

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM  
SISTEMAS PRODUTIVOS

GLAUBER ROGER NEVES

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO  
NA ORDENAÇÃO DE *SOFTWARES* SIMULADORES DE TRÁFEGO

São Paulo

2018

GLAUBER ROGER NEVES

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO  
NA ORDENAÇÃO DE *SOFTWARES* SIMULADORES DE TRÁFEGO

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Antonio César Galhardi.

São Paulo

2018

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA  
FATEC-SP / CPS

N518a      Neves, Glauber Roger  
              Análise comparativa de métodos multicritérios de apoio à  
              decisão na ordenação de *softwares* simuladores de tráfego / Glauber  
              Roger Neves. – São Paulo : CPS, 2018.  
              164 f. : il.

              Orientador: Prof. Dr. Antonio César Galhardi  
              Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em  
              Sistemas Produtivos) - Centro Estadual de Educação Tecnológica  
              Paula Souza, 2018.

              1. Métodos Multicritérios. 2. AHP. 3. TODIM. 4.  
              PROMETHEE. 5. *Softwares* . I. Galhardi, Antonio César. II. Centro  
              Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

CRB8-8281

GLAUBER ROGER NEVES

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE APOIO À DECISÃO  
NA ORDENAÇÃO DE *SOFTWARES* SIMULADORES DE TRÁFEGO

---

Prof. Dr. Antonio César Galhardi

Orientador

---

Prof. Dr. José Manoel Souza das Neves

Membro

---

Prof. Dr. Fabio Henrique Pereira

Membro

São Paulo, 22 de maio de 2018.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, Criador de todas as coisas, por ter me guiado Divinamente por caminhos desconhecidos e ter permitido concluir este trabalho. Agradeço pela Sua eterna e infinita misericórdia!

Este trabalho foi produzido com muita diligência e com a ajuda de pessoas muito importantes a quem tenho a honra de agradecer.

A minha esposa, Sabrina, companheira de todas as horas, ombro amigo, incentivadora e crítica, por toda sua compreensão, paciência nos momentos mais difíceis, dedicação e apoio, sem os quais, este trabalho não seria possível.

Aos meus pais, Ismael e Ruth, responsáveis pela formação do meu caráter, com exemplo de vida, e por terem incentivado o caminho da Sabedoria desde minha infância.

Ao meu orientador, Professor Dr. Antonio César Galhardi, pelo aprendizado proporcionado, bem como suas valiosas contribuições para a concretização desta dissertação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS), pelos conhecimentos repassados, que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional.

Ao Nathan, ex-aluno do Programa de Mestrado do CEETEPS, por seu relevante auxílio com respeito aos *softwares* simuladores de tráfego.

A todos os meus irmãos, familiares e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram, com palavras de motivação, força e torcida para que esse trabalho fosse concluído.

“Bem-aventurado o homem que acha  
sabedoria, e o homem que adquire  
conhecimento; porque melhor é a sua  
mercadoria do que a mercadoria de prata, e a  
sua renda do que o ouro mais fino.”  
(Provérbios de Salomão 3:13-14)

## RESUMO

NEVES, G. R. **Análise comparativa de métodos multicritérios de apoio à decisão na ordenação de *softwares* simuladores de tráfego**. 164 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2018.

Os *softwares* simuladores de tráfego se utilizam da tecnologia de informação para realizar o gerenciamento e controle de sistemas de transporte. Os simuladores permitem prever e aperfeiçoar a viabilidade de um projeto real, sem a necessidade de que o evento ocorra. Diversas plataformas com distintas propriedades estão disponíveis, todavia, uma seleção adequada de um simulador geralmente representa um problema complexo. Neste contexto, esta dissertação tem por objetivo comparar três métodos de apoio à tomada de decisão multicritério na ordenação de simuladores de tráfego. Uma das críticas sobre os métodos multicritérios, é que diferentes técnicas podem produzir diferentes resultados quando aplicado ao mesmo problema. Além de verificar a consistência dos resultados, utilizando-se de grupos de critérios, este estudo também apresenta uma percepção da aplicabilidade, complexidade, e laborosidade requerida do usuário quanto à aplicação dos métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II. Os resultados confirmaram que o método AHP é o menos complexo, porém é o mais trabalhoso e se torna impraticável quando existe um grande número de elementos envolvidos. O método TODIM traz em sua estrutura diferentes características, sendo a principal delas a sua estruturação com base na Teoria dos Prospectos. No método PROMETHEE II, a classificação ordenada das alternativas é obtida de acordo com os valores de fluxos líquidos e sua complexidade está vinculada à definição das funções de preferências. A aplicação dos métodos multicritérios indicou que, embora os três métodos se baseiem em diferentes paradigmas e os resultados das classificações apresentem algumas variações, os métodos são aptos para determinar as melhores e piores alternativas referentes aos *softwares* simuladores de tráfego.

**Palavras-chave:** Métodos Multicritérios; AHP; TODIM; PROMETHEE; *Softwares* Simuladores de Tráfego; Sistemas Produtivos.

## ABSTRACT

NEVES, G. R. **Comparative analysis of multiple criteria decision making methods on traffic simulator softwares ranking**. 164 pp. Dissertation (Professional Master's Program in Management and Technology in Productive Systems). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2018.

Traffic simulators softwares uses information technology to manage and control transport systems. Simulators allow predicting and improving the viability of a real project, without the need that the event occur. Several platforms with different properties are available, however, an appropriate selection of a simulator usually represents a complex problem. In this context, this dissertation aims to compare three multicriteria decision making methods in ordering traffic simulators. One criticism of multicriteria methods is that different techniques could produce different results when applied to the same problem. Besides the verifying of consistency of the results using criteria groups, this study also presents a comparative analysis of the applicability, complexity, and effort required of the user regarding to the application of the AHP, TODIM and PROMETHEE II methods. The results confirmed that the AHP method is the least complex, but it is the most laborious and becomes impractical when a large number of elements are involved. The TODIM method has different characteristics in its structure, the main one being its structuring based on the Prospects Theory. In the PROMETHEE II method, the ranking of the alternatives is obtained according to the values of net flows and the complexity is linked to the definition of the preferences functions. The application of the multicriteria methods indicated that although the three methods are based on different paradigms and the results of the classifications present some variations, the methods are apt to determine the best and worst alternatives with respect to the traffic simulators softwares.

Keywords: Multiple-criteria decision-making; AHP; TODIM; PROMETHEE; Traffic Simulators Software; Productive Systems.



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos métodos multicritérios quanto à abordagem .....	28
Quadro 2 – Agrupamento dos métodos multicritérios quanto aos problemas .....	29
Quadro 3 - Métodos MCDM .....	30
Quadro 4 - Família PROMETHEE .....	34
Quadro 5 - Funções de preferência do método PROMETHEE .....	35
Quadro 6 - Vantagens e desvantagens de métodos MCDM.....	39
Quadro 7 – Relação de trabalhos que utilizaram múltiplos métodos MCDM .....	41
Quadro 8 - Definições de simulação computacional segundo diferentes autores .....	50
Quadro 9 – Aplicação dos modelos de simulação .....	52
Quadro 10 - Avaliação comparativa das abordagens de modelagem de simulação .....	53
Quadro 11 - Classificação dos <i>softwares</i> simuladores de tráfego .....	54
Quadro 12 – Estudos envolvendo comparações entre simuladores de tráfego .....	61
Quadro 13 - Termo de busca formulado para os métodos MCDM .....	72
Quadro 14 - Termo de busca formulado para os simuladores de tráfego .....	72
Quadro 15 - Frequência inicial do número de produção científica por base de dados .....	73
Quadro 16 - Frequência do número de produção após refinamento .....	73
Quadro 17 - Grupos de critérios .....	75
Quadro 18 - Porcentagem do número de citações dos simuladores de tráfego na produção científica por artigo no período de 2007 a 2017 .....	80
Quadro 19 – Características gerais dos simuladores de tráfego .....	80
Quadro 20 – Diretrizes para seleção de um método MCDM .....	82
Quadro 21 - Critérios definidos .....	84
Quadro 22 - Quadro 4 - Escala fundamental do AHP .....	88
Quadro 23 – Exemplo de comparações paritárias para os elementos A, B e C .....	89
Quadro 24 - Índice de consistência aleatória.....	93
Quadro 25 - Critérios de avaliação das alternativas .....	124
Quadro 26 – Parâmetros de comparação dos métodos MCDM .....	136
Quadro 27 - Julgamentos paritários entre os critérios utilizados pelo método AHP .....	157
Quadro 28 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C1.....	159
Quadro 29 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C2.....	159
Quadro 30 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C3.....	160
Quadro 31 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C4.....	160
Quadro 32 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C5.....	161
Quadro 33 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C6.....	161
Quadro 34 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C7.....	162
Quadro 35 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C8.....	162
Quadro 36 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C9.....	163
Quadro 37 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C10.....	163
Quadro 38 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C11.....	164

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de comparação paritária (Grupo K).....	89
Tabela 2 - Matriz de comparação paritária (Grupo W).....	90
Tabela 3 - Matriz de comparação paritária (Grupo Y).....	90
Tabela 4 - Matriz normalizada e definição do autovetor dos critérios (Grupo K) .....	90
Tabela 5 - Matriz normalizada e definição do autovetor dos critérios (Grupo W).....	91
Tabela 6 - Matriz normalizada e definição do autovetor dos critérios (Grupo Y) .....	92
Tabela 7 - Determinação do vetor de consistência (Grupo K) .....	92
Tabela 8 - Determinação do vetor de consistência (Grupo W) .....	94
Tabela 9 - Determinação do vetor de consistência (Grupo Y) .....	94
Tabela 10 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C1) .....	95
Tabela 11 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C1) .....	95
Tabela 12 - Determinação do vetor de consistência (Critério C1) .....	95
Tabela 13 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C2) .....	96
Tabela 14 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C2) .....	96
Tabela 15 - Determinação do vetor de consistência (Critério C2) .....	96
Tabela 16 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C3) .....	97
Tabela 17 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C3) .....	97
Tabela 18 - Determinação do vetor de consistência (Critério C3) .....	97
Tabela 19 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C4) .....	98
Tabela 20 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C4) .....	98
Tabela 21 - Determinação do vetor de consistência (Critério C4) .....	98
Tabela 22 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C5) .....	99
Tabela 23 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C5) .....	99
Tabela 24 - Determinação do vetor de consistência (Critério C5) .....	99
Tabela 25 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C6) .....	100
Tabela 26 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C6) .....	100
Tabela 27 - Determinação do vetor de consistência (Critério C6) .....	100
Tabela 28 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C7) .....	101
Tabela 29 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C7) .....	101
Tabela 30 - Determinação do vetor de consistência (Critério C7) .....	101
Tabela 31 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C8) .....	102
Tabela 32 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C8) .....	102
Tabela 33 - Determinação do vetor de consistência (Critério C8) .....	102
Tabela 34 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C9) .....	103
Tabela 35 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C9) .....	103
Tabela 36 - Determinação do vetor de consistência (Critério C9) .....	103
Tabela 37 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C10) .....	104
Tabela 38 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C10).....	104
Tabela 39 - Determinação do vetor de consistência (Critério C10) .....	104
Tabela 40 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C11) .....	105
Tabela 41 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C11).....	105
Tabela 42 - Determinação do vetor de consistência (Critério C11) .....	105
Tabela 43 - Prioridade composta e ordenação das alternativas (Grupo K).....	106
Tabela 44 - Prioridade composta e ordenação das alternativas (Grupo W).....	107
Tabela 45 - Prioridade composta e ordenação das alternativas (Grupo Y).....	107

Tabela 46 - Matriz de desejabilidades (Grupo K) .....	110
Tabela 47 - Matriz de desejabilidades (Grupo W).....	110
Tabela 48 - Matriz de desejabilidades (Grupo Y) .....	111
Tabela 49 - Matriz de desejabilidades normalizadas (Grupo K).....	111
Tabela 50 - Matriz de desejabilidades normalizadas para o Grupo W .....	112
Tabela 51 - Matriz de desejabilidades normalizadas para o Grupo Y .....	112
Tabela 52 – Pesos dos critérios.....	112
Tabela 53 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C1 (Grupo K) .....	114
Tabela 54 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C1 (Grupo W) .....	115
Tabela 55 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C1 (Grupo Y) .....	115
Tabela 56 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C2 (Grupo K) .....	115
Tabela 57 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C2 (Grupo W) .....	115
Tabela 58 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C2 (Grupo Y) .....	116
Tabela 59 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C3 (Grupo K) .....	116
Tabela 60 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C3 (Grupo W) .....	116
Tabela 61 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C3 (Grupo Y) .....	116
Tabela 62 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C4 (Grupo W) .....	117
Tabela 63 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C4 (Grupo Y) .....	117
Tabela 64 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C5 (Grupo W) .....	117
Tabela 65 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C5 (Grupo Y) .....	117
Tabela 66 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C6 (Grupo W) .....	118
Tabela 67 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C6 (Grupo Y) .....	118
Tabela 68 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C7 (Grupo W) .....	118
Tabela 69 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C7 (Grupo Y) .....	118
Tabela 70 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C8 (Grupo Y) .....	119
Tabela 71 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C9 (Grupo Y) .....	119
Tabela 72 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C10 (Grupo Y) .....	119
Tabela 73 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C11 (Grupo Y) .....	119
Tabela 74 - Matriz de dominância final (Grupo K).....	120
Tabela 75 - Matriz de dominância final (Grupo W) .....	120
Tabela 76 - Matriz de dominância final (Grupo Y).....	121
Tabela 77 - Valor de utilidade global e classificação de cada alternativa (Grupo K) .....	121
Tabela 78 - Valor de utilidade global e classificação de cada alternativa (Grupo W).....	122
Tabela 79 - Valor de utilidade global e classificação de cada alternativa (Grupo Y) .....	122
Tabela 80 - Desempenho das alternativas em relação aos critérios (Grupo K).....	125
Tabela 81 - Desempenho das alternativas em relação aos critérios (Grupo W).....	125
Tabela 82 - Desempenho das alternativas em relação aos critérios (Grupo Y).....	125
Tabela 83 – Resultados da função de preferência $P(a,b)$ (Grupo K).....	126
Tabela 84 – Resultados da função de preferência $P(a,b)$ (Grupo W) .....	127
Tabela 85 – Resultados da função de preferência $P(a,b)$ (Grupo Y).....	128
Tabela 86 - Matriz dos índices de preferência das alternativas (Grupo K).....	129
Tabela 87 - Matriz dos índices de preferência das alternativas (Grupo W).....	129
Tabela 88 - Matriz dos índices de preferência das alternativas (Grupo Y).....	129
Tabela 89 - Fluxos positivo, negativo e líquido das alternativas (Grupo K) .....	130
Tabela 90 - Fluxos positivo, negativo e líquido das alternativas (Grupo W).....	131
Tabela 91 - Fluxos positivo, negativo e líquido das alternativas (Grupo Y) .....	132
Tabela 92 - Resultados da aplicação dos métodos MCDM (Grupo K) .....	134
Tabela 93 - Resultados da aplicação dos métodos MCDM (Grupo W) .....	134
Tabela 94 - Resultados da aplicação dos métodos MCDM (Grupo Y) .....	135

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão geral da estrutura do trabalho .....	21
Figura 2 - Processo de apoio à decisão multicritério .....	23
Figura 3 - Fluxo de processamento dos modelos de critério único de síntese .....	26
Figura 4 - Fluxo de processamento dos modelos de sobreclassificação .....	27
Figura 5 – Representação quanto à classificação dos problemas .....	29
Figura 6 - Estrutura hierárquica do AHP .....	32
Figura 7 - Função de valor da Teoria dos Prospectos.....	33
Figura 8 - Representação do nível de detalhe dos modelos de simulação .....	51
Figura 9 – Visualização gráfica do simulador VISSIM.....	60
Figura 10 - Etapas do método.....	70
Figura 11 – Visão geral das etapas da pesquisa bibliométrica .....	73
Figura 12 - Frequência absoluta da evolução da produção científica de artigos no período de 2007 a 2017 .....	77
Figura 13 – Nuvem da frequência de palavras-chave na produção científica.....	78
Figura 14 - Frequência da produção científica por periódico .....	79
Figura 15 - Fluxograma de aplicação do AHP .....	86
Figura 16 - Estrutura hierárquica para o problema de decisão .....	87
Figura 17 – Resultados dos cálculos obtidos por meio do Open Decision Maker (Grupo W) .....	108
Figura 18 – Escala de valores para formação das matrizes de desejabilidades.....	109
Figura 19 – Resultados dos cálculos obtidos por meio do Visual PROMETHEE (Grupo W) .....	133

## LISTA DE SIGLAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIMSUN	<i>Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
COM	<i>Component Object Model</i>
CORFLO	<i>Corridor Flow</i>
CORSIM	<i>Corridor Simulation</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DECERNS	<i>Decision Evaluation in Complex Risk Network Systems</i>
DOT	<i>Database of Things</i>
DYNAMIT	<i>Dynamic Network Assignment for the Management of Information to Travelers</i>
DYNASMART-P	<i>Dynamic Network Assignment-Simulation Model for Advanced Roadway Telematics (Planning version)</i>
ELECTRE	<i>Elimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FRESIM	<i>Freeway Simulator</i>
GAIA	<i>Geometric Analysis for Interactive Aid</i>
GETRAM	<i>Generic Environment for Traffic Analysis and Modeling</i>
HUTSIM	<i>Urban Traffic Simulation</i>
IDRA	<i>Intercriteria Decision Rule Approach</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
INRETS	<i>Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité</i>
IRIS	<i>Interactive Robustness Analysis and Parameters Inference for Multicriteria Sorting Problems</i>
ITS	<i>Intelligent Transport Systems</i>

MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAPPAC	<i>Multicriterion Analysis of Preferences by Means of Pairwise Actions and Criterion Comparisons</i>
MATSIM	<i>Multi-Agent Transport Simulation</i>
MAUT	<i>Multi-attribute Utility Theory</i>
MAVT	<i>Multi-attribute Value Theory</i>
MCDM	Apoio à Tomada de Decisão Multicritério
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MITSIM	<i>Microscopic Traffic Simulator</i>
MITSIMLab	<i>Microscopic Traffic Simulator Laboratory</i>
NETSIM	<i>Network Simulator</i>
ORESTE	<i>Organization Rangement et Synthese de Donnees Relationnelles</i>
PACMAN	<i>Passive and Active Compensability Multicriteria Analysis</i>
PARAMICS	<i>Parallel Microscopic Simulation</i>
PEG	<i>Pareto Edgeworth Grierson</i>
PLMO	Programação Linear Multiobjetivo
PO	Pesquisa Operacional
PRAGMA	<i>Preference Ranking Global Frequencies in Multicriteria Analysis</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation</i>
PTV	<i>Planung Transport Verkehr AG</i>
QUALIFLEX	<i>Qualitative Flexible Multiple-criteria Method</i>
RDW	<i>Response Distribution Weights</i>
RROW	<i>Random Rank Order Weights</i>
RW	<i>Random Weights</i>
SAW	<i>Simple Additive Weighting</i>
SITRAS	<i>Simulation of Intelligent Transport Systems</i>
SMART	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>
STEM	<i>Step-method</i>
SUMO	<i>Simulation of Urban Mobility</i>
TODIM	Tomada de Decisão Interativa Multicritério
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
TRANSIMS	<i>Transportation Analysis and Simulation System</i>

TRIMAP	<i>Tricriteria Linear Programming Package</i>
TSS	<i>Transport Simulation Systems</i>
UTA	<i>Utilité Additive</i>
VIKOR	<i>Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno</i>
WOS	<i>Web of Science</i>
WPM	<i>Weighted Product Model</i>
WSM	<i>Weighted Sum Model</i>



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	18
Justificativa.....	20
Estrutura do trabalho .....	20
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
1.1 A Tomada de Decisão .....	22
1.2 Apoio à Decisão Multicritério .....	22
1.3 Propriedades gerais da teoria de decisão multicritério .....	24
1.3.1 Terminologias.....	24
1.3.2 Tipos de abordagens.....	25
1.3.3 Problemáticas de decisão .....	28
1.4 Métodos de decisão multicritérios .....	30
1.4.1 Método AHP.....	31
1.4.2 Método TODIM.....	32
1.4.3 Método PROMETHEE.....	34
1.4.4 Método MACBETH.....	36
1.4.5 Método TOPSIS.....	37
1.4.6 Método ELECTRE .....	38
1.4.7 Método MAUT.....	38
1.4.8 Vantagens e desvantagens .....	39
1.4.9 Aplicações dos métodos MCDM .....	40
1.4.10 Escolha do método MCDM.....	48
1.5 Simulação de Tráfego.....	49
1.6 Softwares simuladores de tráfego.....	54
1.6.1 Softwares de código aberto (open-source) .....	55
1.6.2 Softwares comerciais .....	56
1.6.3 Aplicações comparativas de softwares simuladores de tráfego .....	60
2 MÉTODO.....	70
2.1 Análise Bibliométrica.....	71
2.2 Escolha dos métodos multicritérios.....	74
2.3 Identificação dos critérios.....	75
2.4 Identificação das alternativas.....	75
2.5 Aplicação dos métodos MCDM.....	76
2.6 Análise dos resultados .....	76
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
3.1 Análise Bibliométrica .....	77
3.1.1 Métodos multicritérios .....	77
3.1.2 Simuladores de tráfego .....	79
3.2 Escolha dos métodos multicritérios.....	82
3.3 Identificação dos critérios.....	83
3.4 Identificação das alternativas.....	84
3.5 Aplicação dos métodos MCDM.....	85
3.5.1 Aplicação do método AHP.....	85
3.5.2 Aplicação do método TODIM.....	109
3.5.3 Aplicação do método PROMETHEE II .....	123
3.5.4 Consistência dos resultados .....	134



3.6 Análise dos resultados .....	136
4 CONCLUSÕES .....	141
4.1 Recomendações para trabalhos futuros .....	143
REFERÊNCIAS .....	144
APÊNDICE A.....	157
APÊNDICE B.....	159

## INTRODUÇÃO

Com o intuito de obter uma vantagem competitiva contra os inimigos durante a Segunda Guerra Mundial, diversas nações iniciaram o desenvolvimento e a combinação de diferentes campos de conhecimento. Assim, alguns conceitos tiveram grande expansão, surgindo novas disciplinas. Após o término da guerra, a área de Pesquisa Operacional (PO) evoluiu e expandiu suas aplicações para outras esferas além da extensão militar. O objetivo principal da PO é o de melhorar o processo de tomada de decisão, fornecendo ferramentas matemáticas de análise, modelagem e otimização. Uma parte integrante dessas ferramentas, o Apoio à Tomada de Decisão Multicritério (MCDM, *Multiple-Criteria Decision Making*), também resulta de uma formação interdisciplinar de diferentes áreas como: engenharia; economia; psicologia; ciência da computação; e matemática.

Nas últimas décadas, o crescente número de informações e a necessidade de utilizá-las em um processo decisório complexo, fez surgir vários métodos multicritérios de tomada de decisão, que são eficazes para resolução de problemas em que existem critérios conflitantes (BRANS e MARESCHAL, 2005). Os métodos MCDM podem ser aplicados em forma de modelos simples ou modelos combinados. De modo geral, os métodos se diferem por suas limitações, adequação ao contexto de uso e forma de abordagem das peculiaridades do problema (HO, XU e DEY, 2010).

Segundo Roy (1981), existem quatro formas distintas de problemas de decisão: os de escolha ou seleção; os de ordenação; os de classificação; e os de descrição. Nos problemas de escolha, as alternativas são comparadas levando-se em consideração os conceitos de melhor e pior. Nos problemas de ordenação, não há comparação entre as alternativas, no entanto ocorre uma analogia entre as alternativas e determinadas referências. Tanto a escolha quanto a ordenação são julgamentos comparativos. Nos problemas de classificação as ações são alocadas em categorias ordenadas predefinidas. Enquanto que nos problemas de descrição, o objetivo é esclarecer a descrição de ações e suas consequências.

Os problemas dos métodos MCDM também são frequentemente categorizados de acordo com a natureza das alternativas, como discretos ou contínuos. Um problema discreto pode ser retratado como uma opção discreta de múltiplos atributos, o que gera uma modesta

coleção de alternativas; ao passo que o problema contínuo geralmente consiste de uma quantidade vasta ou infinita de alternativas de decisão.

Outra forma de se classificar os métodos MCDM é quanto ao carácter compensatório ou não compensatório. Os métodos compensatórios permitem explicitar compensações entre os critérios, enquanto os métodos não compensatórios fundamentam-se principalmente na comparação de alternativas em relação a critérios individuais.

Selecionar um método MCDM para um problema de decisão específico e desconhecido é uma tarefa desafiadora pois existem vários métodos disponíveis, mas nenhum pode ser considerado impecável e adequado para todos os problemas de decisão. Além disso, como não há como determinar a exatidão dos métodos, as únicas possibilidades para medir seu desempenho é por meio de estudos empíricos ou por meio de comparação (SELMİ, KORMI e ALI, 2013). Como estudos empíricos são propensos a erros e subjetivos, esta dissertação pretende utilizar comparações para ponderar o desempenho dos métodos multicritérios.

Os *softwares* simuladores de tráfego são ferramentas analíticas cada vez mais empregadas no planejamento e operação de sistemas de transportes. Os simuladores permitem prever e aperfeiçoar a viabilidade de um projeto real, sem a necessidade de que o evento ocorra. Existem disponíveis no mercado várias plataformas de simulação do tráfego. Os critérios de decisão para seleção de um *software* são atributos de natureza qualitativas ou quantitativas utilizadas na avaliação das diferentes possibilidades de fornecedores.

Em decorrência das oportunidades expostas, o problema da elaboração deste trabalho envolve o seguinte questionamento: Quais seriam os resultados da utilização de três métodos multicritérios em relação à percepção dos parâmetros de: aplicabilidade; consistência; complexidade; e laborosidade, quando se considera um mesmo problema de decisão? A partir do problema abordado, o objetivo geral desta dissertação é comparar três diferentes métodos de apoio à decisão multicritério. Para alcançar esse objetivo, os métodos foram aplicados a um problema de ordenação de *softwares* simuladores de tráfego.

A fim de viabilizar o objetivo geral descrito, esse trabalho tem como objetivos específicos: conhecer os principais métodos MCDM; levantar as características e peculiaridades dos principais *softwares* simuladores de tráfego; escolher três métodos multicritérios; identificar critérios e alternativas relacionados aos simuladores de tráfego; e analisar os métodos MCDM quanto à percepção de aplicabilidade; consistência de resultados; complexidade; e laborosidade requerida.

## **Justificativa**

De acordo com Ishizaka e Nemery (2013), os métodos multicritérios foram elaborados para auxiliar o tomador de decisão no seu processo de decisão única e pessoal, fornecendo meios e técnicas para encontrar uma solução.

Chou e Chang (2008) apontam que a análise multicritério é uma ferramenta poderosa para apoiar o processo de decisão referente à seleção de fornecedores, equipamentos, produtos e *softwares* de uma forma geral. A relevância desse tema pode ser verificada por meio de diversas publicações a este respeito.

Por outro lado, o número de simuladores de tráfego disponíveis é bastante significativo, com alguns deles para finalidade de pesquisa, enquanto outros são produtos comerciais. O projeto europeu SMARTTEST (2000), identificou 58 simuladores microscópicos de tráfego e analisou pormenorizadamente 32 deles.

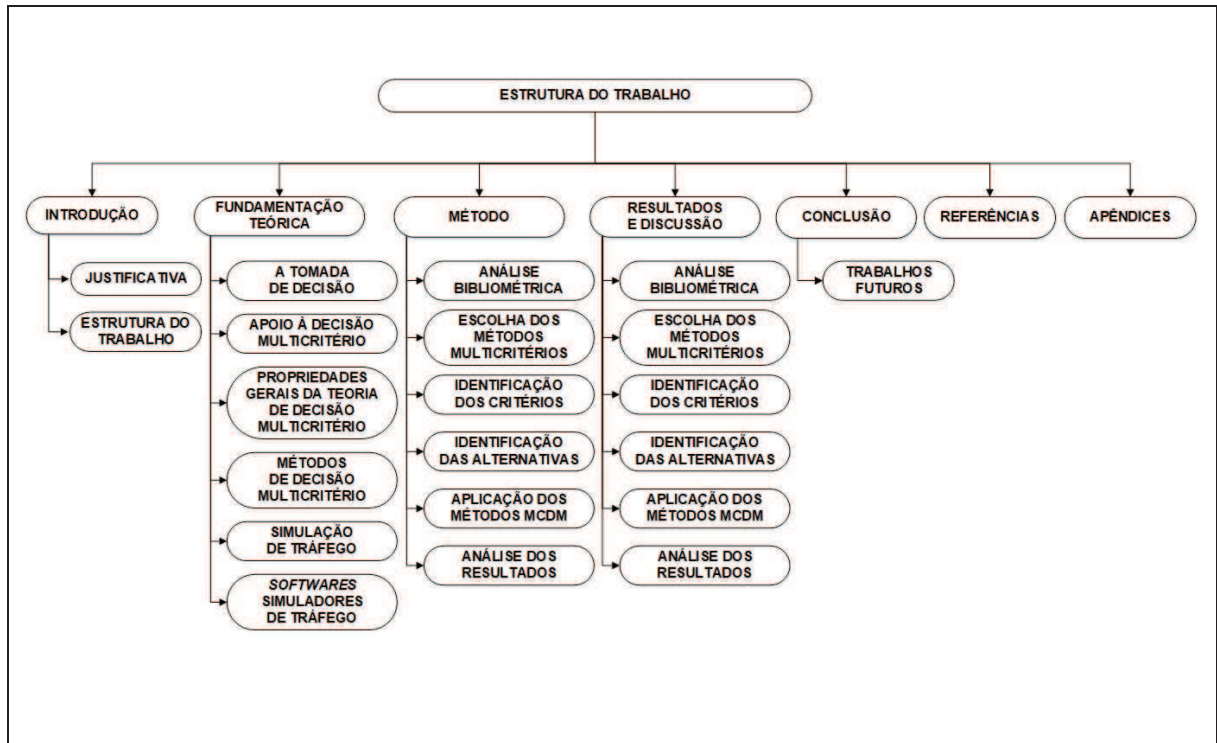
No estudo bibliográfico realizado, não foram encontrados estudos no que se refere aos problemas de decisão referentes à ordenação de simuladores de tráfego utilizando métodos multicritérios. A maioria dos estudos aborda *softwares* específicos, modelando situações reais e depois comparando as respostas. Desta maneira, o apoio à decisão multicritério, utilizando-se especificamente de três métodos, surge como uma alternativa na construção de uma estrutura analítica para a sistematização do processo decisório para ordenação dos simuladores, levando em consideração diversos critérios apontados como importantes pelo tomador de decisão.

## **Estrutura do trabalho**

O presente trabalho é estruturado em quatro capítulos, além deste introdutório. O capítulo 1 descreve a fundamentação teórica relevante para o estudo dos métodos multicritérios e simuladores de tráfego. O capítulo 2 apresenta o método a ser utilizado a fim do objetivo ser alcançado. No capítulo 3 são relatados os resultados e discussões obtidos com a aplicação dos métodos propostos. Por fim, o capítulo 4 é representado pelas conclusões alcançadas referentes aos métodos MCDM e simuladores de tráfego, além de recomendações

para futuros trabalhos. A Figura 1 demonstra uma visão geral da estrutura desta dissertação. Esse tipo de visualização permite o entendimento da forma como o trabalho está organizado.

Figura 1 - Visão geral da estrutura do trabalho



Fonte: O Autor

## 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são tratados os assuntos referentes aos métodos MCDM como: a tomada de decisão; o apoio à decisão multicritério; propriedades gerais da teoria de decisão multicritério; e os métodos de decisão multicritérios. Além destes, aborda-se também os temas: de simulação de tráfego; e de *softwares* simuladores de tráfego. O intuito desta seção visa uma compreensão sobre o estado da arte do tema proposto nesta dissertação.

### 1.1 A Tomada de Decisão

A tomada de decisão deve buscar a alternativa que aponte a melhor resposta, a melhor avaliação, ou ainda, o mais adequado acordo entre as expectativas do decisor e as suas disponibilidades em aplicá-la, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos (SOARES, 2003). De acordo com Bana e Costa e Vansnick (1995) e Fernandes (1996), esta é uma estrutura aberta, composta pelos envolvidos (*stakeholders*), seus valores e seus propósitos.

Para Gomes *et. al.* (2004), a definição de decisão é um processo em que primeiramente se obtém as informações necessárias, atribui-se então importâncias distintas a cada uma delas, busca-se prováveis possibilidades de solução e finalmente faz-se a seleção entre as alternativas.

### 1.2 Apoio à Decisão Multicritério

O apoio à decisão multicritério tem o objetivo de revelar e ordenar as diversas alternativas geradas por diferentes especialistas que possuem percepção, compreensão e experiências distintas em relação a um estudo. O método permite que, de modo organizado e transparente, as preferências dos indivíduos sejam reveladas, auxiliando o processo de decisão pela ordenação das alternativas consideradas (MOTTA, LIMA e MACHADO, 1992).

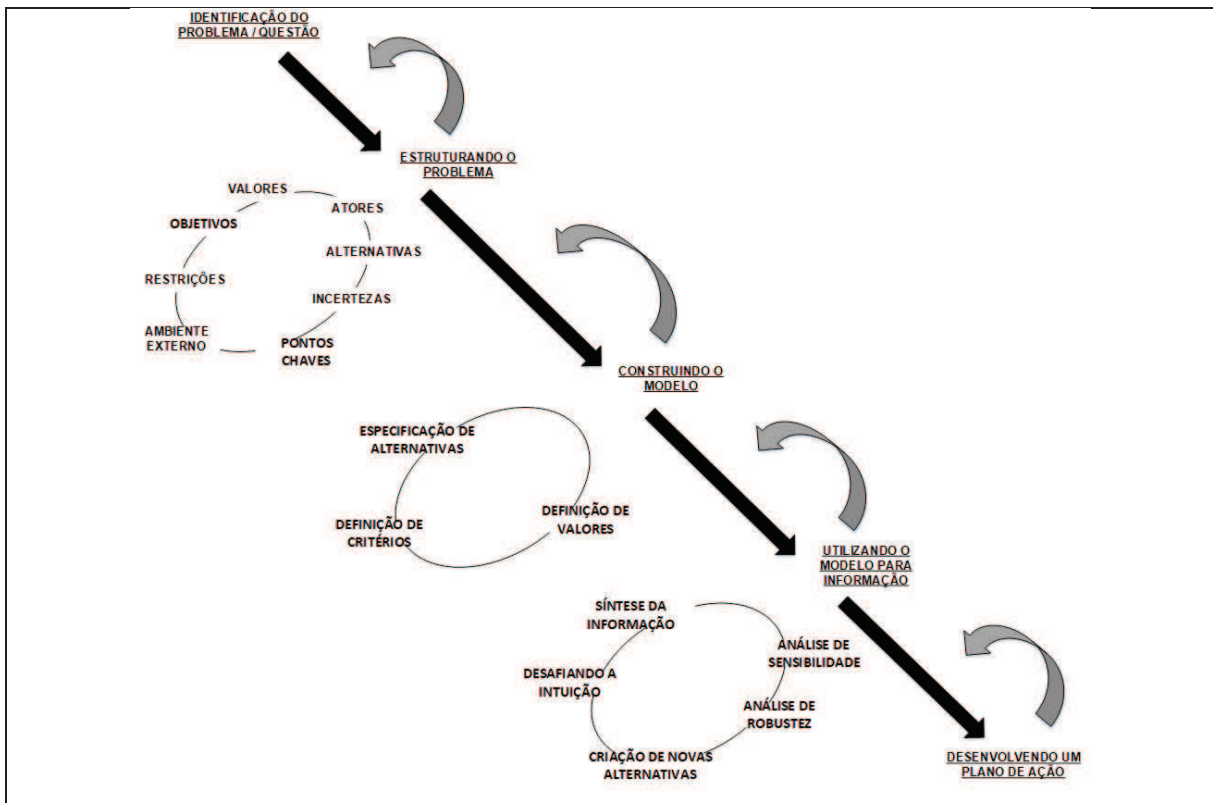
A metodologia de decisão em um meio complexo, habitualmente abrange informações imprecisas e/ou incompletas, múltiplos critérios de seleção e vários fatores de decisão (GOMES

e MOREIRA, 1998). Outrossim, os problemas de decisão envolvem múltiplos objetivos que, geralmente, são divergentes entre si. Deste modo, a escolha por um deles implica em dano ao outro (HUIZINGH e VROLIJK, 1997; HAHN, 2003).

As abordagens multicritérios são formas de modelar os processos de escolha que envolve: uma decisão a ser tomada; as ocorrências desconhecidas que podem interferir nos resultados; as possíveis trajetórias de ação; e os respectivos resultados. Estes modelos demonstram, de maneira aceitável, o juízo de valores dos envolvidos. Assim, os métodos multicritérios agem como uma base para argumentos, principalmente nos eventos nos quais existem conflitos entre os tomadores de decisão, e também quando a percepção do problema pelos vários interessados ainda não está totalmente estabelecida (NORONHA, 1998).

A metodologia multicritério oferece aos envolvidos no processo de escolha, subsídios necessários para se alcançar uma solução que melhor se adapte às suas necessidades. Com a aplicação dos métodos multicritérios, o tomador de decisão pode ser capaz de presumir as possíveis implicações de cada curso de ação, de modo a obter uma melhor compreensão das vinculações entre suas ações e seus objetivos (FLAMENT, 1999).

Figura 2 - Processo de apoio à decisão multicritério



Fonte: Lehnhart (2016)

Conforme indicado no processo de apoio à decisão multicritério, ilustrado na Figura 2, Belton e Stewart (2002) descrevem os principais atores para o processo de decisão com múltiplos critérios, que são: o decisor; os clientes; os patrocinadores; e outras partes interessadas, compreendendo os facilitadores ou analistas da decisão. Pode-se esperar uma repetição dentro e entre as fases do processo, na qual cada uma está sujeita a um grande número de influências e pressões internas e externas.

### **1.3 Propriedades gerais da teoria de decisão multicritério**

Nesta seção são exploradas algumas características comuns aos métodos MCDM, o que contribuem para uma melhor compreensão dos métodos apresentados nesta dissertação.

#### *1.3.1 Terminologias*

Algumas terminologias são comuns à maioria dos métodos multicritérios. Termos como normalização, método compensatório e escalas quantitativa ou qualitativa são alguns exemplos do vocabulário específico dos métodos. A seguir é apresentado as definições das terminologias mais relevantes.

Ação: Pode ser definida como uma representação de uma eventual cooperação à decisão global, com relação ao estado de desenvolvimento do processo de decisão, de ser considerado de forma autônoma e de servir de ponto de aplicação ao apoio à decisão (ROY, 1985).

Critério ou Atributo: É uma grandeza básica para a efetividade da análise. O critério permite estabelecer um julgamento de preferência entre as ações (ALMEIDA, 2000).

Escalas: Uma escala padrão de uma unidade é utilizada para elaborar a matriz decisão; de acordo com um critério; e que pode ser caracterizada por um número ou uma declaração verbal. Para comparar duas ações de acordo com um critério é essencial que essas duas ações estejam na mesma escala, e assim, se possa avaliar o significado efetivo em termos da preferência abrangida por eles (ALMEIDA, 2000).



Escala ordinal: A escala ordinal apenas representa a ordem entre os objetos avaliados. Não efetua operações básicas, como soma, subtração, divisão e multiplicação (GRECO, FIGUEIRA e EHRGOTT, 2005).

Escala cardinal ou quantitativa: É uma escala numérica cujas alternativas são definidas referindo-se a uma quantidade clara, definida de forma real, de modo a dar sentido. De um lado, a ausência de quantidade (grau 0) e, do outro a existência de uma unidade que permite interpretar cada curso de ação, como a adição de um determinado número (inteiro ou fracionário) de tais unidades (GRECO, FIGUEIRA e EHRGOTT, 2005).

Escala qualitativa: São as escalas que podem ser classificadas como por exemplo em: excelente, bom, regular e ruim, e com isso consegue-se classificar os objetos (GRECO, FIGUEIRA e EHRGOTT, 2005).

Escala verbal: Escala na qual se permite classificar os objetos comparados apenas verbalmente, exclusivamente com operações de conjuntos (contém, pertence) ou expressões booleanas (E, OU, NÃO, etc.). Por exemplo: cores dos objetos (GRECO, FIGUEIRA e EHRGOTT, 2005).

Normalização: No Apoio à Decisão Multicritério, a normalização equivale à transformação da escala de análise, que em geral utiliza um intervalo de zero a um, do julgamento de valor para a tomada de decisão (ALMEIDA, 2000).

Método compensatório: Tem como foco compensar uma alternativa com desempenho ruim em um determinado critério, por meio de outro critério em que esta mesma alternativa tenha um desempenho ótimo (ALMEIDA, 2000).

Método não compensatório: Favorece as alternativas mais balanceadas que possuem um melhor desempenho médio (ALMEIDA, 2000).

### *1.3.2 Tipos de abordagens*

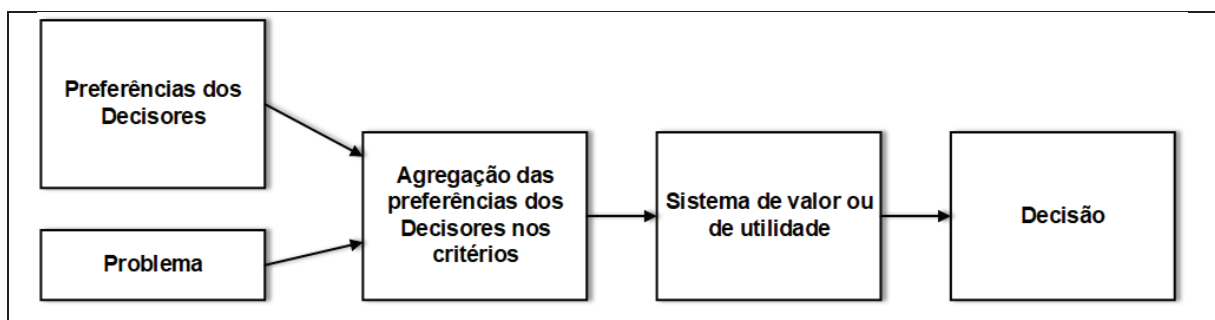
Duas escolas se destacam com relação aos métodos MCDM e se tornaram referências e pilares para o desenvolvimento de qualquer novo método: a escola americana e a escola francesa. Elas já se rivalizaram, mas também buscam uma integração (BANA E COSTA, 1993).

Os principais métodos da escola americana são o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e o MAUT (*Multiattribute Utility Theory*). Já na escola francesa se destacam as famílias ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) e o PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*) (BHUSHAN e RAI, 2004; GOMES, 2007).

Os métodos de decisão multicritérios podem ser categorizados de diversas formas. Neste trabalho, é considerada a classificação utilizada por Almeida (2011), que apresentou duas classificações, a desenvolvida por Roy em 1985 e a de Vincke, de 1992. Este agrupamento se divide em três grandes abordagens relativas aos princípios de modelagem de preferências: a abordagem do critério único de síntese (Agregação); abordagem da sobreclassificação (*Outranking*); e a abordagem do julgamento interativo.

Abordagem do critério único de síntese (Agregação): É inspirada na escola americana e consiste em agregar diferentes critérios dentro de um único critério de síntese, que pode ser posteriormente aprimorado. De acordo com Gartner (2001), o método de agregação define que as preferências dos decisores podem ser representadas por uma função de utilidade ou de valor. Estas devem ser avaliadas pelo analista com o uso de modelos aditivos ou multiplicativos. Nesse caso, deve-se analisar as condições de agregação da função e de construção do modelo. Para este grupo, destaca-se o MAUT, incorporando a questão do tratamento de problemas com múltiplos objetivos (KEENEY e RAIFFA, 1976; ALMEIDA, 2005). Os métodos de agregação por meio de critério único de síntese apresentam avaliações compensatórias. Alguns exemplos destes métodos são: UTA (*Utilité Additive*), AHP, MACBETH, MAVT, SMART e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) (GONÇALVES, 2001). A Figura 3 apresenta o fluxo de processamento destes modelos.

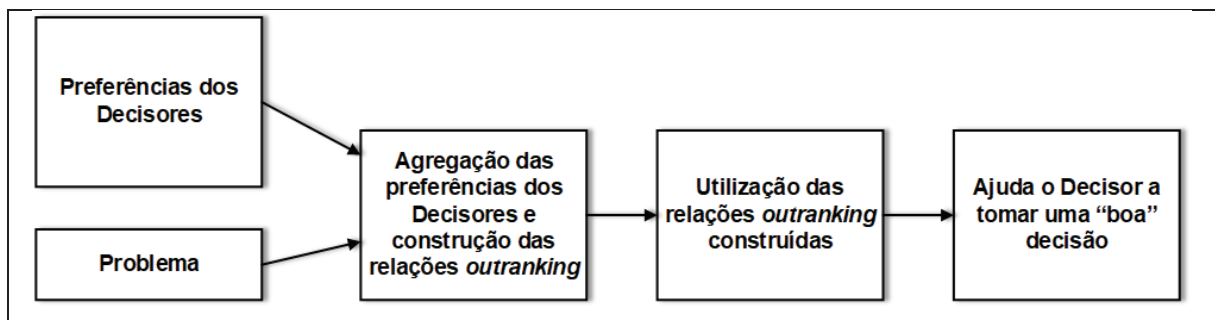
Figura 3 - Fluxo de processamento dos modelos de critério único de síntese



Fonte: Adaptado de Gartner (2001)

Abordagem da sobreclassificação (*Outranking*): É também conhecida como método de superação, prevalência ou subordinação. A abordagem é inspirada na escola francesa, ou europeia, e se baseia na comparação par a par entre as alternativas, construindo uma relação de sobreclassificação, que representa as preferências estabelecidas pelo decisor. Em uma segunda etapa ocorre uma exploração da relação de sobreclassificação de modo que colabore com o decisor na resolução de seu problema (ROY e VANDERPOOTEN, 1996; BELTON e STEWARD, 2002). Para Gartner (2001), a abordagem de sobreclassificação define condicionantes em sistema de preferências, no qual devem ser enquadrados os desempenhos fornecidos pelo agente decisor para cada uma das ações. Se destacam nesta abordagem os métodos ELECTRE e o PROMETHEE. Estes métodos apresentam, em sua maioria, avaliações não-compensatórias e assumem a possibilidade de incomparabilidade na estrutura de preferência do decisor. A Figura 4 representa o fluxo de processamento dos modelos *outranking*.

Figura 4 - Fluxo de processamento dos modelos de sobreclassificação



Fonte: Adaptado de Gartner (2001)

Abordagem do julgamento interativo: Propõe modelos que alternam passos de cálculo, fornecendo sucessivas soluções de compromisso, e passos de diálogo. É uma abordagem que se utiliza de tentativas e erros e estruturas de programação matemática multiobjetivo (CLIMACO, ANTUNES e ALVES, 2003). Os métodos interativos podem estar associados a problemas discretos ou contínuos. Os métodos de Programação Linear Multiobjetivo (PLMO) utilizam, em sua maioria, procedimentos interativos. Também se destacam nesta abordagem os métodos STEM, método de Zionts & Wallenius, método TRIMAP (*Tricriteria Linear Programming Package*), método Interval Criterion Weights e Método Pareto Race.

O Quadro 1 mostra a classificação dos principais métodos multicritérios quanto à abordagem. De acordo com Gomes e Rangel (2009), o método TODIM é considerado um

modelo híbrido que combina aspectos da abordagem de agregação por utilizar a medida global de valor das funções de utilidade multiatributo do MAUT e da abordagem de sobreclassificação, por incorporar a noção de fluxo líquido de superação do método PROMETHEE.

Quadro 1 - Classificação dos métodos multicritérios quanto à abordagem

Abordagem	Métodos		
<b>Agregação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ MACBETH</li> <li>○ Ariadne Method</li> <li>○ SAW</li> <li>○ AHP</li> <li>○ STEM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Linear Assignment Method</li> <li>○ Goal Programming</li> <li>○ TODIM</li> <li>○ Cost/Benefit Analysis</li> <li>○ Interval Criterion Weights</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ MAUT / MAVT</li> <li>○ UTA</li> <li>○ SMART</li> <li>○ TOPSIS</li> <li>○ TRIMAP</li> </ul>
<b>Sobreclassificação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ELECTRE</li> <li>○ PROMETHEE</li> <li>○ TODIM</li> <li>○ TACTIC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Qualiflex</li> <li>○ MAPPAC</li> <li>○ Regime</li> <li>○ IDRA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ PACMAN</li> <li>○ PRAGMA</li> <li>○ MELCHIOR</li> <li>○ ORESTE</li> </ul>
<b>Julgamento Interativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ PLMO</li> <li>○ STEM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Zionts &amp; Wallenius</li> <li>○ Interval Criterion Weights</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pareto Race</li> <li>○ TRIMAP</li> </ul>

Fonte: O Autor

### 1.3.3 Problemáticas de decisão

Ao enfrentar um problema de decisão, a primeira tarefa de um tomador de decisão é identificar o tipo de problema. Roy (1981) descreveu quatro formulações problemáticas dentro do contexto dos MCDM: problema de seleção; problema de classificação; problema de ordenação; e problema de descrição.

Problema de seleção ( $P \cdot \alpha$ ): o objetivo é selecionar a melhor ação única ou reduzir o grupo de ações para um subconjunto de ações equivalentes ou incomparáveis;

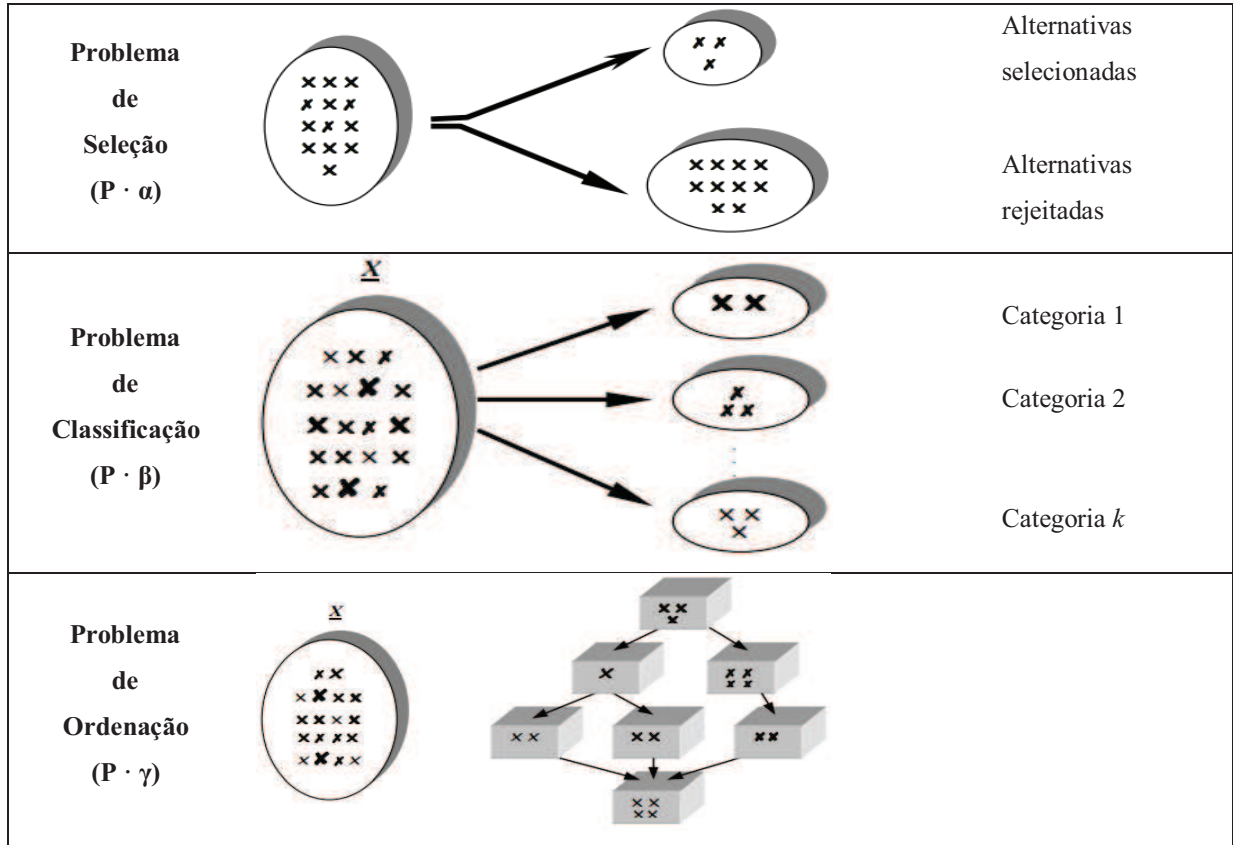
Problema de classificação ( $P \cdot \beta$ ): as ações são alocadas em categorias ordenadas predefinidas. Estes métodos são úteis para uma utilização repetitiva e/ou automática. Também pode ser usado para uma triagem, a fim de reduzir o número de ações a serem consideradas;

Problema de ordenação ( $P \cdot \gamma$ ): as ações são ordenadas em forma de uma preferência decrescente. A ordem pode ser completa ou parcial quando consideradas ações incomparáveis;

Problema de descrição ( $P \cdot \delta$ ): o objetivo é esclarecer a descrição de ações e suas consequências por termos quantitativos e qualitativos.

Para um melhor entendimento quanto as problemáticas de decisão, a Figura 5 apresenta uma ilustração das entradas e saídas dos problemas de seleção, classificação e ordenação.

Figura 5 – Representação quanto à classificação dos problemas



Fonte: Adaptado de Freitas e Costa (2000)

Ishizaka e Nemery (2013), categorizaram os métodos multicritérios quanto às problemáticas de apoio à decisão. O Quadro 2 mostra o agrupamento dos principais métodos MCDM.

Quadro 2 – Agrupamento dos métodos multicritérios quanto aos problemas

Tipos de Problemas			
Seleção	Ordenação	Classificação	Descrição
AHP	AHP	AHPSort	GAIA, FS-Gaia
ANP	ANP		
MAUT/UTA	MAUT/UTA	UTADIS	
MACBETH	MACBETH		
PROMETHEE	PROMETHEE	FlowSort	
ELECTRE I	ELECTRE III	ELECTRE-Tri	
TOPSIS	TOPSIS		
Goal Programming			
DEA	DEA		
TODIM	TODIM		

Fonte: Adaptado de Ishizaka e Nemery (2013)

## 1.4 Métodos de decisão multicritérios

Atualmente existem diversos métodos multicritérios disponíveis na literatura (GOMES e GOMES, 2014). O Quadro 3 apresenta um resumo dos métodos multicritérios explorados neste trabalho quanto aos nomes dos desenvolvedores, ano de criação e algumas de suas características básicas.

Quadro 3 - Métodos MCDM

Método	Criador	Características básicas
<b>AHP</b> <i>Analytic Hierarchy Process</i>	Saaty, Thomas L. (1977)	Neste método, os valores para critérios e alternativas são definidos individualmente, e conseqüentemente, um <i>ranking</i> é desenvolvido com a soma ponderada de pares de comparações entre atributos e critérios. Essas comparações são verificadas quanto à consistência interna. É um método com base no princípio de pontuação.
<b>ELECTRE</b> <i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>	Benayoun, R.; Roy, B.; Sussman, B. (1966)	Baseado na relação <i>outranking</i> e na distância para a solução ideal. Considera valores e pontuação de critérios e pesos para comparar atributos a cada outro usando princípios de concordância e discordância. A alternativa mais bem classificada é a preferida. Este método foi desenvolvido em diferentes variações com diferentes pontos de vista. As versões disponíveis são: ELECTRE I, II, III, IV, IS e TRI.
<b>MACBETH</b> <i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>	Bana e Costa, C. e Vansnick, J. (1994)	Por meio de comparações racionais baseadas no desempenho das alternativas para cada critério, a respectiva função de utilidade será desenvolvida a partir de um ponto de vista básico, juntamente com os parâmetros relacionados com a informação entre os critérios (pesos). Tudo isso ocorre na fase de agregação. O método determina pesos com base nas preferências do decisor. O método é baseado no princípio do comprometimento.
<b>MAUT</b> <i>Multi Attribute Utility Theory</i>	Churchman, Ackoff e Arnoff (1957)	Pelo uso de funções de utilidade/valor (Teoria de Utilidades), os dados são transformados em escalas adimensionais para pesos e atributos e por sua multiplicação a alternativa mais bem classificada será escolhida. O método é baseado no princípio da pontuação.
<b>PROMETHEE</b> <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>	Brans, J.; Vincke, P. e Mareschal (1982/1984)	Baseado na relação <i>outranking</i> , este método exige valores e pontuações dos critérios e dos pesos para comparar atributos com base em uma matriz de preferências e organiza-los em um índice de preferência global. Por meio do uso de duas funções (o $\Phi$ + fluxo de saída e o $\Phi$ - fluxo de entrada) um nível geral de <i>outranking</i> é definido. Método baseado na concordância. Este método foi desenvolvido em diferentes variações com diferentes pontos de vista. As versões disponíveis são: PROMETHEE I, II, III, IV, V, VI e GAIA.
<b>TODIM</b> Tomada de Decisão Interativa Multicritério	Gomes, L.F. e Lima, M. (1992)	Este método constrói um modelo de preferência para decisões de risco, de acordo com a Teoria do Prospecto (Kahneman e Tversky, 1979). O método utiliza a função de diferença aditiva para determinar o <i>ranking</i> de uma alternativa em comparação com outra. É baseado no princípio da concordância.
<b>TOPSIS</b> <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>	Yoon, K. e Hwang, C. (1981)	A distância da melhor alternativa deve ser pequena para a solução ideal positiva e grande para a solução ideal negativa. O método é baseado no princípio de compromisso.

Fonte: O Autor

#### 1.4.1 Método AHP

O método AHP foi elaborado por Saaty na década de 70. Consiste em uma metodologia multicritério de suporte à decisão que objetiva a seleção ou ordenação de alternativas, em um processo que considera diferentes critérios de avaliação.

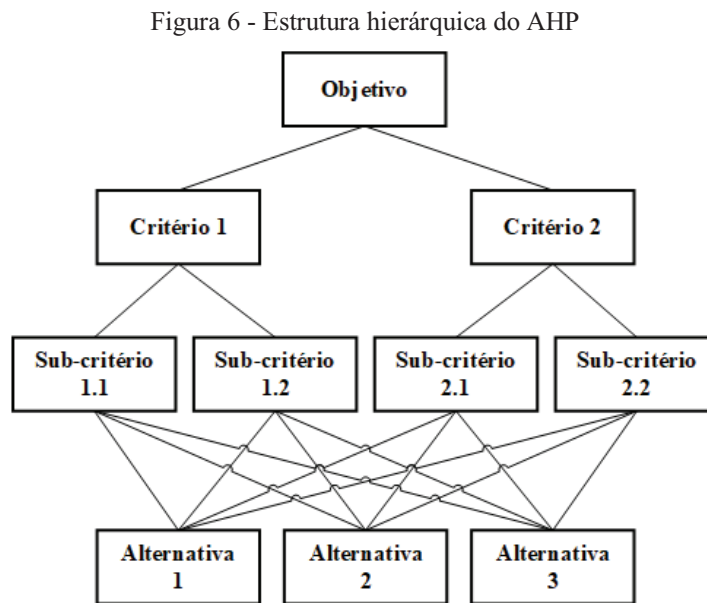
Wallenius *et al.* (2008) destacam que o AHP é o método com o maior número de artigos publicados em periódicos científicos. Conforme Marins, Souza e Barros (2009), o método AHP é um dos mais utilizados e conhecidos no apoio à tomada de decisão para múltiplos critérios, pois envolve tanto a análise qualitativa quanto quantitativa dos fatores decisórios. O AHP também é um modelo multicritério muito utilizado em corporações, devido à disponibilidade de *softwares*, como o Expert Choice e o Open Decision Maker, que facilitam a sua aplicação (SALOMON, 2010).

Muitos autores têm desenvolvido suas pesquisas utilizando o método AHP na resolução de problemas de tomada de decisão nas mais diversas áreas. Muralidharan, Anantharaman e Deshmukh (2002) propuseram um modelo de cinco etapas do AHP para auxiliar os tomadores de decisão na classificação e seleção dos fornecedores com relação a nove critérios de avaliação. Chan, Chung e Choy (2006) aplicaram um modelo AHP para capturar as incertezas de confiabilidade de entregas. Jozi e Iraokhahi (2010) desenvolveram uma metodologia para avaliar os riscos ambientais nas linhas de gasodutos. Salomon e Shimizu (2006) utilizaram o AHP para modelar o controle da produção. Padovani, Carvalho e Muscat (2010) aplicaram o método na escolha de alternativas para integrar o portfólio de projetos de uma empresa química. Trendowicz e Kopczynska (2014) analisaram 18 aplicações de métodos MCDM em problemas de avaliação da qualidade de *software* e foi constatado que uma ampla diversidade de métodos vem sendo utilizada, porém segundo os autores, o método AHP é o mais utilizado no apoio a este tipo de problema.

De acordo com Saaty (1990), o AHP permite modelar o problema de decisão em uma estrutura hierárquica, partindo do objetivo principal, se decompõe em vários critérios, formando uma nova camada. Cada critério de um mesmo nível pode ser composto em dois ou mais critérios, e assim sucessivamente, tornando mais fácil o tratamento e a compreensão do problema. Cada critério posicionado na extremidade inferior da estrutura é decomposto em alternativas. Recomenda-se um número reduzido de níveis e critérios de modo a não comprometer a compreensão do problema (GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004).



A Figura 6 ilustra a estrutura hierárquica utilizada no AHP.



Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012)

#### 1.4.2 Método TODIM

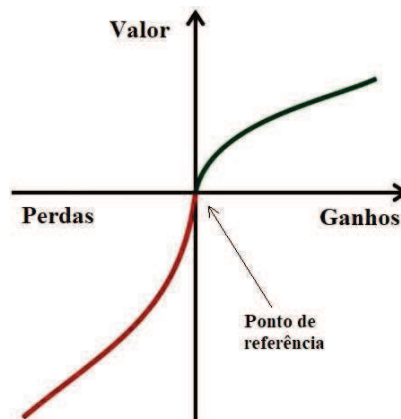
De acordo com Gomes (2007), o método multicritério TODIM foi concebido em sua forma atual no início dos anos 90 e é provavelmente o único método multicritério fundamentado na Teoria dos Prospectos. A Teoria dos Prospectos foi desenvolvida a partir das pesquisas de Kahneman e Tversky (1979), que avaliaram o comportamento humano durante a tomada de decisões em situações de risco. Kahneman e Tversky (1979) observaram que nas situações que envolvem ganhos, existe a tendência das pessoas serem mais conservadoras com relação ao risco, ou seja, há uma preferência em se optar por um ganho reduzido, porém seguro, do que correr um risco para se obter um ganho maior. Entretanto, em situações que envolvem perdas, o ser humano mostra-se mais propenso ao risco, isto é, preferem correr o risco de ter maiores perdas, caso exista a possibilidade de não perderem nada, a aceitar uma perda reduzida, porém segura. Para expor a aversão e a propensão ao risco, a Teoria dos Prospectos utiliza a função de valor com a forma de "S", representada na Figura 7.

Como mostra a função de valor, acima do eixo horizontal, considerado como referência nesta análise, tem-se uma curva côncava representando os ganhos e, abaixo do eixo horizontal,



tem-se uma curva convexa representando as perdas. A parte côncava retrata a aversão ao risco em face aos ganhos, e a parte convexa aponta a propensão ao risco, quando se trata de perdas (RANGEL, GOMES e CARDOSO, 2011).

Figura 7 - Função de valor da Teoria dos Prospectos



Fonte: Adaptada de Kahneman e Tversky (1979)

O método TODIM faz o uso de comparações paritárias entre os critérios de decisão, possuindo recursos tecnicamente simples e corretos para extinguir eventuais inconsistências oriundos dessas comparações. O método também permite efetuar juízos de valor em uma escala verbal; utilizar uma hierarquia de critérios; juízo de valor nebulosos; e utilizar de relações de interdependência entre alternativas (GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004).

No que concerne a estruturação do problema de decisão, o método TODIM consiste essencialmente em um método multicritério para ordenação e seleção de alternativas. Como tal, trata-se de um método para avaliar, sob a ótica multicritério, um conjunto de alternativas dadas, não tendo a pretensão de apoiar o decisor no seu posicionamento em face a um determinado contexto (GOMES; MARANHÃO, 2008).

Embora a pesquisa de Longaray *et al.* (2015) não tenha encontrado um número muito relevante de estudos envolvendo a produção científica aplicada ao método TODIM, os autores que abordaram o tema têm desenvolvido suas pesquisas nas mais diversas áreas. Sen, Datta e Mahapatra (2016) aplicaram o método TODIM para seleção de um modelo de robô industrial. O artigo de Gomes, Rangel e Maranhão (2009) abordou o problema de selecionar com a aplicação do método TODIM a melhor opção para o destino das reservas de gás natural no Brasil. Zindani *et al.* (2017) aplicaram o TODIM para selecionar os materiais mais adequados para a fabricação de duas peças automobilísticas. Dehghani, Siami e Haghi (2017) utilizaram o

modelo para definir o melhor método de mineração em uma mina de ferro no Irã. Na área imobiliária, Uysal e Tosun (2014) utilizaram o método para escolher a localização de uma residência com base em fatores objetivos e subjetivos. Já Rangel e Gomes (2007), apresentaram um estudo visando auxiliar na definição do valor de referência de aluguel de imóveis residenciais. Ao empregarem o método TODIM para realizar a ordenação dos imóveis com diferentes características, chegou-se às diversas faixas de valores de aluguel dos imóveis em estudo.

#### 1.4.3 Método PROMETHEE

Em meados dos anos 80, Brans, Vincke e Mareschal apresentaram o método PROMETHEE como uma nova classe de método de análise multicritério. O método PROMETHEE, tem aplicação em diversas áreas de conhecimento e pertence à família de métodos de sobreclassificação (*outranking*). É baseado em uma relação binária entre as ações ou alternativas e as principais características deste método são a simplicidade, clareza, estabilidade e flexibilidade (BRANS e MARESCHAL, 2005). A noção de critério generalizado é usada para construir uma relação de sobreclassificação de valores (VINCKE, 1992).

De acordo com Almeida e Costa (2002), a família PROMETHEE é constituída por sete métodos, descritos no Quadro 4.

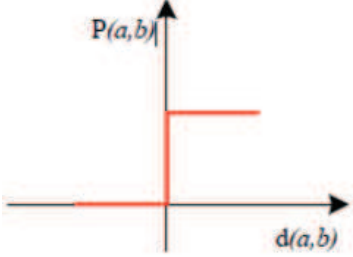
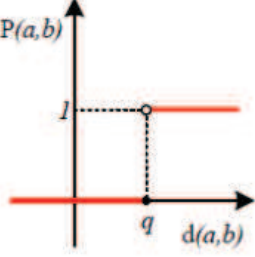
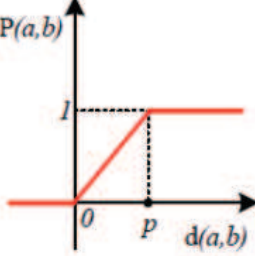
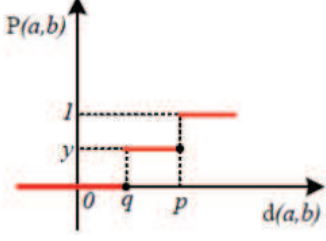
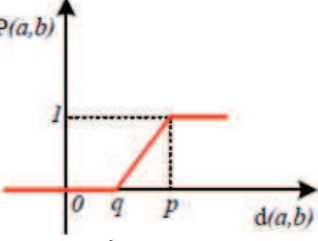
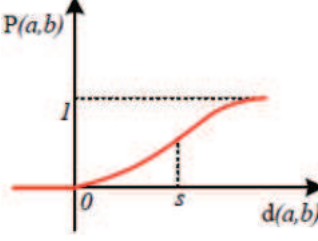
Quadro 4 - Família PROMETHEE

<b>PROMETHEE I</b>	Pré-ordem parcial das alternativas, destinada à problemática de ordenação.
<b>PROMETHEE II</b>	Estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, destinada à problemática de ordenação.
<b>PROMETHEE III</b>	Ampliação da noção de indiferença, tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar).
<b>PROMETHEE IV</b>	Pré-ordem completa ou parcial, destinada à problemática de escolha e ordenação em situações onde o conjunto de soluções viáveis é contínuo.
<b>PROMETHEE V</b>	Nessa implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira.
<b>PROMETHEE VI</b>	Pré-ordem completa ou parcial. Problemática de escolha e ordenamento. Destinado às situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério.
<b>PROMETHEE GAIA</b>	Extensão dos resultados do PROMETHEE, por meio de um procedimento visual e interativo.

Fonte: Almeida e Costa (2002)

O PROMETHEE pode empregar seis tipos de funções para descrever os critérios considerados na sua implementação. Cada tipo de critério é caracterizado por uma função que busca representar a preferência do decisor (ALMEIDA e COSTA, 2002). Conforme Brans, Vincke e Mareschal (1986), as funções são: Usual; U-Shape; V-Shape; Level; V-Shape with Indifference; e Gaussian. As funções e representações gráficas são mostradas no Quadro 5.

Quadro 5 - Funções de preferência do método PROMETHEE

Usual	U-Shape	V-Shape
 $P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases}$ <p>Nesta função há preferência estrita pela alternativa com melhor desempenho. Assim, para qualquer diferença positiva na avaliação de duas alternativas (<i>a</i> e <i>b</i>), esta função assume valor “1”. Nos casos em que não há diferença (<i>a</i>=<i>b</i>), a função assume valor “0”.</p>	 $P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ 1 & x > q \end{cases}$ <p>Nesta função a preferência estrita pela alternativa “<i>a</i>” ocorre somente quando a diferença na avaliação das alternativas excede o limiar de indiferença “<i>q</i>”. Nos outros casos ocorre a indiferença.</p>	 $P(x) = \begin{cases} x/r & x \leq r \\ 1 & x > r \end{cases}$ <p>Nesta função “<i>p</i>” é o limiar de preferência estrita. Quando a diferença entre as alternativas é superior a esse limiar, há preferência estrita pela alternativa “<i>a</i>”. Quando a diferença é menor que “<i>p</i>” a preferência aumenta de forma linear em razão da diferença entre as alternativas.</p>
Level	V-Shape with Indifference	Gaussian
 $P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ 1/2 & q < x \leq p \\ 1 & x > p \end{cases}$ <p>Esta função exige um limiar de indiferença “<i>q</i>” e um limiar de preferência “<i>p</i>” definidos pelo avaliador. Se <i>d(a,b)</i> é menor que “<i>q</i>” há indiferença da alternativa “<i>a</i>” em relação a “<i>b</i>”. Caso <i>d(a,b)</i> esteja entre “<i>q</i>” e “<i>p</i>”, há uma preferência fraca em favor da alternativa “<i>a</i>”, e quando <i>d(a,b)</i> é menor que “<i>p</i>” ocorre a preferência estrita em favor de “<i>a</i>”.</p>	 $P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ \frac{x-q}{p-q} & q < x \leq p \\ 1 & x > p \end{cases}$ <p>Similar a função Level, nesta função a preferência aumenta linearmente da indiferença, limiar “<i>q</i>”, para a preferência estrita, limiar “<i>p</i>”.</p>	 $P(x) = 1 - e^{-x^2/2s^2}$ <p>Nesta função é necessário definir o parâmetro “<i>s</i>”, cujo valor será responsável pela mudança na concavidade da curva de preferência. Essa função é aplicada em critérios quando há a necessidade de incrementar (ou reduzir) a preferência em razão de um afastamento do parâmetro “<i>s</i>”.</p>

Fonte: Adaptado de Brans e Mareschal (2005)

De forma resumida, no PROMETHEE I podem ocorrer incompatibilidades, enquanto no PROMETHEE II tem-se uma ordem completa. O PROMETHEE II introduz uma forma de agregação com certa distorção, dentro da concepção do método de sobreclassificação, e acarreta uma perda de informação em relação ao PROMETHEE I. De qualquer forma, o PROMETHEE II tende a ser mais utilizado por uma ideia mais confortável, apresentando uma ordem mais completa (ALMEIDA, 2013). As metodologias dos demais métodos da família PROMETHEE não serão detalhadas nesta dissertação.

Os métodos da família PROMETHEE são ferramentas de suporte à decisão que fazem parte da escola francesa. O método procura estabelecer uma estrutura de preferência entre as alternativas e os critérios que estão sendo avaliados (CARVALHO, CURI e CARVALHO, 2011).

O método PROMETHEE tem sido aplicado em diversas áreas (BEHZADIAN *et al.*, 2010). Doukas, Patlitzianas e Psarras (2006) aplicaram o PROMETHEE II para avaliar as tecnologias sustentáveis para geração de eletricidade, de acordo com fatores ambientais, sociais e econômicos. Dulmin e Mininno (2003) utilizaram o método para escolher fornecedores relevantes para uma empresa italiana de médio porte que opera no campo de transporte rodoviário e ferroviário. No contexto de análise de investimentos e gestão de portfólio, Albadvi, Chaharsooghi e Esfahanipour (2007) aplicaram o PROMETHEE I e II como uma ferramenta de tomada de decisão para selecionar ações para investimento na bolsa de Teerã. Lim *et al.* (2007) utilizaram o PROMETHEE II para classificar fatores de emissões de veículos com relação à tipos de combustíveis e parâmetros de operações dos motores.

#### 1.4.4 Método MACBETH

O método MACBETH foi elaborado por Bana e Costa e Vansnick em 1994. Neste método, as funções de valor são obtidas por meio de julgamentos semânticos formados pela comparação da diferença de atratividade entre duas linhas de ação quaisquer, sempre aos pares. O MACBETH simplifica suficientemente o julgamento da tomada de decisão, não sendo necessário avaliar simultaneamente todo o conjunto de ações (BANA E COSTA, DE CORTE e VANSNICK, 2003).

Trata-se de um método benéfico na fase de avaliação do processo de apoio à tomada de decisão. O sistema interativo facilita a construção de uma escala cardinal que exprime o julgamento dos envolvidos sobre o grau de atratividade dos elementos. A diferença fundamental entre o MACBETH e outros métodos de análise de decisão é que este pode trabalhar apenas com atributos qualitativos sobre as diferenças de atratividade entre elementos para gerar pontuações para as alternativas em cada critério e ponderar os critérios (BANA E COSTA e CHAGAS, 2004).

No que se diz respeito ao julgamento, o MACBETH se refere às diferenças de atratividade. A quantificação dos julgamentos mede o grau de atratividade entre os elementos e diferentemente do método AHP (SAATY, 2010a; 2010b), reporta-se às relações de prioridade ou importância. A quantificação dos julgamentos mede o grau de importância entre os elementos.

#### *1.4.5 Método TOPSIS*

O método TOPSIS foi desenvolvido por Yoon e Hwang em 1981 e é baseado na ordem de preferência por similaridade com a solução ideal. Este método auxilia na tomada de decisões por meio da comparação e *rankings*. O modelo tem como característica estabelecer um *ranking* entre as alternativas, que tem como referência a menor distância da solução ideal positiva e a maior distância da solução ideal negativa (YOON e HWANG, 1981), não sendo necessário que a preferência entre os atributos seja independente.

O modelo TOPSIS tem sido usado em diversas aplicações práticas, inclusive levando-se em consideração as incertezas e combinado a outros métodos para comparação de resultados (JADIDI, FIROUZI e BAGLIERY, 2010).

#### *1.4.6 Método ELECTRE*

O método ELECTRE foi proposto inicialmente por Benayoun, Roy e Sussman, em 1966. O modelo pertence à escola francesa e a tradução do nome significa eliminação e escolha traduzindo a realidade (OLSON, 1996). Dentre os métodos de sobreclassificação destacam-se os métodos da família ELECTRE, composta pelos métodos ELECTRE I, II, III, IV, IS e TRI.

De acordo com Almeida (2011), o método é aplicado em duas fases: Construção da relação de sobreclassificação, na qual se estabelece uma comparação par a par entre as alternativas; e, exploração da relação de sobreclassificação, onde se aplica um procedimento ou algoritmo para resolver o problema em função da problemática específica abordada.

Este método objetiva diminuir o tamanho do conjunto de alternativas utilizando o conceito de dominância. Utiliza-se um índice de concordância para medir a vantagem relativa de cada alternativa sobre as demais. De outro lado e de forma similar, é definido um índice de discordância, que mede a relativa desvantagem (ROY e VINCKE, 1989).

#### *1.4.7 Método MAUT*

O método MAUT ou Teoria da Utilidade Multiatributo se trata de uma extensão natural da Teoria da Utilidade descrita por Daniel Bernoulli em 1738 como uma forma para medir preferência (FISHBURN, 1970). A Teoria da Utilidade assume que o tomador de decisão pretende realizar uma seleção que corresponde ao maior nível de satisfação (ou utilidade). A preferência do decisor perante o risco é representada por uma função matemática chamada função de utilidade. A função de utilidade emprega várias funções para avaliar a maior satisfação possível (SHIMIZU, 2006).

Conforme Keeney e Raiffa (1993), estão disponíveis duas notáveis análises referentes ao tratamento das alternativas para o modelo MAUT: a função utilidade aditiva e a função utilidade multiplicativa. Onde a forma aditiva é a mais simples e largamente utilizada (BELTON e STEWART, 2002).

Para Cavalcante (2011), o método multicritério de apoio a decisão MAUT é uma abordagem relevante principalmente em casos que tratam de incerteza. De acordo com Ehrlich (1996) o método MAUT é teoricamente incontestável, e o único método que usa a Utilidade Agregada adequada a verificações que o método se propõe a realizar.

#### 1.4.8 Vantagens e desvantagens

Algumas vantagens e desvantagens de cada método multicritério apresentados neste trabalho podem ser verificadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Vantagens e desvantagens de métodos MCDM

Método	Vantagens	Desvantagens
<b>AHP</b>	Dados ordinais e cardinais (quantitativos) podem ser usados. A estrutura com hierarquia pode facilmente ajustar-se a diversos tipos de problemas.	Problemas devido à interdependência entre critérios e alternativas. A escala de 1 a 9 no AHP às vezes pode não ser suficiente. Requer grande consumo de tempo quando se tem numerosos critérios e/ou alternativas.
<b>ELECTRE</b>	Dados ordinais e cardinais podem ser usados. Considera incerteza e situações “nebulosas”.	Priorização parcial de alternativas. O processo e resultado podem ser difíceis de compreender. A comparação paritária implica que os pontos fortes e as fraquezas das alternativas não sejam identificadas diretamente.
<b>MACBETH</b>	Dados ordinais e cardinais podem ser usados. Associa mensuração de preferências e comparação paritária de alternativas, permitindo interatividade.	Não considera incerteza na mensuração de preferências (trabalha com preferências do tipo valor).
<b>MAUT</b>	Dados ordinais e cardinais podem ser usados. Considera incerteza e pode incorporar preferências.	Necessita de muitas informações de entrada. As preferências precisam ser precisas.
<b>PROMETHEE</b>	Dados ordinais e cardinais podem ser usados. Não requer pressuposto de que os critérios são proporcionais. Requer poucos dados de entrada.	Priorização parcial de alternativas. Não fornece um método de atribuição dos pesos.
<b>TODIM</b>	Dados ordinais e cardinais podem ser usados. Minimiza o problema de inversão de <i>ranking</i> . Permite considerar diferentes valores do fator de atenuação de perda para os diferentes critérios presentes na análise.	Não permite <i>Scoring Fuzziness</i> . Complexidade matemática de suas equações.
<b>TOPSIS</b>	Dados ordinais e cardinais podem ser usados. O número de etapas continua a ser o mesmo independentemente do número de atributos. Simplicidade de uso.	Apresenta dificuldades na inter-relação de critérios e no processo de ponderação.

Fonte: O Autor



Várias ferramentas de análise de decisões são desenvolvidas no processo de tomada de decisão, cada uma com seus pontos fortes e fracos. Cabe ao decisor compreender o contexto, reconhecer as vantagens e desvantagens dessas ferramentas e sua adequação ao processo de tomada de decisão (BHUSHAN e RAI, 2004).

#### *1.4.9 Aplicações dos métodos MCDM*

No Brasil e no exterior, as literaturas acadêmicas veem contemplando aspectos do auxílio à tomada de decisão por meio de técnicas de análise multicritério. Os métodos MCDM são utilizados para elaborar modelos de decisão visando à solução de problemas em diversas áreas do conhecimento.

Com o objetivo de aumentar o nível de confiabilidade quanto ao processo de tomada de decisão, alguns estudos aplicaram simultaneamente múltiplos métodos MCDM para o mesmo problema de decisão. Existe pouca ocorrência de estudos comparativos entre os métodos multicritérios, devido às diversas possibilidades de comparação mediante a grande pluralidade de métodos existentes (LIMA JÚNIOR, 2013).

Também, nesta seção, é apresentada parte de uma revisão sistemática da literatura dos estudos listados no Quadro 11. De acordo com Kitchenham e Charters (2007), a revisão sistemática pode ser definida como um método de pesquisa que tem por objetivo identificar, avaliar e interpretar a literatura relevante a uma ou mais questões de pesquisa específica. O método de pesquisa utilizado nesta dissertação para levantamento dos artigos está descrito no capítulo 2.1.

De acordo com o que demonstra o Quadro 11, há uma grande diversidade de métodos que vêm sendo explorados na literatura. Se verifica que o método AHP é o modelo mais investigado, e apenas Gurbuz, Alptekin e Alptekin (2012), Mela, Tiainen e Heinisuo (2010), Onut, Kara e Isik (2009) e Salminen, Hokkanen e Lahdelma (1998) não consideraram o método AHP em suas pesquisas. Os métodos TOPSIS e ELECTRE também podem ser destacados entre os mais frequentes. Outros métodos MCDM como o MARE, utilizado por Hodgett (2016), e PEG, aplicado por Mela, Tiainen e Heinisuo (2010), aparecem com pouca regularidade entre os trabalhos pesquisados para esta dissertação. Diante dessa diversidade de técnicas, as pesquisas comparativas considerando o contexto de determinados domínios de problema são



fundamentais para verificar as vantagens e as limitações de uso de técnicas frequentemente empregadas (LIMA JUNIOR e CARPINETTI, 2015).

O Quadro 7 apresenta alguns artigos que propõem modelos integrados ou comparativos para diversos tipos de problemas.

Quadro 7 – Relação de trabalhos que utilizaram múltiplos métodos MCDM

<b>Autor (ano)</b>	<b>Periódicos</b>	<b>Métodos MCDM aplicados</b>
Amiri (2010)	Expert Systems with Applications	Fuzzy TOPSIS e AHP
Anojkumar, Ilangkumaran e Sasirekha (2014)	Expert Systems with Applications	FAHP-TOPSIS, FAHP-VIKOR, FAHP-ELECTRE e FAHP-PROMETHEE
Chitsaz e Banihabib (2015)	Water Resources Management	ELECTRE III, VIKOR e AHP
Efe (2016)	Applied Soft Computing	Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP
Ertay, Kahraman e Kaya (2013)	Technological and Economic Development of Economy	Fuzzy AHP e MACBETH
Fernandes, Rodrigues e Costa (2015)	Repositório Institucional da UFSC	ELECTRE I e AHP
Ferreira e Santos (2016)	International Journal of Strategic Property Management	AHP, Delphi e MACBETH
Gurbuz, Alptekin e Alptekin (2012)	Decision Support Systems	ANP, Choquet integral (CI) e MACBETH
Hanine <i>et al.</i> (2016)	SpringerPlus	Fuzzy AHP e Fuzzy TODIM
Hodgett (2016)	The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	ELECTRE III, AHP e MARE
Ishizaka e Siraj (2017)	European Journal of Operational Research	SMART, AHP e MACBETH
Kaya (2010)	International Journal of Computational Intelligence Systems	Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP
Mela <i>et al.</i> (2010)	Advanced Engineering Informatics	WSM, WPM, TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE II e PEG
Onut, Kara e Isik (2009)	Expert Systems with Applications	Fuzzy TOPSIS e Fuzzy ANP
Ozcan, Çelebi e Esnaf (2010)	Expert Systems with Applications	AHP, TOPSIS, ELECTRE e Grey Theory
Passos e Gomes (2005)	Revista de Administração Mackenzie	AHP e TODIM
Regos (2013)	Central European Journal of Operations Research	PROMETHEE e AHP
Ribeiro, Passos e Teixeira (2012)	Production	AHP e TODIM
Salminen, Hokkanen e Lahdelma (1998)	European Journal of Operational Research	ELECTRE, PROMETHEE e SMART
Sanchez-Lozano, Cascales e Lamata (2015)	Journal of Cleaner Production	AHP, TOPSIS e ELECTRE TRI
Zeydan, Çolpan e Çobanoglu (2010)	Expert Systems with Applications	Fuzzy TOPSIS, Fuzzy AHP e DEA

Fonte: O Autor

O trabalho de Amiri (2010) propôs uma metodologia para avaliar e selecionar projetos alternativos para a Companhia Nacional de Petróleo Iraniana usando seis critérios de comparação de alternativas nos métodos AHP e *Fuzzy* TOPSIS. O AHP foi aplicado para analisar a estrutura do problema de seleção do projeto e para determinar os pesos dos critérios. Já o método *Fuzzy* TOPSIS foi utilizado para se obter o *ranking* final. O estudo demonstrou quanto importante é o estabelecimento dos pesos dos critérios com o método *Fuzzy* TOPSIS, o que pode interferir no *ranking*. O estudo ainda indicou que o tomador de decisão pôde usar as diferentes combinações de pesos no processo de tomada de decisão de acordo com a prioridade.

O artigo de Anojkumar, Ilangkumaran e Sasirekha (2014) teve como objetivo descrever a aplicação de quatro métodos de tomada de decisão multicritérios para solucionar problemas de seleção de materiais de tubos na indústria açucareira. Os métodos *Fuzzy* AHP-TOPSIS, *Fuzzy* AHP-VIKOR (*Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno*), *Fuzzy* AHP-ELECTRE e *Fuzzy* AHP-PROMETHEE foram os quatro métodos utilizados para escolher a melhor alternativa entre os vários materiais. O desempenho de classificação dos vários métodos MCDM foram comparados entre si e também se explorou a eficácia e a flexibilidade do método VIKOR. Cinco tipos de aço inoxidável e sete critérios de avaliação, tais como: elasticidade; resistência à tração; porcentagem de alongamento; dureza; custo; taxa de corrosão; e taxa de desgaste foram focados no estudo para escolher o material mais adequado.

No estudo de Chitsaz e Banihabib (2015), foi aplicado um quadro prático para priorizar as alternativas de gerenciamento de risco de inundação em um rio no Irã. A comparação entre modelos de decisão MCDM, ELECTRE III, VIKOR e AHP, com diferentes mecanismos computacionais proporcionou uma oportunidade para obter o modelo mais conclusivo. Foram utilizados testes estocásticos não paramétricos, modelos de agregação e análise de sensibilidade para investigar o modelo de classificação mais apropriado para o estudo de caso. Os resultados ilustraram que ELECTRE III, um modelo não compensatório, foi superior aos demais métodos, lidando com a complexidade dos critérios de gerenciamento de inundações.

O trabalho de Efe (2016), teve como objetivo facilitar a tomada de decisões em grupo usando uma integração do *Fuzzy* AHP com o *Fuzzy* TOPSIS e sua aplicação para seleção de *software* de uma empresa eletrônica. Os valores de prioridade dos critérios no problema de seleção de *software* foram determinados usando a extensão *Fuzzy* do método AHP. O resultado do modelo *Fuzzy* TOPSIS pôde ser empregado para definir a alternativa mais adequada em relação aos objetivos de uma empresa em um ambiente incerto. Os resultados indicaram que a

metodologia permitiu diminuir a incerteza e a perda de informação nas tomadas de decisões em grupo.

A pesquisa de Ertay, Kahraman e Kaya (2013) teve como objetivo avaliar as alternativas de energia renovável como uma maneira de resolver os desafios relacionados à energia na Turquia. Foi utilizado comparativamente os métodos multicritérios MACBETH e AHP para a avaliação de alternativas de energia renovável. Utilizou-se quatro atributos principais e 15 subatributos na avaliação. As potenciais fontes avaliadas foram a solar, eólica, hidro geração, biomassa e geotérmica. Na aplicação, o MACBETH e *Fuzzy* AHP obtiveram mesma ordem de classificação de alternativas de energia, embora os dois métodos sejam baseados em diferentes abordagens de avaliação.

Fernandes, Rodrigues e Costa (2015) compararam os métodos AHP e ELECTRE I, buscando justificar qual foi o mais viável no processo de priorização de requisitos de um estudo de caso para a construção de um *software* de boa qualidade. Vários critérios foram utilizados para comparar a aplicabilidade e o desempenho de ambos os métodos MCDM e as partes interessadas, incluindo profissionais de *software*, foram envolvidos. Os resultados confirmaram a intuição dos autores de que o ELECTRE I é mais facilmente aplicável do que o AHP. As conclusões demonstraram que o ELECTRE I está sujeito a menos erros nas comparações dos requisitos do que o método AHP, pois estes são realizados de forma diferente. De acordo com o trabalho, devido à sua complexidade inerente, o AHP torna-se impraticável em projetos de *software* com uma grande quantidade de requisitos.

O estudo de Ferreira e Santos (2016) apresentou uma comparação empírica de três ferramentas, AHP, Delphi e MACBETH, no contexto específico de reajustes em análises de crédito de risco de empréstimos hipotecários. Focou-se em cinco linhas de comparação dos métodos: facilidade de uso; tempo de programação; facilidade de aplicabilidade; precisão; e avaliação geral. Os resultados indicaram que Delphi superou o AHP e MACBETH em termos de facilidade de uso, tempo de programação e facilidade de aplicabilidade. Quanto à precisão, as diferenças obtidas entre AHP e MACBETH não são significativas, e ambos os métodos funcionam melhor do que o Delphi. A maioria dos tomadores de decisão considerou o AHP como a melhor abordagem em um contexto geral.

Gurbuz, Alptekin e Alptekin (2012), exploraram a aplicação de um procedimento de tomada de decisão multicritério híbrido para a avaliação de várias alternativas de *software* ERP (*Enterprise Resource Planning*). O quadro de avaliação proposto integrou três metodologias, ANP, Choquet Integral e MACBETH. O ANP produziu as prioridades das alternativas em

relação aos critérios interdependentes de avaliação. Os comportamentos conjuntivos ou disjuntivos entre critérios foram determinados usando MACBETH e o Choquet Integral. A aplicação numérica da metodologia proposta foi implementada no problema de tomada de decisão de quatro alternativas de projetos ERP. O *ranking* final foi comparado ao obtido ignorando-se as interações entre os critérios. Os resultados demonstraram que a ignorância de interações pode levar a decisões erradas.

O artigo de Hanine *et al.* (2016) utilizou-se dos métodos *Fuzzy* TODIM e o *Fuzzy* AHP para a seleção de localização de um aterro sanitário na região de Casablanca, Marrocos. Os critérios de importância foram: o custo do terreno; a disponibilidade de locomoções; a distância de áreas residenciais; a distância de áreas históricas; a qualidade das águas subterrâneas; o tipo de solo; o custo da infraestrutura; e a distância para os mananciais. Esses critérios foram avaliados para especificar o *ranking* de locais alternativos para selecionar o mais adequado. Embora ambas as técnicas tenham o mesmo objetivo de selecionar o melhor local de aterro para a região, elas mostraram algumas diferenças. No caso da aplicação, com oito critérios e quatro alternativas de locais, o uso da técnica *Fuzzy* AHP foi adequado e, conseqüentemente, a seleção da técnica depende das especificidades das circunstâncias em questão. Por exemplo, ao selecionar uma nova localização para resíduos de aterro, com muitas alternativas e critérios potenciais, o *Fuzzy* TODIM mostrou-se como o melhor método.

Hodgett (2016), avaliou três métodos de decisão de múltiplos atributos para um problema de seleção de equipamentos nos estágios iniciais de um processo de fabricação de produtos químicos. Uma estrutura de *software* que incorpora o AHP, o MARE e o ELECTRE III, foi desenvolvida e distribuída para um gerente de tecnologia de uma empresa. Este gerente, examinou o mesmo problema de decisão usando os três métodos de análise de decisão. Os resultados do estudo foram examinados no que diz respeito à avaliação da capacidade de cada método para fornecer representações precisas das preferências dos decisores e a capacidade de compreender as incertezas presentes. Os decisores identificaram o MARE como seu método preferido, o AHP foi comparativamente mais demorado e mostrou a maior variação de resultados, enquanto o ELECTRE III não conseguiu fornecer um resultado conclusivo.

O estudo de Ishizaka e Siraj (2017) avaliou três ferramentas de decisão multicritérios, SMART, AHP e MACBETH, quanto utilizando-se de experiências baseadas em incentivos. Neste experimento, os participantes foram convidados a comparar cinco cafeterias para ganhar um prêmio. Concluiu-se que, embora a utilidade das diferentes ferramentas multicritérios tenha variado até certo ponto, todas as ferramentas foram consideradas úteis no sentido de que,

quando decidiram mudar sua classificação, seguiram a recomendação da ferramenta. Além disso, o nível de inconsistência nos julgamentos fornecidos não teve efeito significativo sobre a utilidade dessas ferramentas.

Kaya (2010) propôs uma metodologia de avaliação da qualidade de um site de comércio eletrônico da Turquia, baseada em uma abordagem *Fuzzy* TOPSIS modificada. Na metodologia proposta, os pesos dos critérios de avaliação foram gerados por um procedimento *Fuzzy* AHP. Segundo o artigo, nos problemas de avaliação de desempenho, os julgamentos dos peritos geralmente podem ser vagos, e a lógica *Fuzzy* pode lidar com sucesso com esse tipo de incerteza nas preferências humanas. Nove subcritérios em quatro categorias principais foram utilizados na avaliação, e uma análise de sensibilidade também foi elaborada.

Mela *et al.* (2010), comparou a funcionalidade e os resultados fornecidos por diferentes métodos multicritérios em três problemas de teste que representaram várias situações de design de um projeto de construção. O número de critérios nos problemas de teste foram dois, três e quatro. Seis métodos foram selecionados para comparação: WSM (*Weighted Sum Model*), WPM (*Weighted Product Model*), TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE II e PEG (*Pareto Edgeworth Grierson*). O estudo numérico sobre os problemas do teste indicou que, na maioria dos casos, os métodos fornecem soluções diferentes. Embora o método MCDM adequado não seja definido no estudo, foram apresentadas informações sobre o desempenho de cada método na resolução de problemas de design.

Onut, Kara e Isik (2009) desenvolveram uma abordagem de avaliação de fornecedores baseada nos métodos ANP e TOPSIS, com o intuito de ajudar uma empresa de telecomunicações na Turquia, sob um ambiente *Fuzzy*, onde a imprecisão e a subjetividade são tratadas com termos linguísticos parametrizados por números difusos triangulares. Os pesos dos critérios foram calculados como os números difusos triangulares e, em seguida, esses pesos foram inseridos na metodologia *Fuzzy* TOPSIS difusa, de modo a classificar as alternativas. Utilizou-se seis critérios principais para avaliação e escolha do fornecedor mais adequado.

Ozcan, Çelebi e Esnaf (2010) compararam as metodologias AHP, TOPSIS, ELECTRE e Grey Theory com relação as principais características e também a respeito das vantagens e desvantagens dos métodos. O trabalho também aplicou os métodos TOPSIS, ELECTRE e Grey Theory no problema da seleção de local para um armazém de logística. Os métodos TOPSIS e ELECTRE obtiveram resultados semelhantes, apesar das diferenças nos algoritmos de cálculo das metodologias de decisão. Por outro lado, um armazém diferente dos resultados obtidos foi

selecionado como a melhor alternativa. Segundo o estudo, a desigualdade deve-se às diferenças nas fórmulas utilizadas na etapa de padronização dos critérios de desempenho das alternativas.

Passos e Gomes (2005), comparou dois métodos, AHP e TODIM, na tomada de decisão para seleção de material de emprego militar no Brasil. Segundo o estudo, diferentemente do AHP, o método TODIM possui atributos relevantes no âmbito de sua formulação, tendo a possibilidade de executar as atitudes dos agentes de decisão em face ao risco. O estudo de caso revelou que embora os métodos baseiem-se em diferentes modelos, as comparações dos resultados se mostraram semelhantes.

A pesquisa de Regos (2013) teve como objetivo comparar o risco geral de quatro cadeias de energia: carvão; nuclear; gás; e hidroelétrica. Foram aplicados dois modelos de decisão MCDM diferentes, o AHP e o método PROMETHEE. Os critérios de risco selecionados foram: acidentes graves; terrorismo; riscos ambientais e de saúde; e risco de mudanças de preços. Primeiramente, o estudo discutiu os critérios de risco separadamente e depois, na segunda parte, os resultados da comparação são gerados utilizando-se de um sistema de peso arbitrariamente escolhido. Uma análise de sensibilidade foi executada para ampliar a validade dos resultados e demonstrar a força analítica da abordagem multicritérios. Os resultados dos métodos demonstraram semelhanças na ordenação das cadeias de energia.

Ribeiro, Passos e Teixeira (2012), elaborou um estudo para a escolha de seis alternativas de tecnologias de comunicação adequadas aos critérios do Exército Brasileiro. Foram aplicados os métodos AHP e o TODIM. O estudo com o AHP foi detalhado o passo a passo da aplicação até a conclusão do resultado. O *software* Sapiens foi utilizado como suporte no método TODIM. Os resultados demonstraram uma ordenação idêntica para ambos os métodos para a seleção do subsistema rádio de combate. No entanto, para o subsistema rádio de dados, houve uma inversão entre o primeiro e o segundo colocados e outras diversas alterações.

Salminen, Hokkanen e Lahdelma (1998), analisaram os modelos de decisão ELECTRE III, PROMETHEE I, II e SMART no contexto de quatro aplicações para problemas ambientais na Finlândia. O estudo mostrou as diferenças entre os métodos e os resultados obtidos com eles. O trabalho afirma que o PROMETHEE não difere muito do SMART com funções de valores. No entanto, a conclusão da pesquisa recomenda, se possível, que é melhor utilizar vários métodos para o mesmo problema, sendo que quando da utilização de um único método, a pesquisa propõe a aplicação do método ELECTRE III.



Sanchez-Lozano, Cascales e Lamata (2015), propuseram um método para selecionar os melhores locais para a construção de fazendas fotovoltaicas solares, utilizando a costa no sudeste da Espanha como exemplo. Para obtenção dos pesos dos critérios que influenciaram o problema proposto, foi empregado o método AHP. Após isso, os locais adequados foram avaliados e classificados usando os métodos TOPSIS e ELECTRE TRI. Os resultados demonstraram que na comparação entre os métodos TOPSIS e ELECTRE TRI, embora os resultados não coincidiram completamente, verificou-se alguma semelhança entre os dois métodos.

Zeydan, Çolpan e Çobanoglu (2010) apresentaram uma proposta para a seleção de fornecedores e a qualidade da avaliação. A abordagem considerou variáveis qualitativas e quantitativas na avaliação do desempenho para a seleção de fornecedores com base na eficiência e eficácia em fábrica de automóveis da Turquia. Na primeira etapa, a avaliação qualitativa do desempenho foi realizada usando o *Fuzzy* AHP na busca de pesos de critérios e, em seguida, o *Fuzzy* TOPSIS foi utilizado para encontrar o *ranking* de fornecedores. Assim, as variáveis qualitativas foram transformadas em uma variável quantitativa para uso na metodologia DEA, que é uma técnica não-paramétrica que permite comparar dados de entrada e saída sem suposições de ordem estatística, como um resultado chamado auditoria do sistema de gerenciamento de qualidade.

Desta maneira, na literatura pode ser encontrado alguns estudos que comparam ou mesclam os métodos MCDM considerando o contexto de problemas específicos. Hanine *et al.* (2016); Ozcan, Çelebi e Esnaf (2010); e Sanchez-Lozano, Cascales e Lamata (2015), objetivaram selecionar a melhor localização para um determinado negócio. Efe (2016); Fernandes, Rodrigues e Costa (2015); e Gurbuz, Alptekin e Alptekin (2012), aplicaram métodos MCDM com o intuito de priorizar *softwares*. Outros trabalhos como o de Anojkumar, Ilangkumaran e Sasirekha (2014); Hodget (2016); Onut, Kara e Isik (2016); Passos e Gomes (2005); Ribeiro, Passos e Teixeira (2016); e Zeidan, Çolpan e Çobanoglu (2010), tiveram o propósito de selecionar fornecedor, materiais ou equipamentos. Em alguns casos, quando os métodos foram comparados, algumas pesquisas produziram resultados semelhantes, enquanto outras obtiveram variações entre os resultados. Todos os estudos foram conduzidos a partir da realização de uma pesquisa bibliográfica seguida pelo desenvolvimento de modelos de decisão e por aplicação dos métodos. Além dos procedimentos de pesquisa utilizados, outra característica comum a esses estudos é a adoção de parâmetros de comparação bem definidos.

Exemplos desses parâmetros incluem complexidade dos métodos, procedimentos para a avaliação de alternativas e consistência dos resultados fornecidos.

Uma pesquisa realizada por Qaradagui (2016), sustenta que pode não haver nenhuma maneira de se verificar a exatidão dos métodos MCDM, nem como uma melhor metodologia. As duas únicas formas disponíveis para avaliar o desempenho dos métodos MCDM são os estudos empíricos e por meio de comparação. Como é mais desafiador a realização de estudos empíricos de problemas reais de decisão, além de seus fatores subjetivos e de erros técnicos, a comparação dos métodos pode ser considerado mais razoável (SELMÍ *et. al.*, 2013).

Os trabalhos aqui apresentados em que houve algum tipo de comparação entre métodos MCDM, utilizaram parâmetros definidos para a comparação. Parâmetros como vantagens e desvantagens de uso do método são os mais comuns. Lima Junior (2013) listou os parâmetros mais adotados para comparações de métodos multicritérios: vantagens de uso; desvantagens de uso; limitações dos métodos; complexidade computacional; consistência dos resultados; quantidade de interação requerida ao usuário; e grau de usabilidade do método por profissionais e por não especialistas.

#### *1.4.10 Escolha do método MCDM*

A seleção de um método multicritério para um problema de decisão específico não é uma tarefa fácil, considerando a grande quantidade de métodos disponíveis, o que muitas vezes dificulta justificar a escolha. Apesar dos inúmeros métodos disponíveis, nenhum pode ser considerado impecável ou identificado como o método ideal. Todos os métodos têm limitações, suposições, e diferentes características e níveis de sofisticação (ISHIZAKA e NEMERY, 2013).

De acordo com Campos (2011), a escolha do método não deve ser influenciada pela popularidade e/ou facilidade de aplicação, visto que a essência do procedimento é uma eficiente modelagem de preferências. A definição de escolha de um método deve ser um resultado da avaliação dos parâmetros escolhidos, do tipo e da exatidão dos dados, do tipo de raciocínio do decisor, o conhecimento sobre o problema, os resultados aguardados (seleção, ordenação ou classificação) e da necessidade de decisão em grupo. Todos esses fatores são de grande



relevância para a seleção de um método, pois ampliam a confiança nos resultados obtidos, evitando-se assim o retrabalho e o desperdício de tempo (MOREIRA, 2007).

Para Almeida e Costa (2003), a escolha do método vai depender de vários fatores destacando-se as características: do problema analisado, do contexto considerado, da estrutura de preferências do decisor e da problemática em si. Os mesmos autores afirmam que a aplicação de qualquer método de análise multicritério pressupõe a necessidade de se estabelecer quais objetivos o tomador de decisão pretende alcançar, estabelecendo a representação destes múltiplos objetivos pelo uso de múltiplos critérios.

Várias diretrizes foram propostas para ajudar a escolher entre os métodos MCDM. Guitouni e Martel (1998), estudaram 29 dessas abordagens e sugeriram o seguinte procedimento para selecionar um método MCDM apropriado: 1) Identificar os tomadores de decisão. No caso de múltiplos tomadores de decisão, um grupo de tomada de decisão deve ser considerado; 2) Identificar o método de preferência em que o decisor fica mais confortável para trabalhar; 3) Determinar a natureza do problema e o tipo de resultado desejado pelo tomador de decisão; 4) Selecionar o processo pelo qual as informações de entrada podem ser facilmente fornecidas por um tomador de decisão; 5) Considerar o grau de compensação dos critérios aceitável pelo tomador de decisão; 6) Verificar as hipóteses fundamentais do método; 7) Considerar o sistema de apoio à decisão ao escolher o método. Um erro comum é selecionar um método sem entender o procedimento, o que pode ser que seja inaplicável.

## **1.5 Simulação de Tráfego**

Como constatado nas seções anteriores desta dissertação, os métodos MCDM auxiliam os tomadores de decisão a selecionarem, ordenarem ou classificarem uma alternativa entre várias disponíveis. A avaliação de pacotes de *software* envolve a consideração simultânea de múltiplos fatores para ordenar alternativas disponíveis e selecionar a mais adequada (JADHAV e SONAR, 2009). Portanto, a avaliação e ordenação de *softwares* simuladores de tráfego podem ser tratadas como um problema solucionável por meio de métodos multicritérios.

Muitas definições sobre simulação computacional são encontradas na literatura. O Quadro 8 apresenta algumas dessas definições conforme cinco autores distintos.

Quadro 8 - Definições de simulação computacional segundo diferentes autores

Autor (Ano)	Definição
Hollocks (1992)	A simulação é uma técnica de pesquisa operacional que envolve o desenvolvimento de um sistema computacional, que representa alguma parte do mundo real de forma que experimentos no modelo original podem prever os acontecimentos.
Banks (1998)	A simulação abrange, para um determinado sistema, a elaboração de um histórico artificial e sua observação com o intuito de colher inferências sobre as características operacionais do sistema real que é por ele representado. É utilizada para representar e analisar o comportamento de um sistema, argumentando questões do tipo “O que...”, “se...” e auxiliando o projeto sobre o sistema real. Ambos os sistemas conceitual e real podem ser modelados com a simulação.
Prado (2004)	Define-se simulação como uma técnica que, usando o computador, procura-se alçar um modelo que melhor represente o sistema real aplicado.
Kelton, Sadowski e Sturrock (2004)	A simulação computacional de sistemas consiste no uso de um conjunto de metodologias e técnicas matemáticas, com o propósito de reproduzir o comportamento de sistemas reais, geralmente utilizando-se computadores e <i>softwares</i> adequados.
Portugal (2005)	A intenção da simulação é representar ou modelar o comportamento próprio e as relações dos elementos de uma estrutura para permitir uma análise prévia do seu desempenho.

Fonte: O Autor

Sakurada e Miyake (2009) defendem que a simulação pode ser aplicada tanto para planejamento e análise de novos sistemas como também para reconfiguração física ou para avaliar mudanças no controle ou em regras de operação de sistemas reais. As suas aplicações têm crescido em todas as áreas, auxiliando os gestores na tomada de decisão em problemas complexos e possibilitando um melhor conhecimento dos processos nas instituições.

Verifica-se que a utilização das técnicas de simulação tem proporcionado o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a otimização do desempenho operacional dos sistemas de transportes (CUNTO e LOUREIRO, 2011).

Os simuladores de tráfego vêm sendo cada vez mais utilizados no planejamento e operação do sistema de transportes, permitindo análises mais robustas de sistemas com grande complexidade (HOURDAKIS, MICHALOPOULUS e KOTTOMMANNIL, 2003).

Os modelos de tráfego podem ser classificados por atributos relativos à flexibilidade do tráfego, podendo ser modelos de fluxo ininterrupto, onde se admite que não ocorre causas fixas de atrasos ou interrupções externas no fluxo de tráfego, ou modelos de fluxo interrompido, que por sua vez, consideram a existência de obstáculos fixos que propiciam bloqueios temporários e periódicos no fluxo de tráfego (ARAÚJO, 2003).

Segundo Gramani (2010), os modelos de simulação de tráfego também são classificados conforme os níveis de detalhamento, como: macroscópico; mesoscópico; e microscópico.

Escala Macroscópica: O comportamento dos veículos é comparado ao fluxo de um fluido, descartando totalmente a escala microscópica. Neste modelo o estado do sistema é

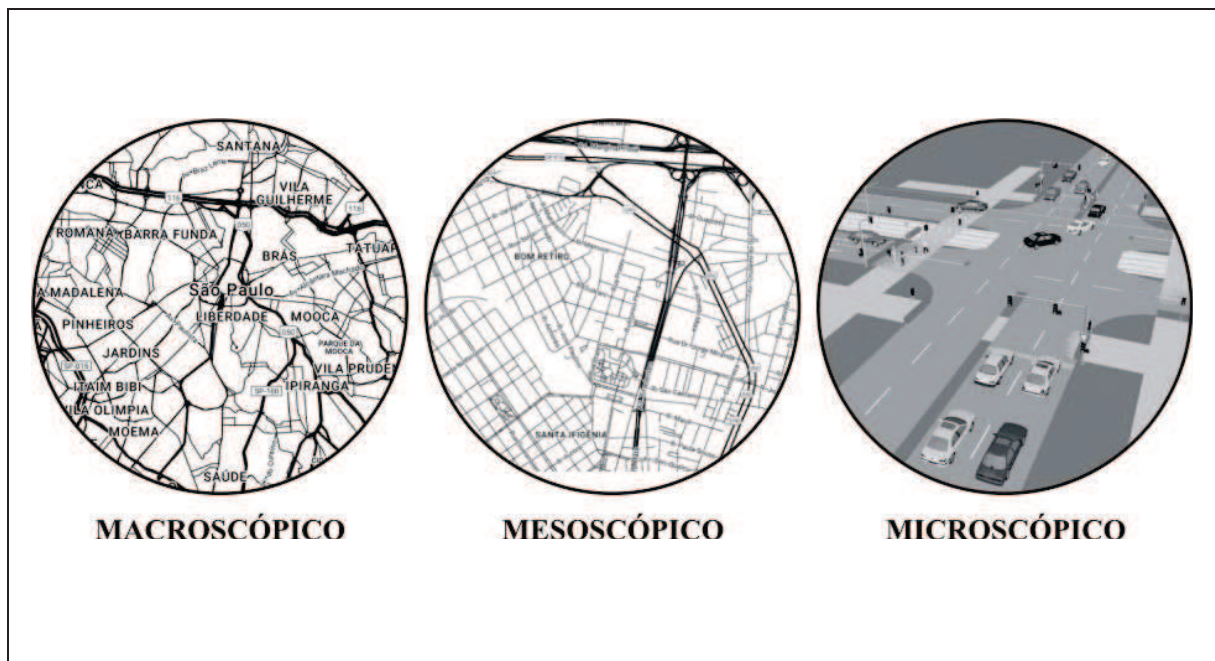
retratado por quantidades médias localmente calculadas, como: a densidade, o momento linear e a energia cinética dos veículos. Os modelos referentes a esta escala são fundamentados na hidrodinâmica de fluídos e são reproduzidos por sistemas de equações diferenciais;

Escala Mesoscópica: A identificação do posicionamento e da velocidade dos veículos é realizada por uma distribuição apropriada de probabilidade sobre o estado microscópico considerado como uma variável aleatória. Os modelos matemáticos concernentes à esta escala são baseados em equações íntegro-diferenciais similares a equação de Boltzmann;

Escala Microscópica: Todos os veículos são avaliados individualmente. O posicionamento e a velocidade de cada automóvel definem o estado do sistema. A modelagem referente a esta abordagem, é realizada por meio de um sistema de equações diferenciais ordinárias representando as leis da mecânica newtoniana. A solução desse sistema providencia a descrição das circunstâncias do fluxo nas vias de tráfego. Neste tipo de modelagem, o tráfego ao longo das vias da rede é gerenciado essencialmente por três submodelos: perseguição veicular (*car-following*), mudança de faixa (*lane-changing*) e aceitação de brechas (*gap-acceptance*). O procedimento de calibração deste tipo de modelo é o de maior complexidade.

A Figura 8 mostra uma representação do nível de detalhe dos modelos de simulação quanto à escala.

Figura 8 - Representação do nível de detalhe dos modelos de simulação



Fonte: O Autor

Segundo Peron (2015), os diferentes campos de aplicação dos modelos, resumidos no Quadro 9, exigem ferramentas com objetivos de aplicações distintas.

Quadro 9 – Aplicação dos modelos de simulação

<b>Modelos</b>	<b>Aplicação</b>
<b>Macroscópico</b>	Planejamento de intervenções estratégicas
	Simulação de médias/grandes áreas
	Implementação de novas vias
	Duplicação de vias
<b>Mesoscópico</b>	Análises de intervenções táticas
	Simulação de médias/grandes áreas
	Implementação de novas vias
	Duplicação de vias
	Definição de rotas de veículos
	Verificação das mudanças de rotas de veículos segundo estímulos
<b>Microscópico</b>	Análises de intervenções operacionais
	Simulação de pequenas/médias áreas
	Análises de esquemas alternativos de controle de tráfego
	Alteração na operação semafórica
	Entrada e saída - Acessos
	Definição de rotas de veículos
	Análise de esquemas de operação de tráfego em área
	Verificação das mudanças de rotas de veículos segundo estímulos

Fonte: Peron (2015)

Com relação às principais vantagens e limitações associadas às abordagens de modelagem macroscópica, mesoscópica e microscópica, o Quadro 10 apresenta de forma sintetizada essas propriedades.

Fundamentando-se em Dion (2012) e nas observações do Quadro 10, a seleção de um modelo de simulador de tráfego específico deve basear-se em uma avaliação completa das necessidades do estudo e nas capacidades dos modelos disponíveis. Embora os modelos microscópicos ofereçam frequentemente o máximo de capacidade e versatilidade de modelagem, a utilização de modelos macroscópicos ou mesoscópicos pode ser considerada para reduzir o custo e a duração de um determinado projeto de avaliação, se os modelos disponíveis puderem fornecer uma alternativa adequada de modelagem.

Quadro 10 - Avaliação comparativa das abordagens de modelagem de simulação

Tipo	Vantagens	Limitações / Desvantagens
Macroscópica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menos dados de entrada do que os modelos microscópicos e mesoscópicos;</li> <li>✓ Capacidade de modelar grandes redes de tráfego;</li> <li>✓ Calibração e validação relativamente simples;</li> <li>✓ Dados necessários para a simulação frequentemente disponíveis sem a conversão de bases de dados DOT (<i>Database of Things</i>) e modelos de demanda regionais;</li> <li>✓ Execução rápida da simulação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Veículos individuais não são modelados;</li> <li>✓ Não servem para analisar problemas onde os efeitos sobre as interações do veículo são críticas (por exemplo, intersecção complexa);</li> <li>✓ Não é possível simular as aplicações ITS (<i>Intelligent Transport Systems</i>) visando veículos específicos;</li> <li>✓ Capacidade limitada de simular em tempo real e controle de sinalização de trânsito adaptável (em alguns modelos é possível com Intervalos de tempo curtos).</li> </ul>
Mesoscópica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Melhor representação do comportamento de viagens individuais do que os modelos macroscópicos;</li> <li>✓ Calibração e validação relativamente simples;</li> <li>✓ Capacidade de modelar grandes redes;</li> <li>✓ Execução relativamente rápida da simulação;</li> <li>✓ Pode ser usado para executar atribuições de tráfego dinâmico em grandes redes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não serve para analisar problemas onde replicações precisas de interações entre indivíduos e veículos são importantes;</li> <li>✓ A modelagem pode basear-se em métodos heurísticos, não em regras comportamentais claramente definidas (modelos microscópicos) ou teoria de tráfego (modelos macroscópicos);</li> <li>✓ Só pode modelar planos aproximados de temporização de sinalização.</li> </ul>
Microscópica	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Simula o comportamento de veículos individuais;</li> <li>✓ Interações entre veículos individuais;</li> <li>✓ Interações intermodais;</li> <li>✓ Pode analisar estratégias ou situações operacionais complexas (por exemplo, interseções complicadas, custo de congestionamentos, etc.);</li> <li>✓ Capacidade de modelar situações em que o comportamento da pista é afetado pelos atrasos de tráfego em pistas adjacentes;</li> <li>✓ Pode simular esquemas complexos de controle de sinalização de trânsito;</li> <li>✓ As animações que mostram os movimentos de veículos individuais são ferramentas efetivas para analisar os resultados de simulação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Necessidade de grande quantidade de dados de entrada para modelar adequadamente;</li> <li>✓ Requer significativa atenção na qualidade e consistência de dados;</li> <li>✓ A calibração dos parâmetros pode ser demorada e dispendiosa;</li> <li>✓ As necessidades computacionais e a complexidade do modelo criam dificuldade na simulação de grandes redes viárias;</li> <li>✓ Certos parâmetros específicos e necessários são difíceis de medir diretamente;</li> <li>✓ Os parâmetros de modelagem geralmente são específicos da localização e podem não ser transferíveis para outros locais sem ajustes;</li> <li>✓ Alterações simples na codificação de elementos das vias podem resultar em mudanças significativas nos resultados da simulação;</li> <li>✓ Muitas vezes requer a criação de origem e zonas de destino menores do que o modelo de demanda, criando uma necessidade de ajustar os roteiros previstos pelo modelo de demanda;</li> <li>✓ Alto tempo de processamento, especialmente em computadores de baixo desempenho;</li> <li>✓ Requer um alto grau de experiência em modelagem.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Dion, Sivakumaran e Ban (2012)

De maneira geral, todos os modelos apresentam vantagens e desvantagens em seu uso. No Quadro 11 são apresentados os principais softwares simuladores de tráfego utilizados na atualidade, suas classificações quanto ao modelo de fluxo, e informações sobre os provedores do produto.

Quadro 11 - Classificação dos *softwares* simuladores de tráfego

<b>Modelo</b>	<b>Simulador</b>	<b>Desenvolvedor / País</b>
<b>Macroscópico</b>	AIMSUN	Universitat Politecnica de Catalunya en Barcelona / Espanha
	AUTOS	Georgia Tech Research Institute / Eua
	CORFLO	Federal Highway Administration / Eua
	METANET	Technical University of Munich / Alemanha
	TRANSYT-7F	Federal Highway Administration / Eua
	TEXAS	University of Texas / Eua
<b>Mesoscópico</b>	AIMSUN	Universitat Politecnica de Catalunya en Barcelona / Espanha
	CUBE AVENUE	Citilabs / Eua
	DYNAMIT	Massachusetts Institute of Technology / Eua
	DYNANEMO	Innovative Concepts / Eua
	DYNASMART-P	University of Texas at Austin / Eua
	TRANSIMS	Los Alamos National Laboratory / Eua
<b>Microscópico</b>	AIMSUN	Universitat Politecnica de Catalunya en Barcelona / Espanha
	ARCHISIM	French National Institute for Research in Transportation and Safety / França
	CORSIM	Federal Highway Administration / Eua
	INTEGRATION	Queens University, Transport Research Group / Canadá
	MATSIM	ETH Zurich / Suíça
	MITSIM	Massachusetts Institute of Technology / Eua
	PARAMICS	The Edinburgh Parallel Computing Centre and Quadstone Ltd. / Reino Unido
	SIMTRAFFIC	Trafficware, The Traffic Signal Software Company / Eua
	SUMO	German Aerospace Center (DLR) / Alemanha
	TRANSIMS	Los Alamos National Laboratory / Eua
	TRANSMODELER	Caliper Corporation / Eua
VISSIM	PTV Planung Transport Verkehr AG / Alemanha	

Fonte: Adaptado de Neves e Galhardi (2017)

## 1.6 Softwares simuladores de tráfego

O número de simuladores disponíveis no mercado é bastante significativo. Existem simuladores comerciais, que precisam ter suas licenças de uso adquiridas, e os simuladores de código aberto, à disposição dos usuários de forma gratuita. A seguir, estão descritos de forma sucinta alguns exemplos destes sistemas.



### 1.6.1 Softwares de código aberto (open-source)

Para os *softwares open-source*, os usuários podem estudar os códigos-fonte, suas instruções e detalhar a forma como o sistema funciona. Os simuladores dessa categoria podem ser incrementados por pesquisadores e colaboradores da área de pesquisa de tráfego pela introdução de seus próprios algoritmos. Como principais exemplos de simuladores de código aberto, podem ser citados o MATSIM, MITSIMLab, SUMO e TRANSIMS.

O MATSIM (*Multi-Agent Transport Simulation*) é um modelo microscópico desenvolvido pela Escola Politécnica de Zurique e fornece um conjunto de ferramentas para implementar grandes simulações baseadas em agentes. De acordo com Samuelson e Macal (2006), as simulações baseadas em agentes estão fundamentadas na modelagem do comportamento humano e tomada de decisão individual. Isso ocasiona a necessidade de representar interações sociais, comportamento de grupo, colaboração e estruturas sociais complexas. O *software* é bastante utilizado para simular o tráfego em: Zurique na Suíça; em Berlim na Alemanha; em Padang na Indonésia; e em Toronto, no Canadá. O modelo pode simular o tráfego de uma vasta região ao longo do dia, porém, não interpreta o comportamento de veículos individuais. O MATSIM utiliza uma abordagem baseada na atividade para a geração de demanda. O simulador gera planos de atividades individuais como entrada para a rede, em vez das matrizes de origem e destino, como normalmente utilizado em uma tarefa de tráfego dinâmico (MATSIM, 2017).

O MITSIMLab (*Microscopic Traffic Simulation Laboratory*), foi desenvolvido no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Este é um simulador de tráfego microscópico que além de avaliar os impactos de sistemas alternativos de gerenciamento de tráfego, também considera os sistemas de informação para passageiros e as operações de transporte. O *software* pode avaliar sistemas avançados de gerenciamento de tráfego e de orientação rodoviária. Os elementos de tráfego e rede são representados em detalhes para capturar desde a sensibilidade dos fluxos de tráfego até as estratégias de controle e rotas. Trata-se de um aplicativo de código aberto onde seus principais modelos foram escritos em C++ e estão totalmente disponíveis. O *software* já foi aplicado com sucesso em vários estudos de tráfego e pesquisa nos Estados Unidos, Reino Unido, Suécia, Itália, Suíça, Japão, Coreia do Sul, Malásia e Portugal (YANG e KOUTSOPOULOS, 1996).

O SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) é um simulador microscópico desenvolvido no Centro Aeroespacial Alemão. Neste sistema, os veículos podem mover-se livremente, possibilitando acidentes entre os veículos. Cada veículo tem sua própria via e as rotas dos veículos são dinâmicas. O comportamento do veículo é levado em consideração, como por exemplo, a mudança de faixas. No SUMO, as estradas são mostradas como uma pluralidade de pistas, as larguras de cada faixa e de cada veículo são fixas. O SUMO não considera os diferentes tipos de veículos e permite a modelagem de sistemas de tráfego intermodal, incluindo veículos rodoviários, transportes públicos e pedestres. O SUMO pode ser aprimorado com modelos personalizados e fornece várias APIs (*Application Programming Interface*), que objetivam a atribuição ou conexão com outros modelos de simulação para controlar remotamente a simulação (BEHRISCH *et al.*, 2011). De acordo com Silva e Galhardi (2016), o SUMO não se trata somente de um simulador de mobilidade, mas sim uma suíte de aplicações que proporciona o planejamento e execução da simulação.

O TRANSIMS (*Transportation Analysis and Simulation System*), foi desenvolvido no Laboratório Nacional de Los Alamos, nos Estados Unidos. Trata-se de um modelo integrado de ferramentas mesoscópicas e microscópicas para realizar análises de um sistema de transporte regional baseado em um autômato celular. O *software* utiliza um paradigma de modelagem de passageiros individuais e transporte multimodal, isto é, o transporte de mercadorias por pelo menos dois modos sucessivos de transporte. Exemplificando, parte da viagem pode ser transportada em rodovias, e outra parte por ferrovias ou transporte marítimo. O TRANSIMS difere de outros métodos de previsão de demanda de viagens em seus conceitos e estruturas subjacentes. Essas diferenças incluem uma consistente e contínua representação do tempo, uma detalhada representação de pessoas e famílias e tempo dependente de roteamento (SMITH *et al.*, 1995).

### 1.6.2 Softwares comerciais

Os *softwares* comerciais são desenvolvidos com o objetivo de satisfazer uma demanda específica ou oferecer uma nova ferramenta que auxilie na resolução de problemas existentes no mercado. São sistemas comercializados por meio de licenças e que fornecem atualizações e suporte aos seus clientes (RODRIGUES, 2014).



Como principais exemplos de simuladores comerciais, podem ser citados o AIMSUN, ARCHISIM, CORSIM, INTEGRATION, PARAMICS, SIMTRAFFIC, TRANSMODELER e VISSIM.

O AIMSUN (*Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks*), disponibilizado pelo TSS (*Transport Simulation Systems*) da Espanha, é capaz de reproduzir as condições reais de tráfego de qualquer rede de transporte. O AIMSUN integra em um único *software* os modelos macroscópico, mesoscópico e microscópico. É, entre outros, utilizado para desenvolver e testar os sistemas de controle de tráfego, regras de gerenciamento de tráfego, controles de acesso, localização de pedágios, redes de transporte público e faixas de vias. Pode trabalhar em conjunto com os sistemas de orientação veicular, além de outras aplicações em tempo real. O modelo tem muitas vantagens em relação a outros *softwares* comerciais, pois, permite modelar os diferentes tipos de rede na mesma simulação. O AIMSUN é incorporado ao GETRAM (*Generic Environment for Traffic Analysis and Modeling*), um ambiente de simulação composto por um editor de rede de tráfego, uma base de dados de rede, um módulo para executar a simulação e uma interface API. O modelo é capaz de se comunicar com aplicativos externos definidos pelo usuário, como por exemplo, a lógica de controle em tempo real (CASAS *et al.*, 2010).

O ARCHISIM foi desenvolvido pela equipe de Modelagem e Simulação do INRETS (*Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité*), na França. Se trata de um modelo microscópico de simulação comportamental e sua implementação segue os conceitos de multiagentes. De acordo com Alvares e Sichman (1997), os sistemas multiagentes compreendem o comportamento de um conjunto de agentes autônomos, ocasionalmente com atributos diferentes, progredindo em um ambiente comum. Estes agentes podem interagir uns com os outros, com a meta de efetivar suas tarefas de modo cooperativo, compartilhando informações, evitando conflitos e coordenando a execução de atividades. Os motoristas de veículos são os agentes simulados. As funções do programa são baseadas em três processos principais: percepção, decisão e ação. No ARCHISIM existem dois tipos de componentes simulados: agentes e objetos. Os agentes reúnem informações, estratégias e, em seguida, enviam as informações. Os principais agentes de simulação são os motoristas e os pedestres. Os objetos são, por exemplo, as sinalizações de estrada. Cada motorista simulado é um agente de *software* autônomo que evolui em um ambiente virtual e interage com os outros agentes da simulação realizando seus objetivos de acordo com suas habilidades e a situação atual (BONTE, ESPIE e MATHIEU, 2006).

O CORSIM (*Corridor Simulation*), foi patrocinado e desenvolvido pela *Federal Highway Administration* (FHWA). É um *software* de simulação microscópica para sistemas de sinalização, redes rodoviárias e sistemas rodoviários. Consiste em um conjunto integrado de dois modelos que representam o ambiente de todo o tráfego. O NETSIM (*Network Simulator*) representa o tráfego nas vias da cidade e o FRESIM (*Freeway Simulator*) representa o tráfego em rodovias e estradas. O CORSIM fornece sua própria conexão e *driver* de *software*. Além da interface do usuário, o CORSIM disponibiliza acesso a um processador de saída de dados. Esse processador de saída permite que o usuário acumule estatísticas e dados de resumos selecionados pelo usuário durante várias aplicações do *software* (HALATI, LIEU e WALKER, 1997).

O INTEGRATION foi desenvolvido por Michel Van Aerde em 1983 e continuada pelo professor Hesham Rakha a partir de 1999. Se trata de um modelo de simulação de tráfego microscópico. As duas características mais importantes do *software* INTEGRATION são: é o primeiro modelo a tentar integrar estradas e vias arteriais; e, integra a atribuição de tráfego e a simulação microscópica no mesmo modelo. O nome INTEGRATION decorre desse fato. O *software* é capaz de fornecer dados detalhados suficientes sobre o comportamento do condutor, rastreando os movimentos individuais dos veículos desde a sua origem até o seu destino a um nível de resolução de um décimo de segundo. Além disso, o modelo é capaz de calcular uma série de medidas de eficácia, incluindo atrasos, paradas, emissões e consumo de combustível, bem como o risco de colisão para 14 tipos de acidentes (VAN AERDE e RAKHA, 2007).

O PARAMICS (*Parallel Microscopic Simulation*) é comercializado pela Quadstone Paramics, do Reino Unido. É um *software* de modelo microscópico totalmente projetado para lidar com diversos cenários tais como: uma interseção com uma rodovia congestionada ou na modelagem de um sistema de tráfego da cidade inteira. Tudo isso ajuda a criar uma representação realista da paisagem, com visualizações de duas dimensões (2D) e três dimensões (3D). O programa pode modelar ônibus, trens e também simula pedestres. É usado em diferentes padrões de tráfego (urbano, interurbano, túnel, porto e estacionamento) em muitos países. Um modelo do PARAMICS é representado por uma combinação de "nós, links e outros objetos associados" para replicar restrições e geometrias semelhantes às encontradas em campo. Após a liberação de uma zona de origem, cada veículo tenta completar sua jornada em direção a uma zona de destino, sendo limitado por parâmetros físicos e dinâmicos do veículo. Com o uso da microssimulação, o PARAMICS permite que os usuários simulem movimentos individuais dos veículos para prever o comportamento futuro do padrão de viagem como

resultados de uma mudança no volume de tráfego ou na disposição geométrica da estrada (CAMERON e DUNCAN, 1996).

O SIMTRAFFIC é comercializado pela Trafficware, dos Estados Unidos. É um modelo microscópico que usa o comportamento do motorista e algoritmos de desempenho do veículo para simular movimentos individuais de veículos por meio de uma rede. As capacidades do SIMTRAFFIC foram expandidas nas versões subsequentes para modelar recursos adicionais, como rotas, rampas e rotatórias. Uma desvantagem significativa do *software* é a falta de funções de API ou o suporte de informações de saída detalhadas de estado do veículo (HUSCH e ALBECK, 2000).

O TRANSMODELER é comercializado pela Caliper Corporation, dos Estados Unidos. Este programa pode simular todos os tipos de redes rodoviárias, rodovias e áreas do centro de uma cidade, além de poder analisar redes multimodais. Pode-se modelar e visualizar o comportamento de sistemas complexos de circulação em um ambiente de duas ou três dimensões, ilustrando e avaliando a dinâmica dos fluxos de tráfego, semáforos e desempenho geral da rede. O TRANSMODELER modela rodovias e vias urbanas na mesma rede com modelos de comportamento do condutor que são sensíveis a complexas interações entre veículos em áreas de cruzamentos e intersecções. É possível modelar faixas exclusivas, pistas de ônibus e instalações de pedágio para entender melhor seus efeitos no trânsito. O *software* também pode ajudar na elaboração de planos de evacuação em caso de cenários de desastres naturais, vazamentos químicos ou outras emergências (TRANSMODELER, 2017).

O VISSIM foi desenvolvido pela PTV (*Planung Transport Verkehr AG*) em Karlsruhe, na Alemanha. Faz parte do *Vision Traffic Suite* que também inclui o PTV VISUM, que realiza análise e previsão de tráfego, e do PTV VISTRO, que modela a otimização de sinalizações e impactos no trânsito. O VISSIM é um dos *softwares* de simulação mais utilizados para simular, avaliar e validar novas políticas de transporte e sistemas de controle. O VISSIM é um simulador multimodal que permite aos usuários definir uma gama completa de tipos de veículos, incluindo carros de passageiros, ônibus, caminhões e veículos pesados e leves, bem como pedestres e ciclistas. Uma característica muito importante do VISSIM que o separa de outros programas de simulação é a conexão de programação do seu modelo de interface COM (*Component Object Model*). O COM é um padrão de interface binária introduzido pela Microsoft a fim de permitir o acoplamento entre aplicações independente da linguagem em que estas aplicações têm sido desenvolvidas. A interface COM permite aos usuários desenvolver e implementar suas próprias aplicações na rede VISSIM, usando linguagem de programação de computador, como C++,

Visual Basic ou Python. A interface COM fornece aplicativos desenvolvidos pelo usuário com acesso à topologia de rede, controle de semáforos, fluxos de rotas e comportamento do veículo, permitindo assim ao VISSIM modelar sistemas complexos de controle de lógica e sofisticação de sistemas e componentes (VISSIM, 2009; FELLENDORF e VORTISCH, 2010). Na Figura 10 é apresentada uma tela do *software* VISSIM.

Figura 9 – Visualização gráfica do simulador VISSIM



Fonte: PTV VISSIM (2017)

### 1.6.3 Aplicações comparativas de softwares simuladores de tráfego

Nos últimos anos, diversos estudos foram realizados para avaliar diferentes pacotes de simulação de tráfego e sua capacidade quanto à modelagem adequada a respeito de configurações de sistemas de transporte. Vários trabalhos se concentraram na comparação dos simuladores de tráfego. Nesta seção, é apresentada parte de uma revisão sistemática da literatura envolvendo análises comparativas dos simuladores, conforme artigos listados no Quadro 12. O método de pesquisa utilizado nesta revisão para levantamento dos artigos está descrito no capítulo 2.1.

Quadro 12 – Estudos envolvendo comparações entre simuladores de tráfego

<b>Autor (ano)</b>	<b>Periódicos</b>	<b>Simuladores comparados</b>
Allan e Farid (2015)	IEEE Intelligent Transportation Systems	MATSIM, SUMO, TRANSIMS
Bham (2011)	Transportation Letters	AIMSUN, VISSIM
Bloomberg e Dale (2000)	Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board	CORSIM, VISSIM
Cvitanic, Breski e Lovric (2013)	PROMET – Traffic & Transportation	CORSIM, S-PARAMICS
Essa e Sayed (2015)	Journal of advanced transportation	PARAMICS, VISSIM
Fang e Elefteriadou (2005)	Journal of Transportation Engineering	AIMSUN, CORSIM, VISSIM
Gagnon <i>et al.</i> (2008)	Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board	aaSIDRA, PARAMICS, RODEL, SIMTRAFFIC, VISSIM
Ge, Ciuffo e Menendez (2014)	IEEE Intelligent Transportation Systems	AIMSUN, VISSIM
Ghariani <i>et al.</i> (2014)	IEEE Advanced Logistics and Transport	AIMSUN, ARCHISIM, CORSIM, PARAMICS, SUMO, TRANSIMS, VISSIM
Hidas (2006)	WIT Transactions on The Built Environment	AIMSUN, ARTEMIS, PARAMICS, VISSIM
Kokkinogenis <i>et al.</i> (2011)	IEEE Iberian Conference on Information Systems and Technologies	AIMSUN, ITSUMO, MAS-T2erLab, MITSIM, PARAMICS, SUMO, VISSIM
Lu <i>et al.</i> (2010)	IEEE Intelligent Transportation Systems	PARAMICS, TRANSMODELER, VISSIM
Maciejewski (2010)	Transport Problems	SUMO, TRANSIMS, VISSIM
Meingast, Pell e Schauer (2013)	European Transport Conference	AIMSUN, CORSIM, CUBE, DRACULA, FREESIM, GEVAS, PARAMICS, PELOPS, PTV OPTIMA, S-PARAMICS, SUMO, TRANSMODELER
Nazareth, Sousa e Ribeiro (2015)	XIII Congresso Rio de Transportes	AIMSUN, CORSIM, DRACULA, PARAMICS, SIMTRAFFIC, TRANSMODELER, VISSIM
Panwai e Dia (2005)	IEEE Intelligent Transportation Systems	AIMSUN, PARAMICS, VISSIM
Rakha e Crowther (2005)	Transportation Research Part A: Policy and Practice	CORSIM (FRESIM), INTEGRATION
Ratrout e Rahman (2009)	The Arabian Journal for Science and Engineering	AIMSUN, CORFLO, CORSIM, DYNAMIT, HYSTRA, INTEGRATION, KRONOS, KWAVES, MICMAC, MITSIMLab, PARAMICS, SATURN, SIMTRAFFIC, VISSIM
Rilett, Kim e Raney (2000)	Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board	CORSIM, TRANSIMS
Saidallah, Fergoughi e Elalaoui (2016)	MATEC Web of Conferences	AIMSUN, ARCHISIM, CORSIM, MATSIM, MITSIMLab, PARAMICS, SIMTRAFFIC, SUMO, TRANSIMS, TRANSMODELER, VISSIM
Shaaban e Kim (2015)	Procedia - Computer Science	SIMTRAFFIC, VISSIM
Soria, Elefteriadou e Kondyli (2014)	Simulation Modelling Practice and Theory	AIMSUN, CORSIM, MITSIM, CORSIM modificado
Sun, Zhang e Chen (2013)	Simulation Modelling Practice and Theory	CORSIM, VISSIM
Tianzi, Shaochen e Hongxu (2013)	Procedia-Social and Behavioral Sciences	SIDRA, VISSIM
Yin e Qiu (2013)	Canadian Journal of Civil Engineering	METANET, VISSIM
Yun e Park (2012)	Journal of Transportation Engineering	CORSIM, VISSIM

Fonte: O Autor



De acordo com o apresentado na Quadro 12, a comparação do VISSIM com o AIMSUN ocorreu nos trabalhos de Bham (2011); Fang e Elefteriadou (2005); Ge, Ciuffo e Menendez (2014); Ghariani *et al.* (2014); Hidas (2006); Kokkinogenis *et al.* (2011); Nazareth, Sousa e Ribeiro (2015); Panwai e Dia (2005); Ratrout e Rahman (2009); e Saidallah, Fergoughi e Elalaoui (2016). Além da comparação com o AIMSUN, o VISSIM também apresenta um número considerável de comparações com os softwares CORSIM e o PARAMICS. Outras opções, não tão frequentes na literatura, como o HYSTRA, GEVAS, PELOPS, KWAVES, e, MAS-T2erLab também foram aplicados nos estudos.

Allan e Farid (2015), desenvolveram uma análise benchmark de ferramentas de simulação de transporte e eletrificação. O objetivo foi chegar a uma conclusão definitiva a respeito de qual ferramenta *open source* é mais adequada para a avaliação de transporte elétrico. Foi realizado um exame detalhado dos simuladores MATSIM, SUMO e TRANSIMS. Com qualificações e limitações, o *software* MATSIM, segundo os autores, pode ser considerado a ferramenta de código aberto mais adequada com a funcionalidade mais avançada para avaliar veículos elétricos.

O artigo de Bham (2011), apresentou o desenvolvimento e validação de um modelo de simulação de tráfego microscópico para o comportamento do motorista quanto a mudança de faixa em seções de rodovias. O modelo foi validado no nível microscópico comparando as trajetórias dos veículos da simulação com os dados de campo, enquanto que a validação macroscópica foi realizada utilizando testes estatísticos e de erro para velocidade média e densidade de seção. A frequência de mudança de faixa do modelo proposto também foi comparada com os dados de campo e os autores observaram boas consistências. Os resultados do modelo proposto foram comparados com os *softwares* VISSIM e AIMSUN.

O trabalho de Bloomberg e Dale (2000), resumiu os resultados de uma análise abrangente das operações de tráfego realizada com dois modelos de simulação de tráfego. Os autores realizaram uma análise quantitativa abrangente das saídas do VISSIM e do CORSIM. Isso foi feito utilizando-se duas medidas de desempenho: tempo de viagem específico da rota e tempo de viagem do sistema. Além disso, três análises estatísticas foram realizadas para comparar os dois modelos: análise de sensibilidade ao tempo de viagem e testes para diferenças de tempo de viagem e taxa de transferência. Os resultados mostraram a consistência geral e a razoabilidade das ferramentas de simulação sob condições de rua arterial congestionadas e proporcionaram a todos envolvidos uma confiança na análise.

O estudo de Cvitanic, Breski e Lovric (2013) apresentou uma comparação da possibilidade e complexidade do processo de calibração de dois modelos de microssimulação, os *softwares* CORSIM e S-PARAMICS, nas condições locais de uma rua urbana e sinalizada localizada na cidade de Split, na Croácia. Conforme os autores, ambos os programas resultaram em uma boa previsão da capacidade e volume da interseção de rua. No entanto, para a calibração de velocidade foram necessários mais tempo e esforços no S-PARAMICS. Por outro lado, concluiu-se que o S-PARAMICS possui capacidades maiores que o CORSIM quanto à modelagem de rotatórias, atribuição de tráfego dinâmico e oportunidade de interagir com semáforos.

O estudo de Essa e Sayed (2015), investigou a relação entre conflitos medidos em campo e conflitos simulados no microssimulador PARAMICS, aplicando-se a ferramenta SSAM. A aplicabilidade do procedimento de calibração foi validada e os resultados obtidos do PARAMICS foram comparados com os dados obtidos do VISSIM em outro estudo. Embora os testes no PARAMICS e no VISSIM tenham resultado em correlações próximas após o segundo passo de calibração, os resultados em um limiar específico mostraram que o PARAMICS superestima o número de conflitos enquanto a VISSIM os subestima. De acordo com os autores, apesar da boa correlação obtida com o processo de calibração, tanto o PARAMICS quanto o VISSIM não conseguiram capturar o mecanismo de ocorrência de conflito real, conforme os dados obtidos em campo.

O principal objetivo da pesquisa de Fang e Elefteriadou (2005), foi avaliar as capacidades de três modelos de simulação comercialmente disponíveis com uma ampla avaliação dos parâmetros de calibração e identificar esses elementos que são críticos na simulação de cenários específicos. Esses elementos incluíram características de layout geométrico, sinalização, necessidades de calibração, medidas de desempenho de saída fornecidas e precisão dos resultados em relação aos valores de medidos em campo.

O estudo de Gagnon *et al.* (2008), teve como objetivo avaliar o potencial de calibração de modelos analíticos e de microssimulação para replicar operações em rotatórias modernas. Os modelos considerados foram aaSIDRA e RODEL, no lado analítico, e PARAMICS, SIMTRAFFIC e VISSIM, no lado da microssimulação. Para este estudo, foram selecionadas duas rotatórias de New Hampshire, nos Estados Unidos, e foram filmadas durante as condições de hora de pico. As saídas de atraso de abordagem dos modelos foram comparadas com o atraso de campo medido das imagens de vídeo. Entre as conclusões do estudo, os modelos atuais de

análise de rotatória variam em relação às opções de calibração, sendo que a calibração pode ter um impacto significativo na melhoria dos resultados dos modelos.

A pesquisa de Ge, Ciuffo e Menendez (2014), apresentou dois estudos experimentais que utilizaram dois modelos diferentes de simulação de tráfego, AIMSUN e VISSIM, para comparar essas duas abordagens e para entender melhor suas vantagens e desvantagens. Os resultados mostraram que ambas as abordagens são capazes de identificar, em um bom grau, os parâmetros importantes. Em particular, o quase-OTEE foi melhor para rastrear os parâmetros, enquanto que análise de sensibilidade baseada em Kriging teve maior precisão na classificação dos parâmetros.

No trabalho de Ghariani *et al.* (2014), os autores fizeram uma comparação de sete simuladores, de acordo com a capacidade de simular o transporte público e determinados critérios. Os autores concluíram que os simuladores AIMSUN e PARAMICS oferecem a capacidade de importar imagens aéreas que podem ser utilizadas como fundo e como guia no desenvolvimento de redes rodoviárias. Também, segundo os autores, as visualizações 3D oferecidas no AIMSUN e no VISSIM tem melhor apresentação do que no PARAMICS. No PARAMICS, os veículos aparecem como blocos 3D sem características distintas. No entanto, nos *softwares* AIMSUN e VISSIM os veículos aparecem com detalhes e atributos. Também se notou que apenas o VISSIM simula o desembarque e o embarque de passageiros em uma parada de ônibus tanto no lado esquerdo quanto no lado direito da estrada.

O artigo de Hidas (2006), apresenta os resultados de uma avaliação comparativa do comportamento *car-following* de simuladores microscópicos de tráfego. O documento descreve os resultados da calibração e validação do modelo implementado no simulador ARTEMiS, desenvolvido pelo autor. Uma comparação dos resultados mostrou que o modelo ARTEMiS produziu a correspondência mais próxima aos dados observados em campo em comparação aos *softwares* AIMSUN, PARAMIS e VISSIM. No entanto, quando são modelados vários motoristas no *software* ARTEMiS, não é possível calibrar o modelo para cada motorista individualmente.

O artigo desenvolvido por Kokkinogenis *et al.* (2011), apresenta uma comparação de sete simuladores com base em critérios como visualização, expansão do simulador e orientação. Classificou-se os simuladores conforme a capacidade de modelar carros, ônibus, caminhões, trens, bicicletas, pedestres, semáforos, circuitos eletromagnéticos, câmeras, etc. Os autores constataram que os *softwares* MITSIM (*Microscopic Traffic Simulator*) e SUMO não possuem visualização em 3D. Observou-se também que o MITSIM não oferece capacidade de expansão,



contudo, como o simulador é de código aberto, os pesquisadores podem modificar e ampliar o seu núcleo. Cada simulador tem recursos avançados, o VISSIM possui parâmetros que permitem a flexibilidade de suas funções, o PARAMICS é adequado para uso de recursos em máquinas distribuídas. O AIMSUN oferece várias opções para a sua extensão e o SUMO possui uma arquitetura flexível.

O trabalho de Lu *et al.* (2010), comparou os comportamentos de transição do fluxo de tráfego de três *softwares* de simulação em um cenário único. Segundo os autores, os resultados sugerem que os modelos *car-following* no VISSIM e no TRANSMODELER, com seus parâmetros padrão, correspondem a diferentes conjuntos de densidades críticas nos diagramas fundamentais. Os autores concluíram que sem ajustar adequadamente os parâmetros, a comparação dos resultados de simulação desses *softwares* não é confiável, mesmo para as mesmas redes rodoviárias. O trabalho trouxe alguns resultados de comparação interessantes para revelar as características escondidas por trás dos três *softwares* de simulação, PARAMICS, TRANSMODELER e VISSIM. O trabalho conclui que cada um dos *softwares* oferece exemplos de parâmetros mutáveis e que se pode ajustá-los para que as simulações se encaixem nas observações empíricas.

A pesquisa de Maciejewski (2010), forneceu uma comparação de três simuladores de tráfego aplicados em um fragmento de uma rede urbana real localizada na Polônia. Em geral, os autores constataram que o modelo SUMO teve capacidade muito baixa em comparação com a capacidade da rede real, entretanto, foi considerado difícil avaliar se as capacidades do VISSIM e TRANSIMS foram consistentes ou melhores que a rede real. No entanto, apesar de algumas diferenças nas medidas quantitativas, observaram-se efeitos semelhantes aos da propagação do fluxo de tráfego em todos os três *softwares*.

O trabalho de Meingast, Pell e Schauer (2013), apresenta os resultados de um processo de avaliação de 12 sistemas de simulação de tráfego e expectativas dos usuários de um projeto em andamento na Áustria. Os pesquisadores obtiveram os resultados das avaliações e estes mostram que os sistemas de simulação existentes podem estimar a atual situação do tráfego e prever as condições de tráfego. Também afirmam que todos os sistemas tentam fornecer enormes quantidades de funcionalidades, mas falham ao fornecer todas as utilidades. A pesquisa também ressaltou que existe uma falta de aplicações nos simuladores de tráfego especialmente projetadas para redes heterogêneas de transporte rodoviário em regiões periféricas.

O estudo de Nazareth, Sousa e Ribeiro (2015) apresentou uma visão geral sobre os alguns *softwares* simuladores utilizados por especialistas em Engenharia de Tráfego. O trabalho descreveu os simuladores utilizados para uma rede de tráfego e suas aplicabilidades. Também comparou as diferentes estratégias adotadas entre os simuladores. Conforme os autores, com referência aos modelos de microssimulação analisados, o programa que promove o menor tempo entre a montagem da rede, a entrada dos dados e os ajustes dos parâmetros é o CORSIM. Nas condições que foram necessárias as representações das interações entre vias urbanas e vias expressas por meio de rampas de acesso e entrelaçamento, o simulador VISSIM mostrou-se mais adequado em comparação com o CORSIM e o PARAMICS.

O trabalho de Panwai e Dia (2005), apresenta os resultados de uma avaliação comparativa do comportamento *car-following* em três simuladores de tráfego. Os resultados mostraram valores de erro menores para os modelos baseados em Gipps implementado no AIMSUN e valores de erro semelhantes para os modelos de espaçamento psicofísico usados no VISSIM e no PARAMICS. Um teste qualitativo mostrou essencialmente como a distância entre os veículos líderes e seguidores deve oscilar em torno de uma distância estável, e isso, conforme os autores, também confirmaram as conclusões.

O documento de Rakha e Crowther (2005), compara o FRESIM, um modelo de rodovia incluído no *software* CORSIM, e o INTEGRATION no comportamento *car-following* em estado estacionário. De acordo com os autores, os resultados demonstraram a validade do procedimento de calibração proposto e inconsistências entre o modelo FRESIM em toda a rede e o modelo específico do comportamento *car-following*. O modelo do INTEGRATION forneceu uma boa representação do comportamento *car-following* em estado estacionário para todas as condições consideradas no trabalho.

O artigo de Ratrouf e Rahman (2009), apresentou uma análise comparativa de catorze simuladores focados na simulação de tráfego em estradas, redes urbanas congestionadas e adaptação de simuladores para aplicações ITS (*Intelligent Transport Systems*). Os resultados revelaram que os simuladores AIMSUN, CORSIM e VISSIM são adequados para vias arteriais e estradas congestionadas, porém, o AIMSUN é menos adequado em comparação com os outros. As características do AIMSUN são favoráveis à criação de grandes redes urbanas, mas requer uma difícil codificação. Conforme os autores, os modelos AIMSUN, CORSIM, INTEGRATION e PARAMICS demonstraram ser os mais adequados às aplicações ITS.

A pesquisa de Rilett, Kim e Raney (2000), teve como objetivo examinar como o módulo de simulação de rotas de baixa fidelidade do TRANSIMS se compara ao modelo de simulação

de alta fidelidade do CORSIM. Uma seção de uma via no Texas, Estados Unidos, foi escolhida como o banco de teste, pois os tempos e volumes de viagem estavam disponíveis. Os *softwares* de microsimulação foram calibrados individualmente com base nos dados do volume do local e foram validados com base na velocidade ou nos dados do tempo de viagem. Conforme os autores, do ponto de vista da calibração, o TRANSIMS e o CORSIM forneceram resultados aproximadamente equivalentes em relação à replicação do volume de base. Com relação a facilidade de calibração, o modelo TRANSIMS apresentou maior simplicidade no manuseio devido ao pequeno número de parâmetros solicitados. A calibração do CORSIM, embora desafiadora, foi facilitada porque existe uma ampla gama de literatura sobre o assunto. Entre outros resultados, os pesquisadores destacam que embora ambos os modelos pudessem replicar os volumes de base para o mesmo nível de precisão, o modelo TRANSIMS apresentou velocidades emergentes mais elevadas do que o modelo CORSIM, o que indicou que as relações de fluxo fundamental emergentes são diferentes.

O estudo de Saidallah, Fergoughi e Elalaoui (2016), forneceu uma visão geral de onze diferentes plataformas de simulação de tráfego e fez uma comparação com base nas distintas características dos *softwares* para fornecer um mapa que pode ser usado como uma ferramenta de suporte à decisão para selecionar o simulador mais adequado a uma necessidade ou como referência para o estudo e desenvolvimento de novos simuladores de tráfego.

A pesquisa de Shaaban e Kim (2015), comparou o desempenho de duas ferramentas de simulação de tráfego na modelagem de rotatórias de duas e três faixas, em diferentes cenários, como o volume de tráfego, a proporção de mudança para a faixa da esquerda e a proporção de caminhões no fluxo de tráfego. Em geral, os dois simuladores não mostraram significantes diferenças estatísticas, contudo, no caso de grandes volumes de tráfego, o VISSIM apresentou atrasos médios maiores do que os encontrados pelo SIMTRAFFIC. Ainda segundo os autores, o estudo não conclui qual é o melhor *software*. Em vez disso, determinou que usar uma única ferramenta de simulação pode ser arriscado porque os resultados em diferentes condições de tráfego podem ser diferentes.

Soria, Elefteriadou e Kondyli (2014), avaliaram quatro modelos *car-following* com dados de campo que foram coletados sob diferente situação de tráfego (congestionado versus não tráfego livre) e condições climáticas (chuva versus tempo seco). Os quatro modelos foram Gipps, Pitt, MITSIM e Pitt modificado. Para elaboração dos modelos foram utilizados os *softwares* AIMSUN, CORSIM e MITSIM. Os parâmetros foram calibrados por dados de campo

e os parâmetros correspondentes foram aplicados para avaliar a precisão de simulação em diferentes condições de tráfego e clima.

No estudo de Sun, Zhang e Chen (2013), os autores estudaram os simuladores VISSIM e CORSIM com base em uma rede urbana em uma área de Xangai, na China. Concluíram que a utilização do *software*, a publicação e a configuração de rede no CORSIM são mais fáceis do que no VISSIM. O trabalho ainda destaca que o VISSIM é mais apropriado para grandes interseções com tráfego bem saturado, enquanto o CORSIM é bom para modelar interseções com pouco tráfego. Na comparação avaliou-se que os resultados de simulação com o VISSIM eram mais próximos de uma situação real.

O artigo de Tianzi, Shaochen e Hongxu (2013), estudou a simplicidade de operação e os erros de saída dos *softwares* VISSIM e SIDRA. O local selecionado para estudo foi uma estrada e uma interseção rodoviária na cidade de Xianyang, na China. Os autores concluíram que o SIDRA tem maior simplicidade de operação e é superior ao VISSIM em termos de construção de rede, configuração de fase, velocidade de saída, etc. Verificou-se que de acordo com a calibração e os erros dos resultados de saída, o VISSIM está mais próximo do valor real comparado ao SIDRA. Ao simular uma interseção sinalizada, se o atraso médio do veículo for necessário, o VISSIM é uma escolha desejável, porém, se o atraso médio do veículo for usado apenas como dados de referência, então o SIDRA é o preferido devido sua conveniência de operação.

A pesquisa desenvolvida por Yin e Qiu (2013), comparou o desempenho de um modelo de simulação macroscópica, METANET, com o modelo de simulação microscópica VISSIM, sob diferentes níveis de tráfego e etapas de tempo de simulação. Com base no desempenho dos dois modelos e análise comparativa, os autores concluíram que, entre vários outros resultados, a previsão de estados de tráfego do modelo METANET é geralmente consistente com a da simulação VISSIM. A velocidade simulada, densidade e fluxo do modelo VISSIM flutuam com o tempo frequentemente, enquanto que os do modelo METANET são aproximadamente o valor médio da VISSIM.

Yun e Park (2012) apresentaram o desenvolvimento de um método de otimização estocástico para sistemas de sinalização de tráfego. Como estudo de caso, o artigo descreve o processo de construção e calibração de rede para os modelos CORSIM e VISSIM, seguidos pelos resultados de implementação da proposta de método de otimização estocástica.

Algumas constatações puderam ser verificadas entre os estudos analisados. Hidas (2006); Panwai e Dia (2005); Rakha e Crowther (2005); e Soria, Elefteriadou e Kondyli (2014), avaliaram os comportamentos de *car-following* de diferentes simuladores sob múltiplos aspectos. A maioria das tendências de desenvolvimento na literatura está relacionada à simulação microscópica, porém artigos como o de Ratrou e Rahman (2009) e Yin e Qiu (2013) foram além e compararam o desempenho de modelos microscópicos com modelos macroscópicos em diversas condições de tráfego. A opção por comparar apenas *softwares* comerciais predominaram nos trabalhos, porém os artigos de Allan e Farid (2015); Guariani *et al.* (2014); Kokkinogenis *et al.* (2011); Maciejewski (2010); Meingast, Pell e Schauer (2013); Ratrou e Rahman (2009); e Saidallah, Fergoughi e Elalaoui (2016), também elegeram alguns *softwares* de código aberto para a análise.

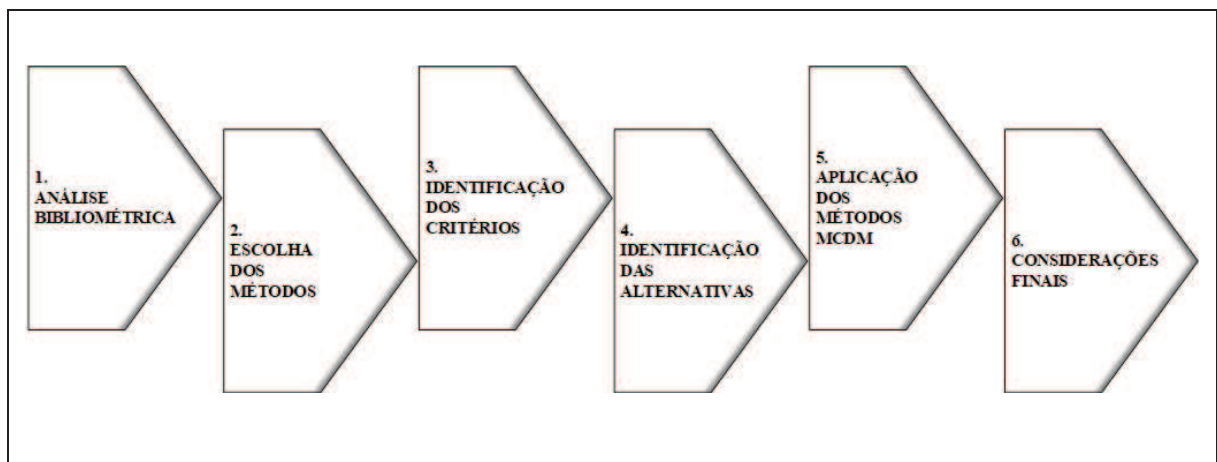
Na tentativa de explorar pesquisas anteriores sobre os métodos multicritérios e os simuladores de tráfego, a fundamentação teórica deste estudo não apenas examinou os conceitos teóricos sobre os conteúdos, como também apresentou uma parte da revisão sistemática de artigos correlacionados ao tema desta dissertação, descrita no capítulo 2. Estes estudos destinaram-se a fornecer uma amostra do tipo de pesquisa realizada anteriormente, bem como identificar questões relevantes para o desenvolvimento desta dissertação. As lacunas e os procedimentos metodológicos identificados representaram uma base teórica para o prosseguimento deste trabalho. O próximo capítulo apresentará o método aplicado para alcançar os objetivos desta dissertação.

## 2 MÉTODO

De acordo com a classificação apresentada por Fontelles *et al.* (2009), este trabalho se classifica, quanto à finalidade, como uma pesquisa aplicada, pois o objetivo é produzir conhecimentos científicos para aplicação prática voltada para a solução de problemas específicos. No tocante à forma de abordagem do problema, o trabalho desenvolvido denota-se como uma pesquisa qualitativa e quantitativa descritiva, pois busca o entendimento de fenômenos complexos específicos mediante descrições e comparações, trabalhando com variáveis expressas sob a forma de dados numéricos e analisando as características de um fenômeno. No que se refere aos objetivos, trata-se de uma pesquisa explicativa, pois este tipo de pesquisa visa a uma primeira aproximação do pesquisador com o tema, para torná-lo mais familiarizado com os fatos e fenômenos relacionados ao problema estudado, e explica os fatores determinantes para a ocorrência de um processo. Os procedimentos técnicos de coleta de dados se baseiam essencialmente em levantamento de pesquisa bibliográfica, compondo a fundamentação teórica a partir da avaliação atenta e sistemática de livros, periódicos e textos, além da realização de uma pesquisa documental com o intuito de levantar dados dos *softwares* simuladores de tráfego.

O método utilizado para atingir os objetivos deste estudo é constituído das etapas apresentadas no fluxograma da Figura 10.

Figura 10 - Etapas do método



## 2.1 Análise Bibliométrica

Uma revisão da literatura relevante é uma característica essencial de todo projeto acadêmico. Uma revisão confiável cria um sólido embasamento para o avanço do conhecimento, pois delinea áreas onde já se agrupam várias pesquisas e revelam campos onde novas pesquisas ainda são necessárias (WEBSTER e WATSOM, 2002).

A elaboração de estudos bibliométricos busca examinar quantitativamente um conjunto de informações sobre um grupo de artigos e documentos selecionados a partir de um tema desenvolvido (COSTA, 2016). Além disso, Guedes e Borschiver (2005) destacaram que uma análise bibliométrica contribui com a criação e gestão de conhecimentos, possibilitando explorá-los e gerar relacionamentos entre eles.

As estratégias de pesquisa foram formuladas para decidir os estudos primários a serem selecionados para esta dissertação. Neste trabalho, duas pesquisas distintas foram realizadas, uma na área de métodos multicritérios, e outra na área de simuladores de tráfego.

A análise bibliométrica realizada neste trabalho foi composta por uma busca sistemática de publicações sobre os assuntos pesquisados, ou seja, a coleta de dados. As bases de dados definidas e utilizadas foram a *Web of Science* devido ao seu grande volume de publicações e a *IEEE Xplore Digital Library* em virtude da sua popularidade na área de engenharia e ciência da computação. Ambas as bases estão entre as maiores associações científicas, com importante renome e credibilidade na área acadêmica.

Dois conjuntos de termos de busca foram formulados, um para os métodos MCDM e outro para os simuladores de tráfego, e são ilustrados, respectivamente, nos Quadros 13 e 14. Os dois termos de pesquisa são resultantes de algumas constatações sobre o tema, verificadas na fundamentação teórica deste trabalho.

Durante as primeiras pesquisas nas bases, verificou-se que o assunto de tomada de decisão multicritério tem sido bastante popular nos últimos anos e, portanto, um grande número de publicações pôde ser percebido dentre os resultados da pesquisa inicial utilizando-se apenas as palavras-chave relativas aos métodos multicritérios. Como a presente dissertação se concentra na comparação de três diferentes métodos multicritérios, foi considerado a busca por trabalhos em que se explorou dois ou mais métodos, sejam eles estudados de forma integrada ou por meio de comparação. O Quadro 13 indica os termos de busca e as palavras-chave utilizadas, com expressões booleanas (*AND* e *OR*), que permitem a combinação de palavras-



chave no sentido de se aproximar o melhor possível de um termo específico, referentes a pesquisa de artigos com os métodos MCDM mais comuns disponíveis nas bases de dados.

Quadro 13 - Termo de busca formulado para os métodos MCDM

Palavras-chave de MCDM	Operador Lógico	Palavras-chave de métodos MCDM
("MCDA" OR "MCDM" OR "multi criteria" OR "multicriteria")	AND	((("AHP" OR "ANP" OR "PROMETHEE") AND ("TOPSIS" OR "MACBETH" OR "TODIM" OR "ELECTRE OR MAUT")))

A segunda análise da literatura concentrou-se nos simuladores de tráfego. Foi utilizado como termo de busca os nomes dos simuladores mais frequentes, em conformidade com a pesquisa realizada por Neves e Galhardi (2016). Além das palavras simulador de tráfego e suas variáveis, adicionalmente foram inseridos também os simuladores ARCHISIM e INTEGRATION, devido a suas possíveis relevâncias e contribuições para esse trabalho. O Quadro 14 indica os termos de busca, juntamente com suas variáveis, referentes a pesquisa de artigos sobre simuladores de tráfego nas bases de dados.

Quadro 14 - Termo de busca formulado para os simuladores de tráfego

Palavras-chave dos nomes dos simuladores	Operador Lógico	Palavras-chave de simulador de tráfego
("VISSIM" OR "CORSIM" OR "PARAMICS" OR "AIMSUN" OR "MATSIM" OR "TRANSIMS" OR "NETSIM" OR "SUMO" OR "TREIBER" OR "FRESIM" OR "MITSIM" OR "SIMTRAFFIC" OR "SITRAS" OR "NEMIS" OR "TRANSMODELER" OR "HUTSIM" OR "ARCHISIM" OR "INTEGRATION")	AND	("traffic" OR "simulat*")

As buscas foram realizadas nas bases de dados durante o mês de julho de 2017, e também em abril de 2018, pesquisando os termos nos títulos, resumos e palavras-chave na base IEEE e em tópico na base do *Web of Science*. O Quadro 15 mostra o resultado inicial da produção científica de cada um dos termos por base de dados.



Quadro 15 - Frequência inicial do número de produção científica por base de dados

Base de Dados	MCDM	Simuladores de Tráfego
Web of Science	1022	2133
IEEE Xplore	1081	1007
<b>Total:</b>	2103	3140

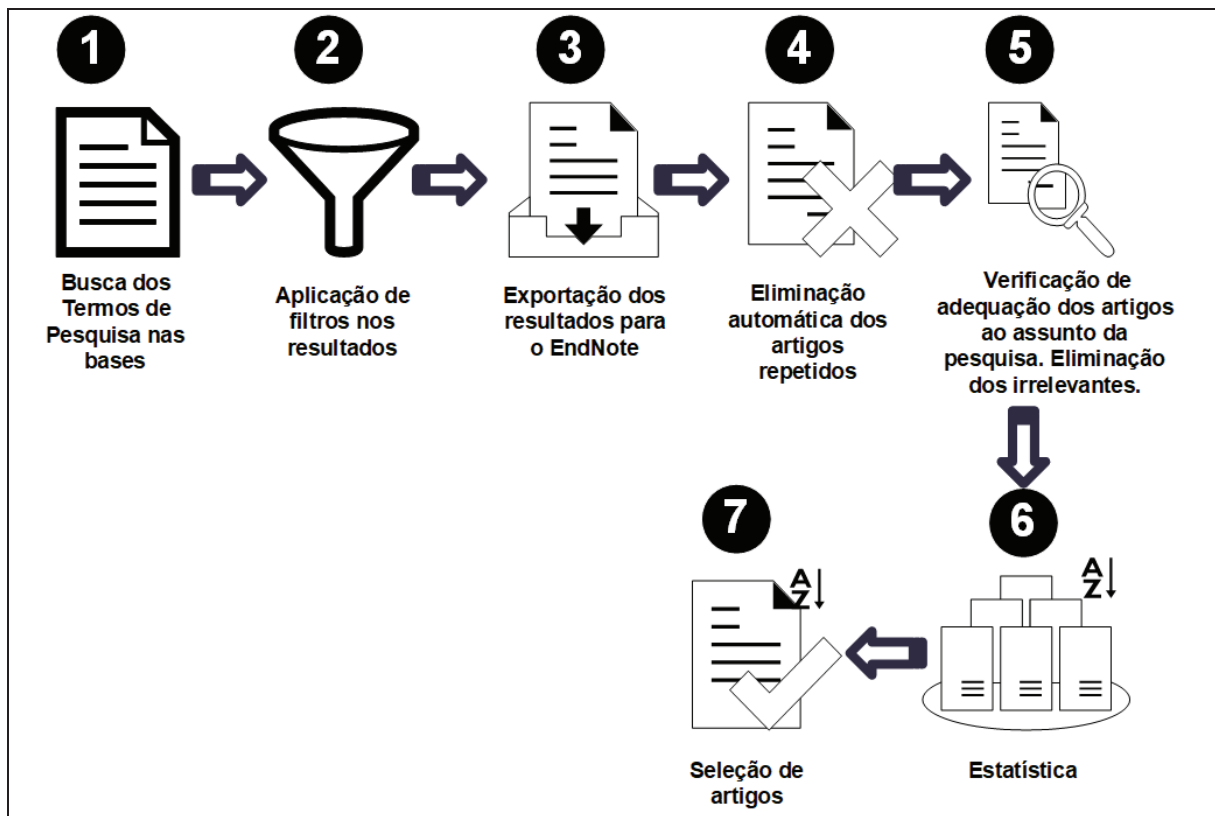
Após a busca dos termos nas bases, foi realizado um novo refinamento na pesquisa, selecionando apenas os artigos publicados em periódicos, entre os anos de 2007 e 2017. Os resultados encontrados com o refinamento estão expressos no Quadro 16.

Quadro 16 - Frequência do número de produção após refinamento

Base de Dados	MCDM (2007-2017)	Simuladores de Tráfego (2007-2017)
Web of Science	740	977
IEEE Xplore	934	791
<b>Total:</b>	1674	1768

De maneira a ilustrar as etapas da análise bibliométrica realizada nesta dissertação, a Figura 11 mostra os sete passos implementados.

Figura 11 – Visão geral das etapas da pesquisa bibliométrica



Fonte: Microsoft Visio 2006

Em uma etapa seguinte, os dados das pesquisas nas bases foram exportados para o *software* EndNote, o que viabilizou a exclusão dos trabalhos duplicados automaticamente. O EndNote é um aplicativo desenvolvido pela empresa Thomson Reuters, que proporciona a organização e gerenciamento de referências bibliográficas. O sistema permite a aplicação de vários filtros de pesquisa, análise simultânea de grande quantidade de referências, e a possibilidade de exportação dos dados para o Microsoft Excel, o que facilita bastante a realização de uma análise bibliométrica. Em seguida, foi realizada uma análise individual de cada título e resumo, avaliando-se a pertinência de cada artigo ao tema desta dissertação, e eliminando os documentos irrelevantes.

A sexta etapa contempla o desenvolvimento das estatísticas dos artigos, onde se examinou quantitativamente um conjunto de informações sobre o grupo de artigos explorados. Com base nas análises bibliométricas realizadas, houve a possibilidade de identificar oportunidades para o desenvolvimento deste trabalho.

Após o levantamento dos dados numéricos, na sétima etapa escolheu-se os documentos mais relevantes de cada uma das áreas pesquisadas, métodos MDCM e simuladores de tráfego, ambos alinhados com a proposta desta dissertação, para que fossem analisados na íntegra. A análise detalhada dos documentos auxiliou na composição de uma revisão sistemática da literatura. Os artigos selecionados foram utilizados para compor o capítulo de fundamentação teórica desta dissertação. As pesquisas sobre os métodos MCDM foram listadas no Quadro 7 da seção 1.4.9 e os estudos que abrangem os simuladores de tráfego se encontram no Quadro 12 da seção 1.6.3. Os artigos são de diferentes autores e tratam dos assuntos sob diversas perspectivas.

## **2.2 Escolha dos métodos multicritérios**

O objetivo desta dissertação é comparar três métodos MCDM. De acordo com Ishizaka e Labib (2009), três é o número mínimo exigido de resultados de *ranking* de conjuntos que podem ser comparados uns com os outros. Segundo o mesmo autor, com um único método é impossível fornecer uma análise efetiva e realista devido às suas limitações e suposições inerentes.

Para a seleção dos três métodos MCDM, esta dissertação utilizou-se: das diretrizes apontadas por Guitouni e Martel (1998), descritas na seção 1.4.10 da fundamentação teórica; e de alguns outros atributos importantes que diferenciam os métodos MCDM escolhidos.

### 2.3 Identificação dos critérios

Os critérios podem ser definidos como os padrões que precisam ser levados em consideração ao ordenar as alternativas (simuladores de tráfego). A lista de critérios depende das características contextuais do problema e, portanto, pode variar de um estudo para outro. Para esta dissertação, os critérios foram identificados com base na revisão sistemática dos trabalhos, comentados na seção 1.6.3, em que ocorreram comparações de simuladores de tráfego e com base nos manuais dos simuladores.

Foram identificados 11 critérios, e estes foram alocados em três grupos: o Grupo K com os três primeiros critérios; o Grupo W com os sete primeiros critérios; e o Grupo Y com 11 critérios, de acordo com o mostrado no Quadro 17.

Quadro 17 - Grupos de critérios

Grupo K	Grupo W		Grupo Y		
• Critério 1	• Critério 1	• Critério 4	• Critério 1	• Critério 4	• Critério 8
• Critério 2	• Critério 2	• Critério 5	• Critério 2	• Critério 5	• Critério 9
• Critério 3	• Critério 3	• Critério 6	• Critério 3	• Critério 6	• Critério 10
		• Critério 7		• Critério 7	• Critério 11

Nesta dissertação, cada grupo de critérios, K, W e Y, foi utilizado na aplicação dos métodos MCDM.

### 2.4 Identificação das alternativas

Nesta etapa, foram identificadas as alternativas, ou seja, os *softwares* simuladores de tráfego a serem ordenados por meio da aplicação dos métodos MCDM. Para a seleção das

alternativas, foram utilizadas como fonte exclusiva de obtenção de dados: a fundamentação teórica; a revisão sistemática dos trabalhos em que ocorreram comparações dos simuladores de tráfego, comentadas na seção 1.6.3; e os resultados da análise bibliométrica.

## 2.5 Aplicação dos métodos MCDM

Esta etapa é dedicada à aplicação dos três métodos MCDM, de forma a alcançar uma classificação ordenada dos simuladores de tráfego. Os três métodos foram computados por meio do editor de planilhas Microsoft Excel. A execução dos cálculos seguiram as etapas estabelecidas nos procedimentos de cálculo dos métodos. Foram determinadas três rodadas de cálculos para cada método MCDM, utilizando os grupos de critérios K, W, Y, respectivamente, com três, sete e 11 critérios. Nesta seção também foi verificada a consistência dos resultados de classificação obtida pelos três métodos.

## 2.6 Análise dos resultados

Nesta seção, os três métodos MCDM foram comparados e discutidos quanto à percepção de:

- Aplicabilidade, ou seja, os três métodos são realmente aptos para a resolução de problema de ordenação de *softwares* simuladores de tráfego?;
- Consistência das classificações de ordenações, ou seja, os três métodos apresentam os mesmos resultados na ordenação de simuladores de tráfego?;
- Complexidade, ou seja, quão complexo é aplicar cada método?;
- Laboriosidade, ou seja, quão numerosos são os cálculos para obtenção dos resultados? Qual método demanda maior tempo e empenho para a obtenção dos resultados?;
- Entre outros fatores, que permitiram avaliar e apontar aspectos específicos de cada um dos três métodos MCDM.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo é dedicado à apresentação dos resultados e discussões com respeito as etapas do método proposto, por meio da aplicação de três métodos multicritérios, de forma a alcançar uma ordenação dos simuladores de tráfego e caracterização dos métodos MCDM.

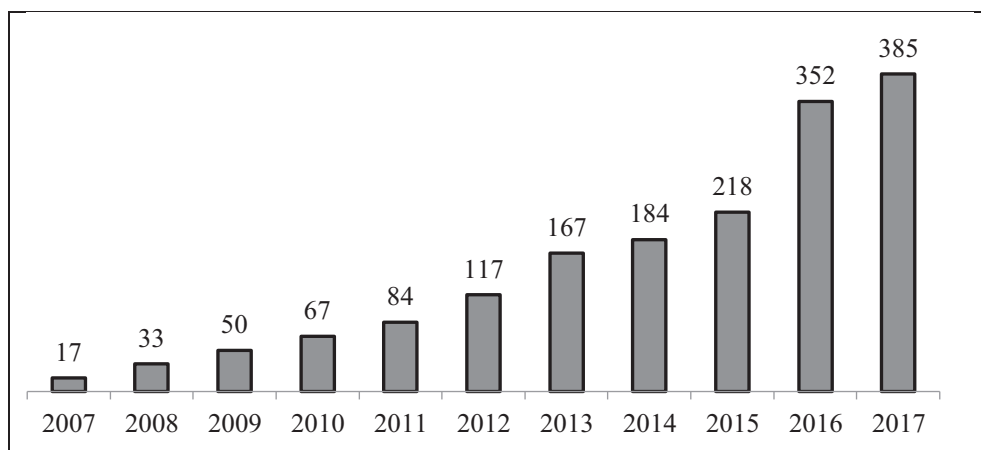
#### 3.1 Análise Bibliométrica

Os tópicos desta seção apresentam alguns dos resultados das análises bibliométricas realizadas nas bases de dados *IEEE Xplore* e *Web of Science* para os métodos multicritérios e para os simuladores de tráfego, de modo a compreender as diversas abordagens existentes sobre o estado da literatura, e obter um sólido embasamento de conhecimento sobre o tema.

##### 3.1.1 Métodos multicritérios

Aqui foram levantadas as principais particularidades dos artigos em que se explorou dois ou mais métodos MCDM, de forma integrada ou por meio de comparação, sendo discutidos os resultados encontrados.

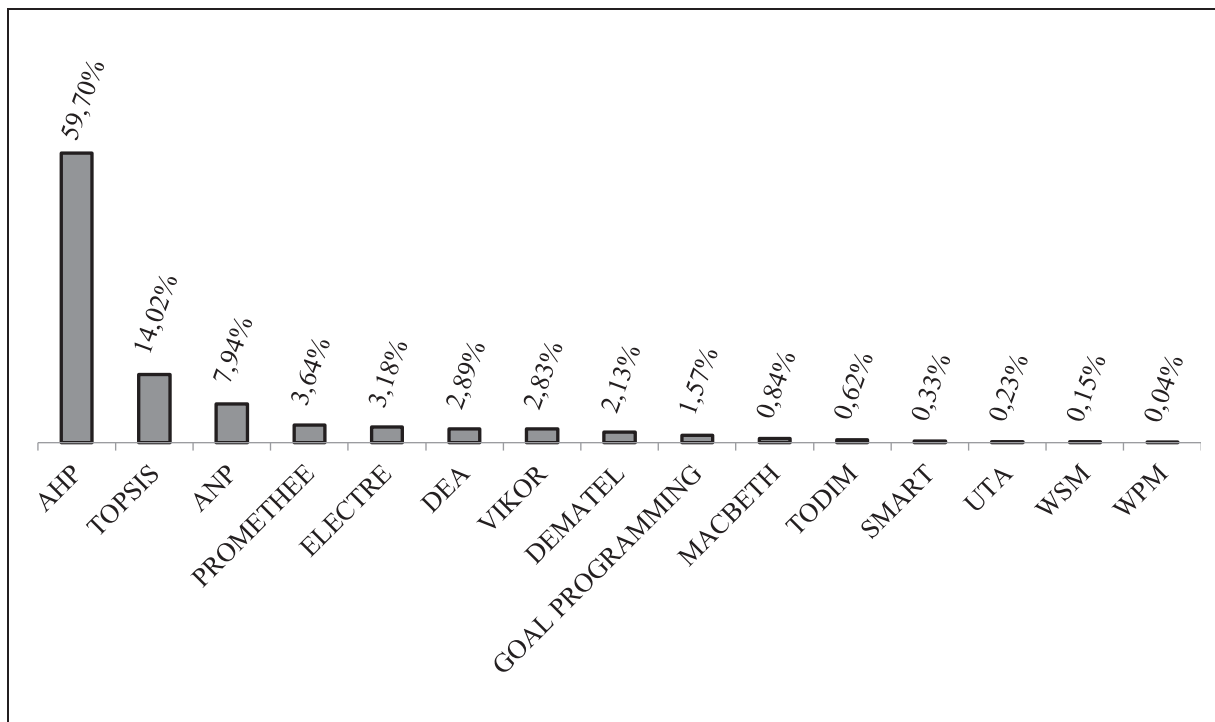
Figura 12 - Frequência absoluta da evolução da produção científica de artigos no período de 2007 a 2017





explorados na literatura, uma vez que apresentam incidência menor que 8% de frequência nos artigos. O método com menor ocorrência de estudos é o WPM, com apenas 0,04% de assiduidade dentre os 1674 artigos verificados.

Figura 14 - Frequência da produção científica por periódico



Após o levantamento dos dados numéricos, alguns documentos mais relevantes a respeito dos métodos MCDM foram analisados na íntegra, por meio de uma revisão sistemática da literatura, já apresentada no capítulo 1.4.9 desta dissertação.

### 3.1.2 Simuladores de tráfego

Como resultado da pesquisa bibliométrica a respeito dos *softwares* simuladores de tráfego, foram obtidos 1768 documentos. No Quadro 18 listou-se os 16 simuladores de tráfego mais frequentes nos artigos analisados, sendo que em um mesmo artigo, um ou mais simuladores podem ser citados. O VISSIM foi citado em 43,8% dos artigos publicados no período. Com a análise, constatou-se também que os três primeiros colocados, VISSIM, CORSIM e PARAMICS, representam 73,2% do total de citações no período.

Quadro 18 - Porcentagem do número de citações dos simuladores de tráfego na produção científica por artigo no período de 2007 a 2017

Rank	Simuladores de Tráfego	%	Rank	Simuladores de Tráfego	%
1º	VISSIM	43,8%	9º	TREIBER	1,3%
2º	CORSIM	16,0%	10º	FRESIM	0,8%
3º	PARAMICS	13,4%	11º	MITSIM	0,8%
4º	AIMSUN	5,8%	12º	SIMTRAFFIC	0,8%
5º	MATSIM	4,9%	13º	SITRAS	0,8%
6º	TRANSIMS	4,5%	14º	NEMIS	0,7%
7º	NETSIM	3,2%	15º	TRANSMODELER	0,7%
8º	SUMO	1,7%	16º	HUTSIM	0,6%

Após a investigação quantitativa, os artigos mais expressivos a respeito dos simuladores de tráfego foram analisados na íntegra. A análise detalhada dos documentos auxiliou na composição de uma revisão sistemática da literatura, apresentada no capítulo 1.6.3 da fundamentação teórica deste trabalho. Com estes estudos e, complementando também com os manuais e documentos referentes aos simuladores de tráfego, foi possível o desenvolvimento do Quadro 19, que é um resumo das características intrínsecas dos *softwares* simuladores de tráfego. Essas propriedades auxiliaram na definição dos critérios utilizados na aplicação dos métodos MCDM.

Quadro 19 – Características gerais dos simuladores de tráfego

CARACTERÍSTICAS		AIMSUN	ARCHISIM	CORSIM	PARAMICS	SUMO	TRANSIMS	VISSIM
Modelo	Microscópico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Mesoscópico	✓	0	0	0	0	✓	0
	Macroscópico	✓	0	0	0	0	0	0
Categoria	Código Aberto ( <i>open-source</i> )	0	0	0	0	✓	✓	0
	Comercial	✓	✓	✓	✓	0	0	✓
Sistema	Discreto	✓	✓	✓	✓	0	✓	0
	Contínuo	✓	0	0	0	✓	0	✓
Visualização	2D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3D	✓	0	0	✓	0	0	✓
Veículos e pedestres	Pedestres	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Carros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Ônibus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Caminhões	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Trens	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Veículos Elétricos	✓	0	0	✓	✓	✓	✓
	Bicicletas	✓	0	✓	✓	✓	✓	✓



Quadro 19 – Características gerais dos simuladores de tráfego (continuação)

CARACTERÍSTICAS		AIMSUN	ARCHISIM	CORSIM	PARAMICS	SUMO	TRANSIMS	VISSIM
Área de escopo	Cidade	0	✓	✓	✓	✓	0	✓
	Região	✓	0	✓	✓	✓	✓	✓
	País	✓	0	0	0	0	✓	0
Detectores	Sensores com fio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Sensores sem fio	✓	0	0	✓	0	0	✓
Infraestrutura Pública	Faixa exclusiva (corredores)	✓	0	✓	✓	✓	✓	✓
	Nº do ponto (paradas)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Tipo do ponto (paradas)	✓	0	✓	0	0	✓	✓
	Capacidade do ponto (paradas)	✓	0	✓	✓	0	0	✓
	Prioridade na intersecção sinalizada	0	✓	✓	✓	0	0	✓
Transporte público	Nº de portas do veículo	0	0	0	0	0	0	✓
	Embarque/desembarque de passageiros	✓	0	0	✓	0	0	✓
	Capacidade do veículo	0	0	0	✓	0	0	✓
	Ocupação do veículo	0	0	✓	✓	0	0	✓
	Itinerário da rota	✓	✓	✓	✓	✓	0	✓
	Faixa horária da rota	✓	0	✓	✓	0	✓	✓
	Velocidade do veículo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Tempo de espera	✓	0	✓	✓	✓	0	✓
Pessoas	Comportamento do motorista ( <i>car following...</i> )	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sinalização	Semáforo para veículos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Semáforo para pedestres	0	0	0	✓	0	0	✓
	Prioridades no semáforo	✓	0	✓	✓	0	0	✓
Sistema Operacional	Windows	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Linux	✓	0	✓	✓	✓	✓	0
	Mac OS	✓	0	0	0	✓	0	0
Emissões	Emissão de gases poluentes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Consumo de Combustível	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Emissão de ruídos	✓	0	✓	✓	✓	✓	✓
Suporte ao Usuário	Manuais	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Treinamento	✓	0	✓	✓	✓	✓	✓
	Versão Demo	✓	0	0	✓	0	0	✓
	Fórum de discussão	✓	✓	0	✓	✓	✓	✓
	Representante Oficial no Brasil	✓	0	0	0	0	0	✓
Idiomas	Inglês	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Português	✓	0	0	0	0	0	0
	Espanhol	✓	0	0	0	0	0	0
Mapas	Openstreetmaps	✓	0	0	✓	✓	✓	✓
	Bing Maps	0	0	0	✓	0	0	✓
Integração	CAD	✓	0	0	✓	✓	✓	✓
	GIS	✓	0	0	✓	✓	✓	✓
	API	✓	0	✓	✓	✓	✓	✓
✓ Sim / Disponível								
0 Não / Não disponível / Não foi possível confirmar a característica								

Fonte: O Autor

### 3.2 Escolha dos métodos multicritérios

A escolha do método MCDM a ser aplicado depende inicialmente das características do problema, da preferência do decisor e do tipo de resultado esperado; e em razão da diversidade de métodos multicritérios disponíveis, é possível encontrar resultados discordantes ou contraditórios (MOREIRA, 2007).

Os três métodos multicritérios selecionados para aplicação nesta dissertação são o método AHP, o método TODIM e método PROMETHEE II. Para a escolha destes métodos, utilizou-se, entre outros fatores, as sete diretrizes apontadas por Guitouni e Martel (1998), conforme descritas no Quadro 20.

Quadro 20 – Diretrizes para seleção de um método MCDM

Diretrizes	Considerações
1. Identifique os tomadores de decisão. No caso de múltiplos tomadores de decisão, um grupo de tomada de decisão deve ser considerado.	Não serão considerados especialistas, as preferências serão calculadas de modo aleatório. Todos os três métodos selecionados, AHP, TODIM e PROMETHEE II suportam esse tipo de cálculo.
2. Identifique o método de preferência em que o decisor fica mais confortável para trabalhar.	Todos os três métodos suportam a comparação em pares como o método de expressão de preferência.
3. Determine a natureza do problema e o tipo de resultado desejado pelo tomador de decisão.	Todos os três métodos suportam problemas de ordenação.
4. Selecione o processo pelo qual as informações de entrada podem ser facilmente fornecidas por um tomador de decisão.	As informações de entrada são suscetíveis de aleatoriedade.
5. Considere o grau de compensação dos critérios aceitável pelo tomador de decisão.	Os três métodos selecionados representam tanto compensatório e não compensatório. O AHP é compensatório (isto é, as alternativas que são deficientes em relação a certos critérios podem ser compensadas pelo seu desempenho em relação a outros critérios), enquanto o TODIM e o PROMETHEE II são não compensatórios.
6. Verifique as hipóteses fundamentais do método.	Todas as hipóteses são verificáveis usando os resultados dos três métodos.
7. Considere o sistema de apoio à decisão ao escolher o método. Um erro comum é selecionar um método sem entender o procedimento, o que pode ser que seja inaplicável.	Este erro é evitado pois todos os cálculos envolvidos nos três métodos foram examinados antes de selecionar o método. Além disso, pode-se argumentar que os três métodos envolvem diferentes níveis de complexidade de cálculo.

Fonte: Adaptado de Guitouni e Martel (1998),

Além das diretrizes apresentadas, alguns outros aspectos foram considerados como argumento para a escolha dos métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II:

- O AHP pertence a escola americana, o PROMETHEE II pertence a escola francesa, enquanto o TODIM é um híbrido das duas escolas e foi desenvolvido por brasileiros;
- Todos os três métodos permitem o tratamento de múltiplos critérios, tanto quantitativos como qualitativos;
- Os três métodos podem ser calculados por meio de uma planilha do Microsoft Excel;
- Não foi encontrada especificamente nenhuma tentativa de aplicar métodos MCDM para a ordenação de simuladores de tráfego, bem como a realização de comparações e caracterização específicas dos métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II em um mesmo estudo, o que denota caráter singular sobre a presente dissertação no âmbito das áreas de conhecimento abordadas na pesquisa;

O método PROMETHEE II foi o escolhido entre as opções da família PROMETHEE devido ao método ser aplicável para a problemática de ordenação e por estabelecer uma ordem completa entre as alternativas.

### **3.3 Identificação dos critérios**

Os critérios foram selecionados com base no Quadro 19. Diante das características levantadas, nesta dissertação optou-se apenas por critérios que representassem características comuns a todos os simuladores de tráfego. Desse modo, o Quadro 21 exhibe os 11 critérios estabelecidos para a aplicação do modelo de ordenação das alternativas, bem como as descrições dos critérios. A preferência por determinar características comuns aos simuladores se deve exclusivamente na imparcialidade que esta dissertação deseja demonstrar quanto aos *softwares*, sendo estes apenas auxiliares para atingir o objetivo deste trabalho.

Quadro 21 - Critérios definidos

Grupos de critérios			Abreviatura	Critério	Descrição	
Grupo Y	Grupo K		C1	Modelo microscópico	Esta característica representa a avaliação dos detalhes microscópicos nos simuladores.	
			C2	Aspectos gráficos	Esta propriedade representa o nível da visualização quanto ao desempenho dos gráficos nos simuladores. A visualização pode ser 2D, 3D ou ambas.	
			C3	Veículos e pedestres	Representa o nível de simulação de pedestres, carros, ônibus, caminhões, trens, veículos elétricos e bicicletas.	
	Grupo W			C4	Detectores	Esta característica representa a avaliação dos simuladores quanto aos sensores de radares com fio, sem fio ou ambos.
				C5	Infraestrutura pública	Esta propriedade representa o nível da capacidade dos simuladores quanto à codificação de número de pontos de paradas de ônibus, faixas exclusivas e velocidade dos veículos.
				C6	Mapas	Representa o nível de integração dos simuladores com mapas externos.
				C7	Sinalização	Representa o nível de sofisticação dos simuladores quanto a semáforos para veículos e ou pedestres e prioridades nas paradas.
				C8	Sistema operacional	Representa o nível de compatibilidade dos simuladores com os sistemas Windows, Linux e MAC OS.
				C9	Emissões	Representa o nível de detalhamento de dados de emissões de gases poluentes, consumo de combustível e emissão de ruídos.
				C10	Documentação e Suporte	Representa a disponibilidade de manuais, tutoriais, exemplos, treinamentos, atualizações, suporte técnico e grupos de discussão.
				C11	Idioma	Representa a disponibilidade de pacotes de idiomas para os simuladores.

Fonte: O Autor

Conforme apresentados no Quadro 21, os critérios foram alocados em três grupos: o Grupo K contendo os critérios C1, C2 e C3; o Grupo W contendo os critérios C1, C2, C3, C4, C5, C6 e C7; e o Grupo Y contendo os critérios C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10 e C11.

### 3.4 Identificação das alternativas

Para a seleção das alternativas a serem e ordenadas nesta dissertação, foram eleitos os simuladores de tráfego em concordância com a fundamentação teórica e os artigos de Ghariani *et al.* (2014); e Saidallah, Fergoughi e Elalaoui (2016), abordados na revisão sistemática da literatura. Segundo estes autores, muitos *softwares* foram desenvolvidos na última década, porém suas pesquisas limitaram-se ao estudo das ferramentas mais maduras e mais frequentes

na literatura científica. Estes artigos não avaliaram os simuladores quanto a testes e validações de desempenho, e sim por comparação das capacidades e atributos relevantes das plataformas.

O Quadro 18 apresentado na página 79, também reforça a utilização da maioria dos simuladores de tráfego selecionados no universo acadêmico. Os *softwares* AIMSUN, ARCHISIM, CORSIM, PARAMICS, SUMO, TRANSIMS e VISSIM são as sete alternativas para a ordenação na aplicação dos três métodos MCDM.

De modo a simplificar o entendimento da aplicação dos métodos e se evitar um pré-julgamento para os *softwares*, as alternativas foram aleatoriamente nomeadas simplesmente de: Simulador 1 (S1); Simulador 2 (S2); Simulador 3 (S3); Simulador 4 (S4); Simulador 5 (S5); Simulador 6 (S6); e Simulador 7 (S7).

### **3.5 Aplicação dos métodos MCDM**

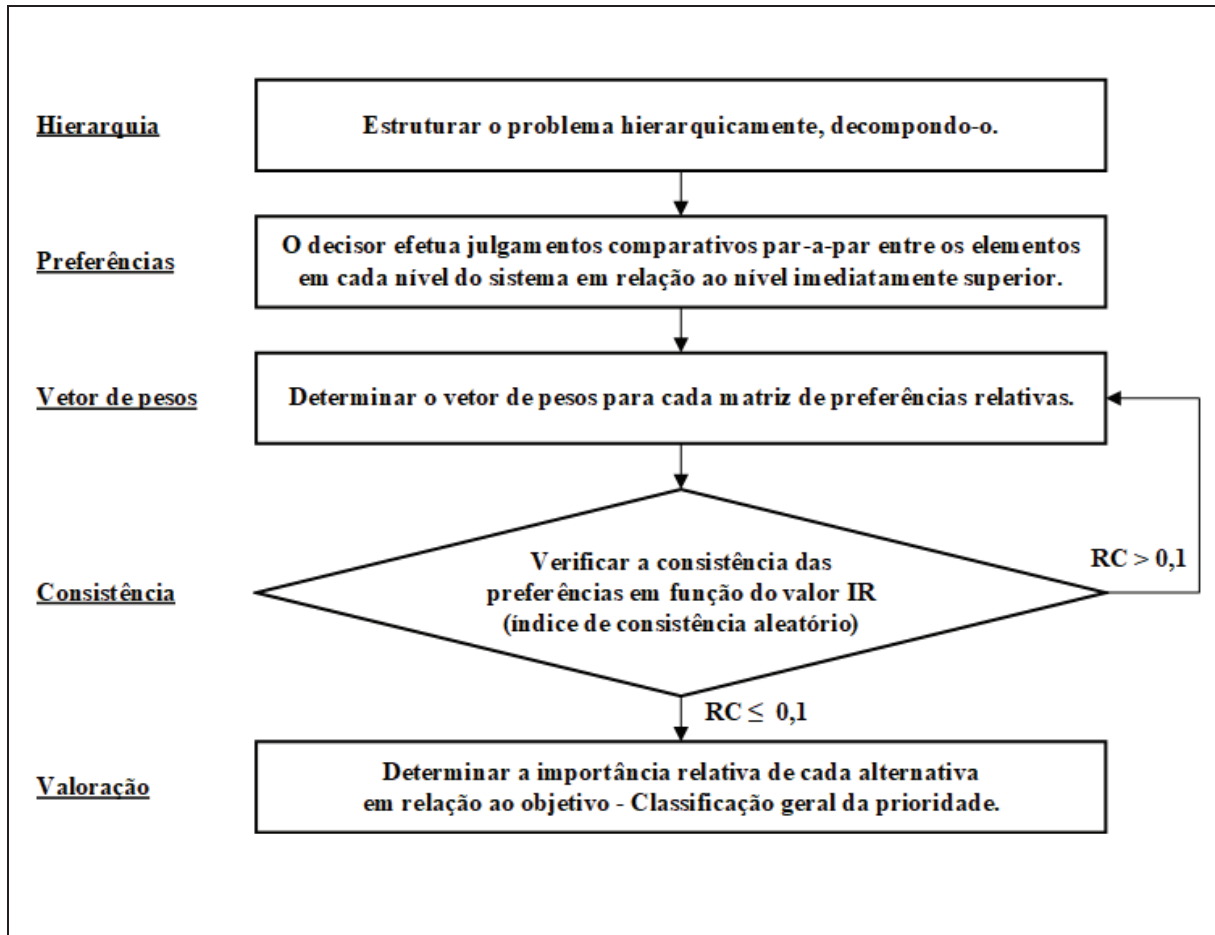
Nesta seção, o AHP, o TODIM e o PROMETHEE II foram computados, por meio do Microsoft Excel, ao problema de ordenação de *softwares* simuladores de tráfego. Os procedimentos de cálculo seguiram as etapas estabelecidas pelos autores dos métodos. Foram simuladas três rodadas de cálculos para cada método MCDM, utilizando os grupos de critérios K, W e Y e as alternativas definidas na seção 3.4 deste trabalho. Também são apresentados os memoriais de cálculos de cada um dos métodos, e ao final, verificou-se a consistência dos resultados obtidos.

#### *3.5.1 Aplicação do método AHP*

A aplicação do método AHP foi efetuada levando-se em conta a metodologia apresentada por Saaty (1990). A aplicação do método passa pelas etapas de: estruturação hierárquica; comparação par a par para indicação das preferências, utilizando-se da escala fundamental do AHP e de matrizes de decisão; determinação do autovetor máximo (preferência relativa) de cada matriz; verificação das consistências dos julgamentos (RC); determinação da

importância relativa de cada alternativa e classificação das alternativas. O diagrama da Figura 15 apresenta o fluxograma de aplicação do AHP.

Figura 15 - Fluxograma de aplicação do AHP

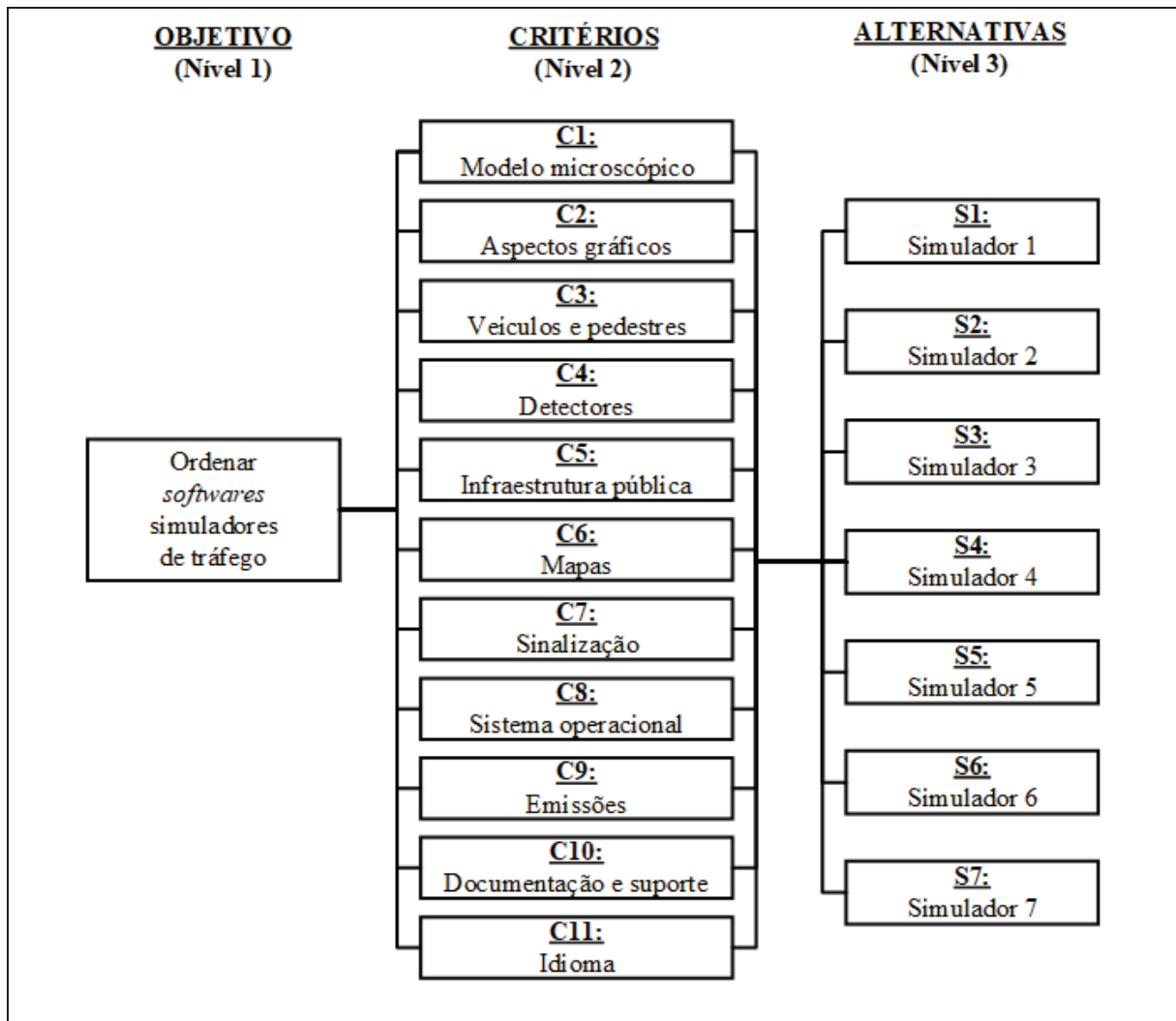


Fonte: Adaptado de Schimidt (2005)

Para facilitar o entendimento e a visualização das relações entre os níveis, a Figura 16 apresenta a estrutura hierárquica para o problema de decisão.

**Hierarquia:** Foram utilizados, de modo à representar o problema hierarquicamente: o objetivo da aplicação do método, ordenar *softwares* simuladores de tráfego, estabelecido no nível 1 da estrutura hierárquica; os critérios definidos na seção 3.3, ou seja, C1 (modelo microcópico), C2 (aspectos gráficos), C3 (veículos e pedestres), C4 (detectores), C5 (infraestrutura pública), C6 (mapas), C7 (sinalização), C8 (sistema operacional), C9 (emissões), C10 (documentação e suporte) e C11 (idioma), estabelecidos no nível 2 da estrutura hierárquica; e as alternativas de decisão definidas na seção 3.4, ou seja, os simuladores S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7, estabelecidos no nível 3 da estrutura hierárquica.

Figura 16 - Estrutura hierárquica para o problema de decisão



Fonte: O Autor

Preferências: De acordo com Santos (2011), para a criação das funções de valor para cada critério dos métodos MCDM, e a atribuição dos valores de julgamentos, é necessário a obtenção, por meio de questionários ou outras técnicas, de respostas às preferências dos decisores ou de especialistas, o que são normalmente problemáticas e imprecisas para os parâmetros dos modelos. Para esta dissertação, devido à dificuldade de se localizar especialistas e devido ao desconhecimento do pesquisador quanto aos atributos preferenciais para a avaliação de *softwares* simuladores de tráfego, adotou-se o uso da técnica da aleatoriedade para os julgamentos dos critérios e das alternativas. Saaty (1990) afirmou que o ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou idéias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência. Porém, para um cálculo satisfatório pelo método AHP, é desejável que o valor encontrado para a razão de consistência (RC) das avaliações seja menor ou igual a 10%, caso contrário, os julgamentos

devem ser revistos (SAATY, 1991). Dessa maneira, nesta dissertação, as avaliações aleatoriamente determinadas foram corrigidas quando ocorreram inconsistências acima do permitido pelo método. A geração de avaliações de forma aleatória pode ser considerada irrazoável, pois certamente alguns fatores são mais importantes do que os outros. Todavia, o intuito desta dissertação é comparar os métodos MCDM, e os *softwares* simuladores são meramente coadjuvantes durante os cálculos. Este é mais um dos motivos para que os nomes dos simuladores não sejam identificados nos resultados.

Após a estruturação do problema, é realizada a coleta de julgamentos das preferências dos tomadores de decisão. Todos os critérios imediatamente subordinados a um mesmo critério são organizados numa matriz quadrada, de forma que eles possam ser comparados pelos decisores, conforme a representação da matriz genérica  $X$  de julgamento à luz de um determinado critério imediatamente superior.

$$X = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Os julgamentos das comparações paritárias são realizados identificando-se, dentre os elementos que estão sendo comparados, qual deles é o que tem menor relevância e, considerando-o como unidade, atribuí-se ao outro elemento um valor numérico múltiplo do primeiro. Para isso, utiliza-se uma escala de números absolutos variando de 1 a 9, denominada escala fundamental do AHP (Quadro 22), apontada por Saaty (1990).

Quadro 22 - Quadro 4 - Escala fundamental do AHP

Grau de importância			Explicação
Escala numérica	Recíprocos	Escala verbal	
1	1	Igual importância	Os dois elementos comparados contribuem igualmente para o objetivo.
3	1/3	Importância moderada	O elemento comparado é ligeiramente mais importante em relação ao outro.
5	1/5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente o elemento em relação ao outro.
7	1/7	Importância muito forte	O elemento comparado é muito mais forte em relação ao outro e tal importância pode ser observada na prática.
9	1/9	Importância extrema	O elemento comparado possui o mais alto nível de evidência possível a seu favor.
2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8		Valores intermediários entre dois julgamentos, utilizados quando o decisor sentir dificuldades para escolher entre dois graus de importância adjacentes.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990)



No Quadro 23, apresenta-se um exemplo da comparação dos elementos A, B e C quanto ao grau de importância. Os tomadores de decisão atribuíram julgamentos de um a nove, conforme a escala fundamental do AHP, para indicar os valores de importância dos relacionamentos par-a-par entre os elementos. Interpreta-se, pela visualização da comparação presente no Quadro 23, que o decisor indica que o elemento A é três vezes mais importante que o elemento B e cinco vezes mais importante que o elemento C. Com relação ao elemento B, este é quatro vezes mais importante que o elemento C.

Quadro 23 – Exemplo de comparações paritárias para os elementos A, B e C

Julgamentos																		
← Menos importante								Iguais	Mais importante →									
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6		7	8	9	
B											X							A
C												X						
C												X						B

Fonte: O Autor

Para esta dissertação, os julgamentos paritários obtidos entre os critérios são demonstrados integralmente no APÊNDICE A.

A comparação par a par, entre os  $n$  critérios, é realizada a partir da matriz recíproca quadrada  $n \times n$ , onde os critérios estão dispostos na mesma ordem ao longo das linhas e colunas. O critério é igualmente importante quando comparado com ele próprio, então atribuí-se o valor 1. Após a diagonal ser completada, é necessário pontuar metade das avaliações, porque a outra metade é obtida pela comparação reversa, sendo os recíprocos dos primeiros. Após o preenchimento das comparações paritárias (APÊNDICE A) nesta dissertação, obtém-se três matrizes quadradas,  $3 \times 3$ ,  $7 \times 7$  e  $11 \times 11$ , relacionadas respectivamente ao Grupo K com 3 critérios, ao Grupo W com 7 critérios, e ao Grupo Y com 11 critérios. Essas matrizes são apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Matriz de comparação paritária (Grupo K)

	C1	C2	C3
C1	1	2	1/3
C2	1/2	1	1/5
C3	3	5	1
Soma	4,500	8,000	1,533

Tabela 2 - Matriz de comparação paritária (Grupo W)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>
<b>C1</b>	1	2	1/3	1/2	1/8	3	1/4
<b>C2</b>	1/2	1	1/5	1	1/7	2	1/2
<b>C3</b>	3	5	1	3	2	6	2
<b>C4</b>	2	1	1/3	1	1/2	8	2
<b>C5</b>	8	7	1/2	2	1	7	3
<b>C6</b>	1/3	1/2	1/6	1/8	1/7	1	1/6
<b>C7</b>	4	2	1/2	1/2	1/3	6	1
<b>Soma</b>	<b>18,833</b>	<b>18,500</b>	<b>3,033</b>	<b>8,125</b>	<b>4,244</b>	<b>33,000</b>	<b>8,917</b>

Tabela 3 - Matriz de comparação paritária (Grupo Y)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>
<b>C1</b>	1	2	1/3	1/2	1/8	3	1/4	2	1/5	1	1/2
<b>C2</b>	1/2	1	1/5	1	1/7	2	1/2	1	1/6	1/2	1/3
<b>C3</b>	3	5	1	3	2	6	2	7	3	4	3
<b>C4</b>	2	1	1/3	1	1/2	8	2	5	1/2	2	2
<b>C5</b>	8	7	1/2	2	1	7	3	6	1	7	4
<b>C6</b>	1/3	1/2	1/6	1/8	1/7	1	1/6	1/2	1/9	1/3	1/2
<b>C7</b>	4	2	1/2	1/2	1/3	6	1	3	1	5	3
<b>C8</b>	1/2	1	1/7	1/5	1/6	2	1/3	1	1/4	1	1/2
<b>C9</b>	5	6	1/3	2	1	9	1	4	1	6	4
<b>C10</b>	1	2	1/4	1/2	1/7	3	1/5	1	1/6	1	1/2
<b>C11</b>	2	3	1/3	1/2	1/4	2	1/3	2	1/4	2	1
<b>Soma</b>	<b>27,333</b>	<b>30,500</b>	<b>4,093</b>	<b>11,325</b>	<b>5,804</b>	<b>49,000</b>	<b>10,783</b>	<b>32,500</b>	<b>7,644</b>	<b>29,833</b>	<b>19,333</b>

Vetor de pesos: Após a indicação dos julgamentos dos critérios nas matrizes, é necessário calcular as matrizes de comparação paritária normalizadas, dividindo cada elemento da matriz original pelo somatório correspondente em cada coluna da avaliação. Também é determinado o autovetor máximo, que corresponde à média aritmética dos valores normalizados. O autovetor representa os pesos (prioridades relativas) dos critérios e devem estar entre 0 (zero) e 1 (um), ainda que sua soma deve ser 1 (um). Na Tabela 4 apresenta-se os resultados normalizados e o autovetor de cada critério do Grupo K.

Tabela 4 - Matriz normalizada e definição do autovetor dos critérios (Grupo K)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>Autovetor máximo</b>
<b>C1</b>	0,222	0,250	0,217	0,230
<b>C2</b>	0,111	0,125	0,130	0,122
<b>C3</b>	0,667	0,625	0,652	0,648
<b>Soma</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 4, tem-se:

Para a normalização da matriz:

$$a_{11} = 1 \div 4,500 = 0,222 \text{ (Os dados de entrada são provenientes da Tabela 1)}$$

$$a_{12} = 2 \div 8,000 = 0,250$$

$$a_{21} = 1/2 \div 4,500 = 0,111$$

Para o cálculo do autovetor máximo:

$$\text{Autovetor máximo (Critério C1)} = (0,222 + 0,250 + 0,217) \div 3 = 0,230$$

Com os resultados do autovetor dos critérios do Grupo K, constata-se que o tomador de decisões atribuiu maior importância ao critério C3 (0,648), pois este apresenta o maior autovetor, e menor importância ao critério C2 (0,122), que por sua vez, apresenta o menor autovetor.

Os mesmos procedimentos de cálculos foram aplicados para os demais grupos de critérios. Na Tabela 5 é demonstrada a matriz normalizada e a definição do autovetor dos critérios do Grupo W.

Tabela 5 - Matriz normalizada e definição do autovetor dos critérios (Grupo W)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>Autovetor máximo</b>
<b>C1</b>	0,053	0,108	0,110	0,062	0,029	0,091	0,028	0,069
<b>C2</b>	0,027	0,054	0,066	0,123	0,034	0,061	0,056	0,060
<b>C3</b>	0,159	0,270	0,330	0,369	0,471	0,182	0,224	0,287
<b>C4</b>	0,106	0,054	0,110	0,123	0,118	0,242	0,224	0,140
<b>C5</b>	0,425	0,378	0,165	0,246	0,236	0,212	0,336	0,285
<b>C6</b>	0,018	0,027	0,055	0,015	0,034	0,030	0,019	0,028
<b>C7</b>	0,212	0,108	0,165	0,062	0,079	0,182	0,112	0,131
<b>Soma</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Com o resultado do autovetor dos critérios do Grupo W, observa-se que o tomador de decisões atribuiu maior importância ao critério C3 (0,287) e menor importância ao critério C6 (0,028).

Na Tabela 6 é demonstrada a matriz normalizada e a definição do autovetor dos critérios do Grupo Y. De acordo com os resultados do autovetor dos critérios do Grupo Y, constata-se que o tomador de decisões atribuiu maior importância ao critério C3 (0,212) e menor importância ao critério C6 (0,019).

Tabela 6 - Matriz normalizada e definição do autovetor dos critérios (Grupo Y)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Autovetor máximo
<b>C1</b>	0,037	0,066	0,081	0,044	0,022	0,061	0,023	0,062	0,026	0,034	0,026	0,044
<b>C2</b>	0,018	0,033	0,049	0,088	0,025	0,041	0,046	0,031	0,022	0,017	0,017	0,035
<b>C3</b>	0,110	0,164	0,244	0,265	0,345	0,122	0,185	0,215	0,392	0,134	0,155	0,212
<b>C4</b>	0,073	0,033	0,081	0,088	0,086	0,163	0,185	0,154	0,065	0,067	0,103	0,100
<b>C5</b>	0,293	0,230	0,122	0,177	0,172	0,143	0,278	0,185	0,131	0,235	0,207	0,197
<b>C6</b>	0,012	0,016	0,041	0,011	0,025	0,020	0,015	0,015	0,015	0,011	0,026	0,019
<b>C7</b>	0,146	0,066	0,122	0,044	0,057	0,122	0,093	0,092	0,131	0,168	0,155	0,109
<b>C8</b>	0,018	0,033	0,035	0,018	0,029	0,041	0,031	0,031	0,033	0,034	0,026	0,030
<b>C9</b>	0,183	0,197	0,081	0,177	0,172	0,184	0,093	0,123	0,131	0,201	0,207	0,159
<b>C10</b>	0,037	0,066	0,061	0,044	0,025	0,061	0,019	0,031	0,022	0,034	0,026	0,039
<b>C11</b>	0,073	0,098	0,081	0,044	0,043	0,041	0,031	0,062	0,033	0,067	0,052	0,057
<b>Soma</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Consistência: Para o cálculo do vetor de consistência, primeiro multiplica-se a matriz original pelo autovetor máximo determinado para o critério. Com isso, realiza-se a somatória das linhas da matriz calculada. O vetor de consistência é determinado dividindo-se a somatória de cada elemento pelo autovetor máximo correspondente. Na Tabela 7 é mostrado os resultados obtidos para o vetor de consistência dos critérios do Grupo K.

Tabela 7 - Determinação do vetor de consistência (Grupo K)

	C1	C2	C3	$\Sigma$	Autovetor máximo	Vetor de Consistência
<b>C1</b>	0,230	0,244	0,216	0,690	0,230	3,003
<b>C2</b>	0,115	0,122	0,130	0,367	0,122	3,001
<b>C3</b>	0,690	0,611	0,648	1,948	0,648	3,007
$\lambda_{\max} = 3,004$		<b>IC = 0,002</b>		<b>IR = 0,58</b>		<b>RC = 0,3%</b>

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 7, tem-se:

$$a_{11} = 1 \times 0,230 = 0,230 \text{ (Os dados de entrada são provenientes das Tabelas 1 e 4)}$$

$$a_{12} = 2 \times 0,122 = 0,244$$

$$a_{21} = 1/2 \times 0,230 = 0,115$$

Para o cálculo do vetor de consistência:

$$\text{Vetor de consistência (Critério C1)} = 0,690 \div 0,230 = 3,003$$

No sentido de calcular o índice de consistência (IC) utiliza-se a Equação (1).

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

onde  $\lambda_{max}$  é o autovalor (a média dos vetores de consistência da matriz); e  $n$  é número de elementos da matriz.

$\lambda_{max} = (3,003 + 3,001 + 3,007) \div 3 = 3,004$  (Os dados de entrada são provenientes da Tabelas 7)

Para o cálculo do índice de consistência:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = (3,004 - 3) \div (3 - 1) = 0,002$$

Para o cálculo da razão de consistência ( $RC$ ), demonstrado na Tabela 7, utilizou-se a Equação (2):

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

onde  $IR$  é o índice de consistência aleatória, obtido por Saaty (1991) a partir de um grande número de comparações paritárias. O  $IR$  é vinculado ao número de elementos da matriz ( $n$ ), e seus valores constantes são apresentados no Quadro 24.

Quadro 24 - Índice de consistência aleatória

$n=$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$IR=$	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51	1,52

Fonte: Adaptado de Saaty (1991)

$$RC = \frac{IC}{IR} = 0,002 \div 0,58 = 0,003 \text{ ou } 0,3\%$$

Como o resultado da razão de consistência ( $RC$ ) da matriz dos critérios do Grupo K foi de 0,3%, ou seja,  $\leq 10\%$ , então o resultado é considerado aceitável pelo método AHP.

Aplicou-se os mesmos procedimentos de cálculos para os demais grupos de critérios, conforme demonstrados na Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Determinação do vetor de consistência (Grupo W)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	$\Sigma$	Autovetor máximo	Vetor de Consistência
<b>C1</b>	0,069	0,120	0,096	0,070	0,036	0,085	0,033	0,507	0,069	7,382
<b>C2</b>	0,034	0,060	0,057	0,140	0,041	0,056	0,066	0,454	0,060	7,572
<b>C3</b>	0,206	0,300	0,287	0,419	0,571	0,169	0,263	2,215	0,287	7,729
<b>C4</b>	0,137	0,060	0,096	0,140	0,143	0,226	0,263	1,064	0,140	7,617
<b>C5</b>	0,550	0,420	0,143	0,279	0,285	0,198	0,394	2,270	0,285	7,950
<b>C6</b>	0,023	0,030	0,048	0,017	0,041	0,028	0,022	0,209	0,028	7,401
<b>C7</b>	0,275	0,120	0,143	0,070	0,095	0,169	0,131	1,004	0,131	7,644
<b><math>\lambda</math> max =</b>	<b>7,614</b>	<b>IC =</b>	<b>0,102</b>	<b>IR =</b>	<b>1,32</b>	<b>RC =</b>	<b>7,7%</b>			

Como o resultado da razão de consistência (*RC*) da matriz dos critérios do Grupo W foi de 7,7%, ou seja,  $\leq 10\%$ , então o resultado é considerado aceitável pelo método AHP.

Tabela 9 - Determinação do vetor de consistência (Grupo Y)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	$\Sigma$	Autovetor máximo	Vetor Consist.
<b>C1</b>	0,044	0,070	0,071	0,050	0,025	0,057	0,027	0,059	0,032	0,039	0,028	0,501	0,044	11,472
<b>C2</b>	0,022	0,035	0,042	0,100	0,028	0,038	0,054	0,030	0,026	0,019	0,019	0,414	0,035	11,785
<b>C3</b>	0,131	0,176	0,212	0,300	0,395	0,113	0,218	0,208	0,477	0,154	0,170	2,554	0,212	12,045
<b>C4</b>	0,087	0,035	0,071	0,100	0,099	0,151	0,218	0,149	0,079	0,077	0,114	1,179	0,100	11,791
<b>C5</b>	0,350	0,246	0,106	0,200	0,197	0,132	0,326	0,178	0,159	0,270	0,227	2,392	0,197	12,118
<b>C6</b>	0,015	0,018	0,035	0,013	0,028	0,019	0,018	0,015	0,018	0,013	0,028	0,219	0,019	11,593
<b>C7</b>	0,175	0,070	0,106	0,050	0,066	0,113	0,109	0,089	0,159	0,193	0,170	1,300	0,109	11,951
<b>C8</b>	0,022	0,035	0,030	0,020	0,033	0,038	0,036	0,030	0,040	0,039	0,028	0,351	0,030	11,797
<b>C9</b>	0,219	0,211	0,071	0,200	0,197	0,170	0,109	0,119	0,159	0,231	0,227	1,913	0,159	12,033
<b>C10</b>	0,044	0,070	0,053	0,050	0,028	0,057	0,022	0,030	0,026	0,039	0,028	0,447	0,039	11,599
<b>C11</b>	0,087	0,105	0,071	0,050	0,049	0,038	0,036	0,059	0,040	0,077	0,057	0,670	0,057	11,793
<b><math>\lambda</math> max =</b>	<b>11,816</b>	<b>IC =</b>	<b>0,082</b>	<b>IR =</b>	<b>1,52</b>	<b>RC =</b>	<b>5,4%</b>							

Como o resultado da razão de consistência (*RC*) da matriz dos critérios do Grupo Y foi de 5,4%, ou seja,  $\leq 10\%$ , então o resultado é considerado aceitável pelo método AHP.

Valoração - Agregação das prioridades e o ranking final do AHP: Nesta etapa da aplicação do método AHP, são geradas as outras matrizes de comparação para cada uma das alternativas de decisão no nível 3 com relação a todos os critérios do nível 2 da estrutura hierárquica. Os cálculos seguem os mesmos procedimentos realizados até aqui com relação aos critérios, ou seja, calcula-se o autovetor máximo e a razão de consistência (*RC*) para cada alternativa com relação aos critérios. Os julgamentos das alternativas com relação aos critérios, são demonstrados integralmente no APÊNDICE B desta dissertação, e serviram como base para para elaboração das matrizes de comparação paritária das alternativas em referência a todos os critérios dos grupos K, W e Y.

As Tabelas 10, 11 e 12 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C1.

Tabela 10 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C1)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	3	4	3	9	7	9
S2	1/3	1	1/2	1	4	3	6
S3	1/4	2	1	1/2	5	2	5
S4	1/3	1	2	1	6	2	2
S5	1/9	1/4	1/5	1/6	1	1/4	1
S6	1/7	1/3	1/2	1/2	4	1	3
S7	1/9	1/6	1/5	1/2	1	1/3	1
Soma	<b>2,282</b>	<b>7,750</b>	<b>8,400</b>	<b>6,667</b>	<b>30,000</b>	<b>15,583</b>	<b>27,000</b>

Tabela 11 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C1)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,438	0,387	0,476	0,450	0,300	0,449	0,333	0,405
S2	0,146	0,129	0,060	0,150	0,133	0,193	0,222	0,148
S3	0,110	0,258	0,119	0,075	0,167	0,128	0,185	0,149
S4	0,146	0,129	0,238	0,150	0,200	0,128	0,074	0,152
S5	0,049	0,032	0,024	0,025	0,033	0,016	0,037	0,031
S6	0,063	0,043	0,060	0,075	0,133	0,064	0,111	0,078
S7	0,049	0,022	0,024	0,075	0,033	0,021	0,037	0,037
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 12 - Determinação do vetor de consistência (Critério C1)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,405	0,443	0,595	0,457	0,278	0,549	0,335	7,562
S2	0,135	0,148	0,074	0,152	0,124	0,235	0,224	7,398
S3	0,101	0,295	0,149	0,076	0,154	0,157	0,186	7,516
S4	0,135	0,148	0,298	0,152	0,185	0,157	0,075	7,548
S5	0,045	0,037	0,030	0,025	0,031	0,020	0,037	7,277
S6	0,058	0,049	0,074	0,076	0,124	0,078	0,112	7,287
S7	0,045	0,025	0,030	0,076	0,031	0,026	0,037	7,240
$\lambda_{\text{máx}} =$	7,404	<b>IC =</b>	0,067	<b>IR =</b>	1,32	<b>RC =</b>	5,1%	

Na tabela 11, constata-se que a alternativa S1 apresenta o maior autovetor máximo (0,405) em relação ao critério C1. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S1 em relação às outras alternativas, considerando o critério C1. O simulador S5 apresentou o menor autovetor máximo (0,031), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 12, foi de 5,1%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

As Tabelas 13, 14 e 15 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C2.

Tabela 13 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C2)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	1/5	5	3	1	4	9
S2	5	1	7	9	3	8	9
S3	1/5	1/7	1	1/2	1/4	1/2	1
S4	1/3	1/9	2	1	1/3	3	2
S5	1	1/3	4	3	1	4	6
S6	1/4	1/8	2	1/3	1/4	1	2
S7	1/9	1/9	1	1/2	1/6	1/2	1
Soma	<b>7,894</b>	<b>2,023</b>	<b>22,000</b>	<b>17,333</b>	<b>6,000</b>	<b>21,000</b>	<b>30,000</b>

Tabela 14 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C2)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,127	0,099	0,227	0,173	0,167	0,190	0,300	0,183
S2	0,633	0,494	0,318	0,519	0,500	0,381	0,300	0,449
S3	0,025	0,071	0,045	0,029	0,042	0,024	0,033	0,038
S4	0,042	0,055	0,091	0,058	0,056	0,143	0,067	0,073
S5	0,127	0,165	0,182	0,173	0,167	0,190	0,200	0,172
S6	0,032	0,062	0,091	0,019	0,042	0,048	0,067	0,051
S7	0,014	0,055	0,045	0,029	0,028	0,024	0,033	0,033
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 15 - Determinação do vetor de consistência (Critério C2)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,183	0,090	0,192	0,219	0,172	0,205	0,293	7,393
S2	0,916	0,449	0,269	0,657	0,516	0,411	0,293	7,814
S3	0,037	0,064	0,038	0,036	0,043	0,026	0,033	7,208
S4	0,061	0,050	0,077	0,073	0,057	0,154	0,065	7,365
S5	0,183	0,150	0,154	0,219	0,172	0,205	0,196	7,438
S6	0,046	0,056	0,077	0,024	0,043	0,051	0,065	7,062
S7	0,020	0,050	0,038	0,036	0,029	0,026	0,033	7,121
<b>λ máx = 7,343</b>		<b>IC = 0,057</b>		<b>IR = 1,32</b>		<b>RC = 4,3%</b>		

Na tabela 14, constata-se que a alternativa S2 apresenta o maior autovetor máximo (0,449) em relação ao critério C2. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S2 em relação às outras alternativas, considerando o critério C2. O simulador S7 apresentou o menor autovetor máximo (0,033), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 15, foi de 4,3%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.



As Tabelas 16, 17 e 18 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C3.

Tabela 16 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C3)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	3	1	2	3	1/4	1/2
S2	1/3	1	1/3	1/5	1/2	1/6	1/5
S3	1	3	1	2	7	1/5	1
S4	1/2	5	1/2	1	2	1/3	1/2
S5	1/3	2	1/7	1/2	1	1/8	1/5
S6	4	6	5	3	8	1	2
S7	2	5	1	2	5	1/2	1
Soma	<b>9,167</b>	<b>25,000</b>	<b>8,976</b>	<b>10,700</b>	<b>26,500</b>	<b>2,575</b>	<b>5,400</b>

Tabela 17 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C3)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,109	0,120	0,111	0,187	0,113	0,097	0,093	0,119
S2	0,036	0,040	0,037	0,019	0,019	0,065	0,037	0,036
S3	0,109	0,120	0,111	0,187	0,264	0,078	0,185	0,151
S4	0,055	0,200	0,056	0,093	0,075	0,129	0,093	0,100
S5	0,036	0,080	0,016	0,047	0,038	0,049	0,037	0,043
S6	0,436	0,240	0,557	0,280	0,302	0,388	0,370	0,368
S7	0,218	0,200	0,111	0,187	0,189	0,194	0,185	0,184
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 18 - Determinação do vetor de consistência (Critério C3)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,119	0,108	0,151	0,200	0,130	0,092	0,092	7,513
S2	0,040	0,036	0,050	0,020	0,022	0,061	0,037	7,351
S3	0,119	0,108	0,151	0,200	0,302	0,074	0,184	7,550
S4	0,059	0,181	0,075	0,100	0,086	0,123	0,092	7,149
S5	0,040	0,072	0,022	0,050	0,043	0,046	0,037	7,160
S6	0,474	0,217	0,753	0,301	0,346	0,368	0,367	7,682
S7	0,237	0,181	0,151	0,200	0,216	0,184	0,184	7,368
<b>λ máx = 7,396</b>		<b>IC = 0,066</b>		<b>IR = 1,32</b>		<b>RC = 5,0%</b>		

Na tabela 17, constata-se que a alternativa S6 apresenta o maior autovetor máximo (0,368) em relação ao critério C3. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S6 em relação às outras alternativas, considerando o critério C3. O simulador S2 apresentou o menor autovetor máximo (0,036), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 18, foi de 5,0%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

As Tabelas 19, 20 e 21 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C4.

Tabela 19 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C4)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	2	1/3	7	9	8	5
S2	1/2	1	1/2	3	9	4	7
S3	3	2	1	8	8	7	9
S4	1/7	1/3	1/8	1	2	1	1
S5	1/9	1/9	1/8	1/2	1	1/3	1/2
S6	1/8	1/4	1/7	1	3	1	2
S7	1/5	1/7	1/9	1	2	1/2	1
Soma	<b>5,079</b>	<b>5,837</b>	<b>2,337</b>	<b>21,500</b>	<b>34,000</b>	<b>21,833</b>	<b>25,500</b>

Tabela 20 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C4)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,197	0,343	0,143	0,326	0,265	0,366	0,196	0,262
S2	0,098	0,171	0,214	0,140	0,265	0,183	0,275	0,192
S3	0,591	0,343	0,428	0,372	0,235	0,321	0,353	0,377
S4	0,028	0,057	0,053	0,047	0,059	0,046	0,039	0,047
S5	0,022	0,019	0,053	0,023	0,029	0,015	0,020	0,026
S6	0,025	0,043	0,061	0,047	0,088	0,046	0,078	0,055
S7	0,039	0,024	0,048	0,047	0,059	0,023	0,039	0,040
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 21 - Determinação do vetor de consistência (Critério C4)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,262	0,384	0,126	0,329	0,234	0,443	0,199	7,544
S2	0,131	0,192	0,189	0,141	0,234	0,221	0,279	7,216
S3	0,786	0,384	0,377	0,376	0,208	0,388	0,359	7,626
S4	0,037	0,064	0,047	0,047	0,052	0,055	0,040	7,294
S5	0,029	0,021	0,047	0,024	0,026	0,018	0,020	7,138
S6	0,033	0,048	0,054	0,047	0,078	0,055	0,080	7,130
S7	0,052	0,027	0,042	0,047	0,052	0,028	0,040	7,238
λ máx =	7,313	IC = 0,052		IR = 1,32		RC = 3,9%		

Na tabela 20, constata-se que a alternativa S3 apresenta o maior autovetor máximo (0,377) em relação ao critério C4. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S3 em relação às outras alternativas, considerando o critério C4. O simulador S5 apresentou o menor autovetor máximo (0,026), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 21, foi de 3,9%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

As Tabelas 22, 23 e 24 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C5.

Tabela 22 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C5)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	2	1	3	7	6	9
S2	1/2	1	1/2	2	7	5	2
S3	1	2	1	3	7	6	8
S4	1/3	1/2	1/3	1	4	3	3
S5	1/7	1/7	1/7	1/4	1	1/3	1/2
S6	1/6	1/5	1/6	1/3	3	1	1
S7	1/9	1/2	1/8	1/3	2	1	1
Soma	<b>3,254</b>	<b>6,343</b>	<b>3,268</b>	<b>9,917</b>	<b>31,000</b>	<b>22,333</b>	<b>24,500</b>

Tabela 23 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C5)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,307	0,315	0,306	0,303	0,226	0,269	0,367	0,299
S2	0,154	0,158	0,153	0,202	0,226	0,224	0,082	0,171
S3	0,307	0,315	0,306	0,303	0,226	0,269	0,327	0,293
S4	0,102	0,079	0,102	0,101	0,129	0,134	0,122	0,110
S5	0,044	0,023	0,044	0,025	0,032	0,015	0,020	0,029
S6	0,051	0,032	0,051	0,034	0,097	0,045	0,041	0,050
S7	0,034	0,079	0,038	0,034	0,065	0,045	0,041	0,048
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 24 - Determinação do vetor de consistência (Critério C5)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,299	0,342	0,293	0,330	0,203	0,300	0,431	7,350
S2	0,149	0,171	0,147	0,220	0,203	0,250	0,096	7,224
S3	0,299	0,342	0,293	0,330	0,203	0,300	0,383	7,333
S4	0,100	0,086	0,098	0,110	0,116	0,150	0,144	7,294
S5	0,043	0,024	0,042	0,027	0,029	0,017	0,024	7,109
S6	0,050	0,034	0,049	0,037	0,087	0,050	0,048	7,092
S7	0,033	0,086	0,037	0,037	0,058	0,050	0,048	7,270
£ máx =	7,239	IC = 0,040		IR = 1,32		RC = 3,0%		

Na tabela 23, constata-se que a alternativa S1 apresenta o maior autovetor máximo (0,299) em relação ao critério C5. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S1 em relação às outras alternativas, considerando o critério C5. O simulador S5 apresentou o menor autovetor máximo (0,029), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 24, foi de 3,0%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

As Tabelas 25, 26 e 27 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C6.

Tabela 25 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C6)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	1/4	1/2	1/3	1/9	1/9	1/5
S2	4	1	2	3	1/2	1/2	1
S3	2	1/2	1	1	1/6	1/6	1/3
S4	3	1/3	1	1	1/6	1/5	1/2
S5	9	2	6	6	1	2	1
S6	9	2	6	5	1/2	1	4
S7	5	1	3	2	1	1/4	1
Soma	<b>33,000</b>	<b>7,083</b>	<b>19,500</b>	<b>18,333</b>	<b>3,444</b>	<b>4,228</b>	<b>8,033</b>

Tabela 26 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C6)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,030	0,035	0,026	0,018	0,032	0,026	0,025	0,028
S2	0,121	0,141	0,103	0,164	0,145	0,118	0,124	0,131
S3	0,061	0,071	0,051	0,055	0,048	0,039	0,041	0,052
S4	0,091	0,047	0,051	0,055	0,048	0,047	0,062	0,057
S5	0,273	0,282	0,308	0,327	0,290	0,473	0,124	0,297
S6	0,273	0,282	0,308	0,273	0,145	0,237	0,498	0,288
S7	0,152	0,141	0,154	0,109	0,290	0,059	0,124	0,147
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 27 - Determinação do vetor de consistência (Critério C6)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,028	0,033	0,026	0,019	0,033	0,032	0,029	7,258
S2	0,110	0,131	0,105	0,172	0,148	0,144	0,147	7,312
S3	0,055	0,065	0,052	0,057	0,049	0,048	0,049	7,200
S4	0,083	0,044	0,052	0,057	0,049	0,058	0,074	7,259
S5	0,248	0,262	0,314	0,344	0,297	0,576	0,147	7,370
S6	0,248	0,262	0,314	0,287	0,148	0,288	0,588	7,418
S7	0,138	0,131	0,157	0,115	0,297	0,072	0,147	7,182
£ máx =	7,286	IC = 0,048		IR = 1,32		RC = 3,6%		

Na tabela 26, constata-se que a alternativa S5 apresenta o maior autovetor máximo (0,297) em relação ao critério C6. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S5 em relação às outras alternativas, considerando o critério C6. O simulador S1 apresentou o menor autovetor máximo (0,028), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 27, foi de 3,6%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

As Tabelas 28, 29 e 30 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C7.

Tabela 28 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C7)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	6	8	9	1	2	5
S2	1/6	1	2	3	1/3	1/2	1/2
S3	1/8	1/2	1	2	1/6	1/3	1/2
S4	1/9	1/3	1/2	1	1/9	1/8	1/4
S5	1	3	6	9	1	2	3
S6	1/2	2	3	8	1/2	1	2
S7	1/5	2	2	4	1/3	1/2	1
Soma	<b>3,103</b>	<b>14,833</b>	<b>22,500</b>	<b>36,000</b>	<b>3,444</b>	<b>6,458</b>	<b>12,250</b>

Tabela 29 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C7)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,322	0,404	0,356	0,250	0,290	0,310	0,408	0,334
S2	0,054	0,067	0,089	0,083	0,097	0,077	0,041	0,073
S3	0,040	0,034	0,044	0,056	0,048	0,052	0,041	0,045
S4	0,036	0,022	0,022	0,028	0,032	0,019	0,020	0,026
S5	0,322	0,202	0,267	0,250	0,290	0,310	0,245	0,269
S6	0,161	0,135	0,133	0,222	0,145	0,155	0,163	0,159
S7	0,064	0,135	0,089	0,111	0,097	0,077	0,082	0,094
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 30 - Determinação do vetor de consistência (Critério C7)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,334	0,436	0,360	0,232	0,269	0,319	0,468	7,231
S2	0,056	0,073	0,090	0,077	0,090	0,080	0,047	7,047
S3	0,042	0,036	0,045	0,052	0,045	0,053	0,047	7,102
S4	0,037	0,024	0,022	0,026	0,030	0,020	0,023	7,099
S5	0,334	0,218	0,270	0,232	0,269	0,319	0,281	7,135
S6	0,167	0,145	0,135	0,206	0,135	0,159	0,187	7,124
S7	0,067	0,145	0,090	0,103	0,090	0,080	0,094	7,139
£ máx =	7,125	IC =	0,021	IR =	1,32	RC =	0,016	1,6%

Na tabela 29, constata-se que a alternativa S1 apresenta o maior autovetor máximo (0,334) em relação ao critério C7. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S1 em relação às outras alternativas, considerando o critério C7. O simulador S4 apresentou o menor autovetor máximo (0,026), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 30, foi de 1,6%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

As Tabelas 31, 32 e 33 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C8.

Tabela 31 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C8)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	2	1	4	5	7	9
S2	1/2	1	2	3	7	6	8
S3	1	1/2	1	4	4	5	6
S4	1/4	1/3	1/4	1	3	3	2
S5	1/5	1/7	1/4	1/3	1	2	1
S6	1/7	1/6	1/5	1/3	1/2	1	1/2
S7	1/9	1/8	1/6	1/2	1	2	1
Soma	<b>3,204</b>	<b>4,268</b>	<b>4,867</b>	<b>13,167</b>	<b>21,500</b>	<b>26,000</b>	<b>27,500</b>

Tabela 32 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C8)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,312	0,469	0,205	0,304	0,233	0,269	0,327	0,303
S2	0,156	0,234	0,411	0,228	0,326	0,231	0,291	0,268
S3	0,312	0,117	0,205	0,304	0,186	0,192	0,218	0,219
S4	0,078	0,078	0,051	0,076	0,140	0,115	0,073	0,087
S5	0,062	0,033	0,051	0,025	0,047	0,077	0,036	0,047
S6	0,045	0,039	0,041	0,025	0,023	0,038	0,018	0,033
S7	0,035	0,029	0,034	0,038	0,047	0,077	0,036	0,042
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 33 - Determinação do vetor de consistência (Critério C8)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,303	0,536	0,219	0,349	0,237	0,230	0,381	7,450
S2	0,151	0,268	0,439	0,262	0,332	0,197	0,338	7,415
S3	0,303	0,134	0,219	0,349	0,190	0,164	0,254	7,356
S4	0,076	0,089	0,055	0,087	0,142	0,099	0,085	7,248
S5	0,061	0,038	0,055	0,029	0,047	0,066	0,042	7,123
S6	0,043	0,045	0,044	0,029	0,024	0,033	0,021	7,264
S7	0,034	0,034	0,037	0,044	0,047	0,066	0,042	7,161
<b>λ máx = 7,288</b>		<b>IC = 0,048</b>		<b>IR = 1,32</b>		<b>RC = 3,6%</b>		

Na tabela 32, constata-se que a alternativa S1 apresenta o maior autovetor máximo (0,303) em relação ao critério C8. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S1 em relação às outras alternativas, considerando o critério C8. O simulador S6 apresentou o menor autovetor máximo (0,033), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 33, foi de 3,6%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

As Tabelas 34, 35 e 36 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C9.

Tabela 34 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C9)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	1/2	1/7	1/6	2	1/3	1/2
S2	2	1	1/4	1/3	3	2	1
S3	7	4	1	2	5	4	4
S4	6	3	1/2	1	5	4	3
S5	1/2	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1/2
S6	3	1/2	1/4	1/4	3	1	2
S7	2	1	1/4	1/3	2	1/2	1
Soma	<b>21,500</b>	<b>10,333</b>	<b>2,593</b>	<b>4,283</b>	<b>21,000</b>	<b>12,167</b>	<b>12,000</b>

Tabela 35 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C9)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,047	0,048	0,055	0,039	0,095	0,027	0,042	0,050
S2	0,093	0,097	0,096	0,078	0,143	0,164	0,083	0,108
S3	0,326	0,387	0,386	0,467	0,238	0,329	0,333	0,352
S4	0,279	0,290	0,193	0,233	0,238	0,329	0,250	0,259
S5	0,023	0,032	0,077	0,047	0,048	0,027	0,042	0,042
S6	0,140	0,048	0,096	0,058	0,143	0,082	0,167	0,105
S7	0,093	0,097	0,096	0,078	0,095	0,041	0,083	0,083
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 36 - Determinação do vetor de consistência (Critério C9)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,050	0,054	0,050	0,043	0,085	0,035	0,042	7,116
S2	0,101	0,108	0,088	0,086	0,127	0,210	0,083	7,450
S3	0,353	0,431	0,352	0,518	0,211	0,420	0,334	7,436
S4	0,303	0,323	0,176	0,259	0,211	0,420	0,250	7,502
S5	0,025	0,036	0,070	0,052	0,042	0,035	0,042	7,150
S6	0,151	0,054	0,088	0,065	0,127	0,105	0,167	7,212
S7	0,101	0,108	0,088	0,086	0,085	0,052	0,083	7,237
£ máx =	7,300	IC =	0,050	IR =	1,32	RC =	3,8%	

Na tabela 35, constata-se que a alternativa S3 apresenta o maior autovetor máximo (0,352) em relação ao critério C9. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S3 em relação às outras alternativas, considerando o critério C9. O simulador S5 apresentou o menor autovetor máximo (0,042), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 36, foi de 3,8%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.



As Tabelas 37, 38 e 39 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C10.

Tabela 37 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C10)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	1/2	1	3	3	4	7
S2	2	1	2	2	4	6	2
S3	1	1/2	1	1	2	3	5
S4	1/3	1/2	1	1	3	3	5
S5	1/3	1/4	1/2	1/3	1	2	2
S6	1/4	1/6	1/3	1/3	1/2	1	2
S7	1/7	1/2	1/5	1/5	1/2	1/2	1
Soma	<b>5,060</b>	<b>3,417</b>	<b>6,033</b>	<b>7,867</b>	<b>14,000</b>	<b>19,500</b>	<b>24,000</b>

Tabela 38 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C10)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,198	0,146	0,166	0,381	0,214	0,205	0,292	0,229
S2	0,395	0,293	0,331	0,254	0,286	0,308	0,083	0,279
S3	0,198	0,146	0,166	0,127	0,143	0,154	0,208	0,163
S4	0,066	0,146	0,166	0,127	0,214	0,154	0,208	0,155
S5	0,066	0,073	0,083	0,042	0,071	0,103	0,083	0,075
S6	0,049	0,049	0,055	0,042	0,036	0,051	0,083	0,052
S7	0,028	0,146	0,033	0,025	0,036	0,026	0,042	0,048
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 39 - Determinação do vetor de consistência (Critério C10)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,229	0,139	0,163	0,464	0,224	0,209	0,336	7,706
S2	0,458	0,279	0,326	0,309	0,298	0,314	0,096	7,464
S3	0,229	0,139	0,163	0,155	0,149	0,157	0,240	7,552
S4	0,076	0,139	0,163	0,155	0,224	0,157	0,240	7,468
S5	0,076	0,070	0,082	0,052	0,075	0,105	0,096	7,437
S6	0,057	0,046	0,054	0,052	0,037	0,052	0,096	7,555
S7	0,033	0,139	0,033	0,031	0,037	0,026	0,048	7,225
<b>λ máx = 7,487</b>		<b>IC = 0,081</b>		<b>IR = 1,32</b>		<b>RC = 6,1%</b>		

Na tabela 38, constata-se que a alternativa S2 apresenta o maior autovetor máximo (0,279) em relação ao critério C10. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S2 em relação às outras alternativas, considerando o critério C10. O simulador S7 apresentou o menor autovetor máximo (0,048), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 39, foi de 6,1%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

As Tabelas 40, 41 e 42 mostram os resultados obtidos das comparações entre as alternativas em relação ao critério C11.

Tabela 40 - Matriz de comparação paritária das alternativas (Critério C11)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	1	2	1	3	7	9	8
S2	1/2	1	2	3	5	8	7
S3	1	1/2	1	5	3	7	7
S4	1/3	1/3	1/5	1	1	2	3
S5	1/7	1/5	1/3	1	1	2	2
S6	1/9	1/8	1/7	1/2	1/2	1	1/2
S7	1/8	1/7	1/7	1/3	1/2	2	1
Soma	<b>3,212</b>	<b>4,301</b>	<b>4,819</b>	<b>13,833</b>	<b>18,000</b>	<b>31,000</b>	<b>28,500</b>

Tabela 41 - Matriz normalizada e definição do autovetor (Critério C11)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Autovetor máximo
S1	0,311	0,465	0,208	0,217	0,389	0,290	0,281	0,309
S2	0,156	0,232	0,415	0,217	0,278	0,258	0,246	0,257
S3	0,311	0,116	0,208	0,361	0,167	0,226	0,246	0,234
S4	0,104	0,077	0,042	0,072	0,056	0,065	0,105	0,074
S5	0,044	0,046	0,069	0,072	0,056	0,065	0,070	0,060
S6	0,035	0,029	0,030	0,036	0,028	0,032	0,018	0,030
S7	0,039	0,033	0,030	0,024	0,028	0,065	0,035	0,036
Soma	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

Tabela 42 - Determinação do vetor de consistência (Critério C11)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Vetor de Consistência
S1	0,309	0,515	0,234	0,223	0,423	0,266	0,289	7,316
S2	0,154	0,257	0,467	0,223	0,302	0,237	0,253	7,357
S3	0,309	0,129	0,234	0,372	0,181	0,207	0,253	7,211
S4	0,103	0,086	0,047	0,074	0,060	0,059	0,109	7,234
S5	0,044	0,051	0,078	0,074	0,060	0,059	0,072	7,281
S6	0,034	0,032	0,033	0,037	0,030	0,030	0,018	7,265
S7	0,039	0,037	0,033	0,025	0,030	0,059	0,036	7,159
<b>λ máx = 7,261</b>		<b>IC = 0,043</b>		<b>IR = 1,32</b>		<b>RC = 3,3%</b>		

Na tabela 41, constata-se que a alternativa S1 apresenta o maior autovetor máximo (0,309) em relação ao critério C11. Isso representa um maior peso atribuído à alternativa S1 em relação às outras alternativas, considerando o critério C11. O simulador S6 apresentou o menor autovetor máximo (0,030), portanto ficando com o pior desempenho nesta avaliação.

O resultado da razão de consistência (RC), apresentada na Tabela 42, foi de 3,3%, ou seja, abaixo de 10%, desse modo é considerado aceitável pelo método AHP.

Para finalmente se alcançar um *ranking* das alternativas, deve-se obter a prioridade composta, multiplicando-se os autovetores máximo das alternativas pelos autovetores máximo dos critérios, somando-se depois os resultados obtidos. A Tabela 43 apresenta a prioridade composta e classificação das alternativas, considerando os critérios do Grupo K.

Tabela 43 - Prioridade composta e ordenação das alternativas (Grupo K)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>Prioridade Composta</b>	<b>Classificação</b>
<b>S1</b>	0,093	0,022	0,077	<b>0,192</b>	2°
<b>S2</b>	0,034	0,055	0,023	<b>0,112</b>	5°
<b>S3</b>	0,034	0,005	0,098	<b>0,137</b>	3°
<b>S4</b>	0,035	0,009	0,065	<b>0,109</b>	6°
<b>S5</b>	0,007	0,021	0,028	<b>0,056</b>	7°
<b>S6</b>	0,018	0,006	0,238	<b>0,263</b>	1°
<b>S7</b>	0,009	0,004	0,119	<b>0,131</b>	4°

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 43, tem-se:

$$a_{11} = 0,230 \times 0,405 = 0,093 \text{ (Os dados de entrada são provenientes das Tabelas 4 e 11)}$$

$$a_{12} = 0,122 \times 0,183 = 0,022$$

$$a_{21} = 0,230 \times 0,148 = 0,034$$

Para o cálculo da Prioridade Composta, tem-se:

$$\text{Prioridade Composta (Alternativa S1)} = 0,093 + 0,022 + 0,077 = 0,192$$

Após o cálculo das prioridades compostas (Tabela 43), se obteve uma classificação dos *softwares* simuladores de tráfego de acordo com o método AHP. Quando é considerado os critérios do Grupo K, o maior valor de prioridade composta (0,263) refere-se à alternativa S6. Isso representa que a alternativa S6 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S1 (0,192) e em último lugar a alternativa S5 (0,056).

Logo, pela aplicação do método multicritério AHP e considerando o Grupo K de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas se definiu como  $S6 > S1 > S3$  e  $S7 > S2 > S4 > S5$ .

As Tabelas 44 e 45 apresentam respectivamente a classificação das alternativas considerando os critérios dos Grupos W e Y. Os cálculos foram realizados com o mesmo procedimento empregado para o Grupo K.

Tabela 44 - Prioridade composta e ordenação das alternativas (Grupo W)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Prioridade Composta	Classificação
<b>S1</b>	0,028	0,011	0,034	0,037	0,085	0,001	0,044	<b>0,239</b>	1º
<b>S2</b>	0,010	0,027	0,010	0,027	0,049	0,004	0,010	<b>0,136</b>	4º
<b>S3</b>	0,010	0,002	0,043	0,053	0,084	0,001	0,006	<b>0,199</b>	2º
<b>S4</b>	0,010	0,004	0,029	0,007	0,031	0,002	0,003	<b>0,087</b>	6º
<b>S5</b>	0,002	0,010	0,012	0,004	0,008	0,008	0,035	<b>0,080</b>	7º
<b>S6</b>	0,005	0,003	0,105	0,008	0,014	0,008	0,021	<b>0,165</b>	3º
<b>S7</b>	0,003	0,002	0,053	0,006	0,014	0,004	0,012	<b>0,093</b>	5º

Posteriormente ao cálculo das prioridades compostas (Tabela 44), se obteve uma classificação dos *softwares* simuladores de tráfego de acordo com o método AHP. Quando é considerado os critérios do Grupo W, o maior valor de prioridade composta (0,239) refere-se à alternativa S1. Isso representa que a alternativa S1 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S3 (0,199) e em último lugar a alternativa S5 (0,080).

Logo, pela aplicação do método multicritério AHP e considerando o Grupo W de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas se definiu como  $S1 > S3 > S6$  e  $S2 > S7 > S4 > S5$ .

Tabela 45 - Prioridade composta e ordenação das alternativas (Grupo Y)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	Prioridade Composta	Classificação
<b>S1</b>	0,018	0,006	0,025	0,026	0,059	0,001	0,036	0,009	0,008	0,009	0,018	<b>0,215</b>	2º
<b>S2</b>	0,006	0,016	0,008	0,019	0,034	0,002	0,008	0,008	0,017	0,011	0,015	<b>0,144</b>	3º
<b>S3</b>	0,007	0,001	0,032	0,038	0,058	0,001	0,005	0,007	0,056	0,006	0,013	<b>0,223</b>	1º
<b>S4</b>	0,007	0,003	0,021	0,005	0,022	0,001	0,003	0,003	0,041	0,006	0,004	<b>0,115</b>	5º
<b>S5</b>	0,001	0,006	0,009	0,003	0,006	0,006	0,029	0,001	0,007	0,003	0,003	<b>0,074</b>	7º
<b>S6</b>	0,003	0,002	0,078	0,006	0,010	0,005	0,017	0,001	0,017	0,002	0,002	<b>0,143</b>	4º
<b>S7</b>	0,002	0,001	0,039	0,004	0,009	0,003	0,010	0,001	0,013	0,002	0,002	<b>0,086</b>	6º

Após o cálculo das prioridades compostas (Grupo Y), se obteve uma classificação dos *softwares* simuladores de tráfego de acordo com o método AHP. Quando é considerado os critérios do Grupo Y, o maior valor de prioridade composta (0,223) refere-se à alternativa S3. Isso representa que a alternativa S3 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S1 (0,215) e em último lugar a alternativa S5 (0,074).

Logo, pela aplicação do método multicritério AHP e considerando o Grupo Y de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas se definiu como  $S3 > S1 > S2$  e  $S6 > S4 > S7 > S5$ .

Posteriormente à ordenação revelada, e de maneira a se testar e validar os resultados obtidos pelo processo de cálculo do método AHP pela planilha do Microsoft Excel, utilizou-se a ferramenta Open Decision Maker, que é um *software* que computa automaticamente o método AHP. Por meio do Open Decision Maker, podê-se confirmar as ordenações alcançadas para todos os grupos de critérios, garantindo assim os resultados obtidos.

A Figura 17, demonstra a tela dos resultados obtidos com a ferramenta Open Decision Maker para o Grupo W de critérios.

Figura 17 – Resultados dos cálculos obtidos por meio do Open Decision Maker (Grupo W)

The screenshot shows the 'Open Decision Maker' application window. The 'Result' tab is active, displaying the following data:

Ranking	Alternative	Value
1	S1	24,05%
2	S3	20,23%
3	S6	16,70%
4	S2	13,51%
5	S7	9,15%
6	S4	8,52%
7	S5	7,85%

Name	CR Value
Ordenar Simul. de Tráfego	0,0770
C1	0,0508
C2	0,0429
C3	0,0497
C4	0,0395
C5	0,0298
C6	0,0362
C7	0,0158

Alternative/Criterion	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
S1	40,96%	17,82%	11,85%	26,37%	30,16%	2,73%	33,77%
S2	14,53%	46,62%	3,57%	18,57%	16,91%	13,07%	7,15%
S3	14,89%	3,70%	15,04%	38,80%	29,50%	5,14%	4,46%
S4	15,38%	7,06%	9,57%	4,59%	10,99%	5,68%	2,56%
S5	3,01%	16,90%	4,12%	2,51%	2,84%	29,92%	26,89%
S6	7,61%	4,80%	37,82%	5,28%	4,85%	29,04%	15,86%
S7	3,62%	3,09%	18,03%	3,88%	4,76%	14,42%	9,32%

Fonte: Open Decision Maker

Foram encontrados vários outros *softwares* disponíveis para o cálculo do método AHP: Expert Choice; Super Decisions; Criterium Decision Plus; Decerns, HIPRE 3+, além de vários outros elaborados no meio acadêmico. Para essa dissertação, decidiu-se pela validação dos resultados com o uso do Open Decision Maker devido à disponibilização gratuita e pela simplicidade de aplicação dos dados de entrada.

### 3.5.2 Aplicação do método TODIM

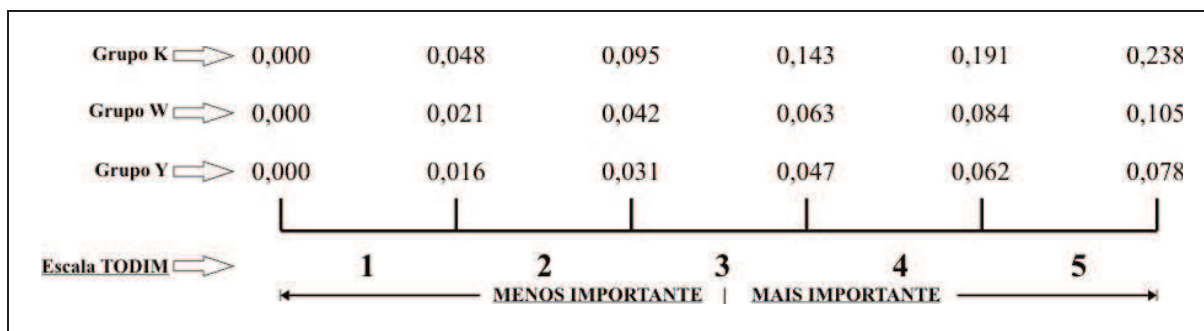
Antes de iniciar qualquer tipo de análise com o método TODIM, fez-se necessário o ajuste dos dados de entrada para um padrão definido. Com isso, assegura-se a uniformidade das informações processadas e evita-se distorções nos resultados dos métodos MCDM aplicados nesta dissertação.

O procedimento do método TODIM, de acordo com Gomes, Araya e Carignano (2004), é: (I) a formação de uma matriz de desejabilidades, na qual o desempenho dos critérios em cada alternativa é estimado numa escala de 0 a 10, ou em qualquer outra escala definida pelos decisores; (II) a comparação entre critérios por pares, valorados pela escala fundamental de Saaty, seguida do cálculo do critério de referência, associado à teoria dos Prospectos; e (III) o tratamento matemático dos juízos de valor.

Na primeira etapa da aplicação do método, foram determinadas as matrizes de desejabilidades, que é a importância de cada uma das alternativas em relação a cada um dos critérios. Para isso, utilizou-se uma escala de 1 a 5, onde 5 representa a opção muito importante e 1 a opção pouco importante. Este mesmo tipo de escala foi utilizada com sucesso na aplicação do método TODIM nos trabalhos de Juliano (2007); Gomes e Maranhão (2008); Moshkovich *et al.* (2012); Rangel, Gomes e Moreira (2009); além de outros autores.

Para a elaboração das matrizes de desejabilidades, utilizou-se como base as Tabelas 43, 44 e 45, nas quais foram determinadas as prioridades compostas por meio do método AHP. Os valores obtidos pelo método AHP foram alocados conforme a escala apresentada na Figura 18. Por exemplo, se o valor na matriz do Grupo K estiver entre a faixa de 0,191 a 0,238, na escala TODIM este valor corresponde ao valor 5 na matriz de desejabilidades.

Figura 18 – Escala de valores para formação das matrizes de desejabilidades



Fonte: O Autor

A Tabela 46 apresenta a correlação das avaliações dos simuladores realizadas sob a perspectiva de cada critério do Grupo K.

Tabela 46 - Matriz de desejabilidades (Grupo K)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>S1</b>	2	1	2
<b>S2</b>	1	2	1
<b>S3</b>	1	1	3
<b>S4</b>	1	1	2
<b>S5</b>	1	1	1
<b>S6</b>	1	1	5
<b>S7</b>	1	1	3

Para ilustração da correspondência de valores efetuados na Tabela 46, tem-se:

Localizou-se o valor máximo na matriz da Tabela 43. O valor máximo (0,238) do Grupo K foi então dividido em 5 partes iguais. Com isso foi possível atribuir valores de referência, formando uma escala de 1 a 5 (conforme Figura 18): se  $a_{ij} \leq 0,048$ , então valor na escala = 1; se  $a_{ij}$  estiver entre 0,048 e 0,095, então valor na escala = 2; se  $a_{ij}$  estiver entre 0,095 e 0,143, então valor na escala = 3; se  $a_{ij}$  estiver entre 0,143 e  $\leq 0,191$ , então valor na escala = 4; e se  $a_{ij}$  estiver entre 0,191 e 0,238, então valor na escala = 5.

$a_{11} = 0,093$ , portanto escala = 2

$a_{12} = 0,022$ , portanto escala = 1

$a_{21} = 0,034$ , portanto escala = 1

A correspondência das avaliações para formar as matrizes de desejabilidades para os demais grupos de critérios foram atribuídos da mesma maneira, observando-se cada faixa de valores nos respectivos grupos, de acordo com a Figura 18. As tabelas 47 e 48 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades dos grupos de critérios W e Y.

Tabela 47 - Matriz de desejabilidades (Grupo W)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>
<b>S1</b>	2	1	2	2	5	1	3
<b>S2</b>	1	2	1	2	3	1	1
<b>S3</b>	1	1	3	3	4	1	1
<b>S4</b>	1	1	2	1	2	1	1
<b>S5</b>	1	1	1	1	1	1	2
<b>S6</b>	1	1	5	1	1	1	1
<b>S7</b>	1	1	3	1	1	1	1

Tabela 48 - Matriz de desejabilidades (Grupo Y)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>
<b>S1</b>	2	1	2	2	4	1	3	1	1	1	2
<b>S2</b>	1	2	1	2	3	1	1	1	2	1	1
<b>S3</b>	1	1	3	3	4	1	1	1	4	1	1
<b>S4</b>	1	1	2	1	2	1	1	1	3	1	1
<b>S5</b>	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
<b>S6</b>	1	1	5	1	1	1	2	1	2	1	1
<b>S7</b>	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1

Após a geração das matrizes de desejabilidades, é necessário realizar a normalização destas matrizes. A normalização foi realizada conforme descrito por Belton e Gear (1983), onde utilizando-se os dados determinados nas matrizes de desejabilidades, divide-se cada valor da célula, pelo maior valor da coluna onde tal célula se encontra.

O resultado da normalização para o Grupo K de critérios pode ser verificada na Tabela 49.

Tabela 49 - Matriz de desejabilidades normalizadas (Grupo K)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>S1</b>	1,000	0,500	0,400
<b>S2</b>	0,500	1,000	0,200
<b>S3</b>	0,500	0,500	0,600
<b>S4</b>	0,500	0,500	0,400
<b>S5</b>	0,500	0,500	0,200
<b>S6</b>	0,500	0,500	1,000
<b>S7</b>	0,500	0,500	0,600

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 49, tem-se:

$$a_{11} = 2 \div 2 = 1,000 \text{ (Os dados de entrada são provenientes da Tabela 46)}$$

$$a_{12} = 1 \div 2 = 0,500$$

$$a_{21} = 1 \div 2 = 0,500$$

Assim, para os demais grupos de critérios, os cálculos seguiram o mesmo procedimento. As tabelas 50 e 51 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades normalizadas dos grupos de critérios W e Y.



Tabela 50 - Matriz de desejabilidades normalizadas para o Grupo W

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
S1	1,000	0,500	0,400	0,667	1,000	1,000	1,000
S2	0,500	1,000	0,200	0,667	0,600	1,000	0,333
S3	0,500	0,500	0,600	1,000	0,800	1,000	0,333
S4	0,500	0,500	0,400	0,333	0,400	1,000	0,333
S5	0,500	0,500	0,200	0,333	0,200	1,000	0,667
S6	0,500	0,500	1,000	0,333	0,200	1,000	0,333
S7	0,500	0,500	0,600	0,333	0,200	1,000	0,333

Tabela 51 - Matriz de desejabilidades normalizadas para o Grupo Y

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
S1	1,000	0,500	0,400	0,667	1,000	1,000	1,000	1,000	0,250	1,000	1,000
S2	0,500	1,000	0,200	0,667	0,750	1,000	0,333	1,000	0,500	1,000	0,500
S3	0,500	0,500	0,600	1,000	1,000	1,000	0,333	1,000	1,000	1,000	0,500
S4	0,500	0,500	0,400	0,333	0,500	1,000	0,333	1,000	0,750	1,000	0,500
S5	0,500	0,500	0,200	0,333	0,250	1,000	0,667	1,000	0,250	1,000	0,500
S6	0,500	0,500	1,000	0,333	0,250	1,000	0,667	1,000	0,500	1,000	0,500
S7	0,500	0,500	0,600	0,333	0,250	1,000	0,333	1,000	0,250	1,000	0,500

Para determinar os pesos dos critérios, o método TODIM deixa livre para o usuário definir um procedimento: Gomes, Rangel e Maranhão (2009) utilizaram o método AHP para determinação dos pesos dos critérios; Gomes e Rangel (2009) usaram o método da pontuação direta de peso (*direct ratings*); e Rangel, Gomes e Moreira (2009) consideraram que todos os pesos eram iguais. Nesta dissertação, utilizou-se o método AHP para determinação dos pesos, portanto, os pesos dos critérios são provenientes dos valores do autovetor dos critérios, calculados nas Tabelas 4, 5 e 6. A Tabela 52 mostra os pesos dos critérios (autovetor) dos Grupos K, W e Y obtidos por meio da aplicação do método AHP. O  $a_{rc}$  é a taxa de substituição dos critérios.

Tabela 52 – Pesos dos critérios

Critério	GRUPO K		GRUPO W		GRUPO Y	
	Peso	$a_{rc}$	Peso	$a_{rc}$	Peso	$a_{rc}$
C1	0,230	0,355	0,069	0,240	0,043	0,203
C2	0,122	0,189	0,060	0,209	0,031	0,149
C3	<b>0,648</b>	1,000	<b>0,287</b>	1,000	<b>0,210</b>	1,000
C4	-	-	0,140	0,487	0,100	0,477
C5	-	-	0,285	0,996	0,194	0,926
C6	-	-	0,028	0,099	0,019	0,089
C7	-	-	0,131	0,458	0,125	0,595
C8	-	-	-	-	0,029	0,139
C9	-	-	-	-	0,156	0,743
C10	-	-	-	-	0,037	0,179
C11	-	-	-	-	0,055	0,263
Referência	C3= 0,648	-	C3= 0,287	-	C3= 0,210	-
$\sum a_{rc} =$	-	<b>1,543</b>	-	<b>3,490</b>	-	<b>4,764</b>

O método TODIM necessita que um critério deva ser tomado como referência. O critério de referência varia de acordo com o vetor de peso dos critérios, sendo o que possui o maior valor global. Portanto, conforme se verifica na Tabela 52, o critério C3 é o critério de maior valor para todos os três grupos (K, W e Y). Esse critério C3, associado à Teoria dos Prospectos, é a âncora para a avaliação de perdas e ganhos entre as alternativas. Com o critério de referência (C3) pôde-se calcular a taxa de substituição dos critérios ( $a_{rc}$ ), que representa o peso de cada critério dividido pelo critério de referência. A somatória das taxas de substituição dos critérios ( $\sum a_{rc}$ ) também foi calculado e será utilizado nas seguintes etapas de cálculos.

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 52, tem-se para o Grupo K:

$$a_{rc} (C1) = 0,230 \div 0,648 = 0,355$$

$$\sum a_{rc} = (0,355 + 0,189 + 1,000) = 1,543$$

Em seguida à atribuição dos pesos dos critérios, é necessário calcular as matrizes de dominância parciais e a matriz de dominância final. Com as informações expressas nas Tabelas 49, 50, 51 e 52, aplicou-se as Equações (3), (4) e (5) para se obter as matrizes de desejabilidades parciais para cada um dos critérios.

O fator  $\Phi_c(i,j)$  representa a parcela de contribuição do critério  $c$  à função  $\delta(i,j)$ , quando se compara a alternativa  $i$  com a alternativa  $j$ . Observa-se que existem três diferentes equações matemáticas para o cálculo do fator  $\Phi_c(i,j)$ , vinculadas aos pesos das alternativas  $W_{ic}$  e  $W_{jc}$ . Caso o valor de  $W_{ic} - W_{jc}$  seja positivo ( $> 0$ ), representará um ganho para a função  $\delta(i,j)$  e, portanto, deve ser usada a Equação (3). Caso  $W_{ic} - W_{jc}$  seja nulo ( $= 0$ ), será atribuído o valor nulo para  $\Phi_c(i,j)$ , vide Equação (4). Se  $W_{ic} - W_{jc}$  for negativo ( $< 0$ ),  $\Phi_c(i,j)$  será representado pela Equação (5).

$$\Phi_c(i,j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{a_{rc} |W_{ic} - W_{jc}|}{\sum_{c=1}^m a_{rc}}} & , se (W_{ic} - W_{jc}) > 0 & (3) \\ 0 & , se (W_{ic} - W_{jc}) = 0 & (4) \\ -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{c=1}^m a_{rc}) |W_{jc} - W_{ic}|}{a_{rc}}} & , se (W_{ic} - W_{jc}) < 0 & (5) \end{cases}$$

Os fatores  $W_{ic}$  e  $W_{jc}$  (pesos das alternativas) tiveram seus valores retirados das matrizes de desejabilidades normalizadas, expressas nas Tabelas 49, 50 e 51. O valor  $\theta$  é o fator de atenuação de perdas. Diferentes escolhas deste valor levam a diferentes formas da função de valor da Teoria dos Prospectos no quadrante negativo. Neste estudo, aplicou-se o modelo padrão, utilizando-se  $\theta=1$ .

A matriz de desejabilidade parcial do critério C1 no Grupo K para comparação das alternativas é expressa na Tabela 53.

Tabela 53 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C1 (Grupo K)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339	0,339
S2	-1,475	0	0	0	0	0	0
S3	-1,475	0	0	0	0	0	0
S4	-1,475	0	0	0	0	0	0
S5	-1,475	0	0	0	0	0	0
S6	-1,475	0	0	0	0	0	0
S7	-1,475	0	0	0	0	0	0

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 53, tem-se

Conforme dados provenientes das Tabelas 49 e 52, tem-se o cálculo de  $\Phi$  conforme as equações (3), (4) ou (5):

$(W_{11} - W_{11}) = 1,000 - 1,000 = 0$ , portanto aplica-se a fórmula (4), então  $\Phi_{(1,1)} = 0$

$(W_{21} - W_{11}) = 1,000 - 0,500 = 0,500$ , portanto aplica-se a fórmula (3), então:

$$\Phi_{1,2} = \sqrt{\frac{a_{rc} |W_{ic} - W_{jc}|}{\sum_{c=1}^m a_{rc}}} \rightarrow \sqrt{\frac{(0,35) |1,000 - 0,500|}{1,54}} \rightarrow \Phi_{1,2} = 0,339$$

$(W_{21} - W_{11}) = 0,500 - 1,000 = -0,500$ , portanto aplica-se a fórmula (5), então:

$$\Phi_{2,1} = -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{c=1}^m a_{rc}) |W_{jc} - W_{ic}|}{a_{rc}}} \rightarrow -\frac{1}{1} \sqrt{\frac{(1,54) |0,500 - 1,000|}{0,35}} \rightarrow \Phi_{2,1} = -1,475$$

Assim, para os demais grupos de critérios, os cálculos seguiram o mesmo procedimento. As Tabelas 54 e 55 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades parciais do critério C1, nos Grupos W e Y.

Tabela 54 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C1 (Grupo W)

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>
<b>S1</b>	0	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185
<b>S2</b>	-2,697	0	0	0	0	0	0
<b>S3</b>	-2,697	0	0	0	0	0	0
<b>S4</b>	-2,697	0	0	0	0	0	0
<b>S5</b>	-2,697	0	0	0	0	0	0
<b>S6</b>	-2,697	0	0	0	0	0	0
<b>S7</b>	-2,697	0	0	0	0	0	0

Tabela 55 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C1 (Grupo Y)

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>
<b>S1</b>	0	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146
<b>S2</b>	-3,423	0	0	0	0	0	0
<b>S3</b>	-3,423	0	0	0	0	0	0
<b>S4</b>	-3,423	0	0	0	0	0	0
<b>S5</b>	-3,423	0	0	0	0	0	0
<b>S6</b>	-3,423	0	0	0	0	0	0
<b>S7</b>	-3,423	0	0	0	0	0	0

As Tabelas 56, 57, e 58 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades parciais do critério C2 nos Grupos K, W e Y.

Tabela 56 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C2 (Grupo K)

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>
<b>S1</b>	0	-2,023	0	0	0	0	0
<b>S2</b>	0,247	0	0,247	0,247	0,247	0,247	0,247
<b>S3</b>	0	-2,023	0	0	0	0	0
<b>S4</b>	0	-2,023	0	0	0	0	0
<b>S5</b>	0	-2,023	0	0	0	0	0
<b>S6</b>	0	-2,023	0	0	0	0	0
<b>S7</b>	0	-2,023	0	0	0	0	0

Tabela 57 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C2 (Grupo W)

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>
<b>S1</b>	0	-2,887	0	0	0	0	0
<b>S2</b>	0,173	0	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
<b>S3</b>	0	-2,887	0	0	0	0	0
<b>S4</b>	0	-2,887	0	0	0	0	0
<b>S5</b>	0	-2,887	0	0	0	0	0
<b>S6</b>	0	-2,887	0	0	0	0	0
<b>S7</b>	0	-2,887	0	0	0	0	0

Tabela 58 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C2 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	-3,994	0	0	0	0	0
S2	0,125	0	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
S3	0	-3,994	0	0	0	0	0
S4	0	-3,994	0	0	0	0	0
S5	0	-3,994	0	0	0	0	0
S6	0	-3,994	0	0	0	0	0
S7	0	-3,994	0	0	0	0	0

As Tabelas 59, 60, e 61 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades parciais do critério C3 nos Grupos K, W e Y.

Tabela 59 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C3 (Grupo K)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,360	-0,556	0	0,360	-0,962	-0,556
S2	-0,556	0	-0,786	-0,556	0	-1,111	-0,786
S3	0,360	0,509	0	0,360	0,509	-0,786	0
S4	0	0,360	-0,556	0	0,360	-0,962	-0,556
S5	-0,556	0	-0,786	-0,556	0	-1,111	-0,786
S6	0,624	0,720	0,509	0,624	0,720	0	0,509
S7	0,360	0,509	0	0,360	0,509	-0,786	0

Tabela 60 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C3 (Grupo W)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,239	-0,835	0	0,239	-1,447	-0,835
S2	-0,835	0	-1,181	-0,835	0	-1,671	-1,181
S3	0,239	0,339	0	0,239	0,339	-1,181	0
S4	0	0,239	-0,835	0	0,239	-1,447	-0,835
S5	-0,835	0	-1,181	-0,835	0	-1,671	-1,181
S6	0,415	0,479	0,339	0,415	0,479	0	0,339
S7	0,239	0,339	0	0,239	0,339	-1,181	0

Tabela 61 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C3 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,205	-0,976	0	0,205	-1,691	-0,976
S2	-0,976	0	-1,380	-0,976	0	-1,952	-1,380
S3	0,205	0,290	0	0,205	0,290	-1,380	0
S4	0	0,205	-0,976	0	0,205	-1,691	-0,976
S5	-0,976	0	-1,380	-0,976	0	-1,952	-1,380
S6	0,355	0,410	0,290	0,355	0,410	0	0,290
S7	0,205	0,290	0	0,205	0,290	-1,380	0

As Tabelas 62 e 63 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades parciais do critério C4 nos Grupos W e Y.

Tabela 62 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C4 (Grupo W)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0	-1,545	0,216	0,216	0,216	0,216
S2	0	0	-1,545	0,216	0,216	0,216	0,216
S3	0,216	0,216	0	0,305	0,305	0,305	0,305
S4	-1,545	-1,545	-2,185	0	0	0	0
S5	-1,545	-1,545	-2,185	0	0	0	0
S6	-1,545	-1,545	-2,185	0	0	0	0
S7	-1,545	-1,545	-2,185	0	0	0	0

Tabela 63 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C4 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0	-1,825	0,183	0,183	0,183	0,183
S2	0	0	-1,825	0,183	0,183	0,183	0,183
S3	0,183	0,183	0	0,258	0,258	0,258	0,258
S4	-1,825	-1,825	-2,581	0	0	0	0
S5	-1,825	-1,825	-2,581	0	0	0	0
S6	-1,825	-1,825	-2,581	0	0	0	0
S7	-1,825	-1,825	-2,581	0	0	0	0

As Tabelas 64, e 65 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades parciais do critério C5 nos Grupos W e Y.

Tabela 64 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C5 (Grupo W)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,338	0,239	0,414	0,478	0,478	0,478
S2	-1,184	0	-0,837	0,239	0,338	0,338	0,338
S3	-0,837	0,239	0	0,338	0,414	0,414	0,414
S4	-1,450	-0,837	-1,184	0	0,239	0,239	0,239
S5	-1,674	-1,184	-1,450	-0,837	0	0	0
S6	-1,674	-1,184	-1,450	-0,837	0	0	0
S7	-1,674	-1,184	-1,450	-0,837	0	0	0

Tabela 65 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C5 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,220	0	0,312	0,382	0,382	0,382
S2	-1,134	0	-1,134	0,220	0,312	0,312	0,312
S3	0	0,220	0	0,312	0,382	0,382	0,382
S4	-1,604	-1,134	-1,604	0	0,220	0,220	0,220
S5	-1,964	-1,604	-1,964	-1,134	0	0	0
S6	-1,964	-1,604	-1,964	-1,134	0	0	0
S7	-1,964	-1,604	-1,964	-1,134	0	0	0

As Tabelas 66, e 67 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades parciais do critério C6 nos Grupos W e Y.

Tabela 66 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C6 (Grupo W)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	0	0	0
S6	0	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 67 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C6 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	0	0	0
S6	0	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0

As Tabelas 68, e 69 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades parciais do critério C7 nos Grupos W e Y.

Tabela 68 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C7 (Grupo W)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,296	0,296	0,296	0,209	0,296	0,296
S2	-2,253	0	0	0	-1,593	0	0
S3	-2,253	0	0	0	-1,593	0	0
S4	-2,253	0	0	0	-1,593	0	0
S5	-1,593	0,209	0,209	0,209	0	0,209	0,209
S6	-2,253	0	0	0	-1,593	0	0
S7	-2,253	0	0	0	-1,593	0	0

Tabela 69 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C7 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,289	0,289	0,289	0,204	0,204	0,289
S2	-2,310	0	0	0	-1,633	-1,633	0
S3	-2,310	0	0	0	-1,633	-1,633	0
S4	-2,310	0	0	0	-1,633	-1,633	0
S5	-1,633	0,204	0,204	0,204	0	0	0,204
S6	-1,633	0,204	0,204	0,204	0	0	0,204
S7	-2,310	0	0	0	-1,633	-1,633	0

As Tabelas 70, 71, 72 e 73 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de desejabilidades parciais dos critérios C8, C9, C10 e C11 no Grupo Y.

Tabela 70 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C8 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	0	0	0
S6	0	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 71 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C9 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	-1,266	-2,193	-1,791	0	-1,266	0
S2	0,197	0	-1,791	-1,266	0,197	0	0,197
S3	0,342	0,279	0	0,197	0,342	0,279	0,342
S4	0,279	0,197	-1,266	0	0,279	0,197	0,279
S5	0	-1,266	-2,193	-1,791	0	-1,266	0
S6	0,197	0	-1,791	-1,266	0,197	0	0,197
S7	0	-1,266	-2,193	-1,791	0	-1,266	0

Tabela 72 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C10 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	0	0	0
S6	0	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 73 - Matriz de desejabilidade parcial do Critério C11 (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
S1	0	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
S2	-3,008	0	0	0	0	0	0
S3	-3,008	0	0	0	0	0	0
S4	-3,008	0	0	0	0	0	0
S5	-3,008	0	0	0	0	0	0
S6	-3,008	0	0	0	0	0	0
S7	-3,008	0	0	0	0	0	0



Posteriormente aos cálculos das matrizes de desejabilidades parciais para todos os critérios, aplicou-se Equação (6), que, por meio da soma dos elementos das diversas matrizes de desejabilidades parciais, chega-se à matriz de dominância final do Grupo K, representada pela Tabela 74.

$$\delta(i, j) = \sum_{c=1}^m \Phi(i, j), \quad \forall(i, j) \quad (6)$$

Tabela 74 - Matriz de dominância final (Grupo K)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	$\Sigma$
S1	0,000	-1,324	-0,217	0,339	0,699	-0,623	-0,217	-1,342
S2	-1,783	0,000	-0,539	-0,308	0,247	-0,864	-0,539	-3,786
S3	-1,115	-1,514	0,000	0,360	0,509	-0,786	0,000	-2,545
S4	-1,475	-1,663	-0,556	0,000	0,360	-0,962	-0,556	-4,851
S5	-2,030	-2,023	-0,786	-0,556	0,000	-1,111	-0,786	-7,291
S6	-0,851	-1,303	0,509	0,624	0,720	0,000	0,509	0,207
S7	-1,115	-1,514	0,000	0,360	0,509	-0,786	0,000	-2,545

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 74, tem-se o cálculo de  $\delta(i, j)$ , conforme a Equação (6):

Para  $a_{11}$  tem-se:  $\delta(1,1) = 0 + 0 + 0 = 0,000$  (Dados de entrada provenientes das Tabelas 53, 56 e 59)

Para  $a_{12}$  tem-se:  $\delta(1,2) = 0,339 + (-2,023) + 0,360 = -1,324$

Para  $a_{21}$  tem-se:  $\delta(2,1) = (-1,475) + 0,247 + (-0,556) = -1,783$

Assim, para os demais grupos de critérios, os cálculos seguiram o mesmo procedimento. As Tabelas 75 e 76 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes de dominância final para os grupos de critérios W e Y.

Tabela 75 - Matriz de dominância final (Grupo W)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	$\Sigma$
S1	0,000	-1,828	-1,660	1,111	1,328	-0,272	0,339	-0,982
S2	-6,796	0,000	-3,390	-0,208	-0,866	-0,944	-0,455	-12,659
S3	-5,332	-2,094	0,000	0,882	-0,536	-0,462	0,719	-6,822
S4	-7,945	-5,029	-4,204	0,000	-1,115	-1,208	-0,596	-20,097
S5	-8,345	-5,406	-4,607	-1,463	0,000	-1,462	-0,972	-22,255
S6	-7,755	-5,137	-3,296	-0,422	-1,114	0,000	0,339	-17,385
S7	-7,930	-5,277	-3,634	-0,598	-1,255	-1,181	0,000	-19,875

Tabela 76 - Matriz de dominância final (Grupo Y)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	$\Sigma$
S1	0,000	-3,134	-2,366	0,929	1,120	-0,776	0,023	-4,204
S2	-7,718	0,000	-4,214	-0,448	-1,014	-2,966	-0,761	-17,119
S3	-5,345	-3,301	0,000	0,775	-0,703	-2,373	0,640	-10,307
S4	-9,161	-6,748	-5,160	0,000	-1,208	-3,103	-0,756	-26,136
S5	-9,821	-7,218	-5,721	-1,906	0,000	-1,952	-1,176	-27,795
S6	-8,490	-6,808	-4,051	-0,575	0,410	0,000	0,494	-19,020
S7	-9,317	-7,132	-4,545	-0,929	-1,343	-3,014	0,000	-26,280

Em seguida, as matrizes de dominância final foram normalizadas, utilizando-se a Equação (7), para obtenção do valor de utilidade global e classificação de cada alternativa, que para o Grupo K de critérios pode ser visualizada na Tabela 77.

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^n \delta(i, j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(i, j)}{\max \sum_{j=1}^n \delta(i, j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(i, j)} \quad (7)$$

Tabela 77 - Valor de utilidade global e classificação de cada alternativa (Grupo K)

	Utilidade Global	Classificação
S1	0,793	2º
S2	0,468	5º
S3	0,633	3º
S4	0,325	6º
S5	0,000	7º
S6	1,000	1º
S7	0,633	3º

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 77, por meio da Equação (7) tem-se:

Para S1:  $\xi = (-1,342 - (-7,291)) \div (0,207 - (-7,291)) = 0,793$  (Dados de entrada provenientes da Tabela 74)

Deve-se interpretar cada número calculado como a medida da desejabilidade ou utilidade global composta, ou, simplesmente como o valor de uma alternativa específica. A classificação das alternativas é originada de acordo com os valores de utilidade global.

Com isso, quando é considerado os critérios do Grupo K, o maior valor de utilidade global composta (1,000) refere-se à alternativa S6. Isso representa que a alternativa S6 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S1 (0,793) e em último lugar a alternativa S5 (0,000).

Logo, pela aplicação do método multicritério TODIM e considerando o Grupo K de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas se definiu como  $S6 > S1 > S3$  e  $S7 > S2 > S4 > S5$ .

Para os demais grupos de critérios, os cálculos seguiram o mesmo procedimento. As Tabelas 78 e 79 mostram, respectivamente, os valores de utilidade global determinados para os grupos de critérios W e Y.

Tabela 78 - Valor de utilidade global e classificação de cada alternativa (Grupo W)

	<b>Utilidade Global</b>	<b>Classificação</b>
<b>S1</b>	1,000	1º
<b>S2</b>	0,451	3º
<b>S3</b>	0,725	2º
<b>S4</b>	0,101	6º
<b>S5</b>	0,000	7º
<b>S6</b>	0,229	4º
<b>S7</b>	0,112	5º

De acordo com a Tabela 78, constata-se que, quando são considerados os critérios do Grupo W, o maior valor de utilidade global composta (1,000) refere-se à alternativa S1. Isso representa que a alternativa S1 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S3 (0,725) e em último lugar a alternativa S5 (0,000).

Logo, pela aplicação do método multicritério TODIM e considerando o Grupo W de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas se definiu como  $S1 > S3 > S2 > S6 > S7 > S4 > S5$ .

Tabela 79 - Valor de utilidade global e classificação de cada alternativa (Grupo Y)

	<b>Utilidade Global</b>	<b>Classificação</b>
<b>S1</b>	1,000	1º
<b>S2</b>	0,453	3º
<b>S3</b>	0,741	2º
<b>S4</b>	0,070	5º
<b>S5</b>	0,000	7º
<b>S6</b>	0,372	4º
<b>S7</b>	0,064	6º

De acordo com a Tabela 79, constata-se que, quando é considerado os critérios do Grupo Y, o maior valor de utilidade global composta (1,000) refere-se à alternativa S1. Isso representa

que a alternativa S1 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S3 (0,741) e em último lugar a alternativa S5 (0,000).

Logo, pela aplicação do método multicritério TODIM e considerando o Grupo Y de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas se definiu como  $S1 > S3 > S2 > S6 > S4 > S7 > S5$ .

Assim como ocorreu com o método AHP, na aplicação do método TODIM desejou-se validar os resultados obtidos pelo processo de cálculo desenvolvido no Microsoft Excel, porém até o término desta dissertação, não foi encontrada nenhuma ferramenta de *software* baseada no método TODIM. Alguns autores como Ribeiro, Passos e Teixeira (2012); Madeira Junior *et al.* (2010); e Saliba (2009), citaram o *software* Sapiens como capaz de calcular o método, entretanto, este *software* também não foi localizado.

### 3.5.3 Aplicação do método PROMETHEE II

O procedimento de cálculo do método PROMETHEE adotado nesta dissertação é baseado no roteiro padrão desenvolvido por Mareschal, Brans e Vincke (1984); Vincke e Brans (1985); e Brans, Vincke e Mareschal (1986), coautores dos métodos da família PROMETHEE.

A sequência de etapas, para a sua estruturação, é estabelecida pela identificação das alternativas, seguida pela identificação dos critérios de avaliação das alternativas, seus pesos e sua função de preferência. Logo depois, é desenvolvida a matriz de decisão, seguida pela construção da matriz dos índices de preferência de cada alternativa. Posteriormente, a classificação das alternativas é realizada com base no fluxo líquido, que permite ordenar as alternativas.

Identificação das alternativas: As alternativas foram identificadas e descritas na seção 3.4 do capítulo de Resultados e Discussão.

Identificação dos Critérios de avaliação das alternativas: Os critérios a serem utilizados na aplicação do método PROMETHEE foram identificados e descritos na seção 3.3 do capítulo de Resultados e Discussão. No Quadro 25 são elencados os critérios utilizados para avaliação das alternativas bem como algumas propriedades necessárias para o processo de cálculo do método PROMETHEE.

Quadro 25 - Critérios de avaliação das alternativas

Critério	Peso dos critérios			Função de preferência	Max/Min
	Grupo K	Grupo W	Grupo Y		
C1	0,230	0,069	0,043	Usual	Maximizar
C2	0,122	0,060	0,031	Usual	Maximizar
C3	0,648	0,287	0,210	Usual	Maximizar
C4	-	0,140	0,100	Usual	Maximizar
C5	-	0,285	0,194	Usual	Maximizar
C6	-	0,028	0,019	Usual	Maximizar
C7	-	0,131	0,125	Usual	Maximizar
C8	-	-	0,029	Usual	Maximizar
C9	-	-	0,156	Usual	Maximizar
C10	-	-	0,037	Usual	Maximizar
C11	-	-	0,055	Usual	Maximizar

O Quadro 25 reflete os pesos para cada grupo de critérios, obtidos por meio dos cálculos do autovetor máximo pelo método AHP (Tabelas 4, 5 e 6). A soma dos pesos em cada coluna é igual a 1, e a proporção entre os pesos indica sua importância relativa. A função de preferência informa qual o tipo de função está associado àquele critério, de acordo com as funções utilizadas no método PROMETHEE e apresentadas no Quadro 5 na seção 1.4.3 do capítulo de fundamentação teórica. Nesta dissertação, todos os critérios foram enquadrados como tipo *Usual*. Neste tipo de função há preferência estrita pela alternativa com melhor desempenho. Assim, para qualquer diferença positiva na avaliação de duas alternativas ( $a$  e  $b$ ), esta função assume valor 1 (um). Nos casos em que não há diferença ( $a=b$ ), a função assume o valor 0 (zero). A coluna Max/Min indica se os critérios são para maximizar ou para minimizar. Neste trabalho, todos os critérios identificados se qualificam a uma maximização de valores. Habitualmente, utiliza-se a minimização para critérios em que se pretenda obter reduções, como valor de custo, horas de mão-de-obra, entre outros.

Construção da matriz de decisão: Nesta etapa, são calculados os desempenhos de cada alternativa em relação aos critérios. Após os cálculos, os desempenhos são tabulados em uma matriz que reflete essas avaliações. Essa fase gera, como resultado, a matriz de desempenho das alternativas em relação aos critérios, que servirá como base para a seguinte etapa, que é a fase de construção da matriz dos índices de preferências das alternativas.

Nas Tabelas 80, 81 e 82 são apresentados os desempenhos das alternativas em relação aos critérios.

Tabela 80 - Desempenho das alternativas em relação aos critérios (Grupo K)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>Peso</b>	0,230	0,122	0,648
<b>S1</b>	0,093	0,022	0,077
<b>S2</b>	0,034	0,055	0,023
<b>S3</b>	0,034	0,005	0,098
<b>S4</b>	0,035	0,009	0,065
<b>S5</b>	0,007	0,021	0,028
<b>S6</b>	0,018	0,006	0,238
<b>S7</b>	0,009	0,004	0,119

Tabela 81 - Desempenho das alternativas em relação aos critérios (Grupo W)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>
<b>Peso</b>	0,069	0,060	0,287	0,140	0,285	0,028	0,131
<b>S1</b>	0,028	0,011	0,034	0,037	0,085	0,001	0,044
<b>S2</b>	0,010	0,027	0,010	0,027	0,049	0,004	0,010
<b>S3</b>	0,010	0,002	0,043	0,053	0,084	0,001	0,006
<b>S4</b>	0,010	0,004	0,029	0,007	0,031	0,002	0,003
<b>S5</b>	0,002	0,010	0,012	0,004	0,008	0,008	0,035
<b>S6</b>	0,005	0,003	0,105	0,008	0,014	0,008	0,021
<b>S7</b>	0,003	0,002	0,053	0,006	0,014	0,004	0,012

Tabela 82 - Desempenho das alternativas em relação aos critérios (Grupo Y)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>
<b>Peso</b>	0,043	0,031	0,210	0,100	0,194	0,019	0,125	0,029	0,156	0,037	0,055
<b>S1</b>	0,018	0,006	0,025	0,026	0,059	0,001	0,036	0,009	0,008	0,009	0,018
<b>S2</b>	0,006	0,016	0,008	0,019	0,034	0,002	0,008	0,008	0,017	0,011	0,015
<b>S3</b>	0,007	0,001	0,032	0,038	0,058	0,001	0,005	0,007	0,056	0,006	0,013
<b>S4</b>	0,007	0,003	0,021	0,005	0,022	0,001	0,003	0,003	0,041	0,006	0,004
<b>S5</b>	0,001	0,006	0,009	0,003	0,006	0,006	0,029	0,001	0,007	0,003	0,003
<b>S6</b>	0,003	0,002	0,078	0,006	0,010	0,005	0,017	0,001	0,017	0,002	0,002
<b>S7</b>	0,002	0,001	0,039	0,004	0,009	0,003	0,010	0,001	0,013	0,002	0,002

Os valores dos desempenhos das alternativas em relação aos critérios exibidos nas Tabelas 80, 81 e 82, são apenas reproduções dos valores obtidos pelo método AHP (Tabelas 43, 44 e 45) e servem como base para a execução do método PROMETHEE.

Construção da matriz dos índices de preferências das alternativas: Com base nas matrizes construídas na etapa anterior (Tabelas 80, 81 e 82), foi construída a matriz dos índices de preferências das alternativas, conforme os passos do método PROMETHEE. Essa matriz permite a realização das comparações par a par entre as alternativas, buscando identificar as que são sobreclassificadas. Com base nessa matriz, calcula-se os fluxos de entrada e saída, e por fim o fluxo líquido, possibilitando a ordenação das alternativas.

Antes de construir a matriz dos índices de preferências das alternativas, efetuou-se os cálculos intermediários para se obter os valores da função de preferência das alternativas.

Conforme o método PROMETHEE, para os critérios tipo *Usual*, com duas alternativas  $a$  e  $b$ , e um critério *Usual* (critério verdadeiro) representado por uma função  $g$ , a função de preferência  $P(a,b)$  associada àquele critério é calculada de acordo com a Equação (8).

$$\begin{aligned} P(a,b) &= 0 && , \text{ se } g(a) \leq g(b), \text{ e} \\ P(a,b) &= 1 && , \text{ se } g(a) > g(b). \end{aligned} \quad (8)$$

Com base na Equação (8), foram calculados as funções  $P(a,b)$  para os grupos de critérios K, W e Y. Os resultados são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 83, 84 e 85.

Tabela 83 – Resultados da função de preferência  $P(a,b)$  (Grupo K)

$P(a,b)$	C1	C2	C3
P(S1,S2)	1	0	1
P(S1,S3)	1	1	0
P(S1,S4)	1	1	1
P(S1,S5)	1	1	1
P(S1,S6)	1	1	0
P(S1,S7)	1	1	0
P(S2,S1)	0	1	0
P(S3,S1)	0	0	1
P(S4,S1)	0	0	0
P(S5,S1)	0	0	0
P(S6,S1)	0	0	1
P(S7,S1)	0	0	1
P(S2,S3)	0	1	0
P(S2,S4)	0	1	0
P(S2,S5)	1	1	0
P(S2,S6)	1	1	0
P(S2,S7)	1	1	0
P(S3,S2)	1	0	1
P(S4,S2)	1	0	1
P(S5,S2)	0	0	1
P(S6,S2)	0	0	1
P(S7,S2)	0	0	1
P(S3,S4)	0	0	1
P(S3,S5)	1	0	1
P(S3,S6)	1	0	0
P(S3,S7)	1	1	0
P(S4,S3)	1	1	0
P(S5,S3)	0	1	0
P(S6,S3)	0	1	1
P(S7,S3)	0	0	1
P(S4,S5)	1	0	1
P(S4,S6)	1	1	0
P(S4,S7)	1	1	0
P(S5,S4)	0	1	0
P(S6,S4)	0	0	1
P(S7,S4)	0	0	1
P(S5,S6)	0	1	0
P(S5,S7)	0	1	0
P(S6,S5)	1	0	1
P(S7,S5)	1	0	1
P(S6,S7)	1	1	1
P(S7,S6)	0	0	0

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 83, tem-se:

Para o critério C1 (Dados de entrada provenientes da Tabela 80):

$$g(S1) - g(S2) = 0,093 - 0,034 > 0 \rightarrow P(S1,S2) = 1 \text{ e } P(S2,S1) = 0$$

$$g(S1) - g(S3) = 0,093 - 0,034 > 0 \rightarrow P(S1,S3) = 1 \text{ e } P(S3,S1) = 0$$

$$g(S1) - g(S4) = 0,093 - 0,035 > 0 \rightarrow P(S1,S4) = 1 \text{ e } P(S4,S1) = 0$$

Tabela 84 – Resultados da função de preferência  $P(a,b)$  (Grupo W)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
P(S1,S2)	1	0	1	1	1	0	1
P(S1,S3)	1	1	0	0	1	0	1
P(S1,S4)	1	1	1	1	1	0	1
P(S1,S5)	1	1	1	1	1	0	1
P(S1,S6)	1	1	0	1	1	0	1
P(S1,S7)	1	1	0	1	1	0	1
P(S2,S1)	0	1	0	0	0	1	0
P(S3,S1)	0	0	1	1	0	1	0
P(S4,S1)	0	0	0	0	0	1	0
P(S5,S1)	0	0	0	0	0	1	0
P(S6,S1)	0	0	1	0	0	1	0
P(S7,S1)	0	0	1	0	0	1	0
P(S2,S3)	0	1	0	0	0	1	1
P(S2,S4)	0	1	0	1	1	1	1
P(S2,S5)	1	1	0	1	1	0	0
P(S2,S6)	1	1	0	1	1	0	0
P(S2,S7)	1	1	0	1	1	0	0
P(S3,S2)	1	0	1	1	1	0	0
P(S4,S2)	1	0	1	0	0	0	0
P(S5,S2)	0	0	1	0	0	1	1
P(S6,S2)	0	0	1	0	0	1	1
P(S7,S2)	0	0	1	0	0	1	1
P(S3,S4)	0	0	1	1	1	0	1
P(S3,S5)	1	0	1	1	1	0	0
P(S3,S6)	1	0	0	1	1	0	0
P(S3,S7)	1	1	0	1	1	0	0
P(S4,S3)	1	1	0	0	0	1	0
P(S5,S3)	0	1	0	0	0	1	1
P(S6,S3)	0	1	1	0	0	1	1
P(S7,S3)	0	0	1	0	0	1	1
P(S4,S5)	1	0	1	1	1	0	0
P(S4,S6)	1	1	0	0	1	0	0
P(S4,S7)	1	1	0	1	1	0	0
P(S5,S4)	0	1	0	0	0	1	1
P(S6,S4)	0	0	1	1	0	1	1
P(S7,S4)	0	0	1	0	0	1	1
P(S5,S6)	0	1	0	0	0	1	1
P(S5,S7)	0	1	0	0	0	1	1
P(S6,S5)	1	0	1	1	1	0	0
P(S7,S5)	1	0	1	1	1	0	0
P(S6,S7)	1	1	1	1	1	1	1
P(S7,S6)	0	0	0	0	0	0	0



Tabela 85 – Resultados da função de preferência  $P(a,b)$  (Grupo Y)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
P(S1,S2)	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1
P(S1,S3)	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1
P(S1,S4)	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
P(S1,S5)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
P(S1,S6)	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
P(S1,S7)	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
P(S2,S1)	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
P(S3,S1)	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
P(S4,S1)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
P(S5,S1)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P(S6,S1)	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
P(S7,S1)	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
P(S2,S3)	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P(S2,S4)	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
P(S2,S5)	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
P(S2,S6)	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
P(S2,S7)	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
P(S3,S2)	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
P(S4,S2)	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
P(S5,S2)	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
P(S6,S2)	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
P(S7,S2)	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
P(S3,S4)	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
P(S3,S5)	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
P(S3,S6)	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
P(S3,S7)	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
P(S4,S3)	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P(S5,S3)	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
P(S6,S3)	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
P(S7,S3)	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
P(S4,S5)	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
P(S4,S6)	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
P(S4,S7)	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
P(S5,S4)	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
P(S6,S4)	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
P(S7,S4)	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
P(S5,S6)	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P(S5,S7)	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
P(S6,S5)	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
P(S7,S5)	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
P(S6,S7)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
P(S7,S6)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Com base nos valores das funções de preferências  $P(a,b)$  encontradas, conjuntamente com os pesos dos critérios ( $W$ ), calculou-se os índices de preferência das alternativas. O grau de preferência global  $\Pi(a,b)$  de uma alternativa  $a$  sobre outra alternativa  $b$  é calculado conforme a Equação (9), para cada tipo de critério.

$$\Pi(a,b) = \sum_{i=1}^n P_i(a,b)W_i \quad (9)$$

Consoante aos valores obtidos nas Tabelas 83, 84 e 85 e na Equação (9), determinou-se a matriz dos índices de preferência das alternativas para o Grupo K de critérios, exibido na Tabela 86.

Tabela 86 - Matriz dos índices de preferência das alternativas (Grupo K)

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>
<b>S1</b>	0,000	0,878	0,352	1,000	1,000	0,352	0,352
<b>S2</b>	0,122	0,000	0,122	0,122	0,352	0,352	0,352
<b>S3</b>	0,648	0,878	0,000	0,648	0,878	0,230	0,352
<b>S4</b>	0,000	0,878	0,352	0,000	0,878	0,352	0,352
<b>S5</b>	0,000	0,648	0,122	0,122	0,000	0,122	0,122
<b>S6</b>	0,648	0,648	0,770	0,648	0,878	0,000	1,000
<b>S7</b>	0,648	0,648	0,648	0,648	0,878	0,000	0,000

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 86, tem-se:

$$\Pi (S1,S2) = (1 \times 0,230) + (0 \times 0,122) + (1 \times 0,648) = 0,878$$

$$\Pi (S1,S3) = (1 \times 0,230) + (1 \times 0,122) + (0 \times 0,648) = 0,352$$

$$\Pi (S1,S3) = (1 \times 0,230) + (1 \times 0,122) + (1 \times 0,648) = 1,000$$

Dados de entrada:  $P(a,b)$  – Tabela 83; Pesos ( $W$ ) – Tabela 80.

Assim, para os os demais grupos de critérios, os cálculos seguiram o mesmo procedimento. As Tabelas 87 e 88 mostram, respectivamente, os valores determinados para as matrizes dos índices de preferência das alternativas para os grupos de critérios W e Y.

Tabela 87 - Matriz dos índices de preferência das alternativas (Grupo W)

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>
<b>S1</b>	0,000	0,912	0,546	0,972	0,972	0,685	0,685
<b>S2</b>	0,088	0,000	0,220	0,645	0,554	0,554	0,554
<b>S3</b>	0,454	0,780	0,000	0,843	0,780	0,494	0,554
<b>S4</b>	0,028	0,355	0,157	0,000	0,780	0,414	0,554
<b>S5</b>	0,028	0,446	0,220	0,220	0,000	0,220	0,220
<b>S6</b>	0,315	0,446	0,506	0,586	0,780	0,000	1,000
<b>S7</b>	0,315	0,446	0,446	0,446	0,780	0,000	0,000

Tabela 88 - Matriz dos índices de preferência das alternativas (Grupo Y)

	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>
<b>S1</b>	0,000	0,749	0,510	0,822	0,981	0,610	0,610
<b>S2</b>	0,251	0,000	0,288	0,585	0,660	0,660	0,660
<b>S3</b>	0,490	0,712	0,000	0,902	0,837	0,625	0,660
<b>S4</b>	0,178	0,415	0,098	0,000	0,837	0,560	0,660
<b>S5</b>	0,019	0,340	0,163	0,163	0,000	0,288	0,288
<b>S6</b>	0,390	0,340	0,375	0,440	0,712	0,000	0,913
<b>S7</b>	0,390	0,340	0,340	0,340	0,712	0,087	0,000

Com os índices de preferências das alternativas determinadas, os fluxos positivo, negativo e líquido de cada alternativa podem ser calculados. Esses cálculos são apresentados na seguinte etapa.

Determinação da ordem de sobreclassificação das alternativas pelo PROMETHEE II, por meio do cálculo do fluxo líquido das alternativas: O cálculo do fluxo líquido das alternativas é realizado conforme os passos do método PROMETHEE II. Nele, por meio da diferença entre o fluxo positivo  $\Phi^+(a)$  e o fluxo negativo  $\Phi^-(a)$  de cada alternativa, se obtém o fluxo líquido  $\Phi(a)$  de cada alternativa. É esse fluxo líquido que serve como indicador de classificação das alternativas. Os fluxos positivo, negativo e líquido de uma alternativa são calculados, respectivamente, por meio das equações (10), (11) e (12), onde  $n$  representa o número de alternativas.

$$\Phi^+(a) = \frac{\sum \Pi(a,b)}{n-1} \quad (10)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{\sum \Pi(b,a)}{n-1} \quad (11)$$

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (12)$$

Com base nos valores obtidos dos índices  $\Pi(a,b)$ , calculados nas Tabelas 86, 87 e 88, e com a aplicação das equações (10), (11) e (12), determinou-se os fluxos positivo, negativo e líquido de cada alternativa do Grupo K de critérios, exibidos na Tabela 89.

Tabela 89 - Fluxos positivo, negativo e líquido das alternativas (Grupo K)

	$\Phi^+$	$\Phi^-$	$\Phi$	Classificação
<b>S1</b>	0,656	0,344	0,311	2º
<b>S2</b>	0,237	0,763	-0,526	6º
<b>S3</b>	0,606	0,394	0,211	3º
<b>S4</b>	0,469	0,531	-0,063	5º
<b>S5</b>	0,189	0,811	-0,621	7º
<b>S6</b>	0,765	0,235	0,531	1º
<b>S7</b>	0,578	0,422	0,157	4º

Para ilustração de alguns cálculos efetuados na Tabela 89, com a utilização das equações (10), (11) e (12), tem-se:

Dados de entrada para cálculo do  $\Phi+$  e  $\Phi-$  vide Tabela 86

$$\Phi+ (S1) = (0,000 + 0,878 + 0,352 + 1,000 + 1,000 + 0,352 + 0,352) \div (7 - 1) = 0,656$$

$$\Phi- (S1) = (0,000 + 0,122 + 0,648 + 0,000 + 0,000 + 0,648 + 0,648) \div (7 - 1) = 0,344$$

$$\Phi (S1) = (0,656 - 0,344) = 0,311$$

A classificação das alternativas é gerada de acordo com os valores do fluxo líquido. Com isso, quando é considerado os critérios do Grupo K (Tabela 89), o maior valor de fluxo líquido (0,531) refere-se à alternativa S6. Isso representa que a alternativa S6 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S1 (0,311) e em último lugar a alternativa S5 (-0,621).

Logo, pela aplicação do método multicritério PROMETHEE II e considerando o Grupo K de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas definiu-se como  $S6 > S1 > S3 > S7 > S4 > S2 > S5$ .

Para os os demais grupos de critérios, os cálculos seguiram o mesmo procedimento. As Tabelas 90 e 91 mostram, respectivamente, os valores dos fluxos determinados para os grupos de critérios W e Y.

Tabela 90 - Fluxos positivo, negativo e líquido das alternativas (Grupo W)

	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$	Classificação
<b>S1</b>	0,795	0,205	0,590	1º
<b>S2</b>	0,436	0,564	-0,129	4º
<b>S3</b>	0,651	0,349	0,302	2º
<b>S4</b>	0,381	0,619	-0,237	6º
<b>S5</b>	0,225	0,775	-0,549	7º
<b>S6</b>	0,606	0,394	0,211	3º
<b>S7</b>	0,406	0,594	-0,189	5º

Assim, quando é considerado os critérios do Grupo W (Tabela 90), o maior valor de fluxo líquido (0,590) refere-se à alternativa S1. Isso representa que a alternativa S1 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S3 (0,302) e em último lugar a alternativa S5 (-0,549).

Logo, pela aplicação do método multicritério PROMETHEE II e considerando o Grupo W de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas se definiu como  $S1 > S3 > S6 > S2 > S7 > S4 > S5$ .

Tabela 91 - Fluxos positivo, negativo e líquido das alternativas (Grupo Y)

	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$	Classificação
<b>S1</b>	0,714	0,286	0,427	1º
<b>S2</b>	0,518	0,482	0,035	4º
<b>S3</b>	0,704	0,296	0,409	2º
<b>S4</b>	0,458	0,542	-0,084	5º
<b>S5</b>	0,210	0,790	-0,580	7º
<b>S6</b>	0,528	0,472	0,057	3º
<b>S7</b>	0,368	0,632	-0,264	6º

Portanto, quando é considerado os critérios do Grupo Y (Tabela 91), o maior valor de fluxo líquido (0,427) refere-se à alternativa S1. Isso representa que a alternativa S1 é a mais adequada, considerando-se os critérios e julgamentos adotados. Na segunda colocação surge a alternativa S3 (0,409) e em último lugar a alternativa S5 (-0,580).

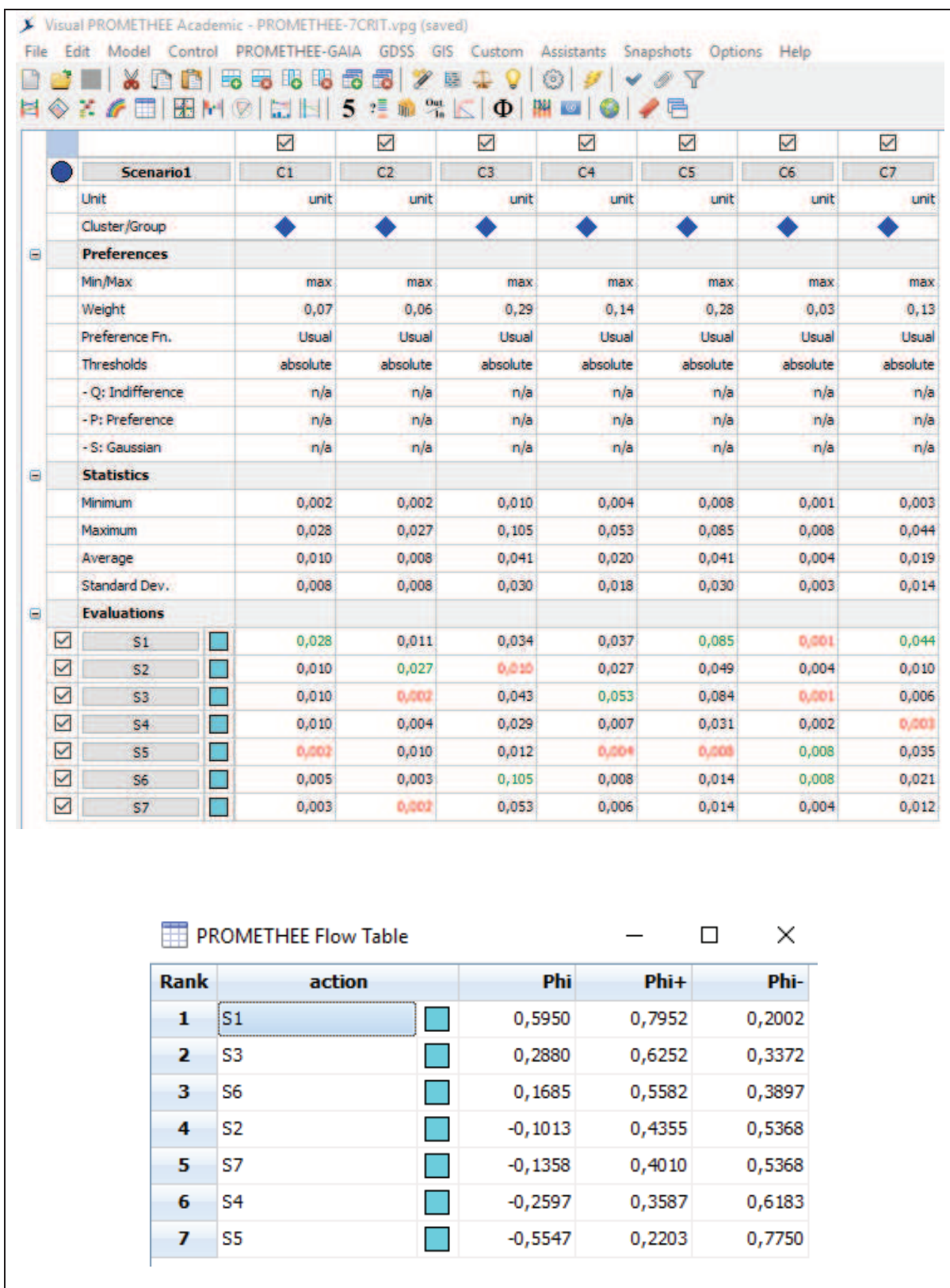
Logo, pela aplicação do método multicritério PROMETHEE II e considerando o Grupo Y de critérios, a ordenação dos resultados das alternativas se definiu como  $S1 > S3 > S6 > S2 > S4 > S7 > S5$ .

Para se testar os resultados obtidos pela planilha do Microsoft Excel no processo de cálculo do método PROMETHEE II, utilizou-se a ferramenta Visual PROMETHEE. Por meio do emprego dessa ferramenta, que é um *software* baseado na abordagem de sobreclassificação, pôde-se confirmar as ordenações alcançadas para todos os grupos de critérios, garantindo e validando os resultados encontrados.

Foram encontrados alguns outros *softwares* disponíveis para o cálculo do método PROMETHEE: Decision Lab; D-Sight; Smart Picker Pro; Decerns, entre outros. Para essa dissertação, decidiu-se pela validação dos resultados com Visual PROMETHEE devido à disponibilização de uma versão acadêmica e pela simplicidade de aplicação dos dados de entrada. Este *software* pode facilmente resolver os extensos cálculos envolvidos em um projeto de ordenação como o aplicado nesta dissertação.

A Figura 19, demonstra a tela de entrada de dados e a matriz de resultados dos fluxos líquido, positivo e negativo das alternativas, obtidos com a ferramenta Visual PROMETHEE para o Grupo W de critérios.

Figura 19 – Resultados dos cálculos obtidos por meio do Visual PROMETHEE (Grupo W)



Fonte: Visual PROMETHEE

### 3.5.4 Consistência dos resultados

Nesta seção, as classificações obtidas com as aplicações dos métodos multicritérios AHP, TODIM e PROMETHEE foram verificadas e comparadas entre si. A Tabela 92 demonstra a classificação obtida na execução de cada um dos métodos para o Grupo K, com três critérios.

Tabela 92 - Resultados da aplicação dos métodos MCDM (Grupo K)

Alternativa	AHP		TODIM		PROMETHEE II	
S1	0,192	2º	0,793	2º	0,311	2º
S2	0,112	5º	0,468	5º	-0,526	6º
S3	0,137	3º	0,633	3º/4º	0,211	3º
S4	0,109	6º	0,325	6º	-0,063	5º
S5	0,056	7º	0,000	7º	-0,621	7º
S6	0,263	1º	1,000	1º	0,531	1º
S7	0,131	4º	0,633	3º/4º	0,157	4º

Observando-se a Tabela 92, percebe-se que as análises das alternativas efetuadas por cada um dos três métodos MCDM conduziram essencialmente à mesma classificação para as quatro melhores posições. Dessa forma, as alternativas S6, S1, S3 e S7, apresentam posições coincidentes, sendo que método TODIM calculou o mesmo valor de utilidade global para as alternativas S3 e S7. Na quinta e sexta posições, a classificação se manteve para os métodos AHP e TODIM, com a alternativa S2 na quinta posição e a alternativa S4 na sexta posição. Porém, no método PROMETHEE II, essas posições se inverteram. A alternativa S5 foi classificada na última posição pelos três métodos MCDM. Portanto, em uma decisão racional, quando considerados os critérios do Grupo K e apoiando-se na tomada de decisão multicritério, a melhor alternativa seria a escolha do simulador S6.

A Tabela 93 demonstra a classificação obtida na execução de cada um dos métodos para o Grupo W, com sete critérios.

Tabela 93 - Resultados da aplicação dos métodos MCDM (Grupo W)

Alternativa	AHP		TODIM		PROMETHEE II	
S1	0,239	1º	1,000	1º	0,590	1º
S2	0,136	4º	0,451	3º	-0,129	4º
S3	0,199	2º	0,725	2º	0,302	2º
S4	0,087	6º	0,101	6º	-0,237	6º
S5	0,080	7º	0,000	7º	-0,549	7º
S6	0,165	3º	0,229	4º	0,211	3º
S7	0,093	5º	0,112	5º	-0,189	5º

De acordo com a Tabela 93, constata-se que as análises das alternativas efetuadas por cada um dos três métodos MCDM conduziram essencialmente à mesma classificação para as duas melhores posições. Dessa forma, as alternativas S1 e S3, apresentam posições coincidentes. Na terceira e quarta posições, a classificação se manteve para os métodos AHP e PROMETHEE II, com a alternativa S6 na terceira posição e a alternativa S2 na quarta posição. Porém, no método TODIM essas posições se inverteram. Para as três últimas colocações, os métodos tiveram comportamento iguais. A alternativa S7 foi classificada na quinta posição, S4 na sexta posição e S5 na última colocação. Portanto, em uma decisão racional, quando considerados os critérios do Grupo W e apoiando-se na tomada de decisão multicritério, a melhor alternativa seria a escolha do simulador S1.

A Tabela 94 demonstra a classificação obtida na execução de cada um dos métodos para o Grupo Y, com onze critérios.

Tabela 94 - Resultados da aplicação dos métodos MCDM (Grupo Y)

Alternativa	AHP		TODIM		PROMETHEE II	
S1	0,215	2º	1,000	1º	0,427	1º
S2	0,144	3º	0,453	3º	0,035	4º
S3	0,223	1º	0,741	2º	0,409	2º
S4	0,115	5º	0,070	5º	-0,084	5º
S5	0,074	7º	0,000	7º	-0,580	7º
S6	0,143	4º	0,372	4º	0,057	3º
S7	0,086	6º	0,064	6º	-0,264	6º

Segundo mostra a Tabela 94, verifica-se que pela primeira vez as alternativas melhores classificadas não foram coincidentes para os três métodos MCDM. Na primeira e segunda posições, a classificação se manteve para os métodos TODIM e PROMETHEE II, com a alternativa S1 na primeira posição e a alternativa S3 na segunda posição. Porém, no método AHP essas posições se inverteram. Com relação as alternativas S2 e S6, estas, de acordo com os cálculos do AHP e do TODIM, se classificaram na terceira e quarta posição. Porém, no método PROMETHEE II essas posições se inverteram. Para as três últimas colocações, os métodos MCDM tiveram comportamento iguais. A alternativa S4 foi classificada na quinta posição, S7 na sexta posição e S5 ficou na última colocação. Desta vez, devido à inversão dos resultados obtidos pelo método AHP para as duas melhores classificações, quando comparados aos métodos TODIM e PROMETHEE, não é possível afirmar com exatidão se é o simulador S1 ou o simulador S3 a melhor alternativa para escolha.



### 3.6 Análise dos resultados

Nesta dissertação, por meio da fundamentação teórica, análise bibliométrica, revisão sistemática da literatura e aplicação de três métodos MCDM para um mesmo problema de tomada de decisão quanto à ordenação de *softwares* simuladores de tráfego, foi possível realizar uma comparação dos métodos multicritérios AHP, TODIM e PROMETHEE II. Os três métodos apresentam pontos positivos e pontos negativos. O Quadro 26 resume alguns parâmetros de comparação como aplicabilidade do método, resultados das classificações de ordenações, complexidade do método, laboriosidade para a obtenção dos resultados, entre outros, que permitiram avaliar e apontar aspectos percebidos durante a elaboração deste estudo.

Quadro 26 – Parâmetros de comparação dos métodos MCDM

	AHP	TODIM	PROMETHEE II
<b>Aplicabilidade</b>	apto	apto	apto
<b>Ordenação</b>	<b>Grupo K (3 critérios)</b>	S6 > S1 > S3 e S7 > S2 > S4 > S5	S6 > S1 > S3 e S7 > S2 > S4 > S5
	<b>Grupo W (7 critérios)</b>	S1 > S3 > S6 e S2 > S7 > S4 > S5	S1 > S3 > S2 > S6 > S7 > S4 > S5
	<b>Grupo Y (11 critérios)</b>	S3 > S1 > S2 e S6 > S4 > S7 > S5	S1 > S3 > S2 > S6 > S4 > S7 > S5
<b>Complexidade</b>	baixa	alta	média
<b>Laboriosidade</b>	alta	média	média
<b>Qtde. de critérios</b>	recomenda-se um limite de nove (9)	sem limite	sem limite
<b>Aplicação na literatura</b>	alta frequência	baixa frequência	baixa frequência
<b>Software de suporte</b>	alta disponibilidade	indisponível	média disponibilidade

Quanto à aplicabilidade dos métodos MCDM, todos os três métodos escolhidos se revelaram ferramentas de apoio aptas para a elaboração de uma classificação ordenada de *softwares* simuladores de tráfego, considerando-se os critérios e alternativas identificados neste estudo. No método AHP, a classificação das alternativas é determinada pelos resultados das prioridades compostas. No método TODIM, a classificação é obtida pelos valores de utilidade global das alternativas, que medem seus valores de ganhos e perdas. Já no método PROMETHEE II, a colocação das alternativas é originada conforme os resultados dos valores dos fluxos líquidos.

De modo geral, como avaliado na seção 3.5.4 deste trabalho, as classificações de ordenação estabelecidas pelos três métodos multicritérios se mostraram consistentes quando comparadas uma a outra, uma vez que, analisando sete possibilidades de alternativas, ocorreram poucas inversões de colocações. É válido observar que quando se ocorreu inversões, as

alternativas invertidas se localizavam próximas entre si, a apenas uma colocação acima ou a uma colocação abaixo. Para o grupo com três critérios (Grupo K), os resultados do método AHP e do método TODIM foram integralmente concordantes. O método PROMETHEE II teve apenas uma inversão entre as posições. Em outra avaliação, com referência ao grupo com sete critérios (Grupo W), as classificações resultantes do método AHP e do método PROMETHEE II revelaram-se integralmente concordantes. O método TODIM teve apenas uma inversão entre as posições. No entanto, quando considerado o grupo com onze critérios (Grupo Y), o método AHP apresentou resultados discordantes importantes, como a classificação invertida para o primeiro e segundo colocados em comparação aos métodos TODIM e PROMETHEE. Esse resultado desigual obtido pelo método AHP, levanta dúvidas sobre a utilização do método AHP quando se têm mais de nove critérios. As classificações resultantes do método TODIM revelaram-se as mais concordantes em comparação aos outros métodos. Os métodos MCDM desempenham uma função de apoio à tomada de decisão, e, considerando os resultados obtidos nesta dissertação para os três grupos de critérios, a escolha de um *software* simulador de tráfego deveria se restringir entre o primeiro e segundo melhores classificados.

Na ocasião em que os métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II são comparados em relação à complexidade dos cálculos, o TODIM se qualificou como o mais complicado devido à aplicação de suas equações. O método AHP tem uma metodologia menos complexa em relação ao TODIM, porém requer o entendimento de alguns conceitos matemáticos, como autovalor e autovetor. O procedimento matemático utilizado pelo PROMETHEE II é relativamente fácil de se compreender, pois a elaboração da classificação das alternativas é baseada em uma simples teoria de concordância e discordância; todavia, o grau de complexidade dos cálculos do PROMETHEE II é vinculado a como o tomador de decisão define a função de preferência de cada critério.

Quando os métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II são comparados em relação à laboriosidade, observou-se que o AHP requer um maior número de cálculos devido às múltiplas verificações paritárias necessárias para as matrizes de comparação. Com a utilização de uma planilha Excel, verificou-se também que a quantidade de cálculos necessários para a aplicação do método AHP é proporcional à quantidade de critérios e alternativas envolvidos. Com referência aos métodos TODIM e PROMETHEE II, na percepção deste estudo, a quantidade de cálculos se equivalem, contudo, não podem ser considerados métodos com baixa quantidade de cálculos, devido à utilização de diversas equações em seus procedimentos. A demanda de tempo necessários para a aplicação dos métodos MCDM são diretamente relacionados aos

procedimentos e às quantidades de cálculos exigidos pelos métodos. Portanto, neste parâmetro de comparação, o método AHP requer um maior esforço e gasto de tempo do usuário para se chegar a um resultado quando confrontado com os outros dois métodos. Esta análise foi baseada na aplicação dos métodos utilizando-se do Microsoft Excel e, possivelmente, com a utilização de ferramentas de *software*, a percepção destes parâmetros poderá ser discordante.

Quando os métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II são comparados em relação ao efeito da quantidade de critérios na variação das classificações, verificou-se que quando é considerado o grupo com três critérios, apenas o método PROMETHEE II apresentou uma inversão de alternativas. Caso considerado o grupo com sete critérios, apenas o método TODIM apresentou uma alteração na ordem de classificação. As inversões ocorridas nos grupos com três ou sete critérios não comprometeram os resultados finais, pois para as alternativas melhores colocadas, não ocorreram variações nas classificações. Entretanto, caso seja considerado o grupo com 11 critérios, as inversões mais importantes ocorreram com o AHP, que divergiu as classificações dos primeiros colocados. Neste contexto, é fundamental mencionar que o método AHP requer alguma limitação no número de critérios e alternativas. Saaty (1980), indicou que o número de alternativas ou critérios de decisão para ser comparado usando o AHP deve ser limitado a nove, de modo a não comprometer os julgamentos e sua consistência. Os métodos TODIM e PROMETHEE II não requerem nenhum limite no número de critérios ou alternativas no processo de tomada de decisão.

Quanto à definição dos pesos, os métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II também são distintos. No AHP, para a determinação dos pesos, durante os julgamentos, o seguinte questionamento precisa ser respondido: "Quão importante é a opção A em relação à opção B na contribuição para um objetivo?". Com base em uma seqüência de comparações paritárias, as prioridades relativas (pesos) são determinadas usando o parâmetro do autovetor. Com o método PROMETHEE II, nenhum procedimento é fornecido para determinar os pesos. O método TODIM apresenta uma diretriz de definição de pesos, porém também deixa livre para o usuário escolher um procedimento para definir os pesos. Portanto, tanto o PROMETHEE II quanto o TODIM permitem a obtenção de pesos de critérios pré-definidos por outros métodos MCDM. Nesta dissertação, os autovetores calculados pelo método AHP serviram como base para avaliar os pesos dos critérios, padronizando os dados para a aplicação dos três métodos multicritérios.

Com relação à frequência dos métodos na literatura, observou-se por meio da análise bibliométrica que o método AHP é a ferramenta mais citada na área de tomada de decisão, sendo assim o método preferido dos autores em relação a todas outras metodologias

estabelecidas. O método TODIM e o PROMETHEE são pouco explorados se comparados ao AHP, ocorrendo em menos de 4% de todos os artigos pesquisados.

A disponibilidade de ferramentas de *software* para os métodos AHP e PROMETHEE II é uma vantagem em relação ao TODIM, pois com a utilização de um *software*, os vários procedimentos de cálculos ficam encobertos, facilitando e agilizando a obtenção de uma solução. Até o término desta dissertação, não foi encontrado qualquer ferramenta de *software* disponível baseada no método TODIM. Também é importante ressaltar que, todos os três métodos são aplicáveis utilizando-se de uma planilha do Microsoft Excel, contudo, neste caso, é recomendável a compreensão do mecanismo de funcionamento dos métodos.

Além das constatações realizadas na presente dissertação, também se pressupõe outras evidências anteriormente previstas a respeito dos métodos MCDM comparados.

O método AHP é uma ferramenta de decisão útil para consolidar julgamentos de avaliações, já que fornece um procedimento para verificar a consistência de critérios e alternativas. Apesar da sua inerente simplicidade e capacidade para julgar fatores quantitativos e qualitativos, diferentes tipos de críticas foram discutidos na literatura. Por exemplo, o método foi criticado não só pela possibilidade de exibir inversão de classificação (BELTON e GEAR, 1983), mas também pela utilização do método de autovalor para determinar os pesos (BANA E COSTA e VANSNICK, 2008). A escala de 1 (um) a 9 (nove) também pode gerar inconsistências. Supondo um critério A duas vezes mais importante que B e este cinco vezes mais importante que C, isso implicaria que A fosse dez vezes mais importante que C, o que não é possível devido à escala instituída pelo método.

No que tange ao método TODIM, a utilização da Teoria das Prospectos como sua base paradigmática é seu componente básico de inovação. Essa teoria busca transformar os julgamentos humanos em valores de utilidade compatíveis com a idéia de aversão ao risco no âmbito dos ganhos e propensão ao risco no domínio das perdas, fato esse que ocorre para a maioria dos seres humanos (KAHNEMAN e TVERSKY, 1979). O procedimento de cálculo do método TODIM já contempla a normalização de Belton e Gear (1982), o que minimiza a possibilidade de ocorrência de inversões nas classificações das alternativas.

O método PROMETHEE II tem uma abordagem clara do problema de decisão. Uma das complicações do método PROMETHEE é o requisito da definição das preferências de funções dos critérios. Em aplicações em tempo real, pode ser complicado para o tomador de

decisão especificar qual forma de função de preferência é adequada para cada critério, ademais de também determinar os parâmetros envolvidos.

O método AHP é classificado como integrante da escola americana e é classificado na abordagem do critério único de síntese (Agregação). As etapas de cálculo pelo método AHP apresenta o seguinte procedimento: estruturação hierárquica; comparação par a par para indicação das preferências, utilizando-se da escala fundamental do AHP e de matrizes de decisão; determinação do autovetor (peso) de cada matriz; verificação das consistências dos julgamentos; determinação da importância relativa de cada alternativa e classificação das alternativas. Já o método TODIM é classificado como um método híbrido, utilizando-se de recursos da escola americana e da escola francesa, seguindo a diretriz para os cálculos: a formação de uma matriz de desejabilidades; a comparação paritária entre critérios, valorados por meio da escala fundamental de Saaty, seguida do cálculo do critério de referência, associado à teoria dos Prospectos; e o tratamento matemático dos juízos de valor. O método PROMETHEE II é classificado como integrante da escola francesa e é classificado na abordagem da sobreclassificação (*Outranking*). Sua sequência de cálculos segue as etapas: para a sua estruturação, é estabelecida pela identificação das alternativas, seguida pela identificação dos critérios de avaliação das alternativas, seus pesos e sua função de preferência; é desenvolvida a matriz de decisão, seguida pela construção da matriz dos índices de preferência de cada alternativa; e a classificação das alternativas é realizada com base no fluxo líquido, que permite ordenar as alternativas.

## 4 CONCLUSÕES

O presente capítulo se designa a apresentar as principais conclusões resultantes do estudo desenvolvido, assim como algumas sugestões para a realização de futuros trabalhos.

O objetivo geral deste trabalho foi o de comparar três diferentes métodos de apoio à decisão multicritério. Para se alcançar essa proposta, os métodos foram aplicados a um problema de ordenação de *softwares* simuladores de tráfego.

Para a aplicação dos métodos MCDM, foram realizadas inicialmente uma análise bibliométrica e uma revisão sistemática da literatura, que possibilitaram: a escolha dos métodos MCDM; a identificação dos critérios; e a identificação das alternativas. Para abordar a problemática de ordenação, escolheu-se os métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II. Ao final da análise bibliométrica, percebeu-se que apesar de se encontrar relevantes trabalhos na área, não foi localizado especificamente nenhuma tentativa de aplicar métodos multicritérios para a ordenação de *softwares* simuladores de tráfego, bem como comparações específicas dos métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II em um mesmo estudo, o que denota a importância desta dissertação. Com o objetivo de se preencher a lacuna identificada, foi construído um conjunto de 11 critérios, e estes foram agrupados em três grupos distintos, com 3, 7 e 11 critérios. Os critérios de importância identificados na literatura foram: modelo microscópico; aspectos gráficos; veículos e pedestres; detectores; infraestrutura pública; mapas; sinalização; sistema operacional; emissões; documentação e suporte; e idioma. Estes critérios foram avaliados para especificar a classificação de alternativas.

Como os métodos MCDM foram aplicados para o mesmo problema, foi possível averiguar características individuais dos métodos e, também reconhecer pontos positivos e pontos negativos de um método sobre o outro. Em termos de aplicabilidade, todos os três métodos escolhidos se revelaram ferramentas aptas para o apoio à tomada de decisão estudado neste trabalho. A respeito da consistência dos resultados dos métodos, observou-se que ocorreram algumas poucas inversões nas classificações das sete alternativas. Em relação à percepção de complexidade dos cálculos, o método TODIM se destacou como o de maior complexidade e o AHP como o menos complexo. O grau de complexidade do PROMETHEE II é vinculado à definição de parâmetros para cada critério. Também se constatou que o método AHP requer uma maior quantidade de cálculos, demanda de tempo e empenho para a obtenção dos resultados, principalmente quando cresce o número de critérios e alternativas, em razão das múltiplas verificações paritárias necessárias para as matrizes de comparação.

A matriz de decisão usada no AHP introduziu os julgamentos das preferências, em que todos os critérios foram comparados entre si. A informação desta matriz foi usada para calcular os pesos dos critérios. O mérito distinto do método AHP é que ele decompõe um problema de decisão em suas partes constituintes e constrói hierarquias de critérios. Embora o mesmo conjunto de pesos tenha sido utilizado para as três abordagens, é importante reconhecer que os pesos nos métodos MCDM não possuem o mesmo significado. O método AHP torna-se impraticável em problemas com grande número de critérios e/ou alternativas.

A elaboração deste trabalho permitiu também conhecer os principais métodos MCDM e levantar as características e peculiaridades dos principais *softwares* simuladores de tráfego. Com relação aos métodos de apoio à tomada de decisão multicritérios, constatou-se que as escolas americana e francesa se destacam nesta área de estudo. Os métodos MCDM também podem ser classificados de acordo com suas abordagens: de Agregação; *Outranking*; e de Julgamento Iterativo. Verificou-se que os métodos multicritérios podem ser aplicados para: problemas de seleção; problemas de classificação; problemas de ordenação; e problemas de descrição. Estudou-se os principais métodos MCDM quanto a suas características, vantagens e desvantagens e fundamentos para a escolha de um método multicritério. Quanto aos simuladores de tráfego, constatou-se que são classificados conforme os níveis de detalhamento, podendo ser macroscópico, mesoscópico e microscópico, cada qual com suas características distintas. Verificou-se também quais os *softwares open-source* ou comerciais estão disponíveis e explorou-se os principais atributos de cada plataforma

Com a comparação dos métodos AHP, TODIM e PROMETHEE II ficou claro a importância destas ferramentas no que se refere à tomada de decisões. A vantagem da utilização das abordagens é, entre outros fatores, o de oferecer maior transparência e clareza ao processo decisório e na obtenção de uma classificação ordenada. Também pode-se afirmar que a aplicação de três métodos MCDM distintos para um mesmo problema traz maior segurança para uma tomada de decisão. Quando todos os métodos apresentam resultados semelhantes, o analista pode ficar satisfeito. Caso as soluções se diferem entre os métodos, pode-se tentar descrever os procedimentos para os tomadores de decisão e deixá-los escolher, apresentando as alternativas melhores colocadas.

Diferentes limitações podem ser apontadas para os três métodos MCDM em análise. Weber e Borcharding (1993) e Guitouni e Martel (1998), afirmaram que não existe uma metodologia superior, sendo que sempre dependerá do contexto de decisão. Ananda e Herath



(2009) alegam que é muito difícil comprovar que um método MCDM é superior a outro em sua totalidade.

#### **4.1 Recomendações para trabalhos futuros**

Acredita-se que os resultados obtidos permitam servir de base para a realização de um outro estudo de comparação, utilizando-se de outros métodos multicritérios como por exemplo o ELECTRE, ANP ou TOPSIS.

Para a comparação dos métodos neste trabalho, foram utilizados três grupos de critérios, com 3, 7 e 11 critérios. Pode-se em um trabalho futuro, aumentar ainda mais a quantidade de critérios, ou ainda, variar a quantidade de alternativas.

Como durante a elaboração deste trabalho não foi localizado nenhuma ferramenta para apoio na solução pelo método TODIM, propõe-se em um trabalho futuro o desenvolvimento de um aplicativo de *software* para o suporte na aplicação da técnica.



## REFERÊNCIAS

- ALBADVI, A.; CHAHARSOOGHI, S. K.; ESFAHANIPOUR, A. Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE. **European Journal of Operational Research**, 177.2: 673-683., 2007.
- ALLAN, D. F.; FARID, A. M. A benchmark analysis of open source transportation-electrification simulation tools. **Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015 IEEE 18th International Conference on**. IEEE, p. 1202-1208, 2015.
- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. Editora Atlas SA, 2000.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método Promethee. **Revista Gestão e Produção**, São Carlos, v. 9, n. 2, p. 201 - 214, 2002.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão**. Recife: Editora Universitária, 2003
- ALMEIDA, A. T. Modelagem multicritério para seleção de intervalos de manutenção preventiva baseada na teoria da utilidade multiatributo. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 1, p. 69-81, 2005.
- ALMEIDA, A. T. **O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011.
- ALMEIDA, A. T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**. São Paulo, Atlas, 2013.
- ALVARES, L. O.; SICHMAN, J. S. Introdução aos sistemas multiagentes. **XVII Congresso da SBC-Anais JAI'97**, 1997.
- AMIRI, M. P. Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 9, p. 6218-6224, 2010.
- ANANDA, J.; HERATH, G. A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. **Ecological economics**, v. 68, n. 10, p. 2535-2548, 2009
- ANOJKUMAR, L.; ILANGKUMARAN, M.; SASIREKHA, V. Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 6, p. 2964-2980, 2014.
- ARAÚJO, D. R. C. Comparação das simulações de tráfego dos modelos Saturn e Dracula. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.
- BANA E COSTA, C. A. Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. **Pesquisa Operacional**, 13(1), 9-20, 1993.

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. MACBETH - An interactive path towards the construction of cardinal value functions. **International transactions in operational Research**, 1.4: 489-500, 1994.

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK J. C. **A theoretical framework for Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)**. Clímaco J (ed.) Multicriteria Analysis. Springer: Verlag, Berlin, 1995.

BANA E COSTA, C. A; DE CORTE J. M.; VANSNICK J. C. Working Paper LSEOR 03.56, **London School of Economics**, London, 2003.

BANA E COSTA, C. A.; CHAGAS, M. P. A career choice problem: an example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 2, p. 323-331, 2004.

BANA E COSTA, C. A; VANSNICK, J. C. A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 187, n. 3, p. 1422-1428, 2008.

BANKS, J. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice**. Ed.: John Wiley & Sons, 1998.

BEHRISCH, M.; BIEKER, L.; ERDMANN, J.; KRAJZEWICZ, D. SUMO—simulation of urban mobility: an overview. **Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation**. ThinkMind, 2011.

BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European journal of Operational research**, 200(1), 198-215, 2010.

BELTON, V.; GEAR, T. **On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies**. Omega, v. 11, n. 3, p. 228-230, 1983.

BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2002.

BENAYOUN, R.; ROY, B.; SUSSMAN, B. ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. **Note de travail**, 49, 1966.

BHAM, G. A simple lane change model for microscopic traffic flow simulation in weaving sections. **Transportation Letters**, v. 3, n. 4, p. 231-251, 2011.

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic decision making: applying the analytic hierarchy process**. London; New York: Springer, 2004.

BLOOMBERG, L.; DALE, J. Comparison of VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 1727, p. 52-60, 2000.

BONTE, L.; ESPIÉ, S.; MATHIEU, P. Modélisation et simulation des usagers deux-roues motorisés dans ARCHISIM. **JFSMA**, v. 6, p. 17, 2006.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 228-238, 1986.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE methods. In: **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. Springer, New York, p. 163-186, 2005.

CAMERON, G. D.B.; DUNCAN, G. I.D. PARAMICS—Parallel microscopic simulation of road traffic. **The Journal of Supercomputing**, v. 10, n. 1, p. 25-53, 1996.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F.; CARVALHO, E. K. M. A. Avaliação da sustentabilidade ambiental de municípios paraibanos: uma aplicação utilizando o método Promethee II. **Gestão e Regionalidade**. São Caetano do Sul, v. 27, n. 80, p. 71 - 84, 2011.

CASAS, J.; FERRER, J. L.; GARCIA, D.; PERARNAU, J.; TORDAY, A. Traffic simulation with aimsun. **Fundamentals of traffic simulation**. Springer, New York, p. 173-232, 2010.

CAVALCANTE, C. A. V. A multicriteria decision model for a combined burn-in and replacement policy. **International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization**. Springer, Berlin Heidelberg, p. 579-593, 2011.

CHAN, F. T. S.; CHUNG, S. H.; CHOY, K. L. Optimization of order fulfillment in distribution network problems. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 17, n. 3, p. 307-319, 2006.

CHITSAZ, N.; BANIHABIB, M. E. Comparison of different multi criteria decision-making models in prioritizing flood management alternatives. **Water Resources Management**, v. 29, n. 8, p. 2503-2525, 2015.

CHOU, S. Y.; CHANG, Y. H. A decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach. **Expert systems with applications**, v. 34, n. 4, p. 2241-2253, 2008.

CLÍMACO, J. N.; ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. G. **Programação linear multiobjetivo: do modelo de programação linear clássico à consideração explícita de várias funções objetivo**. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press, 2003.

COSTA, H. G. Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. **Revista da FAE**, 13.1: 115-126, 2016.

CUNTO, F. J. C.; LOUREIRO, C. F. G. O uso da microsimulação na avaliação do desempenho da segurança viária. **Transportes**, 19.3: 5-11, 2011.

CVITANIĆ, D.; BREŠKI, D.; LOVRIĆ, I. Possibility of Microsimulation Models Calibration—Case Study in the City of Split. **PROMET-Traffic&Transportation**, v. 24, n. 3, p. 231-241, 2012.

DEGHANI, H.; SIAMI, A.; HAGHI, P. A new model for mining method selection based on grey and TODIM methods. **Journal of Mining and Environment**, v. 8, n. 1, p. 49-60, 2017.

DION, F.; SIVAKUMARAN, K.; BAN, X. J. Evaluation of Traffic Simulation Model Use in the Development of Corridor System Management Plans (CSMPs). **California Partners for Advanced Transportation Technologies (PATH)**, University of California, Berkeley, UCB-ITS-PRR-2012-2, 2012.

DOUKAS, H.; PATLITZIANAS, K. D.; PSARRAS, J. Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM. **Resources Policy**, 31.2: 129-136, 2006.

DULMIN, R.; MININNO, V. Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. **Journal of purchasing and supply management**, 9(4), 177-187, 2003.

EFE, B. An integrated fuzzy multi criteria group decision making approach for ERP system selection. **Applied Soft Computing**, v. 38, p. 106-117, 2016.

EHRlich, P. J. Modelos quantitativos de apoio as decisões: II. **Revista de Administração de Empresas**, v. 36, n. 2, p. 44-52, 1996.

ERTAY, T.; KAHRAMAN, C.; KAYA, I. Evaluation of renewable energy alternatives using MACBETH and fuzzy AHP multicriteria methods: the case of Turkey. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 19, n. 1, p. 38-62, 2013.

ESSA, M.; SAYED, T. A comparison between PARAMICS and VISSIM in estimating automated field-measured traffic conflicts at signalized intersections. **Journal of advanced transportation**, v. 50, n. 5, p. 897-917, 2016.

FANG, F. C.; ELEFTERIADOU, L. Some guidelines for selecting microsimulation models for interchange traffic operational analysis. **Journal of Transportation Engineering**, v. 131, n. 7, p. 535-543, 2005.

FELLENDORF, M.; VORTISCH, P. Validation of the microscopic traffic flow model VISSIM in different real-world situations. **National Research Council board 80th annual meeting**, Transportation Research Trafficware Ltd, 2001.

FERNANDES, C. H. **Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social –um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão MACBETH**. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis. 1996.

FERNANDES, J. M.; RODRIGUES, S. P.; COSTA, L. A. Comparing AHP and ELECTRE I for prioritizing software requirements. **Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), 2015 16th IEEE/ACIS International Conference on**. IEEE, p. 1-8, 2015.

FERREIRA, F. A. F.; SANTOS, S. P. Comparing trade-off adjustments in credit risk analysis of mortgage loans using AHP, Delphi and MACBETH. **International Journal of Strategic Property Management**, v. 20, n. 1, p. 44-63, 2016.

FISHBURN, P. C. **Utility theory for decision making**. Research analysis corp McLean VA, 1970

FLAMENT, M. **Glosario multicritério**. España: Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicriterio, 1999.

FONTELLES, M. J.; SIMÕES, M. G.; FARIAS, S. H.; FONTELLES, R. G. S. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista Paraense de Medicina**, 23(3), 1-8, 2009

GAGNON, C; SADEK, A; TOUCHETTE, A; SMITH, M. Calibration potential of common analytical and microsimulation roundabout models: New England case study. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2071, p. 77-86, 2008.

GARTNER, I. R. **Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas**. Brasília: Editora Universa, 2001.

GE, Q.; CIUFFO, B.; MENENDEZ, M. An exploratory study of two efficient approaches for the sensitivity analysis of computationally expensive traffic simulation models. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 15, n. 3, p. 1288-1297, 2014.

GHARIANI, N.; ELKOSANTINI, S.; DARMOUL, S.; SAID, L. B. A survey of simulation platforms for the assessment of public transport control systems. **Advanced Logistics and Transport (ICALT), 2014 International Conference on**. IEEE, p. 85-90, 2014.

GOMES, L. F. A. M.; LIMA, M. M. P. P. TODIM: Basics and application to multicriteria ranking of projects with environmental impacts. **Foundations of Computing and Decision Sciences**, v. 16, n. 4, p. 113-127, 1992a.

GOMES, L. F. A. M.; LIMA, M. M. P. P. From modeling individual preferences to multicriteria ranking of discrete alternatives: a look at prospect theory and the additive difference model. **Foundations of Computing and Decision Sciences**, v. 17, n. 3, p. 171-184, 1992b.

GOMES, L. F. A. M.; MOREIRA, A. M. M. Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério. **RECITEC**, Recife, v. 2, n. 2, pp. 117 – 139, 1998.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão**. São Paulo/SP: 1ª ed., Pioneira Thomson Learning, p. 1-126, 2004.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Thomson, 2007.

GOMES, L. F. A. M.; MARANHÃO, F. J. C. A exploração de gás natural em Mexilhão: análise multicritério pelo método Todim. **Pesquisa Operacional**, v. 28, n. 3, p. 491-509, 2008.

GOMES, L. F. A. M.; RANGEL, L. A. D. An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties. **European Journal of Operational Research**, v. 193, n. 1, p. 204-211, 2009.

GOMES, L. F. A. M.; RANGEL, L. A. D.; MARANHÃO, F. J. C. Multicriteria analysis of natural gas destination in Brazil: An application of the TODIM method. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 50, n. 1-2, p. 92-100, 2009.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de Decisão Gerencial: um enfoque multicritério**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GONÇALVES, R. W. **Métodos multicritérios como apoio à decisão em comitês de bacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: UNIFOR, 2001.



GRAMANI, L. M. Descrições microscópica, macroscópica e cinética do fluxo de tráfego veicular. **Notas em Matemática Aplicada**, 89, 2010.

GRECO, S.; FIGUEIRA, J.; EHRGOTT, M. Multiple criteria decision analysis. **Springer's International series**, 2005.

GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER, S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. **Encontro Nacional de Ciência da Informação**, 6: 1-18, 2005.

GUI TOUNI, A.; MARTEL, J. M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. **European Journal of Operational Research**, 109.2: 501-521, 1998.

GÜRBÜZ, T.; ALPTEKIN, S. E.; ALPTEKIN, G. I. A hybrid MCDM methodology for ERP selection problem with interacting criteria. **Decision Support Systems**, v. 54, n. 1, p. 206-214, 2012.

HAHN, E. D. Decision making with uncertain judgments: a stochastic formulation of the Analytic Hierarchy Process. **Decisions Sciences**, v. 34, n. 3, 2003.

HALATI, A.; LIEU, H.; WALKER, S. CORSIM-corridor traffic simulation model. **Traffic congestion and traffic safety in the 21st century: Challenges, innovations, and opportunities**, 1997.

HANINE, M.; BOUTKHOUM, O.; TIKNIOUINE, A.; AGOUTI, T. Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TODIM methods for landfill location selection. **SpringerPlus**, v. 5, n. 1, p. 501, 2016.

HIDAS, P. Evaluation and further development of car following models in microscopic traffic simulation. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 89, 2006.

HO, W.; XU, X.; DEY, P. K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 202, p. 16-24, 2010.

HODGETT, R. E. Comparison of multi-criteria decision-making methods for equipment selection. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 85, n. 5-8, p. 1145-1157, 2016.

HOLLOCKS, B. A well-kept secret?. **Or Insight**, v. 5, n. 4, p. 12-17, 1992.

HOURLAKIS, J.; MICHALOPOULOS, P. G.; KOTTOMMANNIL J. Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models. **Transportation Research Record**, n. 1852, p. 130-139, 2003.

HUIZINGH, E. K. R.; VROLIJK, H. C. J. Extending the applicability of de Analytic Hierarchy Process. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 31, n. 1, p. 29-39, 1997.

HUSCH, D.; ALBECK, J. **SIMTRAFFIC 5.0 User Guide for Windows**. 2000.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. John Wiley & Sons, 2013.

ISHIZAKA, A.; LABIB, A. Analytic hierarchy process and expert choice: Benefits and limitations. **Or Insight**, 22.4: 201-220, 2009.

ISHIZAKA, A.; SIRAJ, S. Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. **European Journal of Operational Research**, 2017.

JADIDI, O.; FIROUZI, F.; BAGLIERY, E. TOPSIS method for supplier selection problem. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 47, p. 956-958, 2010.

JULIANO, I. J. **Análise de decisão multicritério baseada em teoria da utilidade: uma aplicação na priorização de produtos**. Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica. Campinas, SP, 2017.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 263-291, 1979.

KAYA, T. Multi-attribute evaluation of website quality in E-business using an integrated fuzzy AHP-TOPSIS methodology. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 3, n. 3, p. 301-314, 2010.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. Multiattribute preferences under uncertainty: more than two attributes. **Decisions with Multiple Objectives, Preferences and Value Tradeoffs**, Wiley, New York, p. 283-348, 1976.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs**. Cambridge university press, 1993.

KELTON, W.D.; SADOWSKI, R.P.; STURROCK, D.T. **Simulation with Arena**, McGraw-Hill Professional, 3<sup>a</sup> ed, 2004.

KITCHENHAM, B. A.; CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. **EBSE Technical Report**. EBSE, Keele, UK, Keele University and Durham, UK, University of Durham, 2007.

KOKKINOGENIS, Z.; PASSOS, L. S.; ROSSETTI, R.; GABRIEL, J. Towards the next-generation traffic simulation tools: a first evaluation. **6th iberian conference on information systems and Technologies**, p. 15-18, 2011.

LEHNHART, E. dos R. **Tomada de decisão em contextos específicos: uma análise das relações entre os métodos multicritérios de apoio à decisão e as estratégias de decisão humana**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

LIM, M. C.; AYOKO, G. A.; MORAWSKA, L.; RISTOVSKI, Z. D.; JAYARATNE, E. R. Influence of fuel composition on polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from a fleet of in-service passenger cars. **Atmospheric Environment**, 41(1), 150-160, 2007.

LIMA JÚNIOR, F. R. **Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

LONGARAY, A. A.; POPIOLEK Jr, T. L.; MUNHOZ, P. R.; GERI, F. S.; CASTELLI, T. M. Caracterização da produção científica brasileira sobre a aplicação de métodos multicritério de apoio à decisão: uma análise das publicações entre 2004–2013. **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2015.

LU, L.; YUN, T.; LI, L.; SU, Y.; YAO, D. A comparison of phase transitions produced by PARAMICS, TransModeler, and Vissim. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 2, n. 3, p. 19-24, 2010.

MACIEJEWSKI, M. A comparison of microscopic traffic flow simulation systems for an urban area. **Transport Problems**, v. 5, n. 4, p. 27-38, 2010.

MADEIRA JUNIOR, A. G.; NASCIMENTO, L. F.; SEIXAS, M. R.; BELDERRAIN, M. C. N. Avaliação Multicritério dos Portos quanto à sustentabilidade: TODIM x MACBETH. **XII SIGE – Simpósio de aplicações operacionais em áreas de defesa**. São José dos Campos, 2010.

MARESCHAL, B.; BRANS, J. P.; VINCKE, P. **PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis**. No. 2013/9305. ULB--Universite Libre de Bruxelles, 1984.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, A. G. O uso do método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais - um estudo de caso. **XLI SBPO - Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional**, Porto Seguro-BA. XLI SBPO, 2009.

MATSIM. Matsim.org, 2016. Disponível em: <<http://www.matsim.org>>. Acesso em 29 de maio de 2017.

MEINGAST, A.; PELL, A.; SCHAUER, O. Evaluation of market requirements and offered functionalities in traffic simulation systems supporting advanced traffic management systems. **European Transport Conference 2013**, 2013.

MELA, K.; TIAINEN, T.; HEINISUO, M. Comparative study of multiple criteria decision making methods for building design. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 4, p. 716-726, 2012.

MOREIRA, R. A. **Análise Multicritério dos projetos do Sebrae/RJ através do Electre IV**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante). Programa de Pós-Graduação em Administração das Faculdades Ibmecc, Rio de Janeiro, 2007.

MOSHKOVICH, H. M.; GOMES, L. F. A. M.; MECHITOV, A. I.; RANGEL, L. A. D. Influence of models and scales on the ranking of multiattribute alternatives. **Pesquisa Operacional**, 32(3), 523-542, 2012.

MOTTA, J. P. L.; LIMA, M. P.; MACHADO, N. M. Conflitos: Rodovia e Meio Ambiente. O Caso da RJ 165, Paraty (RJ) – Cunha (SP). **Revista Transporte**, São Paulo v. 1, n. 1, 1992.

MURALIDHARAN, C.; ANANTHARAMAN, N.; DESHMUKH, S. G. A multi-criteria group decisionmaking model for supplier rating. **Journal of supply chain management**, v. 38, n. 3, p. 22-33, 2002.

NAZARETH, V. S.; SOUSA, L. A. P.; RIBEIRO, P. C. M. Análise comparativa entre simuladores de fluxo de tráfego. **XIII Rio de Transportes**, 2015.



NEVES, G. R.; GALHARDI, A. C. Análise bibliométrica da produção científica sobre simuladores microscópicos de tráfego na base de dados Web of Science. **XI Workshop de pós-graduação e pesquisa do Centro Paula Souza – CEETEP**, São Paulo, 2016.

NORONHA, S. D. **Um modelo multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1998.

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

ONUT, S.; KARA, S. S.; IŞIK, E. Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. **Expert systems with applications**, v. 36, n. 2, p. 3887-3895, 2009.

OZCAN, T.; ÇELEBI, N.; ESNAF, Ş. Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9773-9779, 2011.

PADOVANI, M.; CARVALHO, M. M. D.; MUSCAT, A. R. N. Seleção e alocação de recursos em portfólio de projetos: estudo de caso no setor químico. **Gestão & Produção**, 17(1), 157-180, 2010.

PANWAI, S.; DIA, H. Comparative evaluation of microscopic car-following behavior. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 6, n. 3, p. 314-325, 2005.

PASSOS, A. C.; GOMES, L. F. A. M. Enfoque multicritério à teoria das prospectivas: fundamentos e aplicação. **Revista de Administração Mackenzie (Mackenzie Management Review)**, v. 6, n. 1, 2005.

PERON, L. **Contribuição metodológica para aplicação de prioridade semafórica condicional em corredores de ônibus**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2015.

PORTUGAL, L. S. Simulação de Tráfego: **Conceitos e Técnicas de Modelagem**, Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2005.

PRADO, D. S. **Usando o ARENA em Simulação**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.

PTV VISSIM. Long-awaited PTV Vissim 6 version is now available. Disponível em: <<http://compass.ptvgroup.com/2013/08/long-awaited-ptv-vissim-6-version-is-now-available/?lang=en>> Acesso em: 21 de jun de 2017.

QARADAGHI, M. **Investigation of Multi-Criteria Decision Consistency: A Triplex Approach to Optimal Oilfield Portfolio Investment Decisions**. Tese de Doutorado. The George Washington University, 2016.

RAKHA, H.; CROWTHER, B. Comparison and calibration of FRESIM and INTEGRATION steady-state car-following behavior. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 37, n. 1, p. 1-27, 2003.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M. Determinação do valor de referência do aluguel de imóveis residenciais empregando o método TODIM. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 357-372, 2007.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M.; MOREIRA, R. A. Decision theory with multiple criteria: an application of ELECTRE IV and TODIM to SEBRAE/RJ. **Pesquisa Operacional**, v. 29, n. 3, p. 577-590, 2009.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M.; CARDOSO, F. P. An application of the TODIM method to the evaluation of broadband internet plans. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 2, p. 235-249, 2011.

RATROUT, N. T.; RAHMAN, S. M. A comparative analysis of currently used microscopic and macroscopic traffic simulation software. **The Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 34, n. 1B, p. 121-133, 2009.

REGOS, G. Comparison of power plants' risks with multi criteria decision models. **Central European Journal of Operations Research**, p. 1-21, 2013.

RIBEIRO, L. S.; PASSOS, A. C.; TEIXEIRA, M. G. Seleção de tecnologias de comunicações no exército brasileiro utilizando os métodos multicritério de análise hierárquica, TODIM e software Sapiens. **Production**, v. 22, n. 1, p. 132-141, 2012.

RILETT, L.; KIM, K. O.; RANEY, B. Comparison of low-fidelity TRANSIMS and high-fidelity CORSIM highway simulation models with intelligent transportation system data. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 1739, p. 1-8, 2000.

RODRIGUES, A. de S. **Método para elaboração de um plano de evacuação emergencial em uma usina nuclear utilizando microssimulação de tráfego**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2014.

ROY, B. P. The optimisation problem formulation: Criticism and overstepping. **Journal of the Operational Research Society**, 32 (6), 427-436, 1981.

ROY, B. P. **Méthodologie multicritère d' aide à la décision**. Economica, 1985.

ROY, B. P.; VINCKE, P. **L'aide multicritère à la décision**. Editions Ellipses, 1989.

ROY, B. P.; VANDERPOOTEN, D. The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, 5.1: 22-38, 1996.

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, 15, pp. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation**. New York: McGraw, v. 281, 1980.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

- SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo, Editora Makron, 1991.
- SAATY, T. L. **Decision Making With the Analytic Hierarchy Process**. 2010a.
- SAATY, T. L. **How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process**. 2010b.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. Springer Science & Business Media, 2012.
- SAIDALLAH, M.; FERGOUGUI, A E.; ELALAOUI, A. E. A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, p. 05002, 2016.
- SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.
- SALIBA, G. C. **Priorização de projetos em petroquímica: análise multicritério pelo método TODIM**. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: Faculdades Ibmecc, 2009
- SALMINEN, P.; HOKKANEN, J.; LAHDELMA, R. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. **European Journal of Operational Research**, v. 104, n. 3, p. 485-496, 1998.
- SALOMON, V. A. P.; SHIMIZU, T. Utilização de Matrizes de Julgamentos na Análise do Controle da Produção. **Revista Gestão Industrial**, v. 2, n. 1, 2006.
- SALOMON, V. A. P. **Contribuições para validação de tomada de decisão com múltiplos critérios**. 2010. 68 f. Tese (Livre-Docência) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, 2010.
- SAMUELSON, D. A.; MACAL, C. M. Agent-based simulation comes of age. **OR/MS Today**, v. 33, n. 4, 2006.
- SANCHEZ-LOZANO, J. M.; CASCALES, M. S. G.; LAMATA, M. T. Comparative TOPSIS-ELECTRE TRI methods for optimal sites for photovoltaic solar farms. Case study in Spain. **Journal of Cleaner Production**, v. 127, p. 387-398, 2016.
- SANTOS, P. C. S. dos. **Escolha e ordenação com informação ordinal: extensão à decisão em grupo e à negociação**. Tese de Doutorado. FEUC, 2011.
- SELMİ, M.; KORMI, T.; ALI, N. B. H. Comparing multi-criteria decision aid methods through a ranking stability index. **Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)**, 5th International Conference on. IEEE, p. 1-5, 2013.
- SEN, D. K.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S. S. Application of TODIM (Tomada de Decisão Iterativa Multicritério) for industrial robot selection. **Benchmarking: An International Journal**, v. 23, n. 7, p. 1818-1833, 2016.
- SHAABAN, K; KIM, I. Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts. **Procedia Computer Science**, v. 52, p. 43-50, 2015.

SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações: com novos capítulos sobre: decisão com múltiplos critérios e múltiplos estágios, decisão baseada em knowledge, acquisition e data mining; decisão por grupos e negociação, exercícios resolvidos e estudo de caso.** Atlas, 2006.

SILVA, N. C.; GALHARDI, A. C. **Mobilidade Veicular: um ensaio de simulação de protocolos de comunicação interveicular.** 1.ed. Jundiaí: Edições Brasil, p.54, 2016.

SMARTTEST. **SMARTTEST Final Report for Publication**, ITS, University of Leeds, 2000.

SMITH, L.; BECKMAN, R.; ANSON, D.; NAGEL, K.; WILLIAMS, M. **TRANSIMS: Transportation analysis and simulation system.** Los Alamos National Lab., NM, United States, 1995.

SOARES, S. R. **Análise multicritério com instrumento de gestão ambiental.** Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis, 2003.

SORIA, I.; ELEFTERIADOU, L.; KONDYLI, A. Assessment of car-following models by driver type and under different traffic, weather conditions using data from an instrumented vehicle. **Simulation modelling practice and theory**, v. 40, p. 208-220, 2014.

SUN, D. J.; ZHANG, L.; CHEN, F. Comparative study on simulation performances of CORSIM and VISSIM for urban street network. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 37, p. 18-29, 2013.

TIANZI, C.; SHAOCHEN, J.; HONGXU, Y. Comparative study of VISSIM and SIDRA on signalized intersection. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 96, p. 2004-2010, 2013.

TRANSMODELER. Caliper. Disponível em <<http://www.caliper.com/transmodeler/>>. Acesso em 29 de maio de 2017.

TRENDOWICZ, A.; KOPCZYŃSKA, S. Adapting multi-criteria decision analysis for assessing the quality of software products. Current approaches and future perspectives. In: **Advances in COMPUTERS**. Elsevier, p. 153-226, 2014.

UYSAL, F.; TOSUN, Ö. Multi criteria analysis of the residential properties in Antalya using TODIM method. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 109, p. 322-326, 2014.

VAN AERDE, M.; RAKHA, H. **INTEGRATION© Release 2.30 for Windows: User's Guide–Volume I: Fundamental Model Features.** M. Van Aerde & Assoc., Ltd., Blacksburg, 2007.

VINCKE, J. P.; BRANS, P. H. A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM. **Management Science**, 31.6: 647-656, 1985.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid.** John Wiley & Sons, 1992.

WALLENIS, J.; DYER, J. S.; FISHBURN, P. C.; STEUER, R. E.; ZIONTS, S.; DEB, K. Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: recent accomplishments and what lies ahead. **Management Science**, v. 54, n. 7, p. 1336-1349, 2008.

WEBER, M; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n. 1, p. 1-12, 1993.

WEBSTER, J.; WATSON, R. T. Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. **MIS quarterly**, xiii-xxiii, 2002.

YANG, Q.; KOUTSOPOULOS, H. N. A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 4, n. 3, p. 113-129, 1996.

YIN, D.; QIU, T. Z. Compatibility analysis of macroscopic and microscopic traffic simulation modeling. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 40, n. 7, p. 613-622, 2013.

YOON, K.; HWANG, C. L. **TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) - a multiple attribute decision making w:** Multiple attribute decision making—methods and applications, a state-of-the-art survey. 128-140, 1981.

YUN, I.; PARK, B. Stochastic optimization for coordinated actuated traffic signal systems. **Journal of Transportation Engineering**, v. 138, n. 7, p. 819-829, 2012.

ZEYDAN, M.; ÇOLPAN, C.; ÇOBANOĞLU, C. A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 3, p. 2741-2751, 2011.

ZINDANI, D.; MAITY, S. R.; BHOWMIK, S.; CHAKRABORTY, S. A material selection approach using the TODIM (TOMada de Decisao Interativa Multicriterio) method and its analysis. **International Journal of Materials Research**, v. 108, n. 5, p. 345-354, 2017.

## APÊNDICE A

Quadro 27 - Julgamentos paritários entre os critérios utilizados pelo método AHP

Critério	Julgamentos														Critério			
	Menos importante								Iguais	Mais importante								
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2		1	2	3	4	5		6	7	8
C2										X								
C3							X											
C4								X										
C5		X																
C6											X							
C7						X												
C8										X								
C9					X													
C10									X									
C11								X										
C3					X													
C4									X									
C5			X							X								
C6										X								
C7								X										
C8									X									
C9				X														
C10								X										
C11							X											
C4											X							
C5										X								
C6													X					
C7										X								
C8														X				
C9											X							
C10												X						
C11											X							
C5								X										
C6																X		
C7										X								
C8													X					
C9								X										
C10									X									
C11										X								
C6															X			
C7											X							
C8														X				
C9									X									
C10															X			
C11												X						
C7				X														
C8								X										
C9	X																	
C10							X											
C11								X										

Fonte: O Autor

Quadro 27 - Julgamentos paritários entre os critérios utilizados pelo método AHP (continuação)

Critério	Julgamentos																	Critério
	Menos importante								Iguais		Mais importante							
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
C8											X							C7
C9									X									
C10												X						
C11											X							
C9						X												C8
C10									X									
C11								X										
C10														X				C9
C11												X						
C11								X										C10

Fonte: O Autor

## APÊNDICE B

Quadro 28 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C1

Critério	Julgamentos																		Critério	
	Menos importante que								Iguais		Mais importante que									
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
A2											X									
A3												X								
A4												X								
A5																				X
A6																	X			
A7																			X	
A3								X												
A4									X											
A5												X								
A6												X								
A7														X						
A4								X												
A5														X						
A6											X									
A7														X						
A5															X					
A6											X									
A7											X									
A6						X														
A7									X											
A7											X									

Fonte: O Autor

Quadro 29 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C2

Critério	Julgamentos																		Critério	
	Menos importante que								Iguais		Mais importante que									
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
A2					X															
A3													X							
A4												X								
A5									X											
A6												X								
A7																			X	
A3															X					
A4																			X	
A5												X								
A6																	X			
A7																			X	
A4								X												
A5						X														
A6								X												
A7									X											
A5								X												
A6											X									
A7											X									
A6												X								
A7													X							
A6														X						
A7															X					
A7											X									

Fonte: O Autor



Quadro 30 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C3

Critério	Julgamentos																		Critério
	Menos importante que								Iguais	Mais importante que									
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
A2											X							A1	
A3									X										
A4										X									
A5											X								
A6						X													
A7								X											
A3							X												A2
A4					X														
A5								X											
A6				X															
A7					X														
A4										X								A3	
A5															X				
A6					X														
A7									X										
A5										X								A4	
A6							X												
A7								X											
A6		X																A5	
A7					X														
A7										X								A6	

Fonte: O Autor

Quadro 31 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C4

Critério	Julgamentos																		Critério
	Menos importante que								Iguais	Mais importante que									
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
A2										X								A1	
A3							X												
A4															X				
A5																	X		
A6																X			
A7													X						
A3								X											A2
A4										X									
A5																	X		
A6												X							
A7															X				
A4																X		A3	
A5																X			
A6															X				
A7																	X		
A5										X								A4	
A6									X										
A7									X										
A6							X											A5	
A7								X											
A7										X								A6	

Fonte: O Autor

Quadro 32 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C5

Critério	Julgamentos																	Critério
	Menos importante que								Iguais	Mais importante que								
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A2										X								A1
A3									X									
A4											X							
A5														X				
A6													X					
A7																X		
A3								X										
A4										X								
A5														X				
A6												X						
A7										X								A3
A4											X							
A5														X				
A6													X					A4
A7															X			
A5												X						
A6											X							A5
A7											X							
A6							X											A6
A7								X										
A7									X									

Fonte: O Autor

Quadro 33 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C6

Critério	Julgamentos																	Critério
	Menos importante que								Iguais	Mais importante que								
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A2						X												A1
A3								X										
A4							X											
A5	X																	
A6	X																	
A7					X													
A3											X							
A4												X						
A5								X										
A6								X										
A7									X									A3
A4									X									
A5				X														
A6				X														A4
A7							X											
A5				X														A5
A6					X													
A7								X										A6
A6										X								
A7									X									
A7												X						

Fonte: O Autor

Quadro 34 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C7

Critério	Julgamentos																	Critério
	Menos importante que								Iguais		Mais importante que							
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A2														X				A1
A3																X		
A4																X		
A5									X									
A6										X								
A7												X						
A3										X								
A4											X						A2	
A5							X											
A6								X										
A7								X										
A4											X						A3	
A5				X														
A6							X											
A7								X										
A5	X																A4	
A6		X																
A7						X												
A6											X						A5	
A7												X						
A7											X						A6	

Fonte: O Autor

Quadro 35 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C8

Critério	Julgamentos																	Critério
	Menos importante que								Iguais		Mais importante que							
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A2										X							A1	
A3									X									
A4												X						
A5													X					
A6														X				
A7																X		
A3										X								
A4											X							
A5														X				
A6													X					
A7															X			
A4												X						
A5												X						
A6													X					
A7														X				
A5											X							
A6											X							
A7										X								
A6											X							
A7									X									
A6										X								
A7											X							
A7										X								

Fonte: O Autor

Quadro 36 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C9

Critério	Julgamentos																		Critério
	Menos importante que								Iguais	Mais importante que									
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
A2								X											A1
A3			X																
A4				X															
A5										X									
A6							X												
A7								X											
A3						X													
A4							X												
A5											X								
A6										X									
A7									X										A3
A4										X									
A5													X						
A6												X							
A7												X							A4
A5													X						
A6												X							
A7											X								A5
A6							X												
A7								X											
A7										X									A6

Fonte: O Autor

Quadro 37 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C10

Critério	Julgamentos																		Critério
	Menos importante que								Iguais	Mais importante que									
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
A2								X											A1
A3									X										
A4											X								
A5											X								
A6												X							
A7														X					
A3										X									
A4										X									
A5											X								
A6												X							
A7										X									A3
A4									X										
A5										X									
A6											X								
A7												X							A4
A5													X						
A6														X					
A7															X				A5
A6											X								
A7												X							
A7											X								A6

Fonte: O Autor

Quadro 38 - Matriz de julgamentos das alternativas em relação ao critério C11

Critério	Julgamentos																Critério		
	Menos importante que								Iguais		Mais importante que								
	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8		9	
A2										X								A1	
A3									X										
A4											X								
A5															X				
A6																	X		
A7																X			
A3										X									A2
A4											X								
A5													X						
A6																X			
A7															X				
A4													X					A3	
A5											X								
A6															X				
A7															X				
A5									X									A4	
A6										X									
A7											X								
A6											X							A5	
A7											X								
A7								X										A6	

Fonte: O Autor