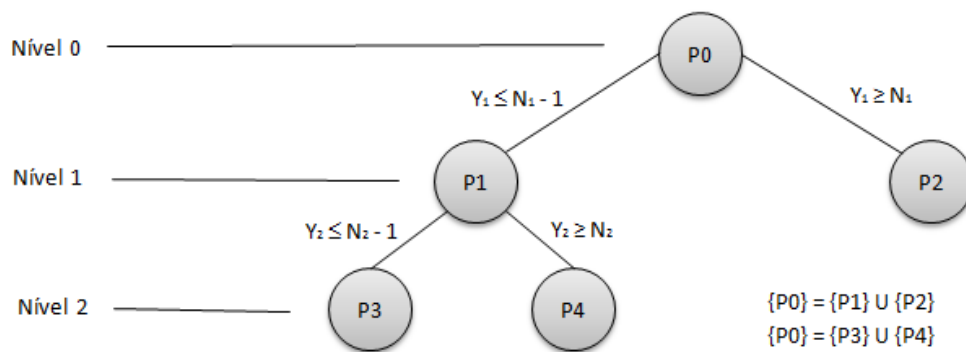


Figura 3.15. Árvore de Decisões para o Método Branch-and-Bound.

A primeira solução encontrada corresponde aos valores  $Y_1$  e  $Y_2$ , que não são inteira. Assim, escolhe-se a solução  $Y_1$  para ramificação e cria-se dois subproblemas pela adição das restrições  $Y_1 \leq N_1 - 1$  e  $Y_1 \geq N_1$ , sendo  $N_1$  um valor inteiro truncado de  $Y_1$  na solução  $P_0$ .

Genericamente, os problemas  $P_1$  e  $P_2$  apresentam soluções  $Z_1$  e  $Z_2$ , sendo o valor de  $Z_2$  inteiro, não sendo mais necessárias ramificações nesse nó. O problema  $P_1$  não apresenta solução inteira, portando seleciona-se  $Y_2$  para ramificação, gerando os problemas  $P_3$  e  $P_4$  que resultam em soluções inteiras. Desta forma não são mais necessárias ramificações e a árvore está completa. As soluções  $P_2$  e  $P_3$  são descartadas e a solução  $P_4$  é a solução ótima do problema.

Em resumo o método consiste em três etapas:

- *Ramificação*: Acréscimo de restrições de forma a reduzir os problemas a subconjuntos cuja união corresponda ao espaço do problema inicial;

- *Cálculo de limites*: Para cada nó o valor ótimo do problema de programação linear consiste em limite superior ou inferior (maximização ou minimização);
- *Corte de ramos*: Pode ocorrer de em três possibilidades, sendo: Solução inteira para o subproblema (factível); A solução do problema de programação linear relaxado é pior do que a solução inteira encontrada anteriormente ou; a resolução do problema linear relaxado não tem solução viável (infactível).

A figura 3.16 demonstra de forma simplificada os passos para resolução do problema pelo método Branch-and-Bound:

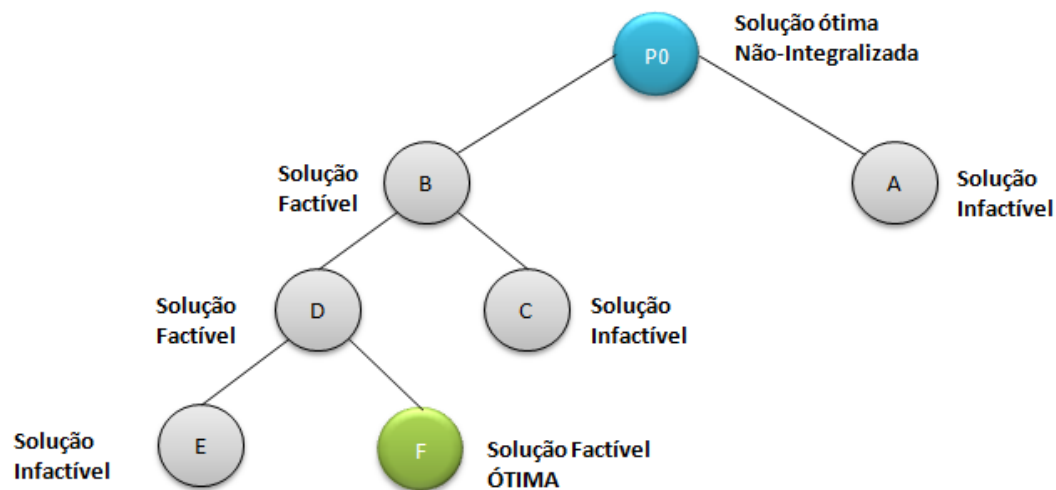


Figura 3.16. Etapas Generalistas do Método Branch-and-Bound.

Logo, obtém-se uma seleção otimizada das obras com a maximização dos benefícios ao sistema e a melhor aplicação possível dos recursos disponíveis na carteira de investimentos de melhorias a curto prazo.

## 4 ESTUDO DE CASO NA REGIONAL CENTRO DA RGE

O estudo de caso foi realizado numa área piloto pertencente a uma concessionária de distribuição de energia elétrica do estado do Rio Grande do Sul - RGE.

A RGE entrou no mercado nacional em 1997, a partir das privatizações ocorridas no setor elétrico nacional e atende atualmente 263 municípios gaúchos, representando um total de 51% do total de municípios do estado, totalizando uma área de 90.718 km<sup>2</sup>, ou ainda 34% do território do Rio Grande do Sul.

A área de cobertura da RGE divide-se em duas regiões: a Centro, com sede em Passo Fundo e a Leste, com Sede em Caxias do Sul. Agrupadas, essas regiões apresentam um dos melhores índices sociais e econômicos do Brasil. Também são as responsáveis pelo maior polo agrícola, pecuário, industrial e turístico do estado.

A RGE faz parte do Grupo CPFL Energia, um dos maiores grupos privados do setor elétrico brasileiro.

A Figura 4.1, a seguir, demonstra a área de abrangência da RGE no estado.

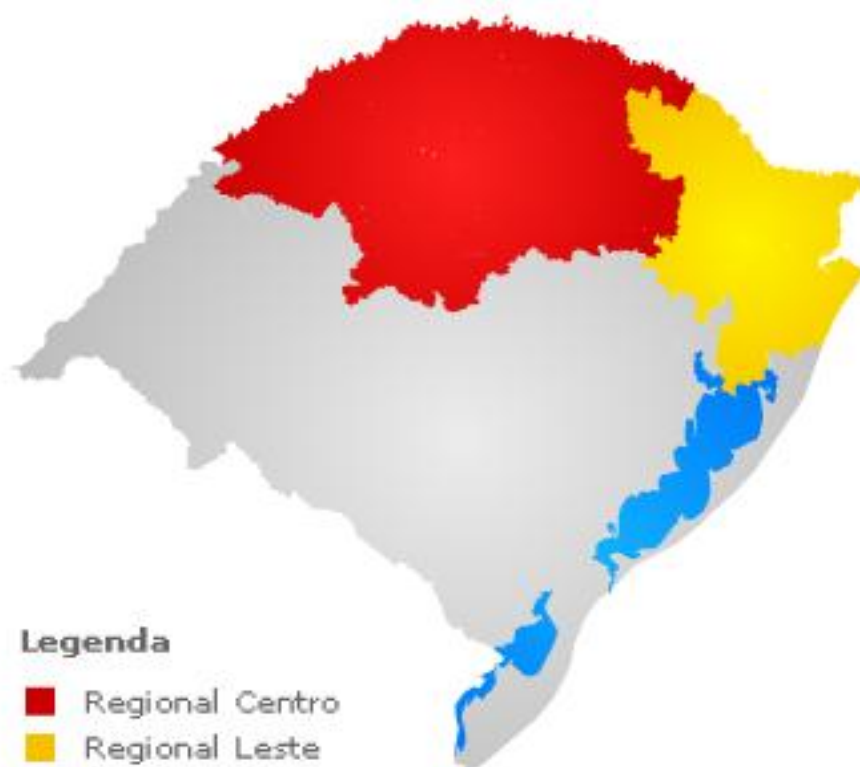


Figura 4.1 – Área de abrangência RGE

A área de aplicação do estudo se restringirá à Regional Centro, área em vermelho na Figura 4.1.

Determinada a região de aplicação do estudo, com base na avaliação dos contratos com empreiteiras de execução de obras e nas características geográficas e topográficas das redes de distribuição da RGE, são definidas oito Unidades Mínimas Operacionais, que dividem a área de aplicação do estudo em micro regiões com autonomia e independência quanto a capacidade de execução de obras, sendo estas denominadas e identificadas pela maior cidade pertencente a cada região.

- UMO – PFU (Passo Fundo)
- UMO – ERE (Erechim)
- UMO – PMI (Palmeira das Missões)
- UMO – FWE (Frederico Westphalen)
- UMO – CAL (Cruz Alta)
- UMO – SAG (Santo Ângelo)
- UMO – SRO (Santa Rosa)
- UMO – TPA (Três Passos)

A Figura 4.2,a seguir, ilustra a divisão geográfica das 8 UMO's estabelecidas com base na análise dos fatores mencionados no capítulo anterior.

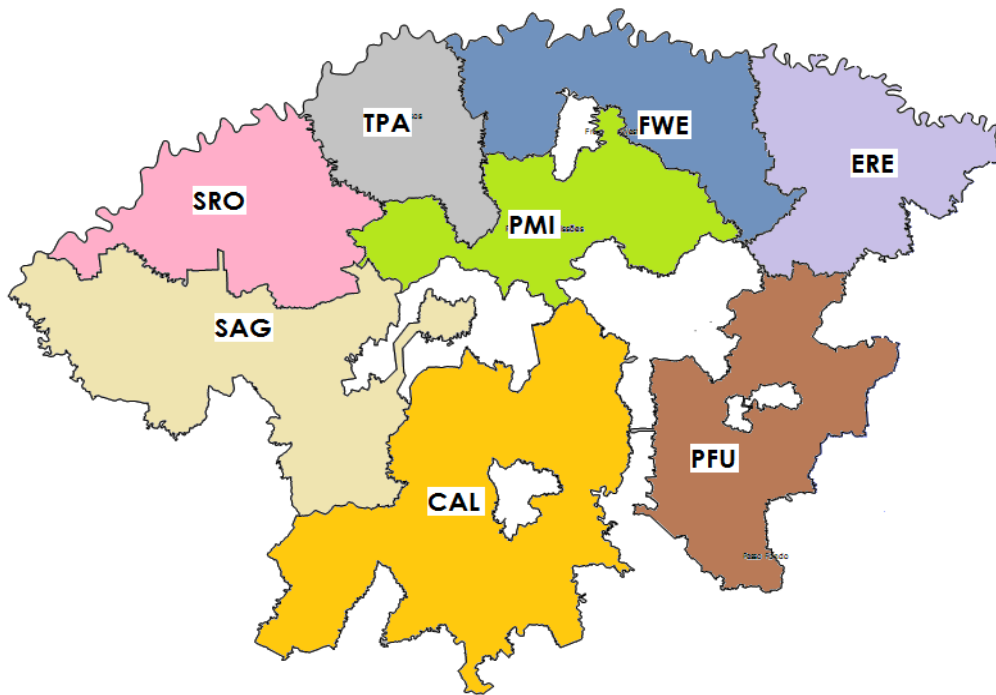


Figura 4.2 – UMO (Unidades Mínimas Operacionais) Regional Centro.

#### 4.1 Priorização Unidades Mínimas Operacionais – AHP

Estabelecidas as unidades mínimas operacionais (UMO's) para a região de estudo e conhecidos os cinco critérios definidos para a priorização destas, parte-se para a estruturação hierárquica do problema nos moldes do Método AHP para a priorização e atribuição do índice de prioridade a cada UMO, conforme Figura 4.3.

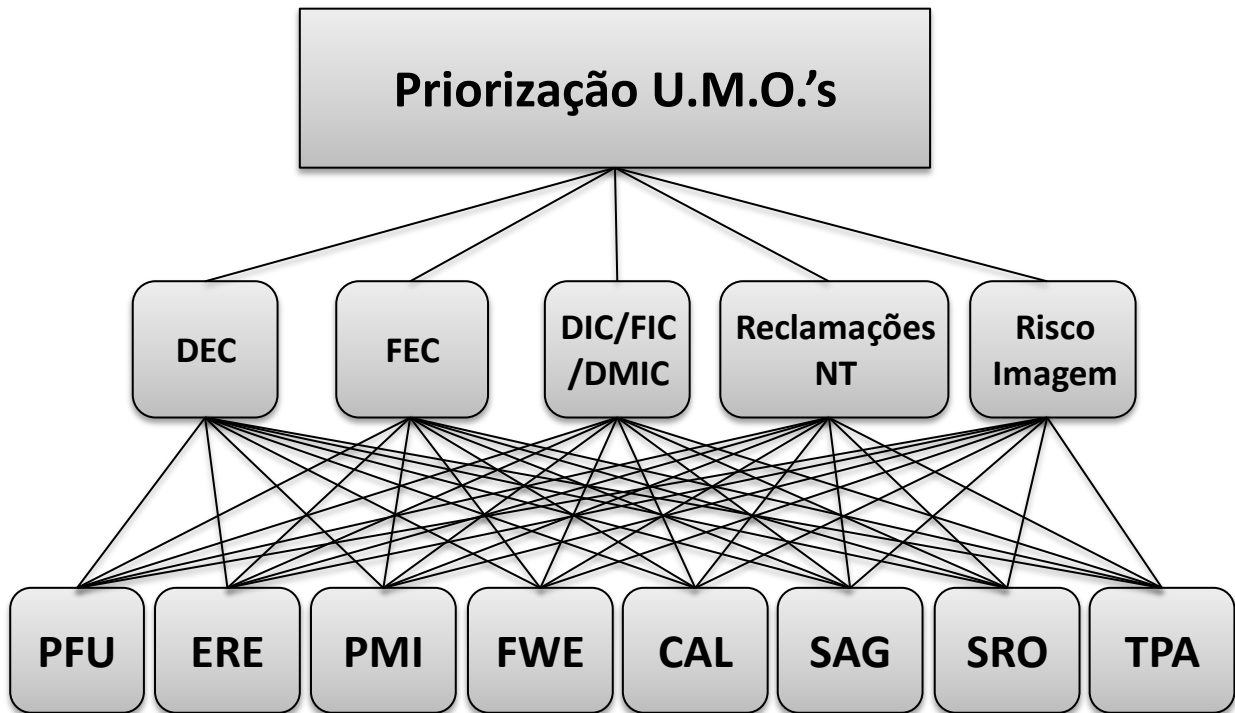


Figura 4.3 – Estrutura Hierárquica do Problema de Proposto

Logo, temos como objetivo geral a priorização das unidades mínimas operacionais através dos critérios DEC, FEC, DIC/FIC/DMIC, Reclamações NT e Risco Imagem estabelecidos, tendo como alternativas às oito UMO's determinadas.

A seguir são tratadas as informações sobre os critérios estabelecidos e calculadas as participações de cada UMO referente a cada critério, de modo a apresentar de forma clara esta iteração.

A fim de facilitar a interpretação dos dados sob uma mesma base de referência, a participação de cada UMO referente aos critérios é dado em termos do percentual de sua participação e não em números absolutos.

A Figura 4.4, a seguir demonstra a contribuição das oito UMO's sobre o DEC da Regional.

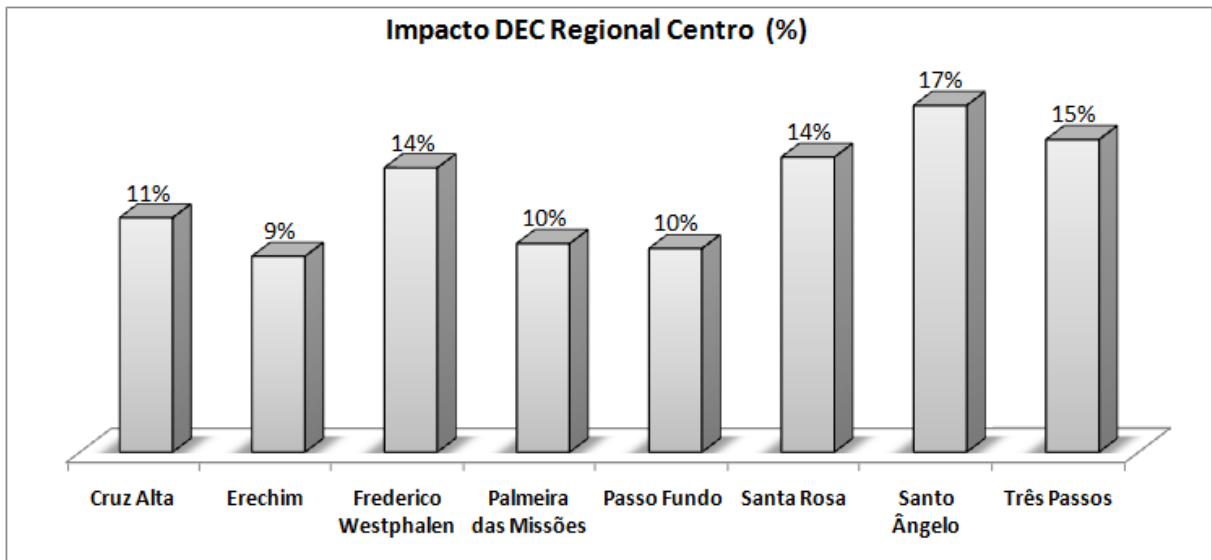


Figura 4.4 – Impacto UMO's DEC Regional Centro.

A Figura 4.5, a seguir demonstra a contribuição das oito UMO's sobre o FEC da Regional.

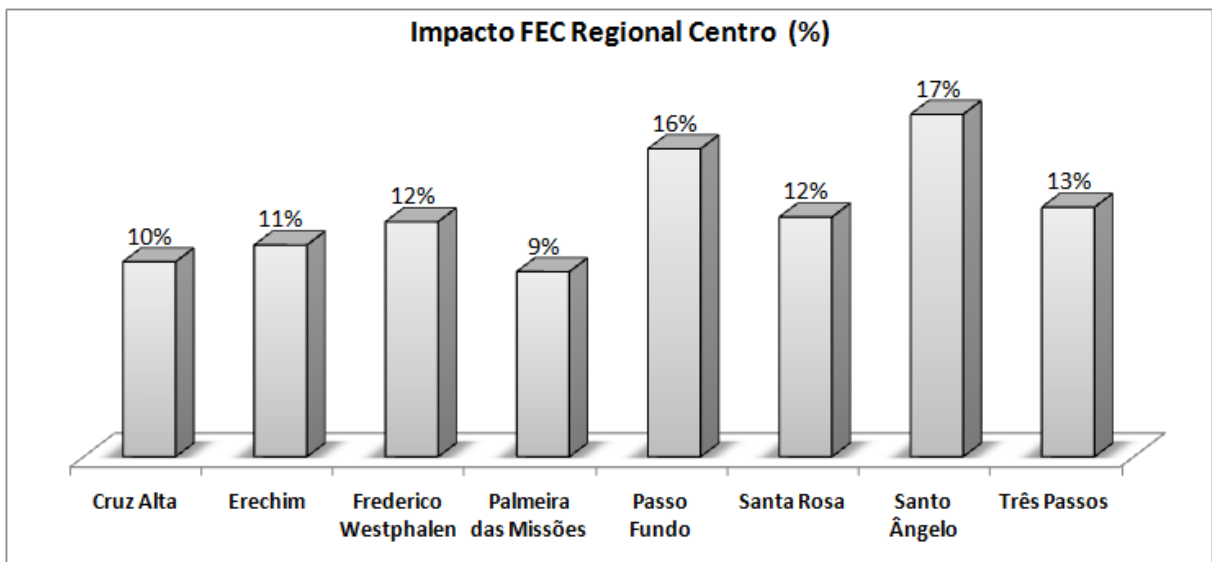


Figura 4.5 – Impacto UMO's FEC Regional Centro.

A Figura 4.6, a seguir demonstra a participação das oito UMO's sobre as compensações DIC/FIC;DMIC da Regional.

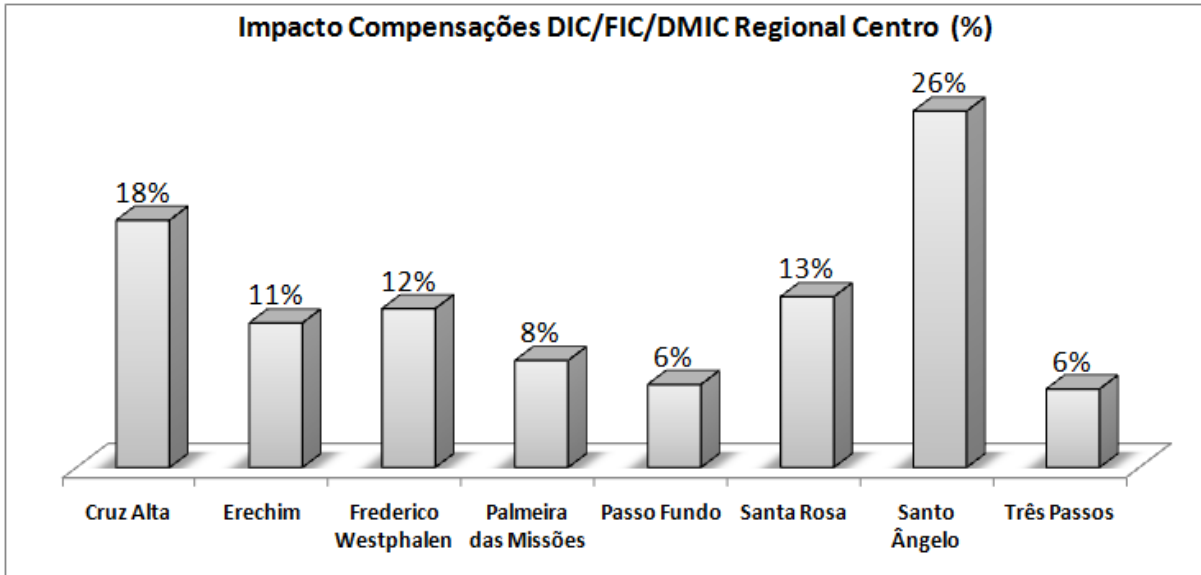


Figura 4.6 – Impacto UMO's Compensações DIC/FIC/DMIC Regional Centro.

A Figura 4.7, a seguir demonstra a participação das oito UMO's quanto às reclamações de Níveis de Tensão da Regional.

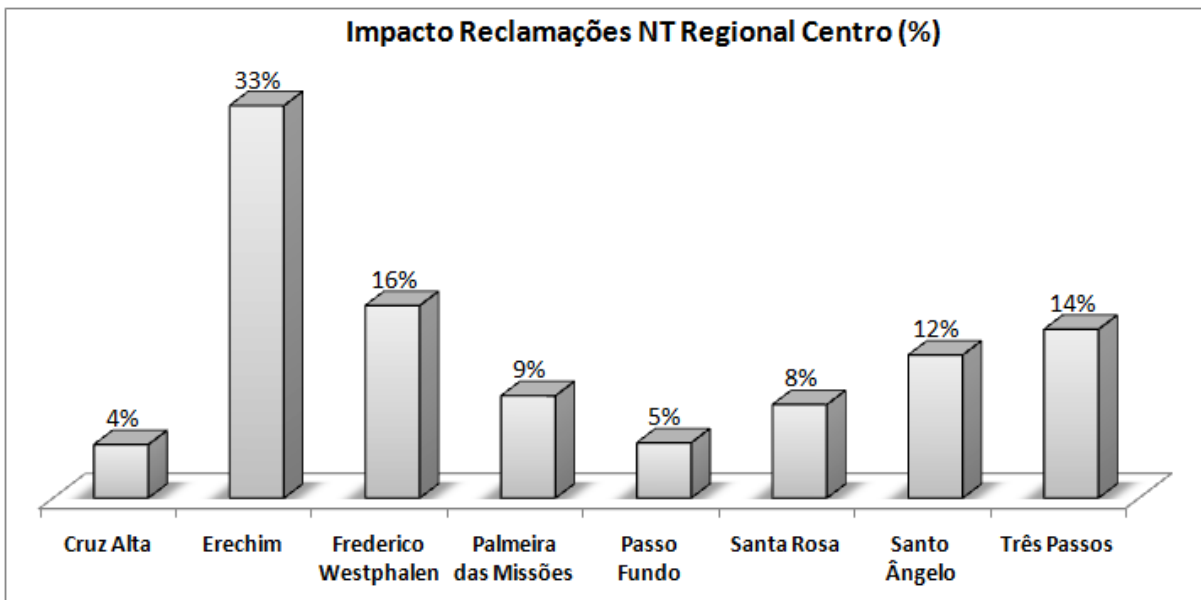


Figura 4.7 – Impacto UMO's Reclamações Nível de Tensão Regional Centro.

A Figura 4.8, a seguir demonstra a participação das oito UMO's quanto ao Risco de Imagem da Regional Centro da empresa RGE.



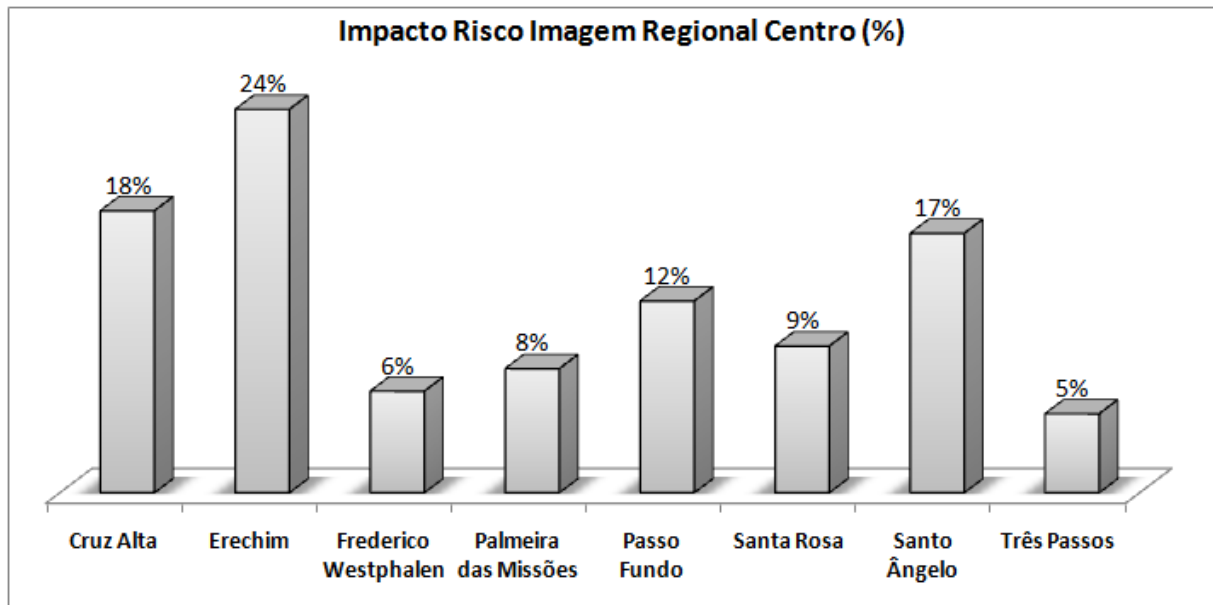


Figura 4.8 – Impacto UMO's Risco de Imagem Regional Centro.

A fim de resumir as informações apresentadas e auxiliar a visualização das mesmas, a Tabela 4.1., abaixo, apresenta um resumo dos gráficos acima em termos quantitativos.

Tabela 4.1 – Resumo Impacto UMO's quanto aos Critério estabelecidos na Regional Centro.

<b>CRITÉRIOS</b>	<b>DEC</b>	<b>FEC</b>	<b>DIC/FIC/DMIC</b>	<b>Reclamações NT</b>	<b>Risco Imagem</b>
<b>U.M.O.</b> (Unidade Mínima Operacional)	Impacto da U.M.O. no DEC do Departamento (%)	Impacto da U.M.O. no FEC do Departamento (%)	Impacto da U.M.O. nas compensações Departamento (%)	Impacto da U.M.O. nas Reclamações NT do Departamento (%)	Impacto da U.M.O. nas Reclamações do Departamento de Ouvidoria, AGERGS, PROCON, MP, CAM. VEREADORES, PREFEITURAS (%)
<b>UMO_PFU</b>	10%	16%	6%	5%	12%
<b>UMO_ERE</b>	9%	11%	11%	33%	24%
<b>UMA_PMI</b>	10%	9%	8%	9%	8%
<b>UMO_FWE</b>	14%	12%	12%	16%	6%
<b>UMO_CAL</b>	11%	10%	18%	4%	18%
<b>UMO_SAG</b>	17%	17%	26%	12%	17%
<b>UMO_SRO</b>	14%	12%	13%	8%	9%
<b>UMO_TPA</b>	15%	13%	6%	14%	5%

A seguir, é apresentada a tabela elaborada para realização das comparações paritárias entre todos os critérios pelos especialistas. Estes determinarão o grau de relação entre os critérios.

A Tabela de Comparações do Método AHP com a explicação sobre os índices a serem determinados e o significado de cada nota atribuída, estão expostos conforme Tabela 3.2 apresentada neste trabalho.

Logo, é aplicada a Tabela de Comparações entre os critérios criada para aplicação da metodologia proposta, conforme Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Tabela de Comparação entre os Critérios (Avaliação Especialistas)

Matriz de Comparação dos Critérios																		
DEC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	FEC
DEC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DIC/FIC/DMIC
DEC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reclamações NT
DEC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Risco Imagem
FEC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DIC/FIC/DMIC
FEC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reclamações NT
FEC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Risco Imagem
DIC/FIC/DMIC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Reclamações NT
DIC/FIC/DMIC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Risco Imagem
Reclamações NT	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Risco Imagem

Onde é marcado o valor correspondente ao índice de importância de um critério em relação ao outro através das posições, dando preferência ao lado do critério dominante.

Para o estudo de caso, os questionários de priorização dos critérios acima mencionados foram aplicados a 4 especialistas de cargos gerenciais da empresa. Um destes responsável pelos serviços emergenciais e comerciais de atendimento aos clientes, outro pelos serviços de execução de obras nos sistemas de distribuição, outro pela área de planejamento e por fim ao gerente geral da regional.

Após aplicados os questionários, é feita a Média Geométrica das avaliações, conforme sugerido por (Saaty, et al., 2005) para aplicação do Método AHP em decisões em grupos, através da utilização de vários especialistas, conforme tabela 4.3, a seguir.

Tabela 4.3 – Média Geométrica da Avaliação dos Especialistas

Média Geométrica das Opiniões					
CRITÉRIOS	Especialistas				MÉDIA GEOM.
	Espec. 1	Espec. 2	Espec. 3	Espec.4	
M(DEC - FEC)	6	7	7	7	6,7354
M(DEC - DIC/FIC/DMIC)	2	2	3	2	2,2134
M(DEC - NT)	6	6	6	7	6,2357
M(DEC - Risco Imagem)	5	5	5	5	5,0000
M(FEC - DIC/FIC/DMIC)	1/6	1/6	1/6	1/6	0,1667
M(FEC - NT)	1/3	1/3	1/2	1/3	0,3689
M(FEC - Risco Imagem)	1/4	1/4	1/4	1/4	0,2500
M(DIC/FIC/DMIC - NT)	7	7	5	5	5,9161
M(DIC/FIC/DMIC - Risco Imagem)	3	3	3	3	3,0000
M(NT - Risco Imagem)	1/3	1/4	1/4	1/4	0,2686

Logo, aplicam-se os índices obtidos à Matriz Normalizada dos Critérios, conforme Tabela 4.4. Onde são calculados os Vetores de Prioridade de cada critério (VP), o autovalor máximo da matriz ( $\lambda_{\max}$ ), o índice de Consistência ( $I_c$ ) e por fim a Razão de Consistência (RC) da matriz de modo a definir se os julgamentos obtidos foram satisfatórios, ficando dentro da faixa de consistência admitida ou foram inconsistentes, necessitando nova aplicação do questionário de avaliação dos critérios.

Tabela 4.4 – Matriz Normalizada dos Critérios

Matriz normalizada de critérios						
Prioridades	DEC	FEC	DIC/FIC/DMIC	Reclamações NT	Risco Imagem	Vetor de Prioridade
DEC	1	6,7354	2,213363839	6,235739266	5	0,459296333
FEC	0,14846998	1	0,1667	0,3689	0,2500	0,043044209
DIC/FIC/DMIC	0,451801	6	1	5,9161	3,0000	0,287946198
Reclamações NT	0,16036591	2,71080601	0,169030851	1	0,2686	0,068825995
Risco Imagem	0,2	4	0,333333333	3,722419436	1	0,140887265
					$\lambda_{\max} =$	5,426354782
					$I_c =$	0,106588695
					$R_c =$	0,095168478

Obtido o Autovalor máximo da Matriz ( $\lambda_{\max}$ ), o índice de inconsistência dos julgamentos ( $I_c$ ) é dado pela equação (4.1).

$$I_c = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4.1)$$

Onde,  $n$  é o número de alternativas, ou a ordem da matriz.

A seguir a Razão de Consistência (Rc) é dada pela razão do índice de Consistência (Ic) pelo Índice de Inconsistência Aleatória (RI), dado pela Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – RI – Índice de Inconsistência Aleatória Método AHP

Dimensão da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IAM	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Logo,

$$Rc = \frac{Ic}{RI} \quad (4.2)$$

Conforme verificado, o RC encontrado de 0,0951 é inferior à margem de erro admitida de 10%. Logo, a Matriz Normalizada dos Critérios e os julgamentos obtidos podem ser considerados consistentes.

Quanto às matrizes normalizadas das alternativas a luz de cada critério, foram montadas através da razão do peso de cada alternativa em relação à seu par para o mesmo critério, utilizando os dados expostos na Tabela 4.1.

Por se tratar de dados quantitativos tratados, a esta etapa não se faz necessária aplicação de questionário aos especialistas, o que poderia inferir maior grau de incertezas a estas avaliações atribuindo julgamentos sobre números definidos.

As tabelas 4.6 a 4.10, a seguir apresentam as matrizes normalizadas das alternativas a luz de cada critério.

Tabela 4.6 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério DEC

DEC

	UMO_PFU	UMO_ERE	UMA_PMI	UMO_FWE	UMO_CAL	UMO_SAG	UMO_SRO	UMO_TPA	PML(s)
UMO_PFU	1	1,0400	0,9765	0,7162	0,8687	0,5874	0,6904	0,6515	0,097858754
UMO_ERE	0,9615475	1	0,9390	0,6886	0,8353	0,5648	0,6639	0,6265	0,094095844
UMA_PMI	1,0240339	1,0649852	1	0,7334	0,8896	0,6015	0,7070	0,6672	0,10021068
UMO_FWE	1,3962924	1,4521304	1,363521697	1	1,2130	0,8201	0,9640	0,9097	0,136639436
UMO_CAL	1,151143	1,1971775	1,124125945	0,824428351	1	0,6761	0,7948	0,7500	0,112649425
UMO_SAG	1,7025132	1,770597	1,662555533	1,219309921	1,478976213	1	1,1755	1,1092	0,16660582
UMO_SRO	1,448376	1,5062968	1,414382917	1,037301364	1,258206808	0,850728225	1	0,9436	0,141736273
UMO_TPA	1,5349037	1,5962848	1,498879841	1,099270986	1,333373584	0,901551744	1,059741194	1	0,150203767
								$\lambda_{max} =$	8

Tabela 4.7 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério FEC

FEC

	UMO_PFU	UMO_ERE	UMA_PMI	UMO_FWE	UMO_CAL	UMO_SAG	UMO_SRO	UMO_TPA	PML(s)
UMO_PFU	1	1,4547	1,6643	1,3103	1,5797	0,8993	1,2851	1,2345	0,156626904
UMO_ERE	0,6874074	1	1,1440	0,9007	1,0859	0,6182	0,8834	0,8486	0,107666491
UMA_PMI	0,6008565	0,8740908	1	0,7873	0,9492	0,5404	0,7722	0,7417	0,094110291
UMO_FWE	0,7631719	1,1102178	1,270140129	1	1,2056	0,6863	0,9808	0,9421	0,119533257
UMO_CAL	0,6330225	0,9208841	1,053533692	0,829462567	1	0,5693	0,8135	0,7814	0,099148362
UMO_SAG	1,1119542	1,6176058	1,850615225	1,457016578	1,756579063	1	1,4290	1,3727	0,174161937
UMO_SRO	0,7781224	1,1319669	1,295022117	1,019589955	1,229217563	0,699779241	1	0,9606	0,121874908
UMO_TPA	0,8100642	1,178434	1,348182551	1,061443946	1,279676731	0,728505057	1,041049827	1	0,126877852
<b>λmax =</b>									<b>8</b>

Tabela 4.8 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério DIC/FIC/DMIC

Compensações DIC/FIC/DMIC

	UMO_PFU	UMO_ERE	UMA_PMI	UMO_FWE	UMO_CAL	UMO_SAG	UMO_SRO	UMO_TPA	PML(s)
UMO_PFU	1	0,5738	0,7755	0,5220	0,3352	0,2325	0,4855	1,0579	0,061586866
UMO_ERE	1,7428497	1	1,3515	0,9097	0,5841	0,4053	0,8462	1,8437	0,107336649
UMA_PMI	1,2895382	0,7399022	1	0,6731	0,4322	0,2999	0,6261	1,3642	0,079418618
UMO_FWE	1,9157908	1,0992289	1,485640931	1	0,6421	0,4455	0,9302	2,0267	0,11798755
UMO_CAL	2,9837021	1,7119676	2,313775606	1,557425861	1	0,6938	1,4486	3,1564	0,183756862
UMO_SAG	4,3004047	2,4674559	3,334840801	2,244715215	1,44129828	1	2,0879	4,5493	0,264848449
UMO_SRO	2,0596546	1,1817741	1,59720319	1,07509369	0,690301681	0,478944359	1	2,1789	0,126847671
UMO_TPA	0,9452882	0,5423808	0,733043923	0,49341931	0,316817206	0,219813768	0,458954707	1	0,058217335
<b>λmax =</b>									<b>8</b>

Tabela 4.9 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério Nível Tensão

Reclamações NT

	UMO_PFU	UMO_ERE	UMA_PMI	UMO_FWE	UMO_CAL	UMO_SAG	UMO_SRO	UMO_TPA	PML(s)
UMO_PFU	1	0,1406	0,5399	0,2866	1,0353	0,3860	0,5906	0,3271	0,045953003
UMO_ERE	7,1136364	1	3,8405	2,0391	7,3647	2,7456	4,2013	2,3271	0,32689295
UMA_PMI	1,8522727	0,2603834	1	0,5309	1,9176	0,7149	1,0940	0,6059	0,085117493
UMO_FWE	3,4886364	0,4904153	1,883435583	1	3,6118	1,3465	2,0604	1,1413	0,160313316
UMO_CAL	0,9659091	0,1357827	0,521472393	0,276872964	1	0,3728	0,5705	0,3160	0,044386423
UMO_SAG	2,5909091	0,3642173	1,398773006	0,74267101	2,682352941	1	1,5302	0,8476	0,119060052
UMO_SRO	1,6931818	0,2380192	0,914110429	0,48534202	1,752941176	0,653508772	1	0,5539	0,077806789
UMO_TPA	3,0568182	0,4297125	1,650306748	0,876221498	3,164705882	1,179824561	1,805369128	1	0,140469974
<b>λmax =</b>									<b>8</b>

Tabela 4.10 – Matriz Normalizada das UMO's a luz do Critério Risco de Imagem

Risco Imagem Empresa

	UMO_PFU	UMO_ERE	UMA_PMI	UMO_FWE	UMO_CAL	UMO_SAG	UMO_SRO	UMO_TPA	PML(s)
UMO_PFU	1	0,5000	1,5455	1,8889	0,6800	0,7391	1,3077	2,4286	0,122302158
UMO_ERE	2	1	3,0909	3,7778	1,3600	1,4783	2,6154	4,8571	0,244604317
UMA_PMI	0,6470588	0,3235294	1	1,2222	0,4400	0,4783	0,8462	1,5714	0,079136691
UMO_FWE	0,5294118	0,2647059	0,818181818	1	0,3600	0,3913	0,6923	1,2857	0,064748201
UMO_CAL	1,4705882	0,7352941	2,272727273	2,777777778	1	1,0870	1,9231	3,5714	0,179856115
UMO_SAG	1,3529412	0,6764706	2,090909091	2,555555556	0,92	1	1,7692	3,2857	0,165467626
UMO_SRO	0,7647059	0,3823529	1,181818182	1,444444444	0,52	0,565217391	1	1,8571	0,09352518
UMO_TPA	0,4117647	0,2058824	0,636363636	0,777777778	0,28	0,304347826	0,538461538	1	0,050359712
$\lambda_{max} =$									8

Como os dados utilizados foram 100% reais, sem a incerteza dos julgamentos, a índice de consistência (Ic) e a Razão de Consistência para estas é zero. Ou seja, os resultados são 100% consistentes.

A Tabela 4.11, a seguir ilustra o cálculo de IC e RC para as matrizes normalizadas das alternativas.

Tabela 4.11 – Cálculo Ic e Rc matriz alternativas.

Critérios	Índices	
	IC	RC
DEC	0	0
FEC	0	0
DIC/FIC/DMIC	0	0
Reclamações NT	0	0
Risco Imagem	0	0

Por fim são calculadas as Prioridades Globais de cada Unidade Mínima Operacional e obtidos os índices de prioridade de cada UMO, conforme tabela 4.12, a seguir.

Tabela 4.12 – índice de Prioridade de Cada UMO

Prioridade Global	
PG(UMO_SAG)=	0,19
PG(UMO_CAL)=	0,14
PG(UMO_ERE)=	0,14
PG(UMO_SRO)=	0,13
PG(UMO_FWE)=	0,12
PG(UMO_TPA)=	0,11
PG(UMA_PMI)=	0,09
PG(UMO PFU)=	0,09

Logo, têm-se como resultado da aplicação do Método AHP o diagrama exposto pela Figura 4.9.

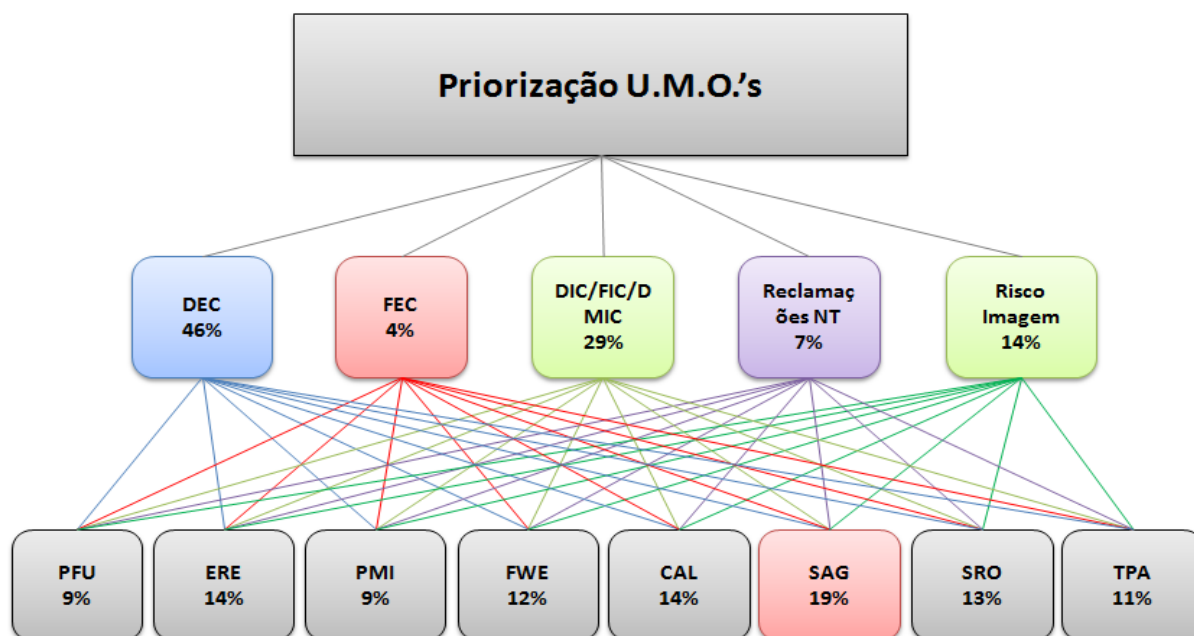


Figura 4.9 – índice de Prioridade de Cada UMO

Além da priorização das unidades mínimas operacionais, o método AHP fornece ainda como subproduto um mapeamento das principais carências de cada UMO através dos índices das Prioridades Médias Locais de cada UMO referente a cada critério, conforme figura 4.10, abaixo.

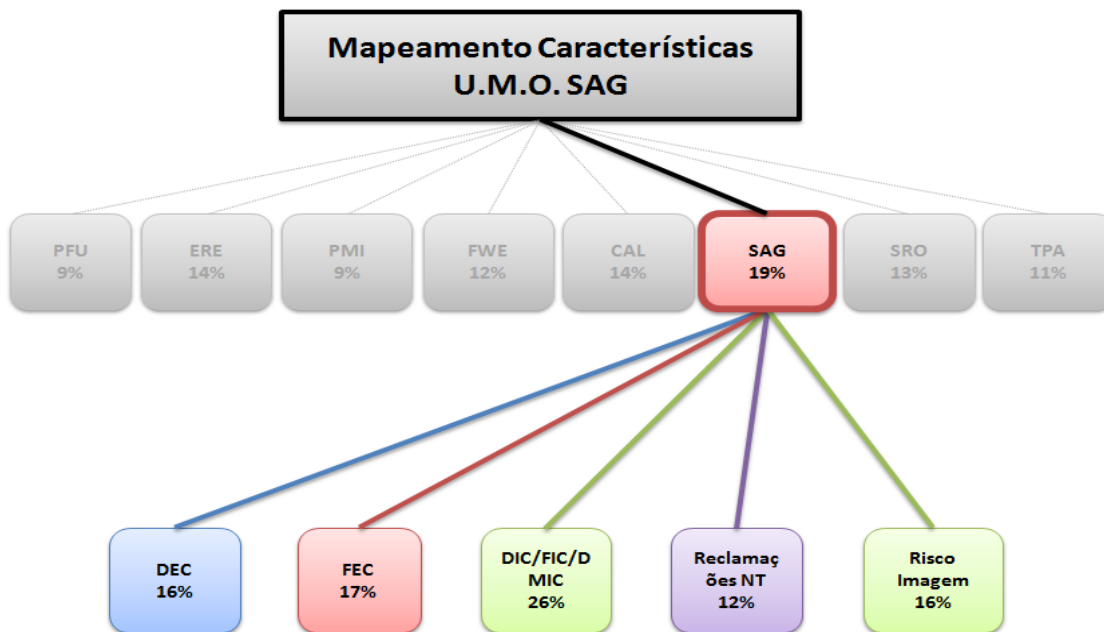


Figura 4.10 – Prioridades Médias Locais UMO SAG frente cada critério

Priorizadas as Unidades Mínimas Operacionais, busca-se a próxima etapa que é a priorização de obras dentro de cada região, através do Método de sobreclassificação PROMETHEE.

#### 4.2 Priorização Obras Em Cada UMO – PROMETHEE

A partir de um estudo e análise detalhada do perfil das redes de distribuição de energia elétrica através do banco de dados de interrupções e cadastro georeferenciado destas, somado ao auxílio do software de Fluxo de Potência *Interplan 1.43.beta* (Fabricante *DAIMON*), utilizado pela empresa para análises desta natureza, são identificados pontos críticos e oportunidades de melhorias através de obras em toda área de estudo.

Estas obras candidatas podem ainda ter origem através de sugestões das equipes de campo, sendo todas elencadas em uma mesma planilha.

Para cada obra é avaliado o impacto quanto aos 5 critérios determinados, que resumem em sua essência os principais pontos regulados e cruciais ao processo de distribuição de energia elétrica no Brasil.

Deste modo, monta-se um banco de dados com uma série de obras de melhoria candidatas com diversas naturezas e objetivos conflitantes e concorrentes.



Para cada obra é atribuído um nome de acordo com a UMO a que esta pertence.

São identificadas ainda informações quanto ao Alimentador que a obra pertence, o número de clientes do Alimentador, uma breve descrição da obra, informações dos equipamentos de rede atingidos pela obra, Município de realização, tipo de condutor previsto, quilometragem de rede proposta, informações relacionadas ao DEC, FEC, DIC/FIC/DMIC, Reclamações NT, Risco de Imagem e o Custo Estimado de Cada Obra.

A Tabela 4.13, a seguir, traz uma amostra da tabela com as informações de todas obras relacionadas às UMO's.

Tabela 4.13 – Relação obras de melhoria elencadas e sugeridas para cada UMO

OBRA	U.M.O.	AL	Consumidores do AL	Descrição da obra	Nº. da Chave	Município	condutor previsto	km	Clientes da Obra	DEC	FEC	DIC FIC DMIC	Recl. NT	Risco Imagem	Custo estimado (R\$)
PMI_Obra 1	Palmeira das Missões	SAU22	1799	Reconstruir 2,0 km de rede 4 CAA em	176.7	SANTO AUGUSTO	4/0 CAA	2,0	1771	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	R\$ 109.730,92
PMI_Obra 2	Palmeira das Missões	SAU13	812	Construir 7 km de rede ao lado da via no	621823	SÃO VALÉRIO DO	4 CAA	7,0	435	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00	R\$ 301.830,84
PMI_Obra 3	Palmeira das Missões	SDI15	863	Reconstruir 5,1 km m de rede 1*3,09 CAZ com	SDI15	BARRA FUNDA	4 CAA	5,1	662	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00	R\$ 219.905,32
PMI_Obra 4	Palmeira das Missões	PAM22	3028	Construir 350 m de rede 23 kv no PMI 204	PAM22	PALMEIRA DAS	70 mm²	1,6	1608	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	R\$ 141.683,22
PMI_Obra 5	Palmeira das Missões	KGT33	1271	Substituir rede 6 CC e 4 CA. FU 5393.7-23	616650	DOIS IRMÃOS DAS	1/0 CA	1,9	470	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00	R\$ 123.803,72
PMI_Obra 6	Palmeira das Missões	SDI16	3235	1 - Possibilitar a manobra de realimentação	674581	NOVA BOA VISTA	4 CAA	1,5	745	0,33	0,33	1,00	0,33	0,67	R\$ 64.678,04
PMI_Obra 7	Palmeira das Missões	PAM22	3028	Reconstruir rede urbana cabo 4 CA a partir da	620696	PALMEIRA DAS	70 mm²	1,2	603	0,33	0,33	1,00	0,33	0,67	R\$ 109.690,23
PMI_Obra 8	Palmeira das Missões	SAU13	812	Elet. Ernesto Imhof (RE 32171-3) Instalar FC no	SAU13	SANTO AUGUSTO	4/0 CAA	0,1	100	0,33	0,33	1,00	-	0,67	R\$ 5.486,55
PMI_Obra 9	Palmeira das Missões	SDI23	7409	Transferir o ramal de Linha Dunke para Sagrada	724502	SAGRADA	4 CAA	3,2	34	0,33	0,33	1,00	-	-	R\$ 135.823,88
PMI_Obra 10	Palmeira das Missões	SDI14	1519	Reconstruir 2,1 km 4 CAA em zona urbana.	606514	SARANDI	70 mm²	2,1	1267	0,33	0,33	-	0,67	1,00	R\$ 191.957,91
PMI_Obra 11	Palmeira das Missões	SDI14	1519	Substituir 500 m de rede convencional por	621244	BARRA FUNDA	70 mm²	0,5	430	0,33	0,33	-	0,33	1,00	R\$ 45.704,26
FWE_Obra 1	Federico Westphalen	JCT13	1980	Reconstruir troncal 4 CAA deslocando RL	723125	JACUTINGA	4/0 CAA	5,0	1928	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	R\$ 267.477,47
FWE_Obra 2	Federico Westphalen	FWE22	4454	Reconstruir rede 6 CC e 4 CA do ramal da FU	725074	PALMITINHO	70 mm²	1,1	587	1,00	1,00	1,00	0,33	0,67	R\$ 100.549,38
FWE_Obra 3	Federico Westphalen	FWE13	3058	Reconstruir rede urbana 4 CA e 6 CC após FU	614342	IRÁI	70 mm²	2,8	834	0,67	0,67	1,00	0,67	1,00	R\$ 255.943,88
FWE_Obra 4	Federico Westphalen	FWE25	4257	Recondutorar trecho entre FC 605076-28 e TR	605076	FREDERICO	70 mm²	2,5	712	0,67	0,67	1,00	0,33	0,67	R\$ 228.521,32
FWE_Obra 5	Federico Westphalen	FWE11	4855	Recondutorar a troncal do AL FWE-205. Trecho	FWE	FREDERICO	70 mm²	0,6	392	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	R\$ 54.845,12
FWE_Obra 6	Federico Westphalen	FWE25	4257	Reconstruir rede urbana 4 CA e 6 CC após FU	605076	FREDERICO	70 mm²	2,1	824	0,67	0,67	1,00	0,67	0,67	R\$ 191.957,91
FWE_Obra 7	Federico Westphalen	ERS43	3425	Reconstruir rede "enforcada" 4 CAA na entrada	604826	ERVAL GRANDE	70 mm²	0,7	1838	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	R\$ 63.985,97
FWE_Obra 8	Federico Westphalen	FWE25	4257	Recondutorar rede de cobre existente na	3168.2	FREDERICO	70 mm²	4,7	1787	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	R\$ 429.620,08
FWE_Obra 9	Federico Westphalen	ERS44	2283	Recondutorar troncal do AL ERS 204 que cruza	604842	SÃO VALENTIM	70 mm²	2,6	689	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00	R\$ 237.662,17
FWE_Obra	Federico Westphalen	ERS43	3425	Substituir rede urbana 4 CA. CH 8880.3-159	8880.3	ERVAL GRANDE	70 mm²	0,6	546	0,33	0,33	1,00	0,33	0,67	R\$ 54.845,12
FWE_Obra	Federico Westphalen	ERS44	2283	Complementar rede bi para trifásica em cabo 4	613041	SÃO VALENTIM	4 CAA	9,0	345	0,33	0,33	1,00	0,33	0,67	R\$ 388.068,22
FWE_Obra	Federico Westphalen	FWE11	4855	Reconstruir rede urbana 4 CA após FU 1681.1-	614081	FREDERICO	70 mm²	0,6	708	0,33	0,33	1,00	0,33	0,67	R\$ 54.845,12
FWE_Obra	Federico Westphalen	ERS41	5233	Complementar rede bi para trifásica em cabo 4	612304	RIO DOS ÍNDIOS	4 CAA	7,3	523	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	R\$ 316.203,73
ERE_Obra 1	Erechim	KEC19	4229	Reconstruir rede urbana 4 CA. FU 611955-157	611955	ERECHIM	70 mm²	2,4	1920	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	R\$ 173.547,31
ERE_Obra 2	Erechim	GVA15	3034	Reconstruir zona urbana no centro de Getúlio	605644	GETÚLIO VARGAS	70 mm²	2,3	1189	1,00	1,00	1,00	0,67	1,00	R\$ 162.700,60

Ao total, dentre as 8 UMO's estão elencadas 206 obras de melhoria candidatas.

Logo, para aplicação do método PROMETHEE é utilizada a função de preferência de critério por nível (Tipo 4), onde a relação de nivelamento entre os pesos das alternativas para todos os critérios foi estabelecida em quatro níveis de relevância (0; 0,33; 0,67; 1).

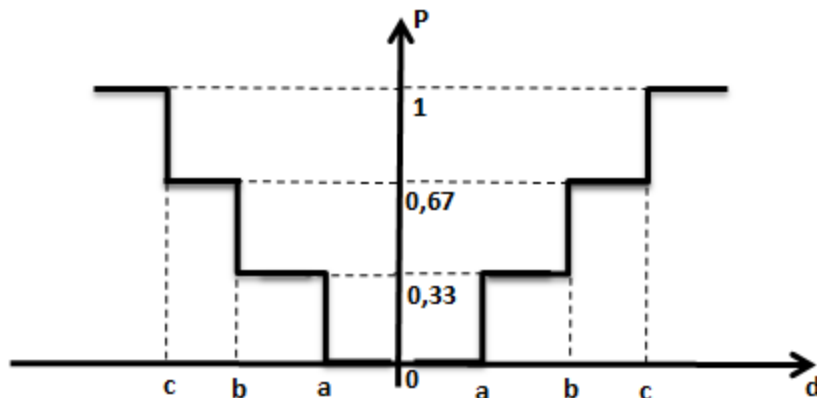


Figura 4.11 - Função de preferência Critério por Nível.

Para o critério DEC, toma-se como referência o valor médio de CHI dado por eventos emergenciais em todos equipamentos de manobra e proteção de rede primária na Regional (Chave Fusível, Chave Faca, Religador, Seccionalizadora e Disjuntor), a fim de comparar com o valor de CHI apurado no mesmo período para o equipamento de referência de cada obra, conforme Figura 4.12.

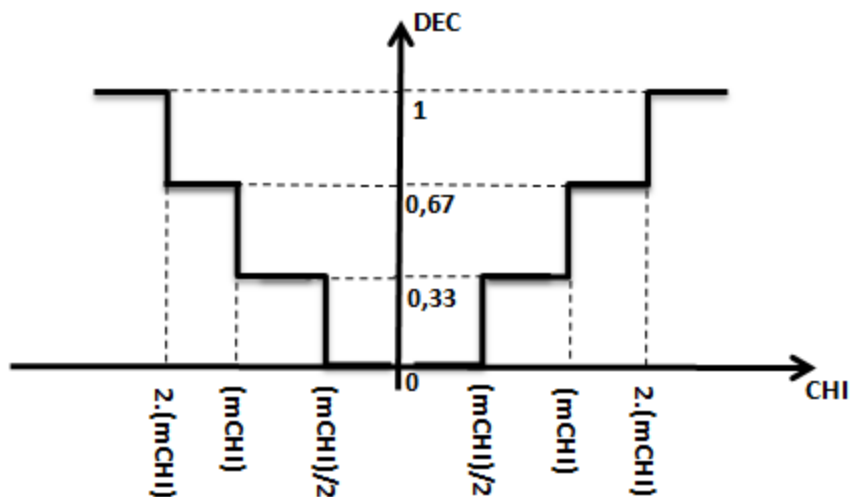


Figura 4.12. Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério DEC.

Onde:

mCHI = Média CHI eventos emergenciais na regional.

Logo:

$DEC(CHI) = 0$  se  $CHI \leq (mCHI)/2$

$DEC(CHI) = 0,33$  se  $(mCHI)/2 < CHI < (mCHI)$

$DEC(CHI) = 0,67$  se  $(mCHI) < CHI < 2(mCHI)$

$DEC(CHI) = 1$  se  $CHI \geq 2(mCHI)$

Representado pela Figura 4.13.

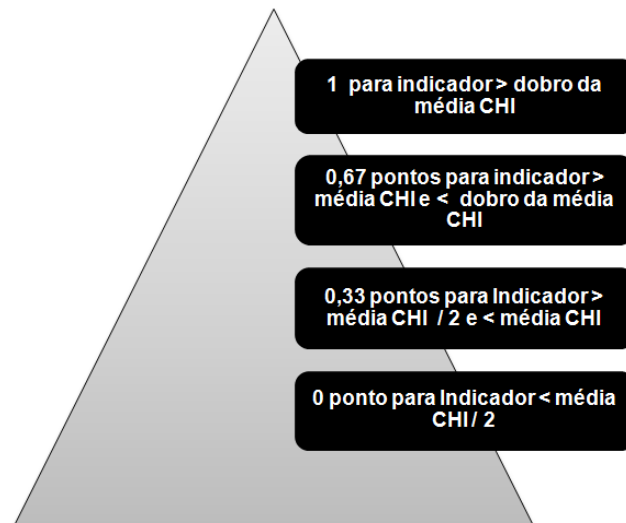


Figura 4.13. Peso cada alternativa frente ao critério DEC.

Deste modo estabelece-se o peso de cada alternativa frente ao critério DEC, conforme apresentado na Tabela 4.13.

Para o critério FEC, toma-se como referência o valor médio de CI dado por eventos emergenciais em todos equipamentos de manobra e proteção de rede primária (Chave Fusível, Chave Faca, Religador, Seccionalizadora e Disjuntor), a fim de comparar com o valor de CI apurado no mesmo período para o equipamento de referência de cada obra, conforme Figura 4.14.

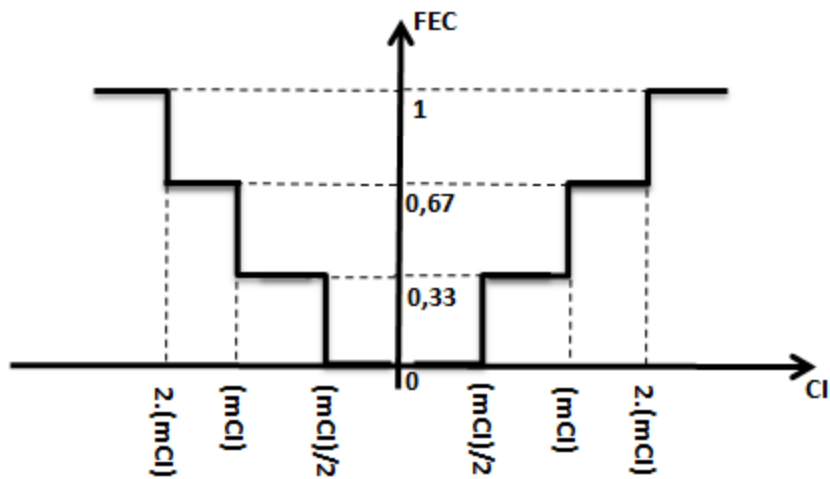


Figura 4.14. Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério FEC.

Onde:

$mCI$  = Média CI eventos emergenciais na regional.

Logo:

$FEC(CI) = 0$  se  $CI \leq (mCI)/2$

$FEC(CI) = 0,33$  se  $(mCI)/2 < CI < (mCI)$

$FEC(CI) = 0,67$  se  $(mCI) < CI < 2(mCI)$

$FEC(CI) = 1$  se  $CI \geq 2(mCI)$

Representado pela Figura 4.15.

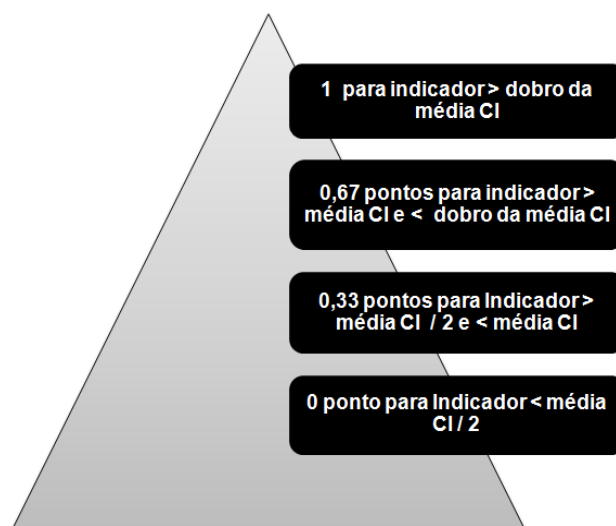


Figura 4.15. Peso cada alternativa frente ao critério FEC.

Deste modo estabelece-se o peso de cada alternativa frente ao critério FEC, conforme apresentado na Tabela 4.13.

Para o critério Compensações DIC/FIC/DMIC, toma-se como referência o valor médio de compensações pagas em todos equipamentos de manobra e proteção de rede primária (Chave Fusível, Chave Faca, Religador, Seccionalizadora e Disjuntor), a fim de comparar com o valor de compensações pagas no mesmo período para o equipamento de referência de cada obra, conforme Figura 4.16.

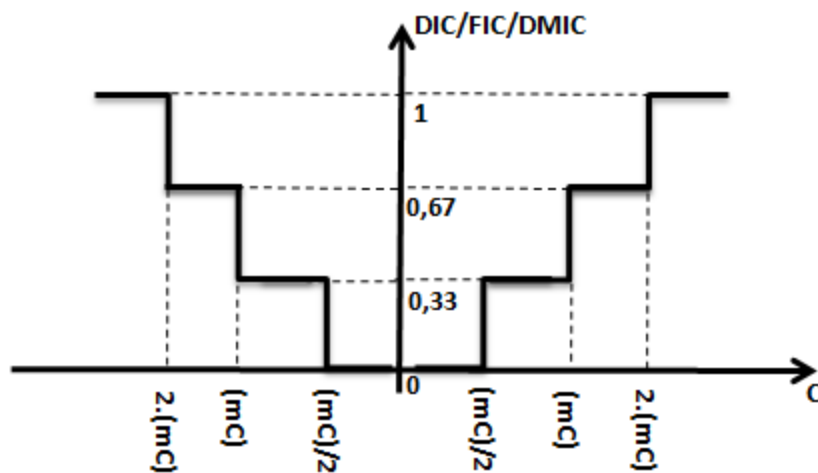


Figura 4.16. Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério DIC/FIC/DMIC.

Onde:

mC = Média Valor de Compensações pagas por DIC/FIC/DMIC na regional.

Logo:

DIC/FIC/DMIC (C) = 0 se  $C \leq (mC)/2$

DIC/FIC/DMIC (C) = 0,33 se  $(mC)/2 < C < (mC)$

DIC/FIC/DMIC (C) = 0,67 se  $(mC) < C < 2(mC)$

DIC/FIC/DMIC (C) = 1 se  $C \geq 2(mC)$

Representado pela Figura 4.17.

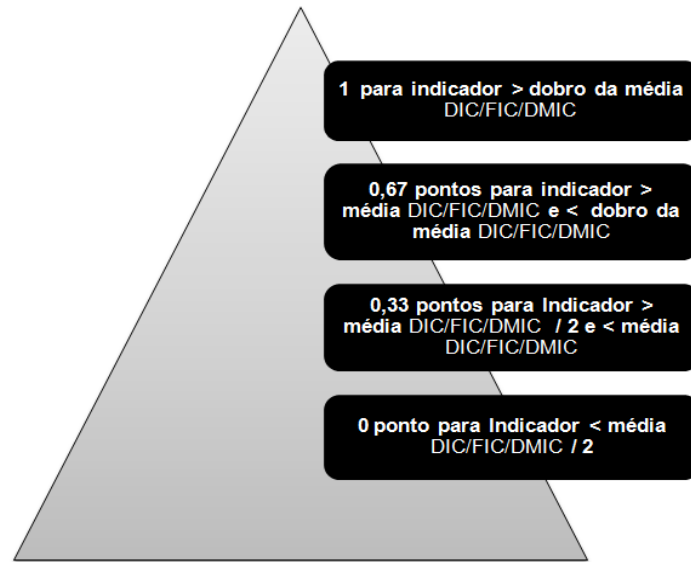


Figura 4.17. Peso cada alternativa frente ao critério DIC/FIC/DMIC.

Deste modo estabelece-se o peso de cada alternativa frente ao critério DIC/FIC/DMIC, conforme apresentado na Tabela 4.13.

Para o critério Reclamações NT, toma-se como referência o valor médio de Reclamações de cada equipamento de manobra e proteção de rede primária (Chave Fusível, Chave Faca, Religador, Seccionalizadora e Disjuntor), a fim de comparar com o valor de compensações pagas no mesmo período para o equipamento de referência de cada obra, conforme Figura 4.18.

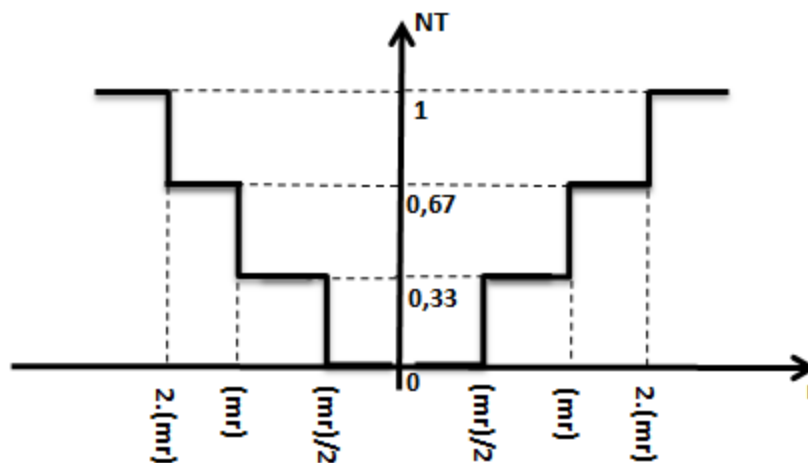


Figura 4.18. Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério Reclamações NT.

Onde:

mr = Média da quantidade de reclamações de NT na regional.

Logo:

$$NT(r) = 0 \text{ se } r \leq (mr)/2$$

$$NT(r) = 0,33 \text{ se } (mr)/2 < r < (mr)$$

$$NT(r) = 0,67 \text{ se } (mr) < r < 2(mr)$$

$$NT(r) = 1 \text{ se } r \geq 2(mr)$$

Representado pela Figura 4.19.



Figura 4.19. Peso cada alternativa frente ao critério Reclamações NT.

Deste modo estabelece-se o peso de cada alternativa frente ao critério Reclamações NT, conforme apresentado na Tabela 4.13.

Para o critério Risco de Imagem, toma-se como referência o valor médio de Reclamações e Solicitações em cada Alimentador, a fim de comparar com o valor de Reclamações e Solicitações registradas no AL da obra, conforme Figura 4.20

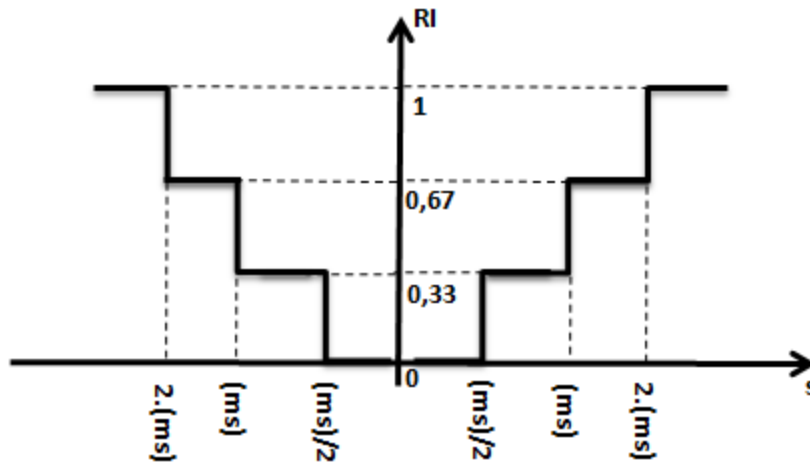


Figura 4.20. Gráfico do peso cada alternativa frente ao critério Risco de Imagem.

Onde:

$ms$  = Média da quantidade de solicitações na regional.

Logo:

$$RI(s) = 0 \text{ se } s \leq (ms)/2$$

$$RI(s) = 0,33 \text{ se } (ms)/2 < s < (ms)$$

$$RI(s) = 0,67 \text{ se } (ms) < s < 2.(ms)$$

$$RI(s) = 1 \text{ se } s \geq 2.(ms)$$

Representado pela Figura 4.21.

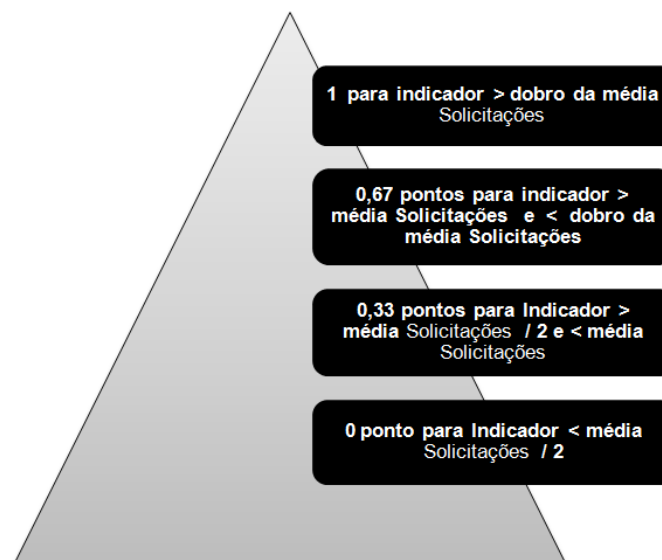


Figura 4.21. Peso cada alternativa frente ao Risco de Imagem.



Deste modo estabelece-se o peso de cada alternativa frente ao critério Risco de Imagem, conforme apresentado na Tabela 4.13.

Para a aplicação no estudo proposto, optou-se por utilizar os mesmos critérios aplicados ao método AHP para priorização das UMO's.

A esta nova etapa, se faz necessária utilização de uma metodologia de priorização que trate um elevado número de alternativas, o que acaba por inviabilizar a continuação da utilização do método AHP, visto que este apresenta como principal limitação a necessidade de um número reduzido de alternativas e julgamentos a serem feitos.

Logo, para a priorização das obras em cada UMO é utilizado o Método PROMETHEE, de modo a manter a mesma lógica do processo anterior com o objetivo de atender aos aspectos regulatórios controlados pela ANEEL através do PRODIST, PRORET, Resolução 063 e ainda o atendimento às questões com riscos à imagem da empresa e riscos jurídicos para a mesma.

Além dos aspectos citados, a manutenção dos mesmos critérios da aplicação anterior permite o aproveitamento dos índices de prioridades obtidos através do mapeamento fornecido pelo Método AHP, evitando um novo processo de avaliação de especialistas e gerando um vínculo entre as etapas do processo de priorização proposto, tornando a metodologia mais eficiente e de fácil reestruturação uma vez que somente um questionário breve é aplicado aos especialistas servindo para as duas metodologias utilizadas.

Toma-se como exemplo para aplicação do Método PROMETHEE, a UMO SAG.

Inicialmente calcula-se a Matriz de comparação de cada alternativa a luz de cada critério, conforme Figura 4.22 a 4.26, a seguir.





R. Imagem	SAG_Obra 1	SAG_Obra 2	SAG_Obra 3	SAG_Obra 4	SAG_Obra 5	SAG_Obra 6	SAG_Obra 7	SAG_Obra 8	SAG_Obra 9	SAG_Obra 10	SAG_Obra 11	SAG_Obra 12	SAG_Obra 13	SAG_Obra 14	SAG_Obra 15	SAG_Obra 16	SAG_Obra 17	SAG_Obra 18	SAG_Obra 19	SAG_Obra 20	SAG_Obra 21	SAG_Obra 22	SAG_Obra 23	SAG_Obra 24	SAG_Obra 25	SAG_Obra 26	SAG_Obra 27	SAG_Obra 28
SAG_Obra 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 8	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,33	0,33
SAG_Obra 9	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,33	0,33
SAG_Obra 10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 25	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,33	0,33
SAG_Obra 26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 4.26. Matriz Comparação alternativas a luz de cada critério. – R. Imagem

Calculadas as matrizes de comparação de cada alternativa a luz de cada critério. parte-se para o cálculo da Função de Preferência P(a,b), dada pelas equações (4.3) e (4.4), abaixo.

$$P(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j P_j(a,b) \tag{4.3}$$

$$W = \sum_{j=1}^n w_j \tag{4.4}$$

Onde  $w_j$  é o peso do critério  $j$  e  $n$  é o número de critérios.

A Figura 4.27, a seguir apresenta a Matriz da função de preferência P(a,b) gerada a partir das matrizes de comparação ou através do controle.

P(A,b)	SAG_Obra																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
SAG_Obra 1	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,29	0,29	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
SAG_Obra 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 5	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,29	0,29	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
SAG_Obra 6	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,29	0,29	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
SAG_Obra 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 8	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,33	0,33	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
SAG_Obra 9	0,40	0,43	0,43	0,43	0,40	0,40	0,43	0,40	0,00	0,08	0,43	0,43	0,43	0,09	0,12	0,67	0,69	0,43	0,05	0,21	0,07	0,43	0,43	0,43	0,38	0,43	0,43	0,26	0,26
SAG_Obra 10	0,32	0,34	0,34	0,34	0,32	0,32	0,34	0,37	0,00	0,00	0,34	0,34	0,34	0,02	0,05	0,61	0,61	0,34	0,00	0,15	0,00	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,18	0,18
SAG_Obra 11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 14	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,36	0,00	0,01	0,33	0,33	0,33	0,00	0,02	0,62	0,62	0,33	0,00	0,17	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,17
SAG_Obra 15	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,00	0,01	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,62	0,62	0,33	0,00	0,17	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,17
SAG_Obra 16	0,02	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,05	0,07	0,00	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,00	0,02	0,05	0,00	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
SAG_Obra 17	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
SAG_Obra 18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 19	0,36	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,38	0,40	0,00	0,04	0,38	0,38	0,38	0,05	0,07	0,62	0,65	0,38	0,00	0,17	0,02	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,21	0,21
SAG_Obra 20	0,19	0,21	0,21	0,21	0,19	0,19	0,21	0,24	0,00	0,02	0,21	0,21	0,21	0,05	0,07	0,46	0,48	0,21	0,00	0,00	0,02	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,05	0,05
SAG_Obra 21	0,33	0,36	0,36	0,36	0,33	0,33	0,36	0,38	0,00	0,01	0,36	0,36	0,36	0,02	0,05	0,62	0,62	0,36	0,00	0,17	0,00	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,19	0,19
SAG_Obra 22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 25	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,33	0,33	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
SAG_Obra 26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SAG_Obra 28	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,19	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,00	0,02	0,46	0,46	0,17	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00

Figura 4.27. Matriz Comparação alternativas a luz de cada critério. – R. Imagem

Por fim são calculados dois índices de preferência para cada alternativa, Q+(a) significa fluxo positivo, expressa quanto uma alternativa a sobreclassifica as demais alternativas, Q-(a) significa fluxo negativo, expressa quanto uma alternativa a é sobreclassificada pelas demais alternativas.

Calculadas conforme equações (4.5) e (4.6) abaixo.

$$Q^+(a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(a,b)}{m-1} \tag{4.5}$$

$$Q^-(a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(b,a)}{m-1} \tag{4.6}$$

Logo, obtém-se a pré-ordem completa das alternativas dadas pelo método através da subtração da parcela Q+(a) pela Q-(a), conforme equação (4.7).

$$Q(a) = Q^+(a) - Q^-(a) \tag{4.7}$$

A Tabela 4.14, a seguir apresenta o cálculo dos índices de preferência de fluxo positivo, negativo e final.

Tabela 4.14. Cálculo índices de Preferência de cada obra Q(a)

Classificação	Q+(On)	Q-(On)	Q(On)	Classificação	Q(On)
SAG_Obra 1	0,04	0,09	-0,06	SAG_Obra 9	0,36
SAG_Obra 2	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 19	0,31
SAG_Obra 3	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 21	0,29
SAG_Obra 4	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 10	0,28
SAG_Obra 5	0,04	0,09	-0,06	SAG_Obra 14	0,27
SAG_Obra 6	0,04	0,09	-0,06	SAG_Obra 15	0,24
SAG_Obra 7	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 20	0,14
SAG_Obra 8	0,06	0,12	-0,06	SAG_Obra 28	0,09
SAG_Obra 9	0,36	0,00	0,36	SAG_Obra 25	-0,03
SAG_Obra 10	0,29	0,01	0,28	SAG_Obra 8	-0,06
SAG_Obra 11	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 1	-0,06
SAG_Obra 12	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 5	-0,06
SAG_Obra 13	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 6	-0,06
SAG_Obra 14	0,28	0,02	0,27	SAG_Obra 2	-0,08
SAG_Obra 15	0,28	0,04	0,24	SAG_Obra 3	-0,08
SAG_Obra 16	0,04	0,37	-0,33	SAG_Obra 4	-0,08
SAG_Obra 17	0,02	0,37	-0,36	SAG_Obra 7	-0,08
SAG_Obra 18	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 11	-0,08
SAG_Obra 19	0,32	0,01	0,31	SAG_Obra 12	-0,08
SAG_Obra 20	0,18	0,04	0,14	SAG_Obra 13	-0,08
SAG_Obra 21	0,30	0,01	0,29	SAG_Obra 18	-0,08
SAG_Obra 22	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 22	-0,08
SAG_Obra 23	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 23	-0,08
SAG_Obra 24	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 24	-0,08
SAG_Obra 25	0,07	0,10	-0,03	SAG_Obra 26	-0,08
SAG_Obra 26	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 27	-0,08
SAG_Obra 27	0,02	0,10	-0,08	SAG_Obra 16	-0,33
SAG_Obra 28	0,15	0,05	0,09	SAG_Obra 17	-0,36

As Figuras 4.28 e 4.29, a seguir, representam o resultado da priorização de obras pelo Método PROMETHEE para a UMO SAG.

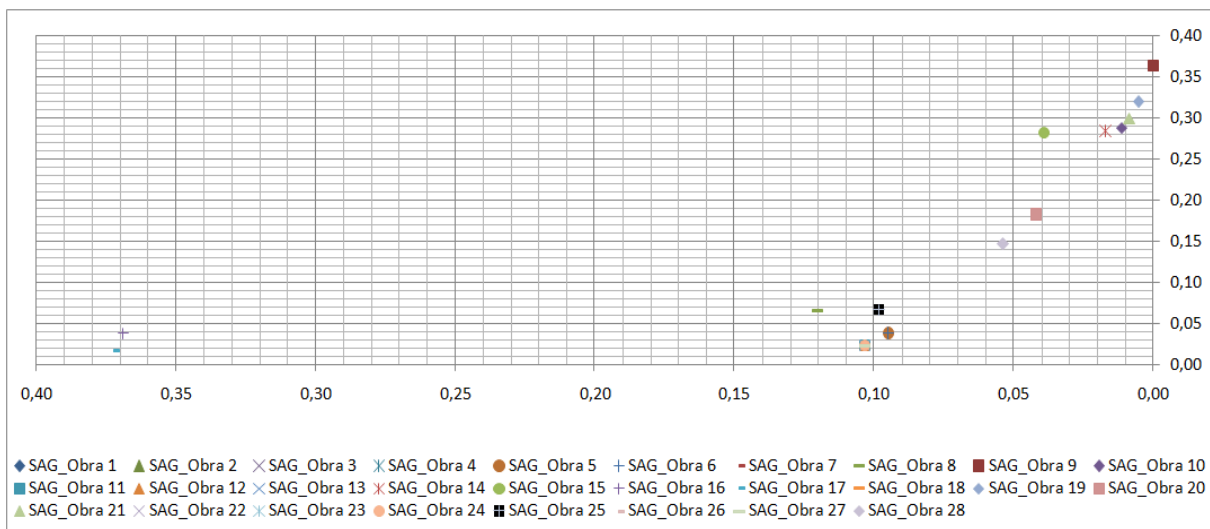


Figura 4.28. Gráfico dispersão obras priorizadas UMO SAG.

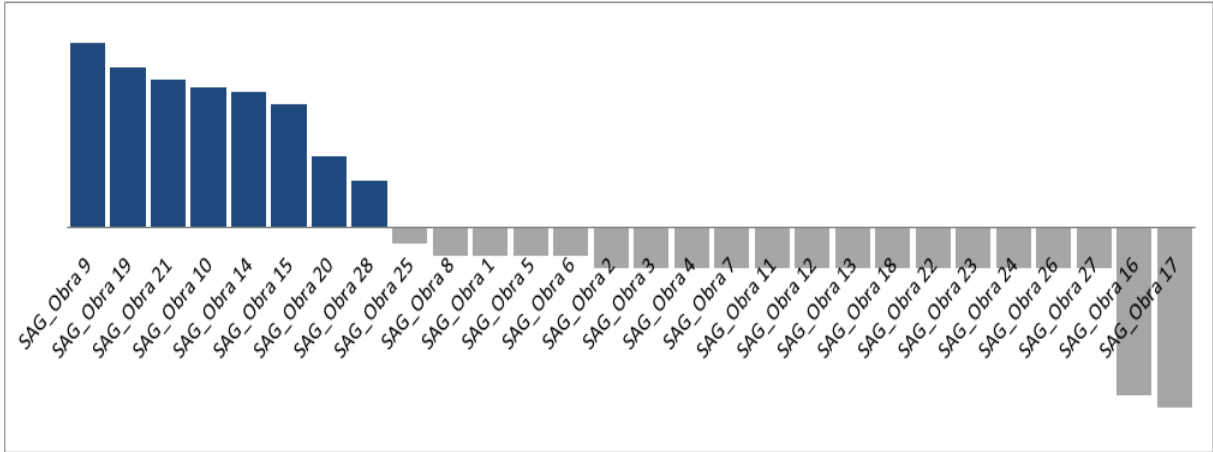


Figura 4.29. Sobreclassificação de Obras UMO SAG.

Através da Figura 4.29, observa-se claramente a oportunidade de já excluir da próxima etapa do processo aquelas obras em que o índice de preferência Final inferior a zero.

Por meio da sobreclassificação fornecida pelo Método PROMETHEE são pré-selecionadas 8 obras de 28 para serem lançadas no problema de Programação Linear Inteira, próxima etapa do trabalho diminuindo esforços computacionais na ordem de 71,4%.

Tendo sido repetido as etapas acima para todas UMO's, as Figuras 4.30 a 4.43 representam os resultados obtidos para cada UMO.

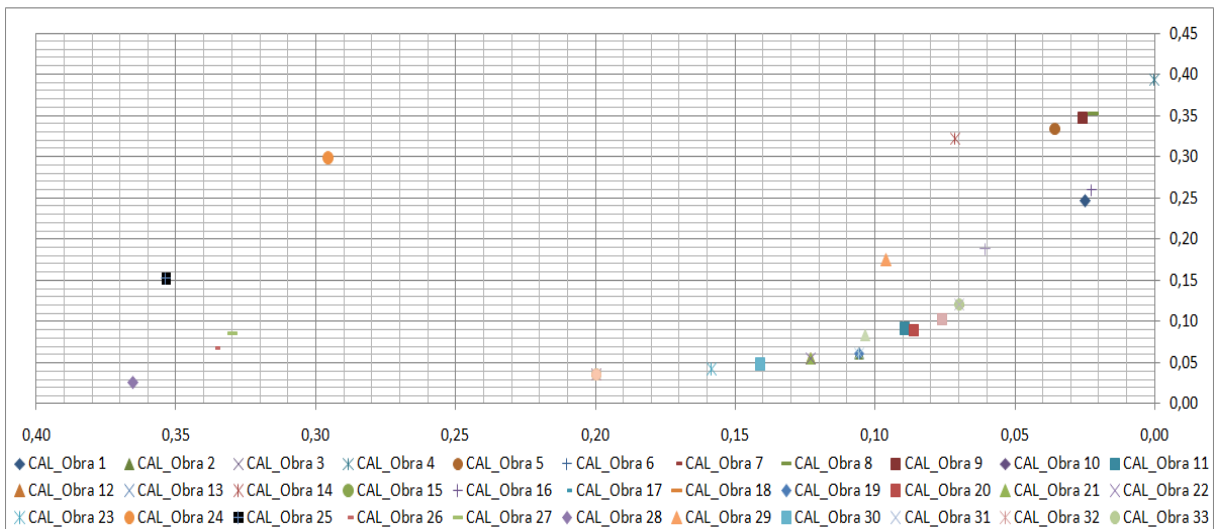


Figura 4.30. Gráfico dispersão obras priorizadas UMO CAL.

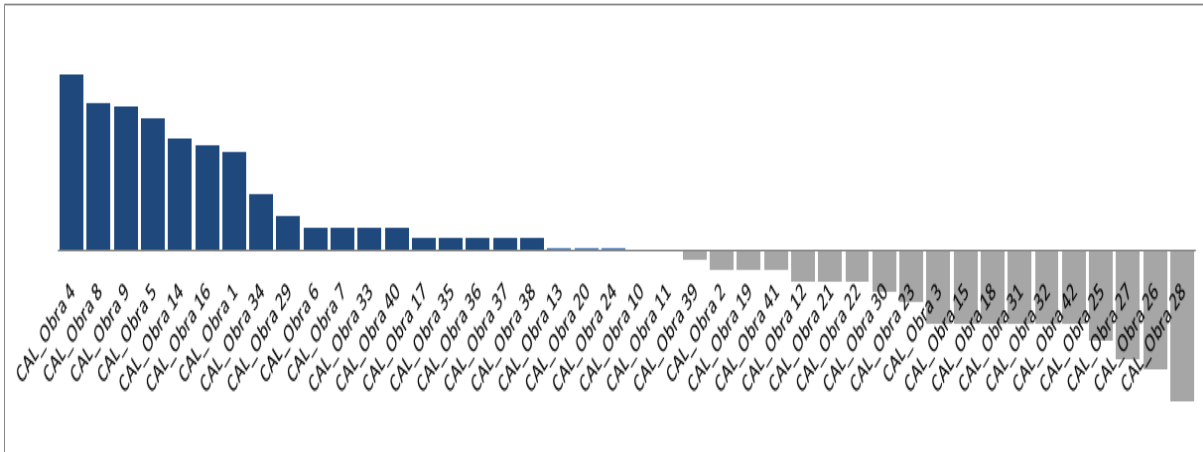


Figura 4.31. Sobreclassificação de Obras UMO CAL.

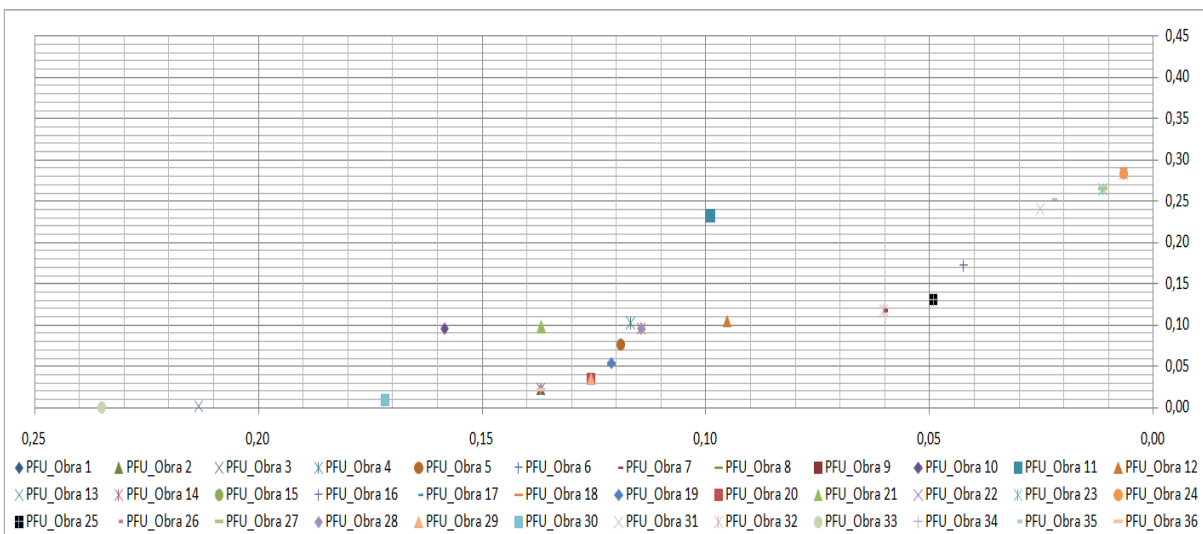


Figura 4.32. Gráfico dispersão obras priorizadas UMO PFU

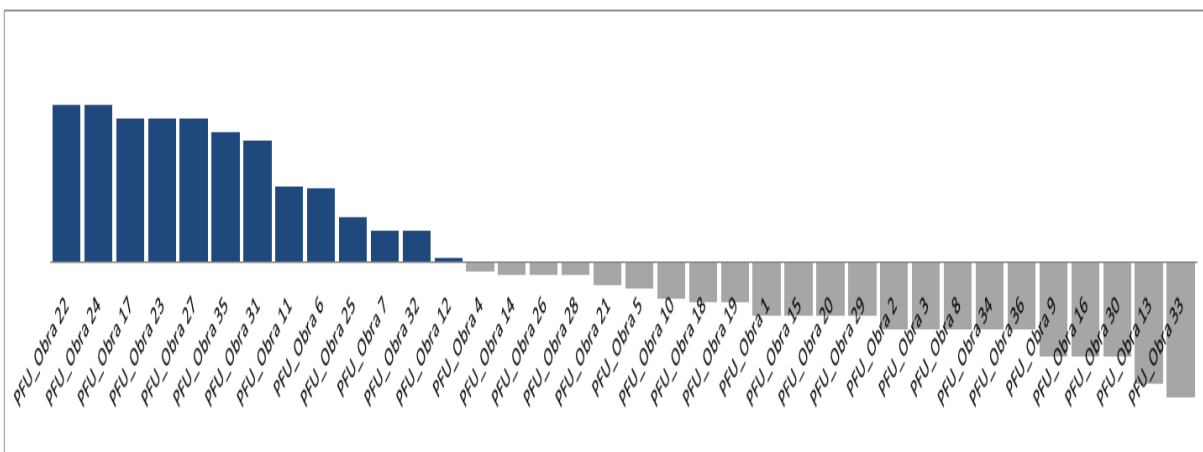


Figura 4.33. Sobreclassificação de Obras UMO PFU.



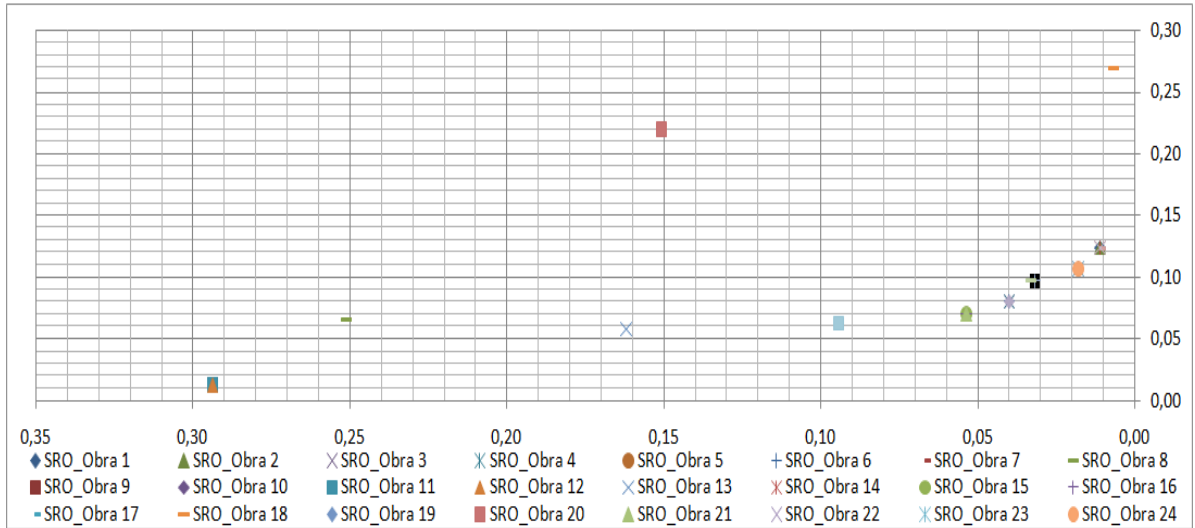


Figura 4.34. Gráfico dispersão obras priorizadas UMO SRO

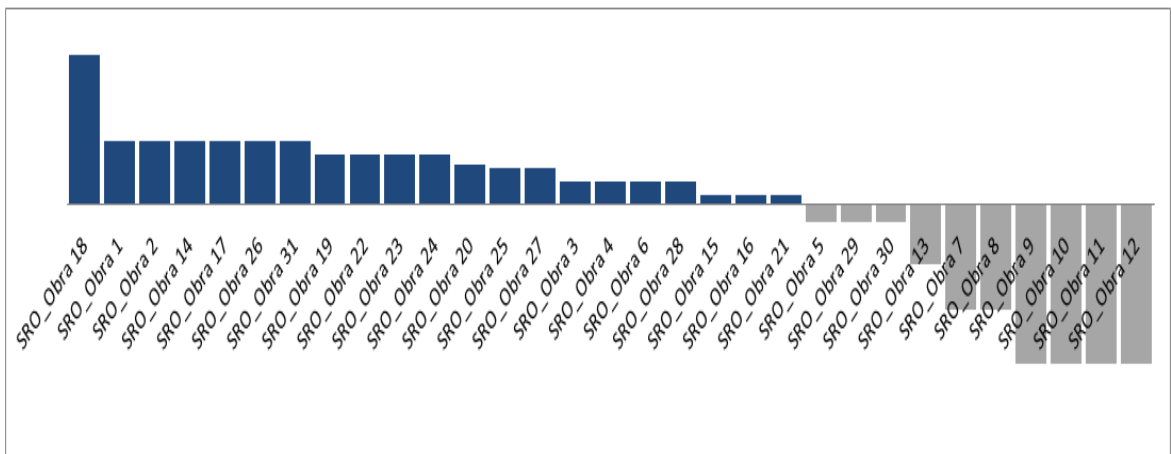


Figura 4.35. Sobreclassificação de Obras UMO SRO.

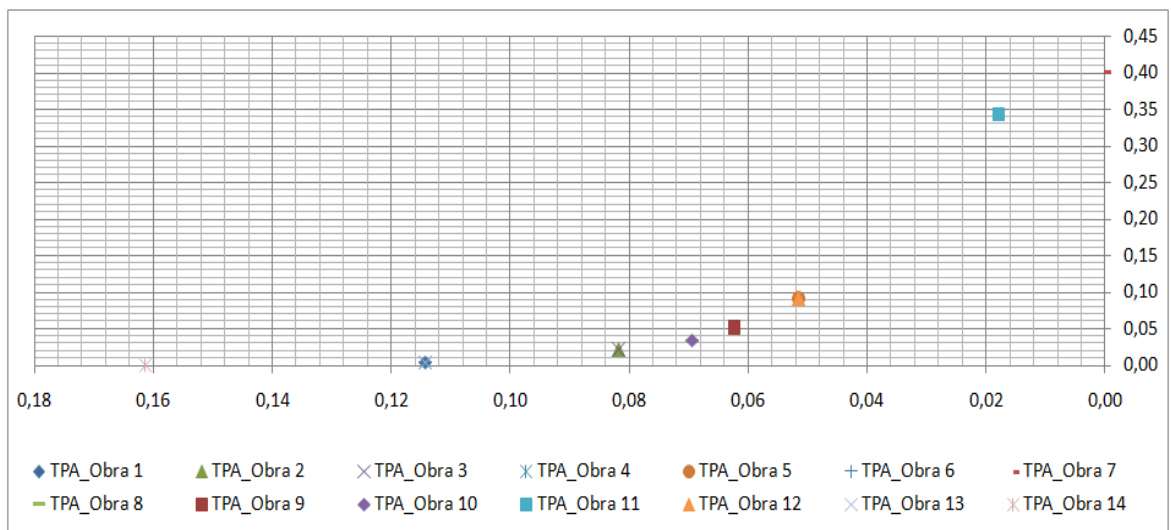


Figura 4.36. Gráfico dispersão obras priorizadas UMO TPA

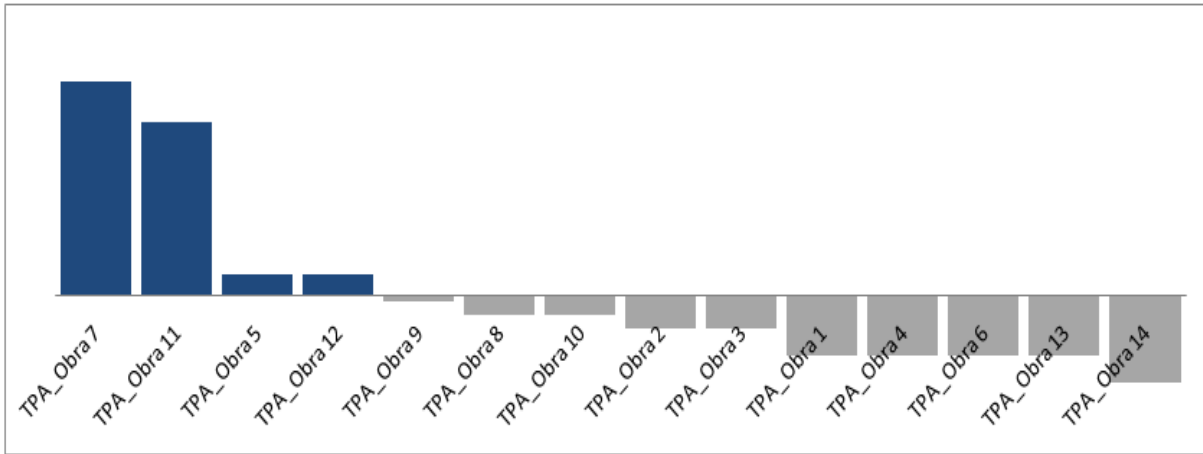


Figura 4.37. Sobreclassificação de Obras UMO TPA

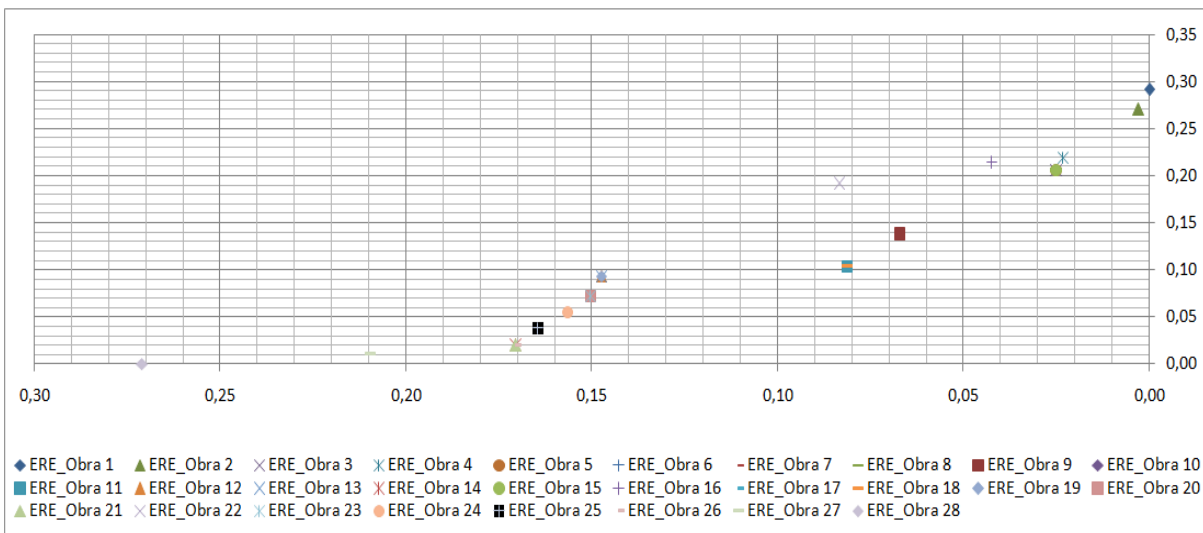


Figura 4.38. Gráfico dispersão obras priorizadas UMO ERE

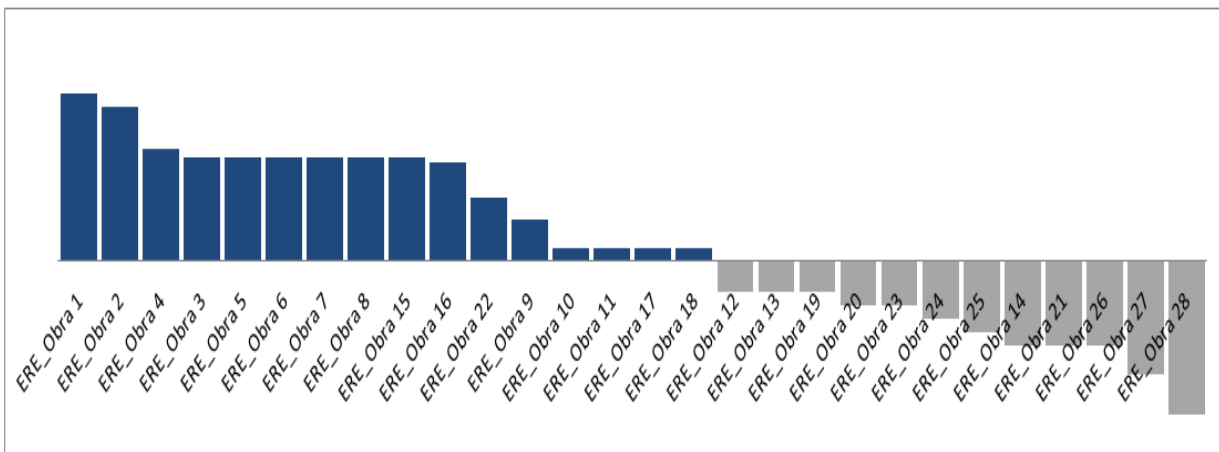


Figura 4.39. Sobreclassificação de Obras UMO ERE

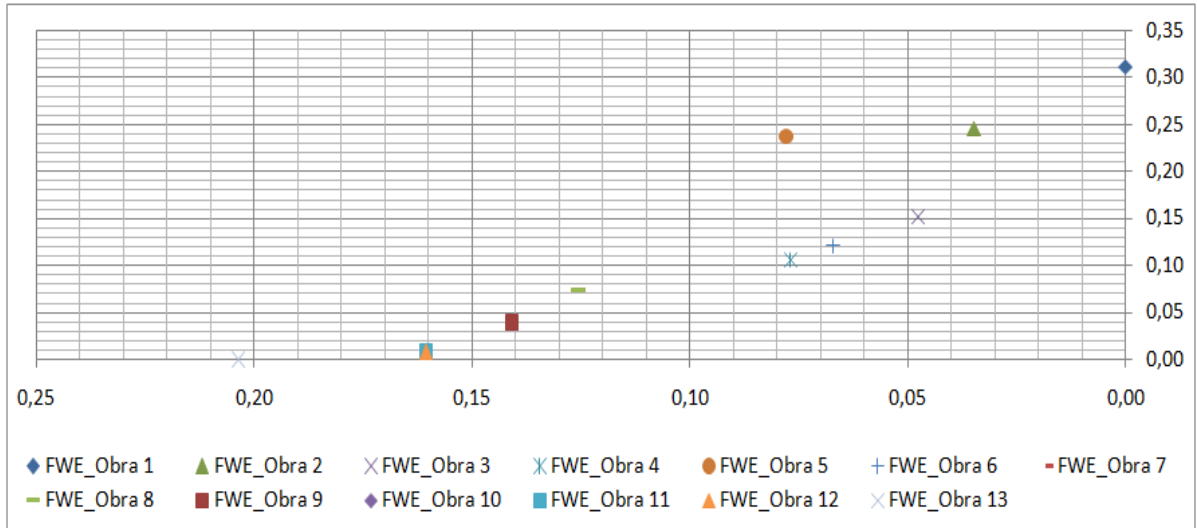


Figura 4.40. Gráfico dispersão obras priorizadas UMO FWE

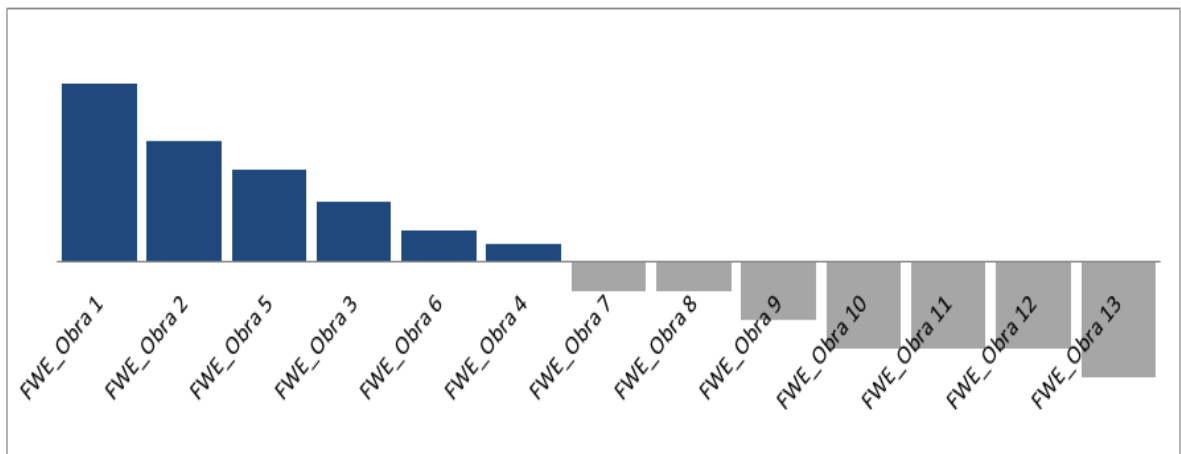


Figura 4.41. Sobreclassificação de Obras UMO FWE

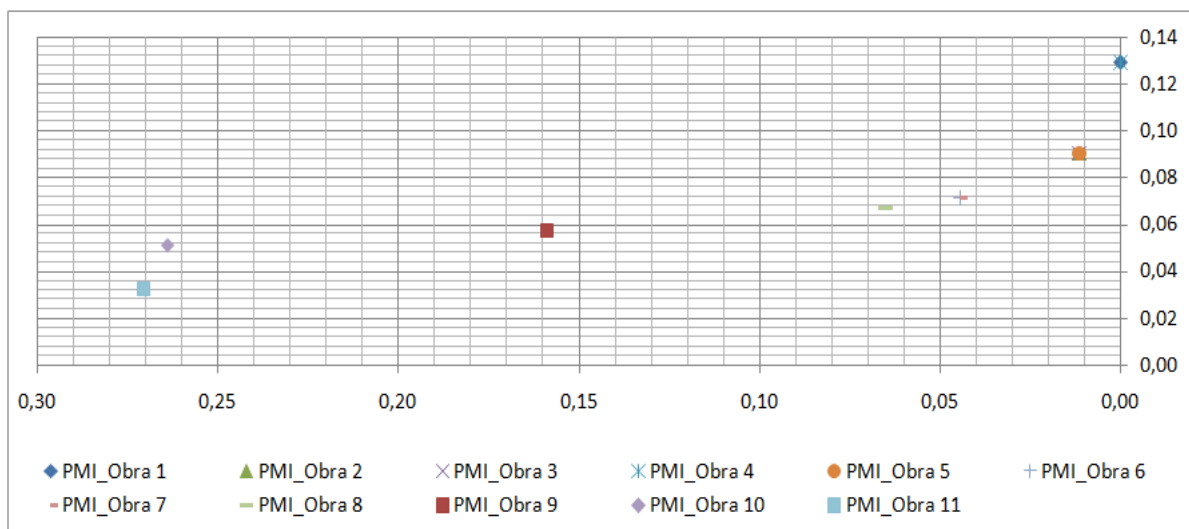


Figura 4.42 Gráfico dispersão obras priorizadas UMO PMI

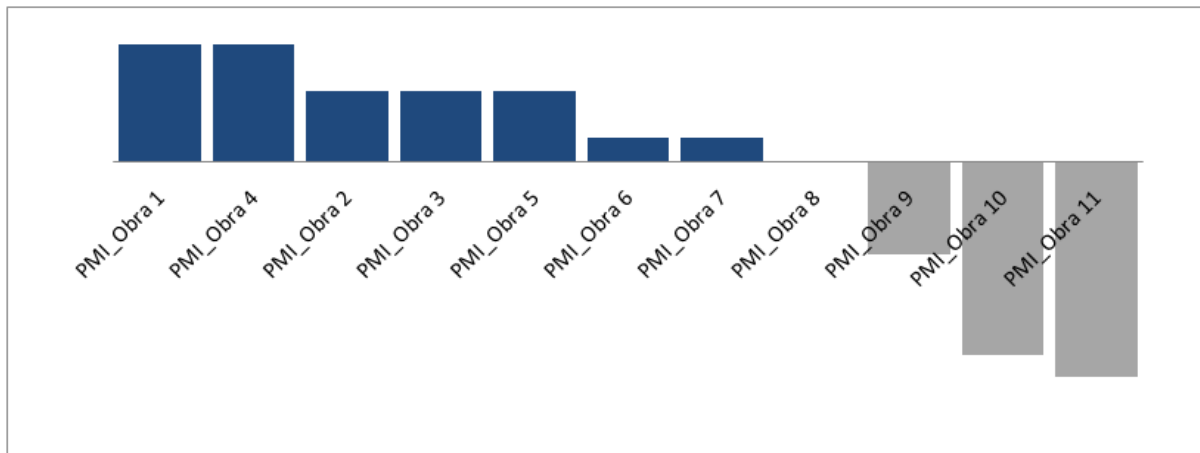


Figura 4.43. Sobreclassificação de Obras UMO PMI

### 4.3 Priorização final de obras – Programação Linear Inteira

Após priorizadas as UMO e obtidos os índices de prioridade de cada uma através do método AHP. Priorizadas as obras em cada UMO através do método PROMETHEE, com obtenção também de um índice de prioridade a cada obra, tendo ainda sido eliminadas previamente todas obras de menor relevância no conjunto, parte-se para a última e mais importante etapa do processo, que diz respeito ao planejamento e otimização da aplicação dos recursos disponíveis, de modo a se obter o melhor retorno possível associando restrições financeira e de capacidade de execução como forma de se obter o melhor resultado possível.

A seguir, a Tabela 4.15 representa uma amostra da relação de 99 obras pré-selecionadas após aplicação do Método PROMETHEE, contendo a UMO de cada obra, o peso de cada obra em sua respectiva UMO, o peso de cada UMO e o custo estimado de cada obra.

Tabela 4.15. Amostra da Relação Obras Pré-Selecionadas

U.M.O	Obra	Custo Obra R\$	Peso Obra em cada U.M.O. (AHP)	Peso U.M.O. para Região de Estudo (PROMETHEE)
SAG	SAG_Obra 9	R\$ 228.521,32	0,3632	0,1918
CAL	CAL_Obra 4	R\$ 443.145,15	0,3934	0,1373
ERE	ERE_Obra 1	R\$ 173.547,31	0,2916	0,1357
FWE	FWE_Obra 1	R\$ 267.477,47	0,3108	0,1220
SRO	SRO_Obra 18	R\$ 493.789,15	0,2616	0,1254
TPA	TPA_Obra 7	R\$ 478.054,19	0,4005	0,1080
PFU	PFU_Obra 22	R\$ 108.467,07	0,2769	0,0898
PMI	PMI_Obra 1	R\$ 109.730,92	0,1294	0,0900
SAG	SAG_Obra 19	R\$ 822.676,74	0,3145	0,1918
SAG	SAG_Obra 21	R\$ 191.957,91	0,2907	0,1918
SAG	SAG_Obra 10	R\$ 164.535,35	0,2758	0,1918
SAG	SAG_Obra 14	R\$ 282.051,97	0,2669	0,1918
SAG	SAG_Obra 15	R\$ 33.235,89	0,2431	0,1918
CAL	CAL_Obra 8	R\$ 159.109,84	0,3306	0,1373
CAL	CAL_Obra 9	R\$ 283.366,43	0,3218	0,1373
CAL	CAL_Obra 5	R\$ 127.971,94	0,2983	0,1373
ERE	ERE_Obra 2	R\$ 162.700,60	0,2679	0,1357
TPA	TPA_Obra 11	R\$ 210.239,61	0,3253	0,1080
CAL	CAL_Obra 14	R\$ 57.849,10	0,2502	0,1373
CAL	CAL_Obra 16	R\$ 246.894,57	0,2366	0,1373
CAL	CAL_Obra 1	R\$ 411.338,37	0,2219	0,1373
SAG	SAG_Obra 20	R\$ 411.490,96	0,1409	0,1918
ERE	ERE_Obra 4	R\$ 217.144,80	0,1957	0,1357
FWE	FWE_Obra 2	R\$ 100.549,38	0,2102	0,1220
PFU	PFU_Obra 24	R\$ 231.198,19	0,2769	0,0898
ERE	ERE_Obra 3	R\$ 94.004,79	0,1809	0,1357
ERE	ERE_Obra 5	R\$ 79.542,52	0,1809	0,1357
ERE	ERE_Obra 6	R\$ 186.847,66	0,1809	0,1357
ERE	ERE_Obra 7	R\$ 108.467,07	0,1809	0,1357
ERE	ERE_Obra 8	R\$ 83.517,23	0,1809	0,1357
ERE	ERE_Obra 15	R\$ 116.924,12	0,1809	0,1357
ERE	ERE_Obra 16	R\$ 43.386,83	0,1720	0,1357
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...

Tendo relacionadas todas obras e UMO's e seus respectivos índices de prioridade, algumas restrições e considerações se fazem necessárias a fim de se buscar os objetivos requeridos pelo trabalho antes da aplicação da metodologia de otimização para a melhor seleção de obras possível.

Primeiramente, a fim de obedecer à proposta de otimização logística, preceito de criação das UMO's, destaca-se a melhor posicionada em cada UMO e soma-se a constante 1 ao seu peso, de modo a fazer com que o peso destas obras se destaquem em relação às demais e forçar a execução de pelo menos uma obra em cada UMO como restrição inicial do processo.

Logo, o peso final de cada obra é dado pela multiplicação do peso de cada obra pelo peso de sua UMO perante a regional, já considerando os pesos das 8

obras prioritárias de cada UMO com a constante 1 somada, conforme apresentado na Tabela 4.16.

Tabela 4.16. Amostra da Relação Obras Pré-Selecionadas

U.M.O	Obra	Custo Obra R\$	Peso Obra em cada U.M.O. (AHP)	Peso U.M.O. para Região de Estudo (PROMETHEE)	Restrição 1º Critério - Logística (Executar a obra prioritária de cada UMO)	(Peso Obras + 1º Critério)	Peso Final (Peso Obras + 1º Critério) x (Peso U.M.O.)
SAG	SAG_Obra 9	R\$ 228.521,32	0,3632	0,1918	1,0000	1,3632	0,2614
CAL	CAL_Obra 4	R\$ 443.145,15	0,3934	0,1373	1,0000	1,3934	0,1913
ERE	ERE_Obra 1	R\$ 173.547,31	0,2916	0,1357	1,0000	1,2916	0,1753
FWE	FWE_Obra 1	R\$ 267.477,47	0,3108	0,1220	1,0000	1,3108	0,1600
SRO	SRO_Obra 18	R\$ 493.789,15	0,2616	0,1254	1,0000	1,2616	0,1582
TPA	TPA_Obra 7	R\$ 478.054,19	0,4005	0,1080	1,0000	1,4005	0,1512
PFU	PFU_Obra 22	R\$ 108.467,07	0,2769	0,0898	1,0000	1,2769	0,1147
PMI	PMI_Obra 1	R\$ 109.730,92	0,1294	0,0900	1,0000	1,1294	0,1016
SAG	SAG_Obra 19	R\$ 822.676,74	0,3145	0,1918	0,0000	0,3145	0,0603
SAG	SAG_Obra 21	R\$ 191.957,91	0,2907	0,1918	0,0000	0,2907	0,0558
SAG	SAG_Obra 10	R\$ 164.535,35	0,2758	0,1918	0,0000	0,2758	0,0529
SAG	SAG_Obra 14	R\$ 282.051,97	0,2669	0,1918	0,0000	0,2669	0,0512
SAG	SAG_Obra 15	R\$ 33.235,89	0,2431	0,1918	0,0000	0,2431	0,0466
CAL	CAL_Obra 8	R\$ 159.109,84	0,3306	0,1373	0,0000	0,3306	0,0454
CAL	CAL_Obra 9	R\$ 283.366,43	0,3218	0,1373	0,0000	0,3218	0,0442
CAL	CAL_Obra 5	R\$ 127.971,94	0,2983	0,1373	0,0000	0,2983	0,0410
ERE	ERE_Obra 2	R\$ 162.700,60	0,2679	0,1357	0,0000	0,2679	0,0364
TPA	TPA_Obra 11	R\$ 210.239,61	0,3253	0,1080	0,0000	0,3253	0,0351
CAL	CAL_Obra 14	R\$ 57.849,10	0,2502	0,1373	0,0000	0,2502	0,0344
CAL	CAL_Obra 16	R\$ 246.894,57	0,2366	0,1373	0,0000	0,2366	0,0325
CAL	CAL_Obra 1	R\$ 411.338,37	0,2219	0,1373	0,0000	0,2219	0,0305
SAG	SAG_Obra 20	R\$ 411.490,96	0,1409	0,1918	0,0000	0,1409	0,0270
ERE	ERE_Obra 4	R\$ 217.144,80	0,1957	0,1357	0,0000	0,1957	0,0266
FWE	FWE_Obra 2	R\$ 100.549,38	0,2102	0,1220	0,0000	0,2102	0,0256
PFU	PFU_Obra 24	R\$ 231.198,19	0,2769	0,0898	0,0000	0,2769	0,0249
ERE	ERE_Obra 3	R\$ 94.004,79	0,1809	0,1357	0,0000	0,1809	0,0245
ERE	ERE_Obra 5	R\$ 79.542,52	0,1809	0,1357	0,0000	0,1809	0,0245
ERE	ERE_Obra 6	R\$ 186.847,66	0,1809	0,1357	0,0000	0,1809	0,0245
ERE	ERE_Obra 7	R\$ 108.467,07	0,1809	0,1357	0,0000	0,1809	0,0245
ERE	ERE_Obra 8	R\$ 83.517,23	0,1809	0,1357	0,0000	0,1809	0,0245
ERE	ERE_Obra 15	R\$ 116.924,12	0,1809	0,1357	0,0000	0,1809	0,0245
ERE	ERE_Obra 16	R\$ 43.386,83	0,1720	0,1357	0,0000	0,1720	0,0233
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

A partir de então, parte-se para a resolução do problema de otimização caracterizado como um típico problema de Planejamento da área de Programação Linear Inteira.

Para resolução do problema foi utilizado o software Otimiza Versão 2.1, onde foi criada uma função de objetivo de maximização dos benefícios, estes subentendidos pelo valor do Peso Final calculado na Tabela 4.16.

A Figura 4.44, a seguir ilustra a tela de programação do software Otimiza.

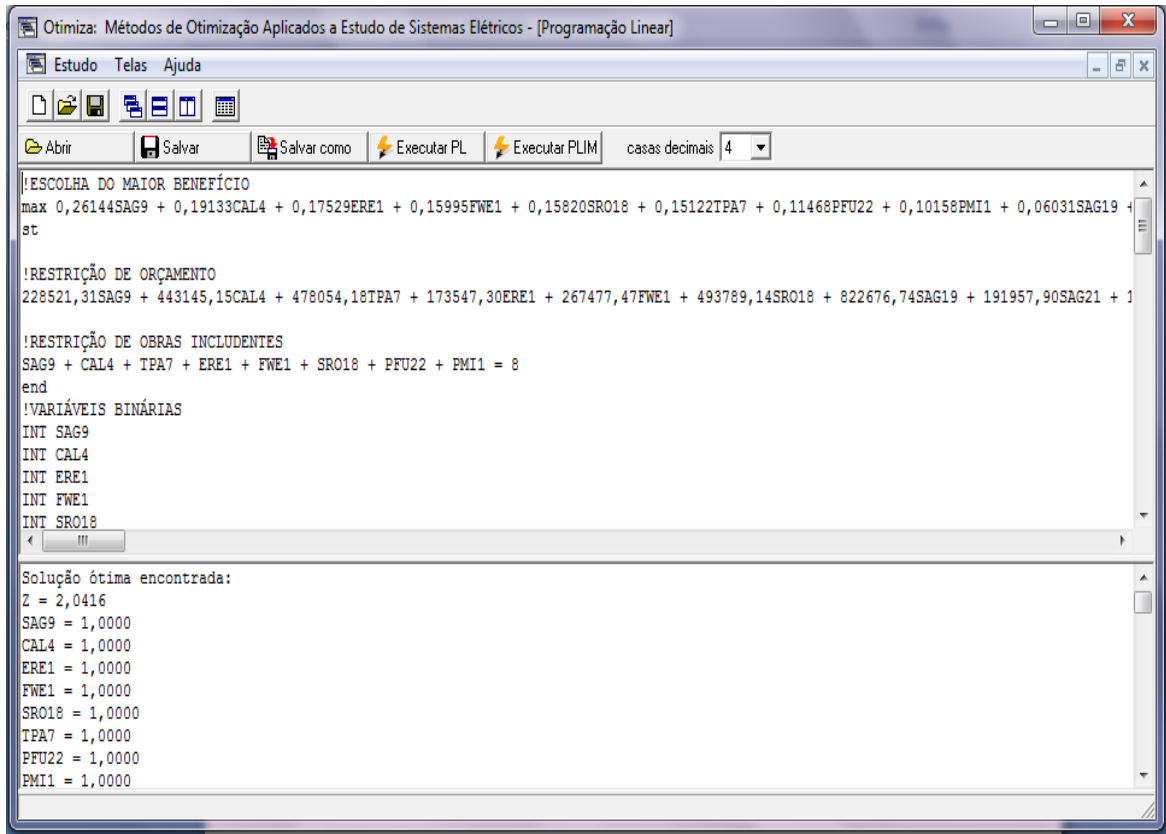


Figura 4.44. Tela de Programação Software Otimiza

O software Otimiza realiza as soluções dos problemas de otimização de problemas de Programação Linear Inteira, através do Método de Branch-and-Bound, apresentado anteriormente neste trabalho.

Além da restrição logística apresentada, assume-se ainda a restrição financeira da carteira de investimentos disponível para a seleção de obras e encaminhamento para execução.

Logo, a função objetivo para o problema é dado pela maximização dos benefícios associados a cada obra, onde o benefício de cada uma é quantificado pelo Peso Final de cada obra.

!ESCOLHA DO MAIOR BENEFÍCIO

**max** 0,26144SAG9 + 0,19133CAL4 + 0,17529ERE1 + 0,15995FWE1 + 0,15820SRO18 + 0,15122TPA7 + 0,11468PFU22 + 0,10158PMI1 + 0,06031SAG19 + 0,05575SAG21 + 0,05290SAG10 + 0,05119SAG14 + 0,04662SAG15 + 0,04540CAL8 + 0,04419CAL9 + 0,04096CAL5 + 0,03636ERE2 + 0,03512TPA11 + 0,03435CAL14 + 0,03248CAL16 + 0,03047CAL1 + 0,02701SAG20 + 0,02655ERE4 + 0,02564FWE2 + 0,02486PFU24 + 0,02454ERE3 + 0,02454ERE5 + 0,02454ERE6 + 0,02454ERE7 + 0,02454ERE8 + 0,02454ERE15 +

0,02334ERE16 + 0,02275PFU17 + 0,02275PFU23 + 0,02275PFU27 + 0,02063PFU35 +  
 0,01944FWE5 + 0,01930PFU31 + 0,01788SAG28 + 0,01741CAL34 + 0,01474ERE22 +  
 0,01408SRO1 + 0,01408SRO2 + 0,01408SRO14 + 0,01408SRO17 + 0,01408SRO26 +  
 0,01408SRO31 + 0,01275FWE3 + 0,01195PFU11 + 0,01163PMI4 + 0,01161PFU6 +  
 0,01110SRO19 + 0,01110SRO22 + 0,01110SRO23 + 0,01110SRO24 + 0,01080CAL29 +  
 0,00966ERE9 + 0,00860SRO20 + 0,00813SRO25 + 0,00799SRO27 + 0,00728PFU25 +  
 0,00709PMI2 + 0,00709PMI3 + 0,00709PMI5 + 0,00691CAL6 + 0,00691CAL7 + 0,00691CAL33  
 + 0,00691CAL40 + 0,00654FWE6 + 0,00516PFU7 + 0,00516PFU32 + 0,00502SRO3 +  
 0,00502SRO4 + 0,00502SRO6 + 0,00502SRO28 + 0,00430TPA5 + 0,00430TPA12 +  
 0,00369CAL17 + 0,00369CAL35 + 0,00369CAL36 + 0,00369CAL37 + 0,00369CAL38 +  
 0,00351FWE4 + 0,00307ERE10 + 0,00307ERE11 + 0,00307ERE17 + 0,00307ERE18 +  
 0,00244PMI6 + 0,00244PMI7 + 0,00205SRO16 + 0,00205SRO15 + 0,00205SRO21 +  
 0,00082PFU12 + 0,00046CAL13 + 0,00046CAL20 + 0,00046CAL24 + 0,00031CAL10 +  
 0,00031CAL11 + 0,00017PMI8

Estando sujeita as restrições de logística e de orçamento, limitada a uma carteira de investimento de R\$ 5.000.000,00 anuais para obras desta natureza.

st

!RESTRIÇÃO DE ORÇAMENTO

228521,31SAG9 + 443145,15CAL4 + 478054,18TPA7 + 173547,30ERE1 + 267477,47FWE1 +  
 493789,14SRO18 + 822676,74SAG19 + 191957,90SAG21 + 164535,34SAG10 +  
 282051,96SAG14 + 108467,06PFU22 + 33235,886SAG15 + 109730,92PMI1 +  
 411490,95SAG20 + 159109,83CAL8 + 210239,61TPA11 + 283366,43CAL9 + 127971,93CAL5  
 + 57849,103CAL14 + 162700,60ERE2 + 224217,19SAG28 + 246894,57CAL16 +  
 411338,37CAL1 + 100549,37FWE2 + 217144,80ERE4 + 94004,792ERE3 + 79542,516ERE5 +  
 186847,66ERE6 + 108467,06ERE7 + 83517,231ERE8 + 116924,12ERE15 + 43386,827ERE16  
 + 54845,116FWE5 + 231198,18PFU24 + 115698,20PFU17 + 62245,665PFU23 +  
 222305,94PFU27 + 12935,607CAL34 + 151853,89PFU35 + 86773,654PFU31 +  
 114983,17ERE22 + 411338,37SRO1 + 447901,78SRO2 + 334637,92SRO14 + 99707,658SRO17  
 + 137112,79SRO26 + 144022,17SRO31 + 255943,87FWE3 + 118831,08CAL29 +  
 201098,75SRO19 + 499275,69SRO22 + 237662,17SRO23 + 137112,79SRO24 +  
 233848,24PFU11 + 57849,103PFU6 + 86773,654ERE9 + 347352,40SRO20 + 127971,93SRO25  
 + 219380,46SRO27 + 118831,08CAL6 + 91408,527CAL7 + 430248,76CAL33 +  
 201098,75CAL40 + 191957,90FWE6 + 141683,21PMI4 + 245858,68PFU25 + 466356,41TPA5  
 + 420987,89TPA12 + 137112,79SRO3 + 118831,08SRO4 + 319929,84SRO6 +  
 246803,02SRO28 + 75584,022PFU7 + 204521,47PFU32 + 301830,83PMI2 + 219905,32PMI3  
 + 123803,71PMI5 + 191957,90CAL17 + 382443,34CAL35 + 14341,625CAL36 +  
 474305,60CAL37 + 229966,35CAL38 + 228521,31FWE4 + 36155,689ERE10 +  
 65080,241ERE11 + 36155,689ERE17 + 65080,241ERE18 + 370820,74SRO15 +  
 287457,94SRO16 + 64678,036PMI6 + 182817,05SRO21 + 109690,23PMI7 + 115599,09PFU12  
 + 86773,654CAL13 + 346596,50CAL20 + 137112,79CAL24 + 237662,17CAL10 +  
 321280,23CAL11 + 5486,5461PMI8 <= 500000

!RESTRIÇÃO DE OBRAS INCLUDENTES

SAG9 + CAL4 + TPA7 + ERE1 + FWE1 + SRO18 + PFU22 + PMI1 = 8

Diferentemente dos problemas de Programação Linear desenvolvidos pelo Método Simplex, cada obra deve ser designada para execução ou não, não podendo



ser executada mais de uma vez, configurando um problema de Programação Linear Inteira.

Para tal, faz-se necessária a declaração de todas variáveis como binárias.

A seguir é rodada a rotina de PLIM (Programação Linear Inteira Mista) do software Otimiza, baseado no Método de Branch-and-Bound e obtém-se o resultado do problema com a solução ótima para o mesmo, respeitando as restrições impostas.

O resultado da simulação é dado abaixo.

Solução ótima encontrada:

**Z = 2,0416**

<b>SAG9 = 1,0000</b>	<b>ERE8 = 1,0000</b>	PMI5 = 0,0000
<b>CAL4 = 1,0000</b>	<b>ERE15 = 1,0000</b>	CAL6 = 0,0000
<b>ERE1 = 1,0000</b>	<b>ERE16 = 1,0000</b>	CAL7 = 0,0000
<b>FWE1 = 1,0000</b>	<b>PFU17 = 1,0000</b>	CAL33 = 0,0000
<b>SRO18 = 1,0000</b>	<b>PFU23 = 1,0000</b>	CAL40 = 0,0000
<b>TPA7 = 1,0000</b>	PFU27 = 0,0000	FWE6 = 0,0000
<b>PFU22 = 1,0000</b>	PFU35 = 0,0000	PFU7 = 0,0000
<b>PMI1 = 1,0000</b>	<b>FWE5 = 1,0000</b>	PFU32 = 0,0000
SAG19 = 0,0000	<b>PFU31 = 1,0000</b>	SRO3 = 0,0000
<b>SAG21 = 1,0000</b>	SAG28 = 0,0000	SRO4 = 0,0000
<b>SAG10 = 1,0000</b>	<b>CAL34 = 1,0000</b>	SRO6 = 0,0000
<b>SAG14 = 1,0000</b>	ERE22 = 0,0000	SRO28 = 0,0000
<b>SAG15 = 1,0000</b>	SRO1 = 0,0000	TPA5 = 0,0000
<b>CAL8 = 1,0000</b>	SRO2 = 0,0000	TPA12 = 0,0000
<b>CAL9 = 1,0000</b>	SRO14 = 0,0000	CAL17 = 0,0000
<b>CAL5 = 1,0000</b>	SRO17 = 0,0000	CAL35 = 0,0000
<b>ERE2 = 1,0000</b>	SRO26 = 0,0000	CAL36 = 0,0000
<b>TPA11 = 1,0000</b>	SRO31 = 0,0000	CAL37 = 0,0000
<b>CAL14 = 1,0000</b>	FWE3 = 0,0000	CAL38 = 0,0000
CAL16 = 0,0000	PFU11 = 0,0000	FWE4 = 0,0000
CAL1 = 0,0000	PMI4 = 0,0000	ERE10 = 0,0000
SAG20 = 0,0000	<b>PFU6 = 1,0000</b>	ERE11 = 0,0000
ERE4 = 0,0000	SRO19 = 0,0000	ERE17 = 0,0000
<b>FWE2 = 1,0000</b>	SRO22 = 0,0000	ERE18 = 0,0000
PFU24 = 0,0000	SRO23 = 0,0000	PMI6 = 0,0000
<b>ERE3 = 1,0000</b>	SRO24 = 0,0000	PMI7 = 0,0000
<b>ERE5 = 1,0000</b>	CAL29 = 0,0000	SRO16 = 0,0000
ERE6 = 0,0000	ERE9 = 0,0000	SRO15 = 0,0000
<b>ERE7 = 1,0000</b>	SRO20 = 0,0000	SRO21 = 0,0000
	SRO25 = 0,0000	PFU12 = 0,0000
	SRO27 = 0,0000	CAL13 = 0,0000
	PFU25 = 0,0000	CAL20 = 0,0000
	PMI2 = 0,0000	CAL24 = 0,0000
	PMI3 = 0,0000	CAL10 = 0,0000
		CAL11 = 0,0000
		<b>PMI8 = 1,0000</b>

Por fim, o método oferece a solução para a alocação ótima dos recursos dentre as obras candidatas, de modo que se obtenha a melhor performance para o sistema.



## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Tal qual a estrutura do trabalho, a análise dos resultados pode ser feita conforme as etapas de aplicação da metodologia proposta.

Em relação a primeira etapa do trabalho, referente à priorização das UMO's por meio do Método AHP, observou-se grande afinidade entre a finalidade desta etapa e a proposta do método.

A possibilidade de verificação da consistência das avaliações dos especialistas bem como associar opiniões de diversas pessoas a cerca do assunto trouxe a metodologia maior robustez por se tratar de uma metodologia responsável pela alocação de recursos.

A proposta de utilizar os mesmos critérios para priorização das UMO's (AHP) e das obras (PROMETHEE), utilizando apenas um processo de avaliação e atribuição de importância aos critérios, torna a metodologia de fácil manipulação e fácil reestruturação conforme as mudanças necessárias impostas pelo setor elétrico a cada período de planejamento de curto prazo.

Em relação a segunda etapa do trabalho, referente a priorização de obras em cada UMO, a metodologia aplicada (PROMETHEE) se mostrou também muito aderente à causa e a necessidade imposta.

O método PROMETHEE estabelece através da comparação paritária entre todas alternativas e todos os critérios uma sobreclassificação de obras com maior favorabilidade quando comparadas as demais e obras de menor favorabilidade.

Desta forma o resultado final do método é dado por um índice de prioridade que pode ser positivo ou negativo.

Esta característica permitiu que fosse feita uma pré-classificação das obras candidatas, de modo a filtrar o volume de obras a serem tratadas na próxima etapa, desclassificando obras com pouca favorabilidade que estariam ocupando espaço computacional e esforços na aplicação da metodologia.

No início do processo o banco de dados com sugestões de obras de melhoria possuía 206 obras candidatas.

Após a pré-classificação feita através do método PROMETHEE, o número de obras candidatas diminuiu para a quantidade de 99, e o valor total do conjunto de obras candidatas caiu de R\$ 37.828.569,06 para R\$ 20.320.150,19, produzindo um

ganho na ordem de 52% em termos da quantidade de obras a serem processadas, impactando em redução nos esforços computacionais de processamento de dados e de programação.

As Tabelas 5.1 e 5.2, a seguir, reproduzem os resultados acima mencionados, quantificando e detalhando os ganhos obtidos.

Tabela 5.1. Relação total de obras de melhoria

RELAÇÃO TOTAL DE OBRAS			
U.M.O.	Nº Obras	Custo Estimado Obras (R\$)	
Cruz Alta	42	R\$	8.090.707,07
Erechim	31	R\$	4.308.155,44
Frederico Westphalen	13	R\$	2.644.525,47
Palmeira das Missões	11	R\$	1.450.294,88
Passo Fundo	36	R\$	4.599.492,66
Santa Rosa	31	R\$	7.165.246,72
Santo Ângelo	28	R\$	6.098.475,06
Três Passos	14	R\$	3.471.671,75
<b>Total geral</b>	<b>206</b>	<b>R\$</b>	<b>37.828.569,06</b>

Tabela 5.2. Relação de obras de melhoria pré-selecionadas (Linha de Corte – PROMETHEE)

RELAÇÃO TOTAL DE OBRAS PRÉ-SELECIONADAS			
U.M.O.	Nº Obras	Custo Estimado Obras (R\$)	
Cruz Alta	23	R\$	5.125.469,43
Erechim	16	R\$	1.670.311,63
Frederico Westphalen	6	R\$	1.099.295,07
Passo Fundo	13	R\$	1.911.803,25
Palmeira das Missões	8	R\$	1.076.808,83
Santo Ângelo	8	R\$	2.358.687,32
Santa Rosa	21	R\$	5.502.136,56
Três Passos	4	R\$	1.575.638,11
<b>Total geral</b>	<b>99</b>	<b>R\$</b>	<b>20.320.150,19</b>

Por fim, em relação à última e mais importante etapa do processo, referente à otimização na aplicação dos recursos de modo a se obter o melhor retorno, foram geradas duas situações a título de comparação.

Em um primeiro momento, tendo calculado o Peso Final de cada obra, considerando a restrição orçamentária, foi feita a seleção de obras por meio de um Diagrama de Pareto, de modo a dispor as obras todas em ordem decrescente de prioridade, limitando a seleção ao valor de uma carteira de investimentos.

A seleção é dada pela soma dos valores das obras mais importantes no universo global de modo a não ultrapassar o valor da carteira de investimentos disponível para este tipo de obras.

Os resultados obtidos são apresentados nas Figura 5.1 e 5.2 e na Tabela 5.3, a seguir.

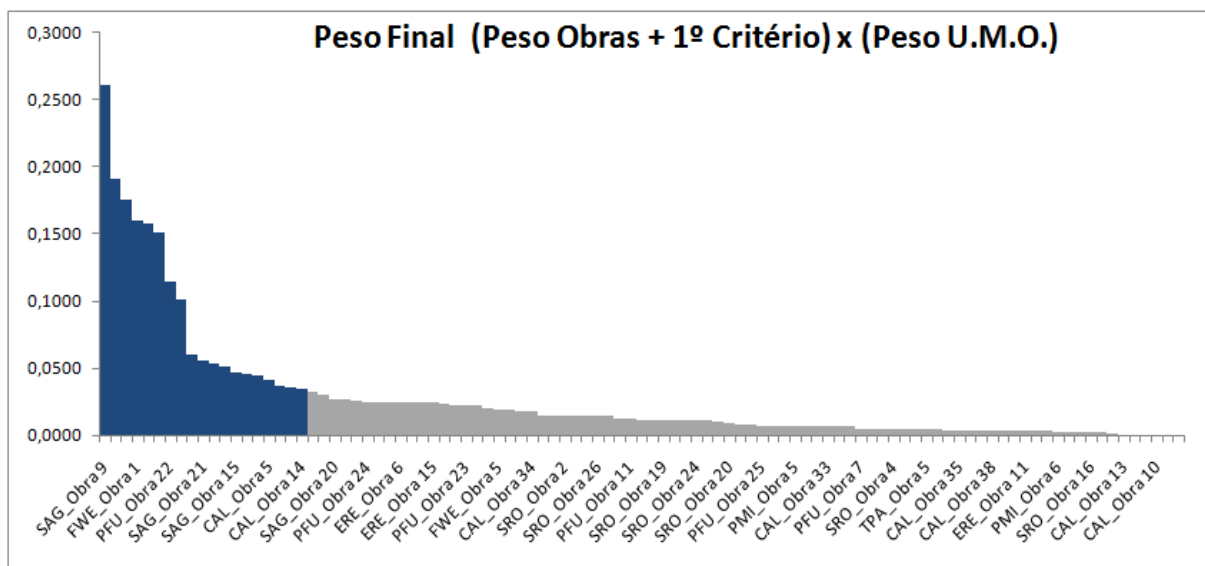


Figura 5.1. Seleção obras por meio do Diagrama de Pareto.

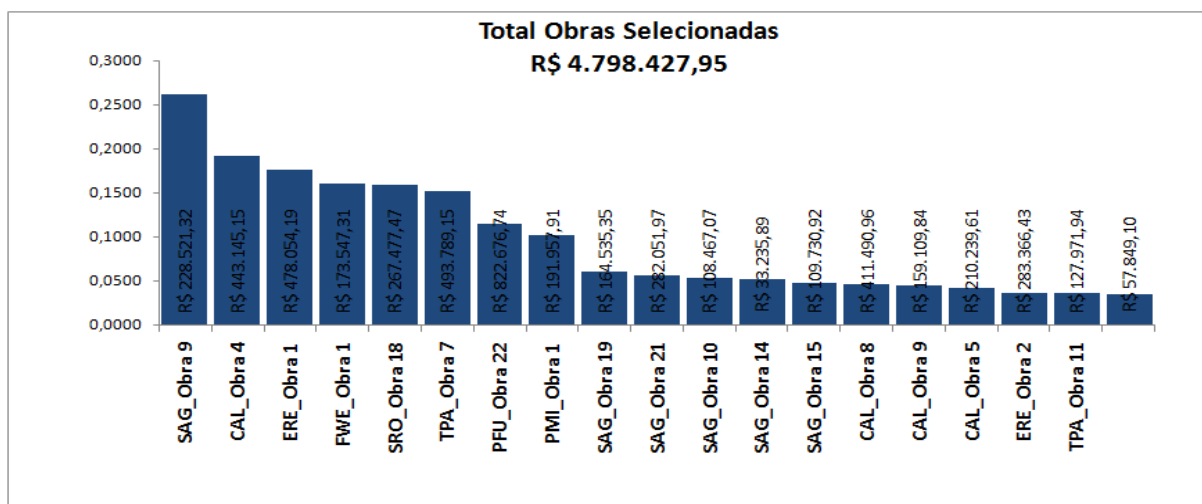


Tabela 5.2. Detalhe obras selecionadas por meio do Diagrama de Pareto.

Tabela 5.3. Detalhe obras selecionadas por meio do Diagrama de Pareto.

U.M.O	Obra	Custo Obra R\$	Peso Obra em cada	Peso U.M.O. para Região	Restrição 1º Critério -	(Peso Obras + 1º Critério)	Peso Final (Peso Obras + 1º Critério)	Solução Ótima Pareto
SAG	SAG_Obra 9	R\$ 228.521,32	0,3632	0,1918	1	1,3632	0,2614	0,261444752
CAL	CAL_Obra 4	R\$ 443.145,15	0,3934	0,1373	1	1,3934	0,1913	0,191337979
ERE	ERE_Obra 1	R\$ 173.547,31	0,2916	0,1357	1	1,2916	0,1753	0,175298577
FWE	FWE_Obra 1	R\$ 267.477,47	0,3108	0,1220	1	1,3108	0,1600	0,159956804
SRO	SRO_Obra 18	R\$ 493.789,15	0,2616	0,1254	1	1,2616	0,1582	0,158208651
TPA	TPA_Obra 7	R\$ 478.054,19	0,4005	0,1080	1	1,4005	0,1512	0,151225206
PFU	PFU_Obra 22	R\$ 108.467,07	0,2769	0,0898	1	1,2769	0,1147	0,114685099
PMI	PMI_Obra 1	R\$ 109.730,92	0,1294	0,0900	1	1,1294	0,1016	0,101589273
SAG	SAG_Obra 19	R\$ 822.676,74	0,3145	0,1918	0	0,3145	0,0603	0,060317473
SAG	SAG_Obra 21	R\$ 191.957,91	0,2907	0,1918	0	0,2907	0,0558	0,055754536
SAG	SAG_Obra 10	R\$ 164.535,35	0,2758	0,1918	0	0,2758	0,0529	0,052900847
SAG	SAG_Obra 14	R\$ 282.051,97	0,2669	0,1918	0	0,2669	0,0512	0,051191599
SAG	SAG_Obra 15	R\$ 33.235,89	0,2431	0,1918	0	0,2431	0,0466	0,046628662
CAL	CAL_Obra 8	R\$ 159.109,84	0,3306	0,1373	0	0,3306	0,0454	0,045400177
CAL	CAL_Obra 9	R\$ 283.366,43	0,3218	0,1373	0	0,3218	0,0442	0,044191331
CAL	CAL_Obra 5	R\$ 127.971,94	0,2983	0,1373	0	0,2983	0,0410	0,040964245
ERE	ERE_Obra 2	R\$ 162.700,60	0,2679	0,1357	0	0,2679	0,0364	0,036361262
TPA	TPA_Obra 11	R\$ 210.239,61	0,3253	0,1080	0	0,3253	0,0351	0,035120715
CAL	CAL_Obra 14	R\$ 57.849,10	0,2502	0,1373	0	0,2502	0,0344	0,034358379
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 4.798.427,95</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,816935565</b>

A seguir, os resultados obtidos por meio da metodologia de priorização e otimização propostas pelo trabalho são apresentados.

Os resultados obtidos são apresentados nas Figura 5.3 e 5.4 e na Tabela 5.4, a seguir.

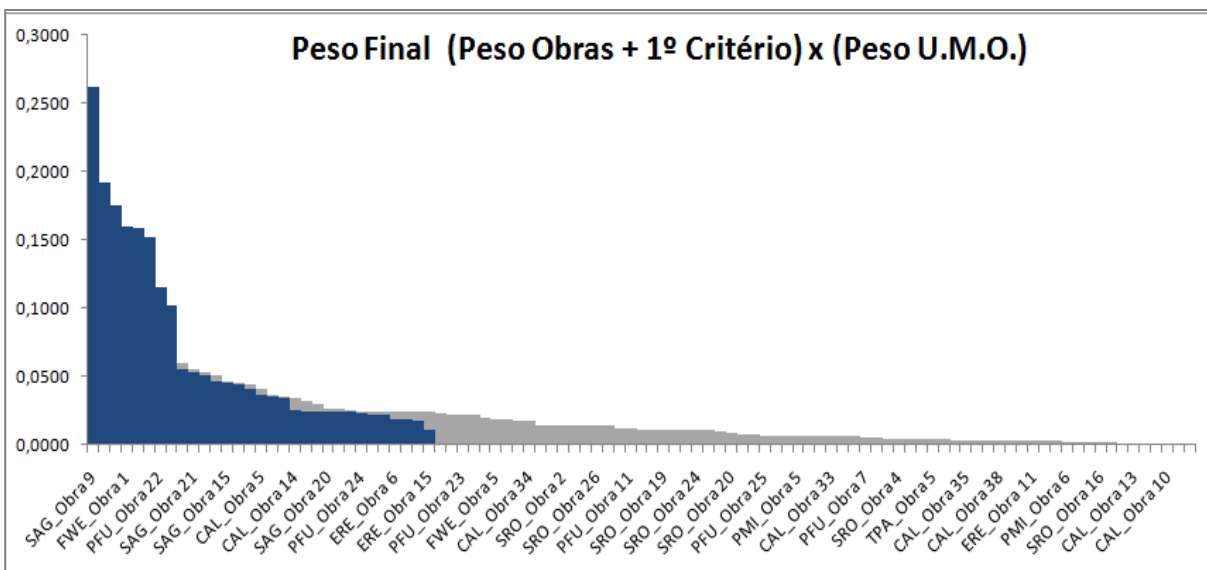


Figura 5.3. Seleção final de obras pela metodologia proposta.

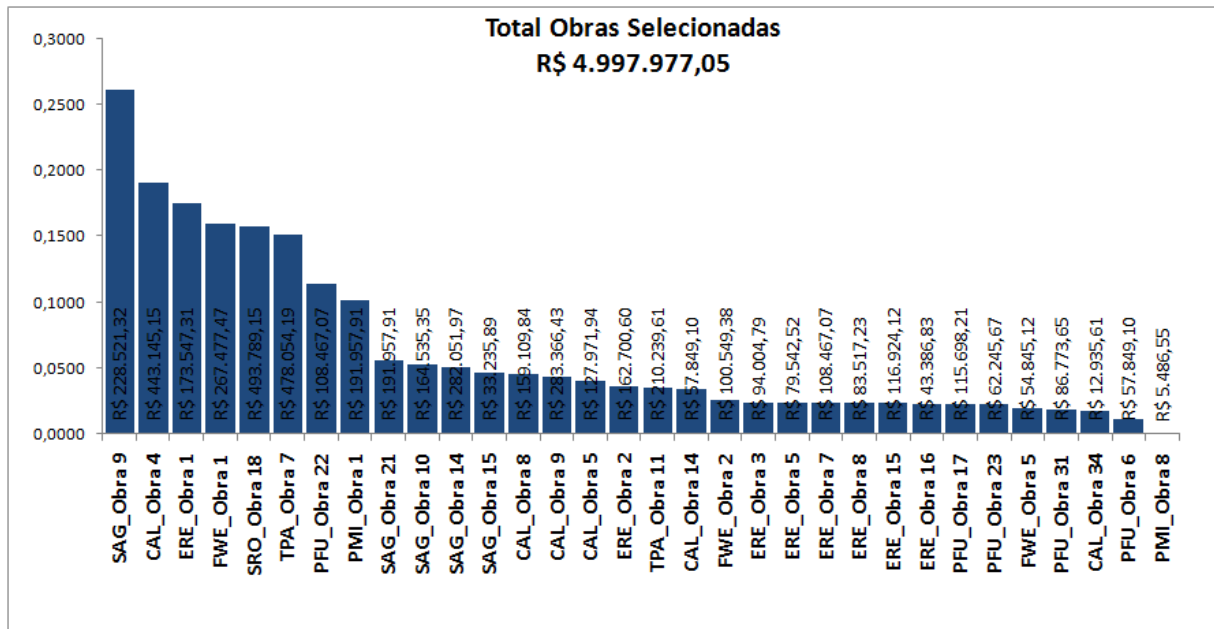


Figura 5.4. Detalhe obras selecionadas pela metodologia proposta.

Tabela 5.4. Detalhe obras selecionadas pela metodologia proposta

U.M.O.	Obra	Custo Obra R\$	Peso Obra em cada U.M.O. (AHP)	Peso U.M.O. para Região de Estudo (PROMETHEE)	Restrição 1º Critério - Logística (Executar a obra prioritária de cada UMO)	(Peso Obras + 1º Critério)	Peso Final (Peso Obras + 1º Critério) x (Peso U.M.O.)	Solução ótima OTIMIZA
SAG	SAG_Obra 9	R\$ 228.521,32	0,3632	0,1918	1	1,3632	0,2614	0,261444752
CAL	CAL_Obra 4	R\$ 443.145,15	0,3934	0,1373	1	1,3934	0,1913	0,191337979
ERE	ERE_Obra 1	R\$ 173.547,31	0,2916	0,1357	1	1,2916	0,1753	0,175298577
FWE	FWE_Obra 1	R\$ 267.477,47	0,3108	0,1220	1	1,3108	0,1600	0,159956804
SRO	SRO_Obra 18	R\$ 493.789,15	0,2616	0,1254	1	1,2616	0,1582	0,158208651
TPA	TPA_Obra 7	R\$ 478.054,19	0,4005	0,1080	1	1,4005	0,1512	0,151225206
PFU	PFU_Obra 22	R\$ 108.467,07	0,2769	0,0898	1	1,2769	0,1147	0,114685099
PMI	PMI_Obra 1	R\$ 191.957,91	0,1294	0,0900	1	1,1294	0,1016	0,101589273
SAG	SAG_Obra 21	R\$ 191.957,91	0,2907	0,1918	0	0,2907	0,0558	0,055754536
SAG	SAG_Obra 10	R\$ 164.535,35	0,2758	0,1918	0	0,2758	0,0529	0,052900847
SAG	SAG_Obra 14	R\$ 282.051,97	0,2669	0,1918	0	0,2669	0,0512	0,051191599
SAG	SAG_Obra 15	R\$ 33.235,89	0,2431	0,1918	0	0,2431	0,0466	0,046628662
CAL	CAL_Obra 8	R\$ 159.109,84	0,3306	0,1373	0	0,3306	0,0454	0,045400177
CAL	CAL_Obra 9	R\$ 283.366,43	0,3218	0,1373	0	0,3218	0,0442	0,044191331
CAL	CAL_Obra 5	R\$ 127.971,94	0,2983	0,1373	0	0,2983	0,0410	0,040964245
ERE	ERE_Obra 2	R\$ 162.700,60	0,2679	0,1357	0	0,2679	0,0364	0,036361262
TPA	TPA_Obra 11	R\$ 210.239,61	0,3253	0,1080	0	0,3253	0,0351	0,035120715
CAL	CAL_Obra 14	R\$ 57.849,10	0,2502	0,1373	0	0,2502	0,0344	0,034358379
FWE	FWE_Obra 2	R\$ 100.549,38	0,2102	0,1220	0	0,2102	0,0256	0,02564907
ERE	ERE_Obra 3	R\$ 94.004,79	0,1809	0,1357	0	0,1809	0,0245	0,024545369
ERE	ERE_Obra 5	R\$ 79.542,52	0,1809	0,1357	0	0,1809	0,0245	0,024545369
ERE	ERE_Obra 7	R\$ 108.467,07	0,1809	0,1357	0	0,1809	0,0245	0,024545369
ERE	ERE_Obra 8	R\$ 83.517,23	0,1809	0,1357	0	0,1809	0,0245	0,024545369
ERE	ERE_Obra 15	R\$ 116.924,12	0,1809	0,1357	0	0,1809	0,0245	0,024545369
ERE	ERE_Obra 16	R\$ 43.386,83	0,1720	0,1357	0	0,1720	0,0233	0,023340124
PFU	PFU_Obra 17	R\$ 115.698,21	0,2533	0,0898	0	0,2533	0,0228	0,022750354
PFU	PFU_Obra 23	R\$ 62.245,67	0,2533	0,0898	0	0,2533	0,0228	0,022750354
FWE	FWE_Obra 5	R\$ 54.845,12	0,1593	0,1220	0	0,1593	0,0194	0,019440515
PFU	PFU_Obra 31	R\$ 86.773,65	0,2149	0,0898	0	0,2149	0,0193	0,019305442
CAL	CAL_Obra 34	R\$ 12.935,61	0,1268	0,1373	0	0,1268	0,0174	0,017410701
PFU	PFU_Obra 6	R\$ 57.849,10	0,1294	0,0898	0	0,1294	0,0116	0,011619824
PMI	PMI_Obra 8	R\$ 5.486,55	0,0020	0,0900	0	0,0020	0,0002	0,000178938
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 4.997.977,05</b>	-	-	-	-	-	<b>2,041790</b>

A seguir são comparados os resultados obtidos pela metodologia proposta e a metodologia convencional através da disposição das obras em um Diagrama de Pareto e apresentados pelas Tabelas 5.5 a 5.9, a seguir.

Tabela 5.5. Resumo final de obras selecionadas pelo Diagrama de Pareto.

RELAÇÃO FINAL DE OBRAS SELECIONADAS - CONVENCIONAL (CARTEIRA INVESTIMENTOS R\$ 5.000.000,00)		
U.M.O.	Nº Obras	Custo Estimado Obras (R\$)
Cruz Alta	5	R\$ 1.071.442,46
Erechim	2	R\$ 336.247,91
Frederico Westphalen	1	R\$ 267.477,47
Passo Fundo	1	R\$ 108.467,07
Palmeira das Missões	1	R\$ 109.730,92
Santo Ângelo	6	R\$ 1.722.979,17
Santa Rosa	1	R\$ 493.789,15
Três Passos	2	R\$ 688.293,80
<b>Total geral</b>	<b>19</b>	<b>R\$ 4.798.427,95</b>

Tabela 5.6. Resumo final de obras selecionadas pela metodologia proposta.

RELAÇÃO FINAL DE OBRAS SELECIONADAS - MET. PROPOSTA (CARTEIRA INVESTIMENTOS R\$ 5.000.000,00)		
U.M.O.	Nº Obras	Custo Estimado Obras (R\$)
Cruz Alta	6	R\$ 1.084.378,07
Erechim	8	R\$ 862.090,47
Frederico Westphalen	3	R\$ 422.871,97
Passo Fundo	5	R\$ 431.033,70
Palmeira das Missões	2	R\$ 115.217,47
Santo Ângelo	5	R\$ 900.302,43
Santa Rosa	1	R\$ 493.789,15
Três Passos	2	R\$ 688.293,80
<b>Total geral</b>	<b>32</b>	<b>R\$ 4.997.977,05</b>

Tabela 5.7. Maximização dos Benefícios oferecidos por cada metodologia.

MAXIMIZAÇÃO BENEFÍCIOS	
SOLUÇÃO ÓTIMA MET. CONVENCIONAL	1,8169
SOLUÇÃO ÓTIMA MET. PROPOSTA	2,0416

Tabela 5.8. Otimização da utilização do orçamento oferecidos por cada metodologia.

OTIMIZAÇÃO APLICAÇÃO DOS RECURSOS - CONSUMO ORÇAMENTO	
SOLUÇÃO ÓTIMA MET. CONVENCIONAL	R\$ 4.798.427,95
SOLUÇÃO ÓTIMA MET. PROPOSTA	R\$ 4.997.977,05



Tabela 5.9. Maximização da quantidade de obras selecionadas para execução por cada metodologia.

OTIMIZAÇÃO APLICAÇÃO DOS RECURSOS - SELEÇÃO OBRAS	
SOLUÇÃO ÓTIMA MET. CONVENCIONAL	19
SOLUÇÃO ÓTIMA MET. PROPOSTA	32

Observa-se que os benefícios oferecidos pela metodologia proposta são muito significativos, principalmente quando comparados a uma metodologia convencional de seleção de obras.

Em termos do número de obras selecionadas para execução, verifica-se uma diferença de 13 obras entre os números da metodologia convencional e proposta, resultando em um ganho de 40,6% em termos de quantidade de obras.

Tal situação resulta em um número maior de consumidores beneficiados e maior visibilidade das ações de melhoria da empresa frente à sociedade. Estes últimos, dados não mensuráveis, mas de grande importância para as empresas de distribuição de energia elétrica.

Observa-se ainda uma melhor utilização dos recursos disponíveis com utilização de 99,96% do recurso pela metodologia proposta, frente a uma utilização de 95,96% pela metodologia convencional.

Por fim, demonstradas os diversos ganhos proporcionados pela metodologia proposta, têm-se através da análise dos resultados a confirmação da robustez e assertividade da mesma frente ao objetivo que se propõe.



## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **6.1 Conclusões**

Conforme tratado, o atual cenário do setor elétrico brasileiro apresenta um problema de planejamento do sistema elétrico diferente dos formatos já conhecidos e amplamente difundidos na literatura.

As exigências por melhoria na qualidade do serviço prestado e na eficiência da operação se fazem essenciais sob a perspectiva do aumento da fiscalização e aplicação de penalidades pelo agente regulador, além de possuírem reflexo direto no desempenho econômico das companhias.

A associação de métodos de priorização e otimização para uma melhor priorização de obras de melhoria em redes de distribuição de energia elétrica, num horizonte de curto prazo, em um cenário de constantes alterações regulatórias e elevado nível de exigência, se apresenta como uma estratégia essencial no novo cenário do setor elétrico no Brasil.

Logo, a metodologia proposta associa métodos de características e fins distintos, capaz de contemplar critérios de diferentes naturezas, com foco específico em resultados que reflitam os aspectos regulatórios do negócio de forma rápida e concreta.

Os métodos utilizados neste trabalho mostraram-se complementares e de fácil associação frente aos propósitos de suas aplicações, apresentando maior confiabilidade aos resultados obtidos, uma vez que associa uma consolidada ferramenta de decisão da escola norte-americana (AHP) a outra também consolidada metodologia de sobreclassificação da também renomada escola francesa (PROMETHEE).

A metodologia proposta promoveu a associação de métodos de escolas concorrentes no âmbito da tomada de decisões multicriteriais, aproveitando as características de cada uma para melhor aplicação conforme a natureza das alternativas em cada etapa da metodologia.

De modo a complementar o trabalho, a aplicação da metodologia de programação linear inteira ao ranking de obras definido pela associação das duas metodologias acima referidas, como forma de otimização da aplicação dos recursos

disponíveis, associando ainda aspectos de logística e melhor aproveitamento da capacidade de execução de cada região, fecham o estudo proporcionando uma solução completa, confiável, baseada em critérios robustos e com apropriado nível de detalhamento dos resultados.

A robustez e confiabilidade do método AHP com verificação de consistência dos julgamentos dos critérios, associado a pré-classificação das obras mais relevantes, dada pelo método PROMETHEE aliado ainda à solução do problema de otimização completam as necessidades do processo de seleção de obras.

Por fim, são dados como satisfatórios os resultados obtidos pela metodologia proposta por este trabalho, servindo como referência aos atuais desafios do setor elétrico em que melhorias rápidas com impacto nos indicadores individuais e coletivos de qualidade do produto e do serviço se fazem necessários e urgentes ao desempenho econômico das empresas de distribuição de energia elétrica.

## **6.2 Trabalhos futuros**

Aplicada a metodologia proposta em um problema real, através de um estudo de caso, foram observados e validados os resultados obtidos, comprovando a eficácia e aplicabilidade da metodologia ao cenário que se propõe.

Para uma próxima etapa, a fim de dar continuidade ao trabalho, coloca-se a necessidade de desenvolver a metodologia aqui apresentada em alguma linguagem de programação de modo a criar uma ferramenta prática, usual, de fácil utilização e reconfiguração que assuma as informações de novas obras propostas e permita a rápida alteração dos parâmetros de entrada por parte dos especialistas, que serão na maioria das vezes pessoas com cargos estratégicos nas empresas, responsáveis pelo direcionamento destas conforme se apresentar o cenário do setor elétrico a cada ano e as dificuldades e oportunidades peculiares a cada uma.

Uma nova abordagem deste trabalho também pode ser dada através da aplicação da metodologia apresentada à cenários do planejamento de médio e longo prazo, a fim de estabelecer uma priorização das etapas de execução dos planos de obras.

Outra abordagem cabível ao trabalho está no aprofundamento e aplicação de métodos de otimização também na etapa de definição das UMOs.

Novos critérios e metodologias também podem ser inseridos a fim de direcionar a metodologia proposta para um maior número de finalidades.

### 6.3 Trabalhos publicados

Ao longo deste trabalho de dissertação foram publicados e apresentados 2 artigos científicos, em eventos internacionais, e 1 aceito em congresso nacional não apresentado, conforme a relação que segue:

- **UPEC'2014 - 49th International Universities' Power Engineering Conference.**

Título do trabalho: "*Methodology for Prioritizing Investments in Distribution Networks Electricity Focusing on Operational Efficiency and Regulatory Aspects*".

Data/Local: 2 a 5 de setembro de 2014. Cluj-Napoca. Romania.

- **DistribuTECH Brasil'2014 - 47th International Universities' Power Engineering Conference.**

Título do trabalho: "*Priorização de Investimentos em Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Foco em Ganhos Operacionais e Financeiros*".

Data/Local: 21 a 23 de outubro de 2014. São Paulo. Brasil.

- **CBPE'14 - X Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica.**

Título do trabalho: "*Metodologia para priorização de investimentos em redes de distribuição de energia elétrica com foco na eficiência operacional e aspectos regulatórios*" – Trabalho aceito mas não apresentado.

Data/Local: 25 a 27 de agosto de 2014. Florianópolis, Santa Catarina – Brasil.



## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional - Métodos e Modelos para Análise de Decisões**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: LTC. Brasil. 1998.

ANEEL - Procedimentos de Distribuição – PRODIST - Módulo 8: **Qualidade de Energia**. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8\\_Revisao\\_1-Retificacao\\_1.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_Revisao_1-Retificacao_1.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2014.

ANEEL - Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET - Submódulo 2.5: **Fator X**. Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/040/documento/procedimentos\\_submodulo\\_2.5.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/040/documento/procedimentos_submodulo_2.5.pdf)>. Acesso em: 14 dez. 2014.

ANEEL - Resolução Normativa Nº 24. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2000. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000024.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

ANEEL - Resolução Normativa Nº505. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2000. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2001505.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

ANEEL - **Lei Nº. 9.427/96**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei19969427.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

ARANGO, H.; GOUVEA, M. R.; VALENTE, A. **Planejamento de investimentos em sistemas de distribuição**. CED 055/PLAN 002/AT 001. São Paulo – S.P. 1993.

BANA e COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. "A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP." In: **European Journal of Operational Research**. 2008. Volume: 187, Issue: 3, Publisher: Elsevier, Pages: 1422-1428. ISSN: 03772217. 2008.

BARZILAI, J. & GOLANY, B. **AHP rank reversal, normalization and aggregation rules**. INFOR, 32 (2), 57-64.1994.

BARZILAI, J. Deriving weights from pairwise comparison matrices. **J. Operational Research Society**, 48 (12), 1226-1232. 1997.

BARZILAI, J. On MAUT, AHP, and PFM. In: **Proc. 5. th. Int. Symposium on the AHP**, 57-60. 1999.

BARZILAI, J. Theory of measurement for voltage and affine variables. In: **Proc. IEEE Int. Conf. Systems, Man and Cybernetics**, 636-640. 2000.

BEHZADIAN, M. et al. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, v. 200, n. 1, p. 198-215, 2010.

BERMANN, C. **Em busca da eficiência na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica/aspectos da regulação do livre acesso na distribuição de gás natural**. II Seminário Internacional de Energia Elétrica e Gás Natural. p. 7. 2007.

BERNARDON, D. P. **Novos métodos para reconfiguração das redes de distribuição a partir de algoritmos de tomadas de decisão multicriteriais**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, 2007.

BERRADA, M.; STECKE, K. E. **A Branch and Bound Approach for Machine Load Balancing in Flexible Manufacturing Systems**. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.32.10.1316>. 1316-1335. 1986.

BESHELEV, S. D.; GURVITCH, F. G. **Métodos Matemáticos-Estatísticos de Estimativa de Especialistas**, Statistica, Moscou, 1980.

BILLINTON, R. E BILLINTON, J. E. **Distribution system reliability indices**, IEEE Transactions on power delivery. 4(1): 561–568. 1989.

BILLINTON, R., ALLAN, R. N. **Reliability evaluation of engineering systems concepts and techniques**. Vol. 2nd ed. New York: Plenum. 1992, p. 166. 1992.

BILLINTON, R., ALLAN, R. N. **Reliability evaluation of power systems**. Vol. 2nd ed. New York: Plenum Press. 1996.



BORNIA, A. C.; WERNKE, R. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças**. FIECAP/FEA – USP. v. 14, n. 25, p. 60-71, jan./abr. 2001.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making). **Management Science**, v. 31, p. 647-656, 1985.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. The PROMETHEE-GAIA Decision Support System for Multicriteria Investigations. **Investigacion Operativa**, 4, p. 107-117. 1994.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. Prométhée-Gaia Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples. Bruxelles: Editions de l'Université de Bruxelles, **Collection Statistique et Mathématiques Appliquées**. 2002.

CAIXETA FILHO, J. V. **Pesquisa Operacional**. São Paulo: Atlas. Brasil. 2001.

FENG, Y. J., H Lu and K BI (2004). An AHP/DEA Method for Measurement of the Efficiency of R&D Management Activities in Universities. **International Transactions in Operational Research**. 11(2): 181-191.

FISCHL, R. Optimal system expansion: a critical review, **System Engineering for Power: Status & Prospects**, ERDA & EPRI Conf., Henniker, 1975.

FORMAN, E. & GASS, S. The Analytic Hierarchy Process - An Exposition. **Operations Research**, 49 (4), 469-486. 2001.

FUKUNAGA, K.; NARENDRA, P. M. A Branch and Bound Algorithm for Computing k-Nearest Neighbors. **Computers, IEEE Transactions on** (Volume:C-24 , Issue: 7), 750-753. 2006.

GOMES, L. F. M. A.; GOMES, C. F. S. & ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. Rio de Janeiro: Atlas, 2002.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. S. Paulo: Thomson, 2007.

GOMES, L. F. A. M., FREITAS JR, A. A. A. Importância do apoio multicritério à decisão na formação do administrador. **Revista ANGRAD**, v. 1, n. 1. Rio de Janeiro, jul./set. 2000.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos: Introdução aos métodos discretos de apoio multicritério a decisão.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOTHB, F., WARREN, L. A Case Study Comparison of the Analytic Hierarchy Process and a Fuzzy Decision Methodology, **The Engineering Economist**, vol. 40, n. 3, p. 233-246. 1995.

GOUVEA, M. R.; BURANI, G. F. **Análise de Decisão e Risco no Planejamento de Redes de Distribuição.** XI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. 1992.

GRANDZOL, J.R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. Bloomsburg University of Pennsylvania. **IR Applications**. Volume 6, August 24, 2005.

HARKER, P. T.; VARGAS, L. G. The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process. **Management Science**. Vol. 33, No. 11, pg. 1383-1403, November 1987.

HARKER, P. T. e VARGAS, L. G. Reply to "Remarks on the Analytic Hierarchy Process" by J.S. Dyer. *Management Science*. Vol. 36, pp. 269-273. — 1987. The theory of ratio scale estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process. **Management Science**. 1987, Vol. 33, pp. 1383-1403. 1990.

HUANG, J. Combining entropy weight and TOPSIS method for information system selection. In: **Proceedings** of the IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, CIS 2008, pp. 1281-1284, 2008.

HUMMEL, M., ROSSUM, V.; VERKERKE, G. J.; RAKHORST, G. **Product Design Planning with the Analytic Hierarchy Process inter-Organizational Networks.** University of Twente, Netherlands R&D Management 32,5. Blackwell Publishers Ltd. USA, 2002.

HWANG, C. L. e K. YOON, **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**, Springer-Verlag, Berlin (Alemanha). 1981.

JEON, Y. J.; KIM, J. C.; KIM, J. O.; SHIN, J. R.; LEE, K.Y. An efficient simulated annealing algorithm for network reconfiguration in large-scale distribution systems. **IEEE Trans. Power Del.**, vol. 17, no. 4, pp. 1070–1077, 2002.

KAGAN, H.; KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B.; SCHMIDT, H. P. **Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência**. São Paulo: Blucher. Brasil. 2009.

KAGAN, N.; CÉSAR, C. E OLIVEIRA, B. D. Reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica através de ferramenta para solução de problemas de decisão com múltiplos objetivos e incertezas. **SBA Controle & Automação**, vol. 9, no. 1, 1998.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional**. São Paulo: Person. Brasil. 2009.

LIANG, G. e WANG, M. A Fuzzy Multi-criteria Decision Method for Facility Selection, **International Journal of Production Research**, vol. 29, n. 11, p. 2313-1330. 1991.

LISBOA, E. F. A. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro, Brasil, fev. 2002.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. XLI SBPO 2009 – **Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento**, p. 1778-1788. 2009.

MARINS, F. A. S. **Introdução À Pesquisa Operacional**. Unesp. São Paulo: Cultura Acadêmica. Brasil. 2011.

MURAKAMI, M., **Decisão estratégica em TI: Estudo de acaso**. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, São Paulo-SP, 2003.

NORKIN, V.; PFLUG, G. C.; RUSZCZYNSKI, A. A branch and bound method for stochastic global optimization. **Mathematical Programming**, v. 83. P. 425-450, 1998.

PEDRYCZ, W. et. al. **Fuzzy Multicriteria Decision Making**. Chichester: John Wiley &ons, Ltd. ,p. 337. 2011.

PEREIRA, S. L. P. **Utilização do método multicritério PROMÉTHÉE para definição da ordem de desenvolvimento de programas de indicadores de negócio**. XXXVI SBPO, São João Del-Rei, MG. 2004.

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, **Journal of Mathematical Psychology**, vol. 15, p. 234-281. 1977.

SAATY, T. L. Decision Making With Dependence And Feedback: The Analytic Network Process, **RWS Publications**, Pittsburgh/PA (EUA). 1996.

SAATY, T. L. **Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World**. 2nd ed. Pittsburgh, Pa.: University of Pittsburgh, 1990.

SAATY, T. L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. **European Journal of Operational Research**. Vol. 145, pg. 85-91, 2003.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Dispersion of Group Judgments**. In: ISAHP 2005 – VIII International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Honolulu, Hawaii, 2005.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G.; WHITAKER, R. Addressing with brevity criticism of the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**. Vol. 1, 2, pp. 121-134. 2009.

SAATY, THOMAS L. **Decider face à la complexité**, “Une approche analytique multicritère d’aide à la décision”, tradução de Lionel Dahan. Paris, 1984, ISBN2-7101-0491-1, pág. 18 a 120. 1984.

SANTANA, W. C.; PIZZOLATO, N. D. **Proposta de modelo de desenvolvimento de sistemas de medição de desempenho logístico**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2004

SALOMON, V. A. P. **Contribuições para validação de tomada de Decisão com múltiplos critérios**. Guaratinguet, [s.n.], p. 42 - 46. 2010.

SILVA, V. B. S.; SCHRAMM, F.; CARVALHO, H. R. C. **O uso do método PROMETHEE para seleção de candidatos à bolsa-formação do Pronatec**. UAEP, Campina Grande, PB, Brasil. 2012.

SILVA, V. B. S.; MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. A Multicriteria Group Decision Model to Support Watershed Committees in Brazil. **Water Resources Management**, v. 24, n. 14, p. 4075-4091, 2010.

SOUZA, F. M. C. **Decisões racionais em situações de incerteza**. Recife: Universitária da UFPE, 2002.

TOMIC, V.; MARINKOVIC, Z.; JANOSEVIC, D. **PROMETHEE method implementation with multi-criteria decisions**. Mechanical Engineering Faculty, University of Nis, Servia. Vol. 9, N 2, 2011, pp. 193 – 202. 2011.

WALLENLIUS, J. et al. Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: recent accomplishments and what lies ahead. **Management Science**. 7, 2008, Vol. 54, pp. 1336-1349. 2008.

XAVIER, B. M.; SILVA, A. D.; COELHO, W. B. **Auxílio Multicritério a decisão de linguagem de programação, usadas na construção de sistemas**. XVIII Simposio de Engenharia de Produção. Nov. 2011.

YAYLA, N.; KARACASU, M. **A Decision Support Model to Incorporate Public and Expert Opinions for Assessing the Privatization of Public bus Transit System: Application of ELECTRE for the bus System in Eskisehir, Turkey**. Turkey, 2011.

ZHANG, K.; SHI, Q. Safety Evaluation in Power Supply Enterprises Using the ELECTRE III and TOPSIS Methods. **Intelligent Systems and Applications (ISA)**, 2010. 2nd International Workshop on. Wuhan, 2010.