

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDA LAUCK MACHADO

MODELO DE DECISÃO PARA A PRIORIZAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO  
ARMADO CANDIDATAS ÀS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO  
MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO

CURITIBA

2018

EDUARDA LAUCK MACHADO

MODELO DE DECISÃO PARA A PRIORIZAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO  
ARMADO CANDIDATAS ÀS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO  
MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adriana de Paula Lacerda Santos

CURITIBA

2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE  
CONSTRUÇÃO CIVIL

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **EDUARDA LAUCK MACHADO** intitulada: **MODELO DE DECISÃO PARA A PRIORIZAÇÃO DE PONTES DE CONCRETO ARMADO CANDIDATAS ÀS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 17 de Abril de 2018.



ADRIANA DE PAULA LACERDA SANTOS  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



ROBERTO DALLEDONE MACHADO  
Avaliador Interno (UFPR)



MAURO LACERDA SANTOS FILHO  
Avaliador Externo (UFPR)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por esta oportunidade.

A minha orientadora, Professora Dra. Adriana de Paula Lacerda Santos, pela orientação, apoio e confiança.

Aos que contribuíram com seus conhecimentos: Mauro Lacerda Santos, Mauro Lacerda Santos Filho, José Rodolfo Lacerda, Raul Ozorio de Almeida, Wilson Picheth Gheeur, Glauco Lobo, Wilson Ahrens, Danilo Costa Lages, Arlete Martins Diniz e Carlos Sandrini.

Ao professor Marcos Augusto Mendes Marques, pelo auxílio com a análise estatística.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC), da Universidade Federal do Paraná (UFPR) que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial a Janilce dos Santos Messias Negrão e Nicolle Christine Sotsek Ramos, por todo apoio.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional.

Ao meu marido, Samuel Souza Dantas, pelo incentivo e paciência durante esse tempo de estudo.

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

A manutenção das pontes e viadutos, também chamados de Obras de Arte Especiais (OAEs), tornou-se uma preocupação social e econômica importante, uma vez que as OAEs devem ser mantidas dentro de limites aceitáveis de segurança e facilidade de manutenção. As atividades de intervenção em OAEs são normalmente muito caras e envolvem grandes investimentos que nem sempre estão disponíveis para agências de transporte, o que requer dessas agências um processo complexo de tomada de decisão para selecionar e priorizar projetos para implementar as ações que são necessárias para manter essas estruturas. Assim, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um modelo de tomada de decisão baseado numa análise multicritério para a priorização OAEs para intervenção de manutenção. Para isso, foram utilizados três métodos de apoio à tomada de decisão: o Delphi, para confirmar com especialistas os critérios que compõem o modelo; o Analytic Hierarchy Process (AHP), para ponderar os critérios, e o Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation (PROMETHEE) para e criar o ranking de OAEs. Avaliou-se o modelo proposto através de um ranqueamento de 50 OAEs, obtendo-se como resultados dessa nova abordagem, critérios e ferramentas para apoiar a escolha entre as estruturas. A principal contribuição deste trabalho é a nova abordagem proposta, um modelo amplo o suficiente, que leva em consideração critérios importantes, para criar um ranking de priorização de OAEs para intervenção de manutenção, segundo as preferências do decisor ou grupo de decisores.

Palavras-chave: Ponte de concreto armado. Obras de Arte Especiais (OAEs). Gestão da manutenção de pontes. Modelo de decisão. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*. *Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation (PROMETHEE)*. Método Delphi.

## ABSTRACT

Bridge maintenance has become a major social and economic concern, since bridges must be kept within acceptable limits of safety and serviceability. Bridge intervention activities are usually very expensive and involve large investments that are not always available to transportation agencies, which requires of these agencies a complex decision-making process to select and prioritize projects to implement the actions that are necessary to maintain these structures. Thus, this work has as general objective develop a decision-making model based on a multicriteria analysis for prioritization of maintenance interventions in bridges of reinforced concrete. For this, three methods of decision support were used: Delphi, to confirm with experts the criteria to integrate the model; the Analytic Hierarchy Process (AHP), to weigh the criteria; and the Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation (PROMETHEE), to create the ranking of bridges. The proposed model was evaluated through a ranking of 50 OAEs, obtaining as results of this new approach, criteria and tools to support the choice between the structures. The main contribution of this work is the proposed new approach, a large enough model that considers important criteria to create a priority ranking of bridges for maintenance intervention, according to the preferences of the decision maker or group of decision makers.

Keywords: Reinforced concrete bridge. Management of bridge maintenance. Decision model. Analytic Hierarchy Process (AHP). Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation (PROMETHEE). Delphi method.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– DESEMPENHO DE UMA ESTRUTURA EM FUNÇÃO DO TEMPO.	16
FIGURA 2	– LEI DE EVOLUÇÃO DE CUSTOS, LEI DE SITTER .....	17
FIGURA 3	– ESQUEMA ILUSTRATIVO DA COMPOSIÇÃO DE UMA OAE .....	20
FIGURA 4	– FLUXOGRAMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE OAES DO MODELO GDE/UNB .....	23
FIGURA 5	– FLUXO DE REABILITAÇÃO DAS OAES .....	28
FIGURA 6	– TIPOS DE PROBLEMÁTICAS .....	30
FIGURA 7	– ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO AHP .....	34
FIGURA 8	– ESTRUTURA DA REDE ANP .....	37
FIGURA 9	– UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO.....	52
FIGURA 10	– MÉTODO DE PESQUISA PROPOSTO POR PEFFERS ET AL. (2007) .....	54
FIGURA 11	– ETAPAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DESTA PESQUISA .....	55
FIGURA 12	– PROCESSO DE REVISÃO SISTEMÁTICA .....	57
FIGURA 13	– ETAPAS DO MODELO PROPOSTO .....	60
FIGURA 14	– ETAPAS E FERRAMENTAS DA AVALIAÇÃO DO MODELO PROPOSTO .....	62
FIGURA 15	– AVALIAÇÕES POSITIVAS .....	79
FIGURA 16	– ESTRUTURA HIERÁRQUICA PARA O PROBLEMA DE PRIORIZAÇÃO DE OAES .....	80
FIGURA 17	– PESOS DOS PARÂMETROS .....	82
FIGURA 18	– PESOS DOS CRITÉRIOS DO PARÂMETRO FUNCIONALIDADE..	83
FIGURA 19	– PESOS DOS CRITÉRIOS DO PARÂMETRO SEGURANÇA .....	83
FIGURA 20	– PESOS DOS CRITÉRIOS DO PARÂMETRO TRÁFEGO .....	84
FIGURA 21	– PESO DO CRITÉRIO DO PARÂMETRO EXTERNO .....	84
FIGURA 22	– REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA PLANILHA DE IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO .....	93
FIGURA 23	– RANQUEAMENTO DE OAES .....	106

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– PRINCIPAIS CAUSAS DE FALHA DE OAE .....	21
TABELA 2	– INTERVALO DE VALORES DOS PARÂMETROS DO MODELO EMEA .....	24
TABELA 3	– NOTA TÉCNICA CONFORME CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA OAE .....	26
TABELA 4	– EXEMPLO DE MATRIZ DE DECISÃO .....	30
TABELA 5	– ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO DE SAATY .....	35
TABELA 6	– MATRIZ DE ALCANCE GLOBAL .....	37
TABELA 7	– MATRIZ DE ALCANCE LOCAL .....	38
TABELA 8	– FUNÇÕES DE PREFERÊNCIA DO MÉTODO PROMETHEE .....	44
TABELA 9	– URGÊNCIA DE INTERVENÇÃO .....	72
TABELA 10	– MATRIZ DE COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DO MODELO .....	81
TABELA 11	– MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS, VETOR DE PRIORIDADE E AUTOVALOR .....	81
TABELA 12	– MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE FUNCIONALIDADE .....	82
TABELA 13	– MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA	83
TABELA 14	– MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE TRÁFEGO ...	84
TABELA 15	– RANQUEAMENTO DE OAES PARA MANUTENÇÃO .....	102

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	– MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO APLICADOS NA GESTÃO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES .....	33
QUADRO 2	– ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA ALEATÓRIA (RC) .....	36
QUADRO 3	– VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MÉTODO TOPSIS .....	40
QUADRO 4	– VARIAÇÕES DA FAMÍLIA PROMETHEE .....	42
QUADRO 5	– CRITÉRIOS PARA PRIORIZAÇÃO DE OAES OBTIDOS DA RSL .....	65
QUADRO 6	– FATOR DE RELEVÂNCIA ESTRUTURAL .....	67
QUADRO 7	– FATOR DE INTENSIDADE .....	67
QUADRO 8	– FATOR AGRAVANTE .....	68
QUADRO 9	– RELAÇÃO ENTRE O GRAU DE RISCO E A CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE .....	68
QUADRO 10	– PARÂMETROS PARA DETERMINAR O ÍNDICE DE CAPACIDADE DE CARGA .....	70
QUADRO 11	– CRITÉRIOS PARA COMPOR O MODELO DE PRIORIZAÇÃO DE OAES .....	77
QUADRO 12	– AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA .....	86
QUADRO 13	– AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO LEITO DO RIO .....	86
QUADRO 14	– AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO ESTRUTURAL .....	87
QUADRO 15	– AVALIAÇÃO DO ESTADO DE SEGURANÇA DA OAE .....	88
QUADRO 16	– AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DOS USUÁRIOS .....	88
QUADRO 17	– AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO APARÊNCIA VISUAL .....	89
QUADRO 18	– CLASSIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE MÁXIMO E MÍNIMO ...	90
QUADRO 19	– CONVERSÃO DA ESCALA QUALITATIVA PARA ESCALA NUMÉRICA .....	91
QUADRO 20	– IMPLEMENTAÇÃO DO PROMETHEE EM PLANILHA ELETRÔNICA .....	94
QUADRO 21	– MATRIZ DE DADOS APÓS CONVERSÃO DE ESCALAS.....	97
QUADRO 22	– ÍNDICE DE PREFERÊNCIA PONDERADA GLOBAL .....	100

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	– Analytic Hierarchy Process
ANP	– Analytic Network Process
DER	– Departamentos de Estradas de Rodagem
DNIT	– Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMEA	– Escritório Modelo De Engenharia Civil
GDE	– Grau de Deterioração da Estrutura
GR <sub>f</sub>	– Grau de risco final
MCDM	– Multicriteria decision making
OAE	– Obra de Arte Especial
PROARTE	– Programa de Manutenção e Reabilitação de Obras de Arte Especiais
PROMETHEE	– Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation
SAW	– Simple Additive Weighting
SGO	– Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais
TOPSIS	– Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UFPR	– Universidade Federal do Paraná
UnB	– Universidade de Brasília
UPEsp	– Unidade de Programas Especiais
VIKOR	– Višekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje
VMD	– Volume Médio Diário
VUP	– Vida Útil de Projeto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	PRESSUPOSTO .....	14
1.2	OBJETIVOS .....	15
1.2.1	Objetivo geral .....	15
1.2.2	Objetivos específicos .....	15
1.3	JUSTIFICATIVA .....	16
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	18
1.5	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	18
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1	OBRAS DE ARTE ESPECIAIS .....	19
2.2	MANUTENÇÃO DE OAES .....	21
2.3	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DAS ESTRUTURAS DE OAES .....	22
2.4	GERENCIAMENTO DE OAES .....	25
2.4.1	Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) .....	25
2.4.2	Priorização de OAes .....	26
2.5	PROCESSO DECISÓRIO .....	28
2.6	MÉTODOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO .....	31
2.6.1	Métodos multicritérios de tomada de decisão .....	31
2.6.1.1	Analytic Hierarchy Process (AHP) .....	33
2.6.1.2	Analytic Network Process (ANP) .....	36
2.6.1.3	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)..	39
2.6.1.4	Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation (PROMETHEE).....	42
2.6.1.5.	Višekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje (VIKOR).....	47
2.6.1.6	Simple Additive Weighting (SAW) .....	49
2.6.2	Método Delphi .....	49
2.7	ESCOLHA DOS MÉTODOS .....	51
<b>3</b>	<b>ESTRATÉGIA DE PESQUISA</b> .....	53
3.1	ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	53
3.2	IDENTIFICAÇÃO E CONFIRMAÇÃO DE CRITÉRIOS .....	56

3.2.1	Revisão sistemática da literatura .....	56
3.2.2	Seleção de especialistas .....	58
3.2.3	Utilização do método Delphi .....	59
3.3	PROPOSTA DO MODELO .....	59
3.3.1	Modelo .....	59
3.3.2	Instrumentos de coleta de dados .....	60
3.3.3	Definição de software de apoio ao uso dos métodos .....	61
3.4	AVALIAÇÃO DO MODELO PROPOSTO .....	61
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>64</b>
4.1	IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA COMPOR O MODELO .....	64
4.1.1	Fatores de funcionalidade .....	66
4.1.1.1	Avaliação de risco .....	66
4.1.1.2	Capacidade de carga .....	69
4.1.1.3	Característica do leito do rio .....	70
4.1.1.4	Degradação .....	70
4.1.1.5	Exposição estrutural .....	71
4.1.1.6	Idade da OAE .....	71
4.1.1.7	Urgência de intervenção .....	72
4.1.2	Fatores de custo .....	72
4.1.2.1	Custo do ciclo de vida .....	73
4.1.2.2	Custo de manutenção .....	73
4.1.2.3	Custo do usuário .....	73
4.1.3	Fatores de segurança .....	74
4.1.3.1	Estado de segurança.....	74
4.1.3.2	Segurança para os usuários .....	74
4.1.4	Fatores de tráfego .....	74
4.1.4.1	Categoria da estrada/OAE .....	74
4.1.4.2	Comprimento do desvio .....	75
4.1.4.3	Importância estratégica .....	75
4.1.4.4	Tráfego médio diário .....	76
4.1.5	Fatores externos .....	76
4.1.5.1	Aparência visual .....	76
4.1.5.2	Efeitos sobre o meio ambiente .....	76

4.1.5.3	Importância histórica e cívica .....	77
4.1.6	Critérios considerados no modelo .....	77
4.2	APLICAÇÃO MÉTODO DELPHI .....	78
4.3	APLICAÇÃO MÉTODO AHP .....	80
4.4	APLICAÇÃO MÉTODO PROMETHEE .....	85
4.4.1	Avaliação dos critérios .....	85
4.4.1.1	Capacidade de carga .....	85
4.4.1.2	Característica do leito do rio .....	86
4.4.1.3	Degradação .....	87
4.4.1.4	Exposição estrutural .....	87
4.4.1.5	Idade da OAE .....	87
4.4.1.6	Urgência de intervenção .....	87
4.4.1.7	Estado de segurança .....	88
4.4.1.8	Segurança para os usuários .....	88
4.4.1.9	Comprimento do desvio .....	89
4.4.1.10	Tráfego médio diário .....	89
4.4.1.11	Aparência visual .....	89
4.4.2	Preferências .....	90
4.4.2.1	Critérios de máximo e mínimo .....	90
4.4.2.2	Ponderação .....	90
4.4.2.3	Função de preferência .....	90
4.4.3	Implementação do método .....	91
4.4.4	Resultado do ranqueamento .....	102
4.5	AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA .....	107
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>109</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA CONFIRMAÇÃO E PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS</b> .....	<b>124</b>
	<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO NA PRIORIZAÇÃO DE OAES</b>	<b>127</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desempenho satisfatório dos sistemas de infraestrutura civil e dos sistemas de transporte rodoviário são de vital importância para o crescimento econômico contínuo e o desenvolvimento social de uma sociedade moderna. (LIU; FRANGOPOL, 2005a). Em particular, as pontes e viadutos, também conhecidos por Obras de Arte Especiais (OAEs) por representarem os componentes mais cruciais e os mais vulneráveis da rede de transporte rodoviário. Ainda de acordo com Liu e Frangopol (2005a), os danos sofridos pelas OAEs podem afetar severamente a capacidade de fluxo de tráfego em uma rodovia.

A manutenção das OAEs tornou-se uma preocupação social e econômica importante, uma vez que estas estruturas devem ser conservadas dentro de limites aceitáveis de segurança e facilidade de manutenção. As atividades de intervenção em OAEs são normalmente muito caras e envolvem grandes investimentos que nem sempre estão disponíveis para os departamentos de transporte, o que requer desses departamentos um processo estruturado de tomada de decisão para selecionar e priorizar projetos para implementar as ações que são necessárias para conservar tais estruturas. (ABU DABOUS; ALKASS, 2010).

O uso eficiente de recursos públicos para a garantia das boas condições das OAEs requer uma gestão eficaz de ativos. Portanto, também é fundamental otimizar o processo de priorização para manutenção das OAEs para solicitar o financiamento adequado e tal otimização pode ser feita por meio de um processo bem estruturado de gestão de manutenção. (LEE et al., 2008).

Para Amini, Nikraz e Fathizadeh (2016), para escolher uma entre várias OAEs para realizar o procedimento de manutenção, é necessário priorizar as estruturas de acordo com fatores como custo de reparo, tipo de dano, nível de destruição dos componentes da OAE e considerações estratégicas.

Um problema de decisão de múltiplos critérios, como a priorização de OAEs para manutenção, caracteriza-se por apresentar objetivos que não podem ser combinados e são vários os métodos utilizados para realizar o estudo de alternativas e critérios, denominados métodos multicritérios de tomada de decisão (do inglês, *multicriteria decision making* - MCDM).

A escolha do método MCDM a ser utilizado, depende do tipo de problemática em questão, que pode ser de escolha, classificação, ordenação ou descrição. A priorização de OAEs envolve uma problemática de ordenação, em que se procura ordenar tais estruturas da mais adequada a menos adequada, para manutenção, de acordo com as preferências do decisor.

Segundo Albuquerque e Núñez (2010), a priorização pode ser considerada uma sofisticação no processo de tomada de decisão em obras rodoviárias. Ainda de acordo com os autores, pela priorização é possível determinar preferências de intervenção ao se considerar cenários estabelecidos pelo usuário, levando-se em conta o objetivo principal de maximizar benefícios à sociedade.

Nesse contexto, um modelo de decisão para ranquear as OAEs para intervenção pode ser avaliado como uma proposta de ferramenta para o suporte à decisão na manutenção dessas estruturas.

De acordo com Rashidi et al. (2016), a priorização das ações de reparos em OAEs acontece pela “regra” de seleção das que se encontram nas piores condições. No entanto, os autores destacam que esta regra não maximiza os benefícios ou reduz o custo do ciclo de vida, e que as técnicas de priorização para a escolha de OAEs para intervenção vão desde decisões subjetivas baseadas em análise de engenharia até técnicas complexas de otimização.

Sendo assim, este trabalho visa responder ao seguinte problema de pesquisa: Como deve ser estruturado um modelo de decisão para priorização de OAEs de concreto armado para intervenções de manutenção?

## 1.1 PRESSUPOSTO

O Programa de Manutenção e Reabilitação de Obras de Arte Especiais (PROARTE) foi instituído, em 2011, pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) com o objetivo de promover a manutenção, restauração, reforço estrutural e alargamento do conjunto das OAEs, administradas pelo departamento, a um custo estimado, ao longo de oito anos, de 6 bilhões de reais.

Porém, no que se refere às intervenções, foi verificada uma série de irregularidades na concepção do programa, e entre elas, ausência de critérios

consistentes para a seleção das OAEs a serem priorizadas na primeira etapa de intervenções. (BRASIL, 2012).

A não realização da manutenção de uma OAEs em tempo hábil pode também comprometer a funcionalidade e a segurança da estrutura, o que pode agravar os danos e provocar até mesmo o colapso da mesma, resultando em prejuízos ambientais, como poluição de rios e de regiões próximas.

Pressupõe-se então, que um modelo multicritério de apoio à decisão, que seja capaz de auxiliar o decisor na priorização da manutenção de OAEs, pode ajudar a reduzir as chances de uma falha catastrófica dessas estruturas, uma vez que a manutenção pode ser realizada de forma prioritária.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são divididos em geral e específicos, que são apresentados a seguir.

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um modelo de tomada de decisão com base em uma análise multicritério para a priorização de intervenções de manutenção em OAEs de concreto armado.

### 1.2.2 Objetivos específicos

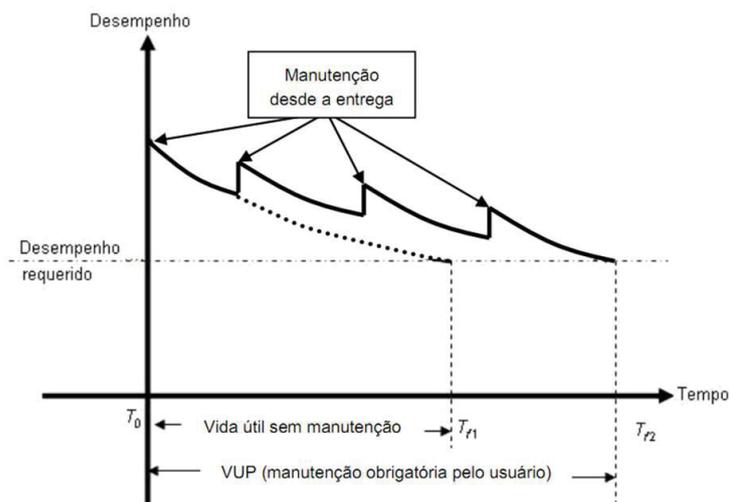
Como objetivos específicos deste trabalho, tem-se:

- a) Elaboração de uma relação de critérios considerados importantes no processo de ranqueamento de OAEs para manutenção, constando também da maneira como tais critérios podem ser considerados na priorização destas estruturas;
- b) Elaboração de uma ferramenta de apoio à decisão em planilha eletrônica, para que o modelo decisório elaborado seja acessível financeiramente e de fácil utilização pelo decisor.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) aponta que a vida útil de projeto (VUP) de uma construção, isto é, a medida temporal da durabilidade desta estrutura, pode ser normalmente prolongada através de ações de manutenção. Tal comportamento está representado na FIGURA 1 e se aplica também a outras estruturas, como as OAEs.

FIGURA 1 - DESEMPENHO DE UMA ESTRUTURA EM FUNÇÃO DO TEMPO



FONTE: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Estruturas com problemas podem gerar diversos prejuízos para a sociedade. Em se tratando de OAEs, por exemplo, sua interdição afeta não somente as cidades vizinhas, mas também uma grande população que utiliza serviços e/ou produtos transportados por elas. Estes danos são ainda maiores quando há o colapso da estrutura, ou de parte dela, provocando algumas vezes a perda de vidas. No entanto, muitos dos problemas nas estruturas de OAEs seriam minimizados com uma manutenção preventiva. (ARAÚJO NETO, 2012).

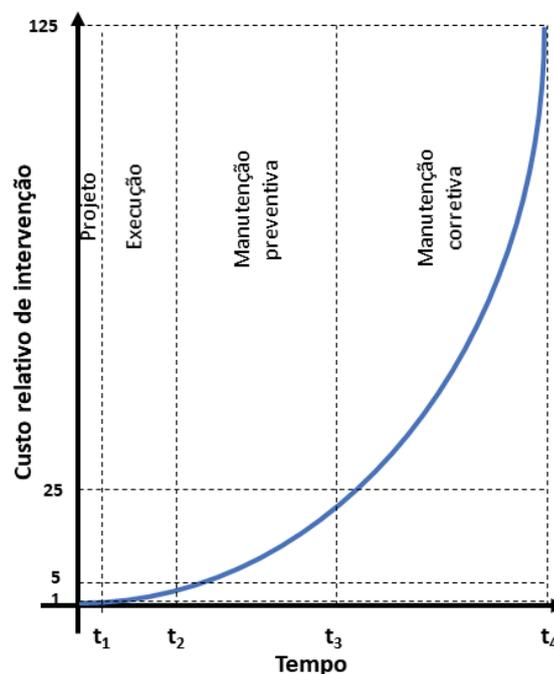
Um exemplo recente se trata do desabamento de parte do viaduto sobre a Galeria dos Estados em Brasília, no Distrito Federal, em fevereiro de 2018. A falta de manutenção de pontes e viadutos na área central da capital é apontada como um dos principais fatores que causaram o acidente. (VINHAL; LEITE, 2018).

As OAEs são estruturas com valor médio de R\$ 4.500,00 o metro quadrado de construção e de acordo com o Tribunal de Contas da União (BRASIL, 2012) estima-se que o conjunto das obras de arte das rodovias federais seja um patrimônio da ordem de R\$ 13 bilhões. Logo, trata-se de um patrimônio de alto valor econômico e monetário.

Vale ressaltar também que, a respeito da recuperação dos problemas patológicos nas estruturas de OAEs, as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas, se executadas em tempo hábil.

A 'lei de Sitter' mostra que os custos de recuperação crescem segundo uma progressão geométrica. Assim dividindo as etapas construtivas e de uso em quatro períodos, correspondentes ao projeto, à execução, à manutenção preventiva efetuada antes dos primeiros três anos e à manutenção corretiva efetuada após surgimento dos problemas, a cada uma corresponderá um custo que segue uma progressão geométrica de razão cinco, conforme mostrado na FIGURA 2. (SITTER, 1984).

FIGURA 2 - LEI DE EVOLUÇÃO DE CUSTOS, LEI DE SITTER



FONTE: Adaptado de Sitter (1984).

O uso de modelos de priorização de OAEs para manutenção é, portanto, de interesse considerável para a manutenção ideal do ciclo de vida de infraestrutura em deterioração.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Neste trabalho serão considerados apenas os critérios que envolvem o processo decisório para ranqueamento de OAEs para manutenção dessas estruturas, tendo como foco as estruturas do estado do Paraná.

Não serão abordados, portanto, causas de falhas das estruturas e nem seleção de estratégias de manutenção que são ou não mais adequadas.

#### 1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho limita-se à utilização apenas de dados das OAEs inspecionados pelo Escritório Modelo de Engenharia Civil (EMEA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), devido possibilidade de acesso aos dados destas estruturas.

#### 1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é organizada em 5 capítulos. No primeiro capítulo, são apresentados a introdução do tema, o problema de pesquisa, os objetivos, a justificativa do desenvolvimento deste trabalho, a delimitação e as limitações da pesquisa.

No capítulo 2, é apresentada a revisão bibliográfica, composta pela pesquisa bibliográfica a respeito da manutenção, avaliação e gerenciamento de OAEs, do processo decisório e métodos multicritérios de tomada de decisão.

No capítulo 3, é apresentada a estratégia de pesquisa, em que se detalham as características da pesquisa e as etapas do modelo proposto.

No capítulo 4 são apresentadas as etapas de aplicação dos métodos multicritérios utilizados, detalhando seus resultados e é realizada uma avaliação do modelo.

Como último capítulo, de número 5, as considerações finais e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas.

E por fim estão as referências e os apêndices com os questionários utilizados

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o referencial teórico necessário para familiarizar o leitor ao tema apresentado. Inicialmente aborda-se o tema das OAEs de concreto armado e da gestão de manutenção destas estruturas. Em seguida são apresentados os principais conceitos relacionados ao desenvolvimento de um modelo de decisão. Na sequência, são apresentados os principais métodos de tomada de decisão multicritério e o método Delphi. Ao final do capítulo há uma seção dedicada à explanação dos métodos de apoio à decisão utilizados como base para construção do modelo de decisão proposto nesta dissertação.

### 2.1 OBRAS DE ARTE ESPECIAIS (OAES)

Uma Obra de Arte Especial (OAE) pode ser definida como uma estrutura, construída sobre um obstáculo, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, com um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. (BRASIL, 2016).

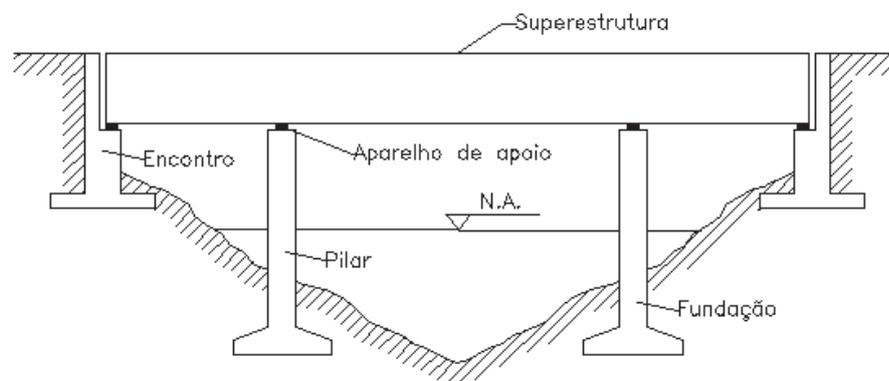
Conforme descreve Pfeil (1979), no projeto de implantação de OAE deve-se levar em conta os seguintes fatores:

- Funcionalidade - a estrutura deve satisfazer ao fim para o qual foi destinada, de modo que as diversas funções sejam desempenhadas sem perturbação. Desta forma, devem ser bem definidas a sua geometria, largura, comprimento, espessura estrutural, etc;
- Segurança - a OAE deve obedecer aos requisitos normais de dimensionamento, isto é, tensões, deformações, controle de fissuração, coeficiente de majoração das cargas, minoração das resistências dos materiais, cargas de utilização, esforços de coação, aspectos referentes à duração prevista da obra, provisória ou definitiva, fadiga dos materiais, previsão de ampliação, substituições de elementos, de reforços, etc;
- Estética - a estrutura deve possuir aparência tal que não contraste com o meio ambiente onde é implantada, evitar obstruções visuais ou psicológicas, ter uma estrutura harmoniosa, evitando-se ornamentos e elementos supérfluos;

- Economia - este requisito é o mais solicitado nas obras de engenharia. Para a construção de uma OAE, deve-se atender rigorosamente aos três fatores já mencionados, com a solução mais conveniente no ponto de vista econômico.

Na FIGURA 3, tem-se o esquema ilustrativo da composição de uma OAE, com os principais elementos estruturais.

FIGURA 3 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DA COMPOSIÇÃO DE UMA OAE



FONTE: Adaptado de Marchetti (2013).

A superestrutura é o nome do sistema formado pelo tabuleiro e o sistema de suporte principal e tem como função estrutural transmitir as cargas do estrado, ao longo dos vãos, para os apoios. A mesoestrutura é o conjunto de elementos (pilares, aparelhos de apoio e encontros) responsáveis pelo suporte da superestrutura e por sua fixação na infraestrutura, transmitindo a ela os esforços correspondentes a essa fixação. A infraestrutura é o conjunto de elementos estruturais (fundações, taludes de aterros e obras de controle de cursos de água) que recebem as solicitações provenientes das ações e as transmitem à fundação, devendo ser transferidas aos perfis de solo ou rocha capazes de suportá-las com segurança. (BRASIL, 2016).

Quando um elemento de uma OAE atinge um nível crítico em termos de desempenho e segurança, uma ação é necessária para restaurar ou renovar a condição do componente. Entre as ações disponíveis estão a manutenção, reparo e substituição para os elementos da OAE. (ABU DABOUS; ALKASS, 2008).

## 2.2 MANUTENÇÃO DE OAES

A manutenção de OAE pode ser definida como o conjunto de atividades que permitem manter a integridade estrutural e preservá-la da deterioração, em um nível adequado de uso. Estas atividades são normalmente aplicadas em elementos das OAES ou estruturas com um período remanescente importante de vida útil. (BRASIL, 2016).

A manutenção das OAES de concreto armado, seja ela preventiva ou corretiva, deve ser uma atividade permanente. O Manual de Manutenção de Obras de Arte Especiais - OAES (BRASIL, 2016) determina quais as operações de identificação e tratamento das manifestações patológicas que visam restabelecer as condições atuais da estrutura. As inspeções regulares e a manutenção adequada e continuada são procedimentos imprescindíveis para garantir e prolongar a vida útil da estrutura.

De acordo com Wardhana e Hadipriono (2003), os problemas de manutenção estão entre as principais causas de falhas de OAE. Ainda segundo os autores, as causas das falhas de OAES podem ser classificadas em seis principais, que incluem problemas de habilitação (projeto, detalhamento, construção, manutenção e problemas relacionados ao material) e 8de desencadeamento (eventos externos), como mostrado na TABELA 1.

TABELA 1 - PRINCIPAIS CAUSAS DE FALHA DE OAE

<b>Causa principal</b>	<b>Nº de colapsos de OAES</b>
Projeto	2
Detalhamento	0
Construção	11
Manutenção	37
Material	4
Externo	415
Outros	17
<b>Total</b>	<b>484</b>

Fonte: Adaptado de Wardhana e Hadipriono (2003).

Hong e Hastak (2007) definem a manutenção preventiva como uma estratégia de planejamento de tratamentos de baixo custo que são aplicadas no momento adequado para manter a OAE em boas condições, que também evita custos mais

caros no futuro para reabilitar ou substituir OAEs e prolonga a vida útil de uma OAE. A respeito da manutenção corretiva, os autores destacam que apesar da existência de uma correta manutenção preventiva, ainda pode ocorrer algum dano ou deterioração em uma OAE. Deste modo, a manutenção corretiva está incluída em uma abordagem tradicional para a manutenção da OAE, e sem atividades de manutenção corretiva, a deterioração da OAE pode conduzir à redução da capacidade de carga da OAE, sua interdição, ou ainda a uma falha catastrófica.

### 2.3 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DAS ESTRUTURAS DE OAES

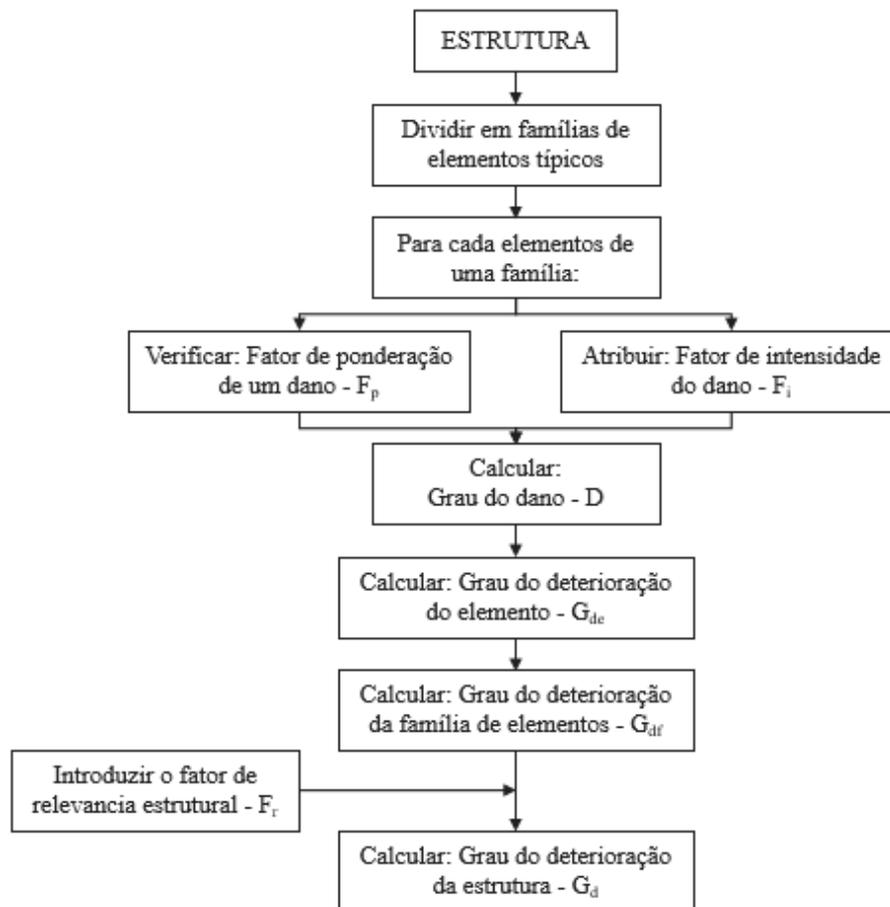
A inspeção da OAE é a atividade técnica especializada que abrange a coleta de elementos de projeto e de construção, exame minucioso da estrutura, elaboração de relatórios, avaliação do estado da obra e as recomendações para a estrutura, que podem ser de nova vistoria, de obras de manutenção, de recuperação, de reforço ou de reabilitação. (BRASIL, 2016). Silvestro, Morais e Santos Filho (2016) listam os principais materiais relacionados às inspeções de OAEs no Brasil:

- Manual de Inspeção de Pontes Rodoviária, 2ª Edição, 2004, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNIT;
- Norma DNIT 010/2004 – PRO, a qual fixa as condições para a realização e apresentação dos resultados de inspeções em pontes, viadutos e pontilhões;
- Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais (SGO) - dividido em SGO Mobile e SGO Web. O primeiro consiste em uma plataforma para *tablets* que possibilita o gerenciamento de OAEs existentes na malha rodoviária federal e é regido pela norma DNIT 010/2004 (PRO-10), Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias 2ª Ed. 2004 e o Manual de Implantação do SGO v3. Já o SGO Web funciona como um banco de dados para as informações coletadas pelo SGO Mobile;
- ABNT/CB-18 - 1º projeto ABNT NBR 9452, de agosto de 2014 - Inspeção de Pontes, viadutos e passarelas de concreto - projeto este que estabelece os requisitos para inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto e na apresentação dos resultados destas inspeções.

Com o intuito de classificar as OAEs inspecionadas segundo o grau de deterioração, foram desenvolvidos dois métodos de classificação de OAEs, o modelo de Grau de Deterioração da Estrutura (GDE), desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (UnB) e o modelo EMEA desenvolvido pelo Escritório Modelo De Engenharia Civil (EMEA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Estes modelos buscam complementar o método utilizado pelo DNIT, em que a condição da OAE é avaliada apenas pela Nota Técnica (como será visto no item 2.4.1 a seguir).

O modelo GDE/UnB, segue a estrutura apresentada na FIGURA 4.

FIGURA 4 - FLUXOGRAMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE OAES DO MODELO GDE/UNB



FONTE: VERLY (2015).

As etapas mostradas na FIGURA 4, bem como a formulação para obtenção da classificação pelo modelo GDE/UnB, são detalhadas por Verly (2015).

Para indicar o nível de deterioração de uma OAE, o Modelo EMEA utiliza um parâmetro quantitativo, o Índice de Performance, que é calculado em função da razão entre o Valor do dano (que consiste na soma efetiva dos danos detectados na inspeção, ponderados por diversos fatores, conforme equação 1) e o Valor de Referência (que permite comparações entre OAEs que possuem diferentes configurações morfológicas). (SILVA; SANTOS FILHO, 2017).

$$V_d = \sum B_i \times K_{1i} K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad (1)$$

onde:

$V_d =$	Valor do dano
$B_i =$	Manifestação patológica
$K_{1i} =$	Elemento estrutural em que a manifestação patológica ocorre
$K_{2i} =$	Intensidade do dano
$K_{3i} =$	Extensão de propagação do dano nos demais elementos
$K_{4i} =$	Urgência de intervenção

Cada um desses parâmetros possui um intervalo de valores, conforme resumido na TABELA 2:

TABELA 2 - INTERVALO DE VALORES DOS PARÂMETROS DO MODELO EMEA

Parâmetro	Intervalo
B – tipo de dano (manifestação patológica)	1,00 a 5,00
K1 – fator do elemento da estrutura	0,10 a 0,60
K2 – fator indicativo da intensidade do dano	0,00 a 2,00
K3 – fator relativo à extensão da propagação do dano	0,50 a 2,00
K4 – fator enfatizante da urgência da intervenção	1,00 a 5,00

FONTE: SILVA; FABIANE (2017).

O Valor de Referência é a soma de todos os danos que podem ocorrer na estrutura, multiplicados pelos valores máximos de intensidade e extensão e pelo valor unitário de urgência ( $K_4 = 1,00$ ). (SILVA; SANTOS FILHO, 2017).

## 2.4 GERENCIAMENTO DE OAES

De acordo com Amini et al. (2016), na maioria dos países, a priorização das operações de manutenção de OAEs é baseada no método avançado de ponderação aditiva simples de alguns parâmetros específicos em que, no cálculo do peso destes parâmetros, são utilizados diferentes métodos numéricos, estatísticos, probabilísticos e comparativos.

Muitos sistemas de gerenciamento de pontes baseiam seu processo de tomada de decisão na otimização do custo do ciclo de vida, ao mesmo tempo em que impõem restrições de desempenho. Essa metodologia é adotada pelos sistemas Pontis e Bridgit, os sistemas de gerenciamento de pontes mais utilizados nos Estados Unidos (ABU DABOUS; ALKASS, 2008).

Nesta seção, aborda-se o tipo de gerenciamento de OAEs no Brasil, bem como o tipo atual de priorização de intervenção em OAEs.

### 2.4.1 Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO)

O DNIT tem sob sua responsabilidade a administração de 5.114 OAEs (DNIT, 2015) e a gestão desse patrimônio é feita através do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO).

Este sistema é alimentado a partir de inspeções técnicas de campo realizadas de acordo com a NORMA DNIT 010/2004-PRO (DNIT, 2004). Este sistema de gerenciamento engloba uma série de procedimentos e rotinas, tais como: levantamento de dados cadastrais, levantamento de dados relativos às condições de segurança e de conservação das OAEs, registros fotográficos, vídeos, croquis e a atualização permanente dos dados.

O SGO é mantido com informações referentes à passagem de cargas especiais, condições de estabilidade e de conservação da estrutura, sendo que, as duas últimas informações são provenientes de inspeções rotineiras. (VERLY, 2015). Cada elemento da OAE recebe uma nota, que varia de 1 a 5, conforme classificação das suas condições (TABELA 3). A nota final da OAE, Nota Técnica, é a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.

TABELA 3 - NOTA TÉCNICA CONFORME CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA OAE

NOTA	DANOS NO ELEMENTO/ INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	AÇÃO CORRETIVA	CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA OAE
5	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Nada a fazer.	Boa	<b>Obra sem problemas</b>
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural.	Nada a fazer, apenas serviços de manutenção.	Boa	<b>Obra sem problemas importantes</b>
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar se o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	<b>Obra potencialmente problemática</b> Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	<b>Obra problemática</b> Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar.	Precária	<b>Obra crítica</b> Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações etc.

Fonte: Norma DNIT 010/2004 (DNIT, 2004).

#### 2.4.2 Priorização de OAEs

Em janeiro de 2011, foi apresentado pelo DNIT, em audiência pública, o PROARTE, cujo objetivo era o atendimento imediato das necessidades de

intervenções de restauração, reforço estrutural e alargamento nas OAEs da malha rodoviária federal (DNIT, 2011). Estas OAEs eram então classificadas como: 1) crítica, 2) problemática, 3) observação, 4) longo prazo e 5) boa.

Para a segunda fase do programa, estágio atual, foi determinado que a priorização de intervenções de manutenção das OAEs seria daquelas de classes 1 e 2, estado crítico e problemático, e ocorreria na seguinte sequência:

- a) Vias estruturais – alargamento;
- b) Acessos a portos;
- c) Transportes de cargas e escoamento de Produção;
- d) Demais OAEs a critério da Unidade de Programas Especiais (UPEsp)/Superintendências Regionais.

Na instrução de serviço (IS) nº 14 de 6 de julho de 2016 foram estabelecidos os procedimentos a serem utilizados na execução de obras do PROARTE (DNIT, 2016). Esta IS determina que a priorização das intervenções deve obedecer a seguinte sequência:

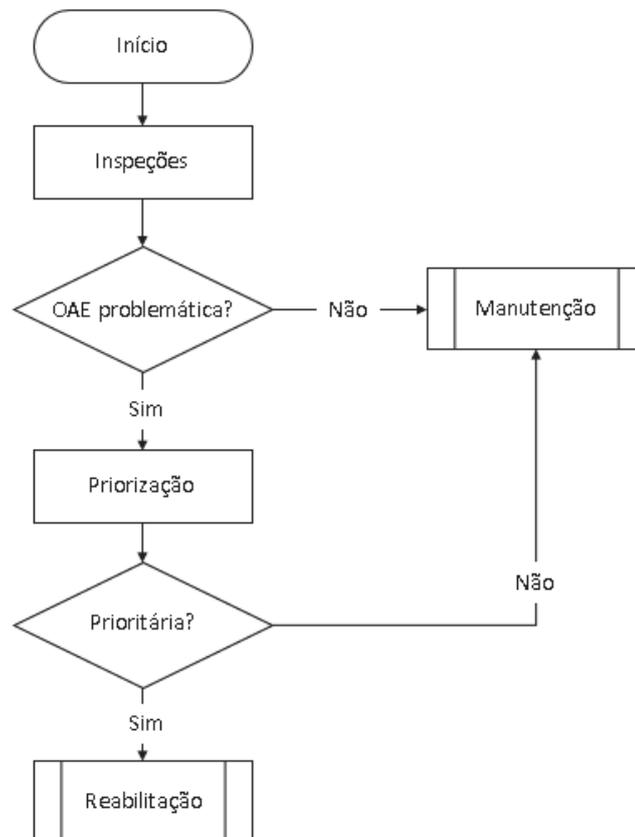
- a) Pontes e viadutos não notáveis;
- b) Passarelas;
- c) Pontes e viadutos notáveis;
- d) Túneis;
- e) Estruturas de contenção.

Nesta IS são consideradas estruturas notáveis aquelas com comprimento superior a 250m e/ou com vão superior a 100m, bem como aquelas cujo sistemas estrutural ou construtivo requeiram atenção especial (pontes flutuantes, estaiadas, penseis e treliças metálicas).

Quando se trata de intervenções de reabilitação, são definidos como critérios de priorização: deficiências estruturais são priorizadas em relação às deficiências funcionais; menores notas técnicas (SGO); hierarquização de corredores logísticos; volume médio diário de tráfego (VMD); e percentual de veículos comerciais.

Foi determinado ainda que as OAEs serão objeto de manutenção ou de reabilitação de acordo com o fluxo apresentado na FIGURA 5.

FIGURA 5 - FLUXO DE REABILITAÇÃO DAS OAES



FONTE: IS 14 de 6 de julho de 2016 (DNIT, 2016).

## 2.5 PROCESSO DECISÓRIO

Decisões são tomadas diariamente dentro de uma organização, seja por administradores ou mesmo por funcionários. As decisões abrangem desde questões triviais até escolhas que poderão afetar todo o andamento da organização, seu papel no mercado global, sua sobrevivência, expansão ou estagnação. (BERTONCINI et al., 2013).

Conforme descreve Campos (2012), são elementos do processo de tomada de decisão os intervenientes (atores, agentes e analista) e os componentes (alternativas, critérios e tipos de problemáticas).

Os atores são indivíduos, entidades ou grupo de pessoas que têm interesse na decisão a ser tomada, uma vez que estão envolvidos direta ou indiretamente pelas consequências da decisão, que nas decisões públicas, podem ser as comunidades, os cidadãos, o governo, entre outros. (BORTOLUZZI; ENSSLIN; ENSSLIN, 2011).

O decisor, ou agente de decisão, é o indivíduo ou grupo de indivíduos, que possui o papel mais importante no processo de tomada de decisão, cuja função consiste em avaliar as alternativas do problema, de acordo com suas preferências. O analista, ou consultor, é a pessoa ou equipe especialista em tomada de decisão, cuja função consiste em auxiliar no processo decisório e possui como atribuição sistematizar o processo e modelar as preferências. O facilitador contribui também para o processo, auxiliando no esclarecimento, negociação e comunicação, e pode contribuir na busca de informações para o analista. (CAMPOS, 2012).

As alternativas ou ações potenciais consistem no conjunto de opções possíveis que o decisor possui para fazer a sua escolha. (ENSSLIN; BORGERT, 1998).

Os critérios, ou atributos, funcionam como condições de contorno, isto é, são os parâmetros que permitem a comparação das ações. É por meio dos critérios que as alternativas de um processo de escolha são visualizadas, de forma qualitativa ou quantitativa. (MADEIRA, 2013). Os critérios, também denominados objetivos dos problemas de decisão, podem ser de natureza tanto subjetiva como objetiva. (CAMPOS, 2012).

A avaliação das escalas tem como propósito graduar um fator e são utilizadas para quantificar critérios ou atributos, ou quaisquer fatores que possam ser ordenados de forma qualitativa ou quantitativa. (CAMPOS, 2012).

Outro elemento importante é a matriz de decisão, ou matriz de avaliação, que tem como finalidade apresentar, a relação entre as alternativas para os  $n$  critérios de avaliação. A matriz de decisão consiste no resultado final da estruturação do problema multicritério na qual é possível identificar de forma simples os desempenhos das alternativas para cada critério. (CAMPOS, 2012). De acordo com Madeira (2013), a matriz de decisão deve focar sua atenção na resolução do problema, deixando que os decisores estabeleçam, independentemente, sua estrutura, hierarquização e objetivos.

A TABELA 4 apresenta um exemplo de matriz de decisão em que  $a_{ij}$  representa a avaliação de cada ação  $a$  de um conjunto de alternativas  $A$ , segundo o critério  $C_j$ .

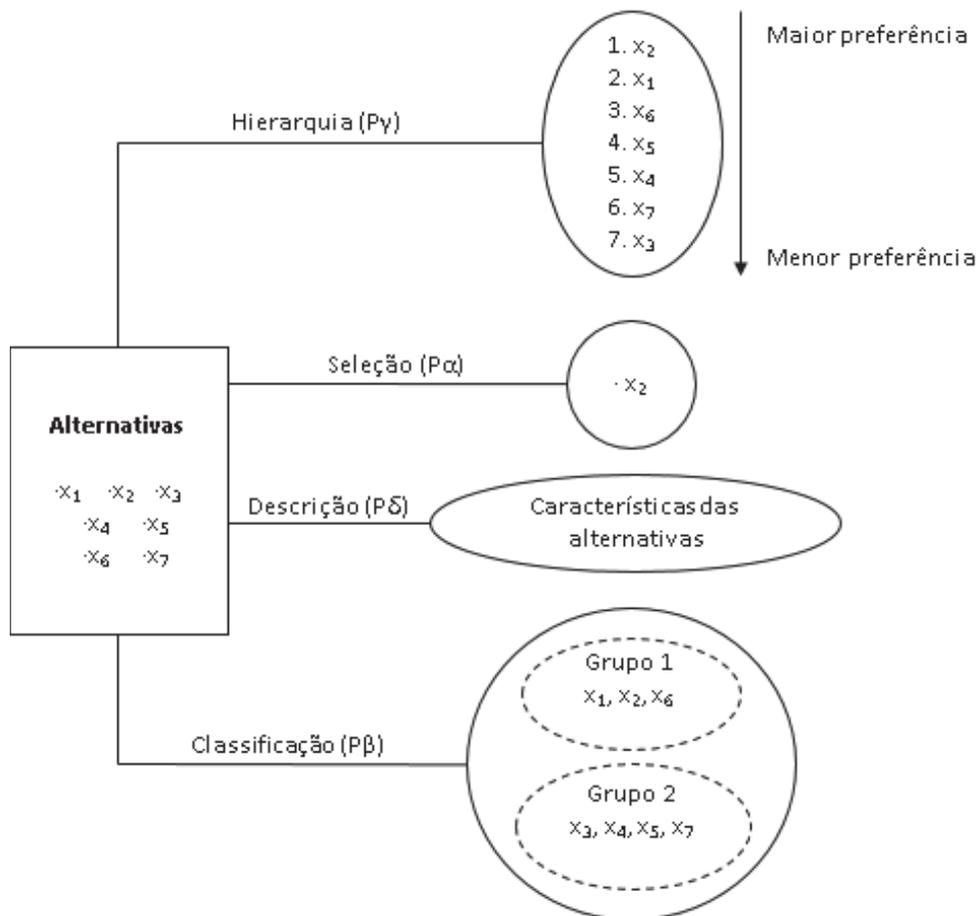
TABELA 4 - EXEMPLO DE MATRIZ DE DECISÃO

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	...	C <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>	...	a <sub>1n</sub>
...	...	...	...	...
A <sub>m</sub>	a <sub>m1</sub>	a <sub>m2</sub>	...	a <sub>mn</sub>

FONTE: Adaptado de Campos (2012).

Durante a estruturação do processo decisório, é essencial compreender o tipo de problemática em que a decisão está inserida, pois a escolha do método multicritério a ser utilizado, depende do tipo de problemática em questão. (ALMEIDA, 2012; CAMPOS, 2012). Na FIGURA 6, são apresentados quatro tipos de problemáticas.

FIGURA 6 - TIPOS DE PROBLEMÁTICAS



FONTE: Adaptado de Doumpos e Zopounidis (2002).

Roy (1996) define os quatro tipos de problemáticas como:

- Problemática de escolha ( $P\alpha$ ): é procurado um conjunto de alternativas tão pequeno quanto possível, de forma que as melhores alternativas estejam dentro deste conjunto.
- Problemática de classificação ( $P\beta$ ): o problema de decisão busca classificar as alternativas de acordo com categorias pré-definidas.
- Problemática de ordenação ( $P\gamma$ ): está relacionada ao problema onde o decisor deseja ordenar as alternativas da melhor para a pior, de acordo com suas preferências.
- Problemática de descrição ( $P\sigma$ ): não se deseja fazer uma escolha. Ela tem como objetivo apenas esclarecer o decisor sobre as suas preferências para o devido problema de decisão.

Segundo Madeira (2013), para a aplicação de algumas ferramentas de apoio à tomada de decisão, é importante o apoio de especialistas. Como descreve o autor, o especialista é detentor de credibilidade e opinião e a relevância da tomada de decisão estará diretamente relacionada a esses profissionais.

## 2.6 MÉTODOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Para auxiliar a estruturação do modelo de decisão de priorização das OAEs, apresenta-se a seguir alguns métodos de apoio à tomada de decisão. Esta seção se divide em métodos multicritérios de tomada de decisão e método de consulta com especialistas, o método Delphi.

### 2.6.1 Métodos multicritérios de tomada de decisão

O problema de decisão de múltiplos critérios se caracteriza por apresentar pelo menos dois objetivos que não podem ser combinados e são vários os métodos utilizados para realizar o estudo de alternativas e critérios, denominados métodos multicritério de tomada de decisão (MCDM).

Os métodos MCDM foram desenvolvidos para indicar uma preferência por uma alternativa, classificar alternativas num pequeno número de categorias e/ou classificar as alternativas numa ordem de preferência subjetiva, e resumem uma

maneira de lidar com problemas complexos. Consistem basicamente em fragmentar os problemas em partes menores, pesar algumas considerações e fazer julgamentos sobre os componentes menores. Depois, estas partes são remontadas para apresentar soluções que auxiliem os decisores. (MARDANI, et al., 2015).

Conforme Back, Ensslin e Ensslin (2012) descrevem, os métodos MDCM restringem o apoio à decisão a duas etapas, formulação e avaliação, que, segundo um agrupamento definido de objetivos (o decisor tem pouca ou nenhuma participação), buscam escolher a melhor alternativa (solução ótima) entre as alternativas previamente estabelecidas.

Com o intuito de identificar os métodos MCDM utilizados na gestão de infraestrutura de transportes, foi feita uma revisão sistemática da literatura, definida segundo Kitchenham (2004) como “um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma determinada pergunta de pesquisa ou área de tópico, ou fenômeno de interesse”.

Para a revisão, inicialmente foi determinado o tema de pesquisa, que são os métodos multicritérios de apoio à decisão na gestão, planejamento, construção e reforma de OAEs rodoviárias e estradas, e definido que a revisão sistemática da literatura seria feita por meio de buscas, dos termos relativos ao tema, em três bases de dados, Scopus, Science Direct, e Scielo.

Na sequência, foram determinados os termos a serem pesquisados nessas bases de dados, “tomada de decisão e ponte”, “multicritério e ponte”, “multicritério e estrada” e “multicritério e rodovia” (em inglês, “decision making and bridge”, “multicriteria and bridge”, “multicriteria and road” e “multicriteria and highway”).

Para evitar resultados que não seriam interessantes para a pesquisa, determinou-se que as buscas, nas bases de dados, seriam restritas a artigos na área de engenharia, e que as palavras se encontrassem nos tópicos, isto é, em títulos, resumos e palavras-chave.

Os resultados obtidos desta revisão sistemática da literatura serão apresentados no QUADRO 1, agrupados em função do método MCDM utilizado e da estrutura de aplicação do método

QUADRO 1 - MÉTODOS MULTICRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO APLICADOS NA GESTÃO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

Método	Aplicação	Nº de artigos	Autores
AHP	OAEs	3	Abu Dabous; Alkass, 2008; Pan, 2008; Jakiel; Fabianowski, 2015
	Estradas	10	Klungboonkrong; Taylor, 1999; Kalamaras et al., 2000; Li; Sinha, 2009; Khademi; Sheikholeslami, 2010; Haghghat, 2011; Wiethoff et al., 2012; Yu; Liu, 2012; Ouma et al., 2014; Odoki; Di Graziano; Akena, 2015; Sordyl, 2015
	Pavimentos	1	Cafiso et al., 2002
	Transportes	1	Leviäkangas; Lähesmaa, 2002
	Túneis	2	Panou; Sofianos, 2002a, b
	Travessia de pedestre	1	Šimunovič; Grgurević; Škrinjar, 2010
ANP	OAEs	1	Chen et al., 2013
PROMETHEE	OAEs	1	Balali et al., 2014
PROMETHEE	Estradas	1	Albuquerque; Núñez, 2010
TOPSIS	OAEs	1	Markiz; Jrade, 2014
	Estradas	1	Bao et al., 2012
VIKOR	OAEs	1	Ćosić; Folić; Folić, 2016
	Estradas	1	San Cristóbal, 2012
AHP e PROMETHEE	Infraestruturas	1	Gervásio; Silva 2012
AHP e SAW	Transportes	1	Jajac; Marović; Hanák, 2015
PROMETHEE e VIKOR	Túneis	1	Vučijak; Pašić; Zorlak, 2014

FONTE: A autora (2018).

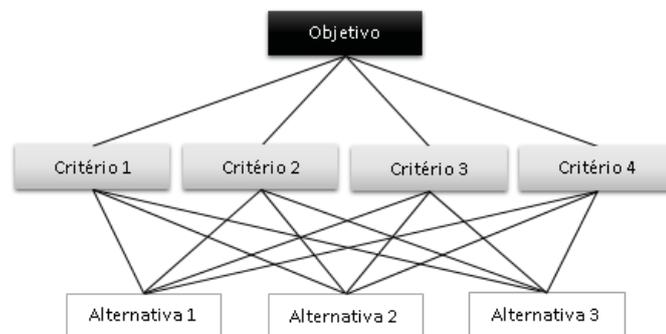
A partir do QUADRO 1 é possível observar que seis métodos aparecem nos artigos consultados, sendo que o AHP foi o método mais utilizado. Na sequência, será apresentada uma revisão de cada um dos métodos.

#### 2.6.1.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O método *Analytic Hierarchy Process* (Processo de Análise Hierárquica), conhecido como AHP, desenvolvido por Saaty (1990), é baseado na decomposição do problema em uma hierarquia de critérios, como exemplificado na FIGURA 7, e posteriormente na comparação por pares de critérios e alternativas, segundo uma determinada escala numérica.

Saaty (1990) afirma que o método AHP pode ser usado com dois tipos de medição, relativo e absoluto. Segundo o autor, as comparações aos pares objetivam derivar prioridades para os critérios em relação ao objetivo. No caso da medição relativa, comparações pareadas ocorrem em toda a hierarquia, inclusive nas alternativas no nível mais baixo da hierarquia considerando os critérios que ficam no nível acima. Na medição absoluta, as comparações pareadas também são realizadas através da hierarquia, mas não consideram as próprias alternativas. Assim, o processo de ponderação e soma leva às classificações gerais.

FIGURA 7 - ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO AHP



Fonte: Adaptado de Vargas (2010).

Segundo Vargas (2010), a escala de relativa importância entre duas alternativas mais amplamente utilizada é a escala proposta de Saaty, que atribui valores que variam entre 1 a 9, determinando a importância relativa de uma alternativa com relação a outra, conforme apresentado na TABELA 5.

Após construída a matriz de comparação dos critérios, realiza-se a normalização dos valores desta matriz. Para obter o vetor de prioridades, calcula-se a média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada. Este procedimento deve ser realizado para cada nível da matriz. Na etapa seguinte, calcula-se o índice de consistência, que representa o recurso de quantificação da incerteza envolvida, e é calculado usando-se o autovalor máximo ( $\lambda_{\max}$ ) da matriz normalizada.

TABELA 5 - ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO DE SAATY

Intensidade de importância	Definição	Forma de avaliação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância pode ser demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermédios entre os dois julgamentos adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos acima de diferente de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	

FONTE: Adaptado de Saaty (1990).

O autovalor pode ser encontrado pelo somatório do produto de cada elemento do vetor de prioridade pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original. Uma vez obtido o autovalor, deve-se verificar a consistência das avaliações, por meio do índice de consistência (CI) e da razão de consistência (CR) (SAATY, 1990). O cálculo do CI é dado pela equação (2):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

onde:

CI = índice de consistência

$\lambda_{max}$  = autovalor máximo

n = número de critérios avaliados

A verificação do valor encontrado para o CI é feita por meio da CR, que é determinada pela razão entre o valor do CI e do CR. A matriz de avaliação será considerada consistente se a razão CR for menor que 10%.

$$CR = \frac{CI}{RC} < 0,1 \sim 10\% \quad (3)$$

onde:

CR = razão de consistência

CI = índice de consistência

RC = Índice de Consistência Aleatória

O valor de RC é fixo e tem como base o número de critérios avaliados, conforme no QUADRO 2.

QUADRO 2 - ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA ALEATÓRIA (RC)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>RC</b>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

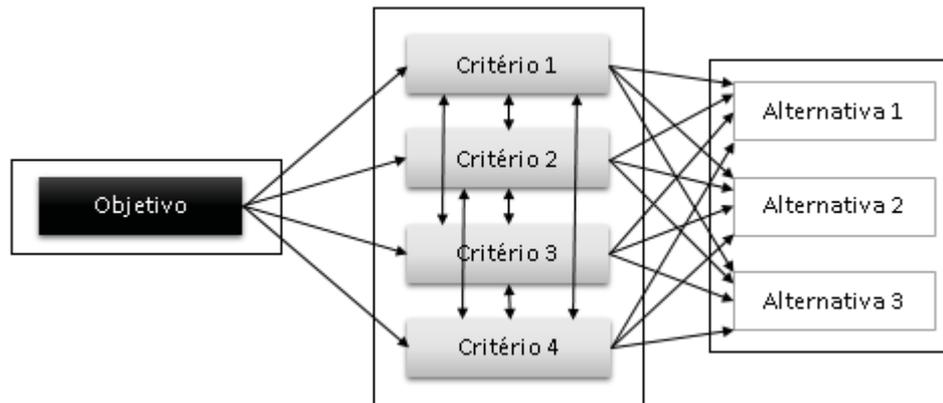
FONTE: Saaty (1990).

A principal vantagem do AHP é a sua capacidade de controlar e reduzir a inconsistência dos juízos periciais. O método reduz os vieses no processo de tomada de decisão e fornece decisão em grupo por meio do consenso usando a média geométrica dos julgamentos individuais. (AMINBAKSH; GUNDUZ; SONMEZ, 2013).

#### 2.6.1.2 Analytic Network Process (ANP)

O método *Analytic Network Process* (Processo de Análise em Rede) conhecido pela sigla ANP, é uma generalização do AHP e considera o problema de decisão como dependente de uma rede de critérios, isto é, não exige que os critérios sejam independentes. Para tratar as dependências entre os elementos de um mesmo nível hierárquico, os problemas são então formulados em redes, e não mais em hierarquias (FIGURA 8). A aplicação do método ANP, possui três etapas: construção das matrizes de alcance, julgamentos e síntese dos resultados. (SALOMON; MONTEVECHI, 1998).

FIGURA 8 - ESTRUTURA DA REDE ANP



FONTE: Adaptado de Lemos, Vieira e Kniess (1998).

### Etapa 1. Construção das matrizes de alcance.

Uma matriz de alcance é uma matriz binária em que são representadas todas as possíveis relações entre grupos ou elementos. Assim, uma rede possui duas matrizes de alcance: a matriz de alcance global (que apresenta as relações entre grupos) e a matriz de alcance local (com as relações entre os elementos).

Caso o grupo  $i$  influencie o grupo  $j$ , o elemento  $a_{ij}$  da matriz de alcance global receberá o valor 1; caso não influencie, receberá o valor 0. Na TABELA 6 tem-se a representação de uma matriz de alcance global e na TABELA 7, uma matriz de alcance local.

TABELA 6 - MATRIZ DE ALCANCE GLOBAL

	C1	C2	C3	C4	A1	A2	A3
Critério 1	0	1	1	1	1	1	1
Critério 2	1	0	1	1	1	1	1
Critério 3	1	1	0	1	1	1	1
Critério 4	1	1	1	0	1	1	1
Alternativa 1	1	1	1	1	1	0	0
Alternativa 2	1	1	1	1	0	1	0
Alternativa 3	1	1	1	1	0	0	1

FONTE: Salomon e Montevechi (1998).

TABELA 7 - MATRIZ DE ALCANCE LOCAL

	Critérios	Alternativas
Critérios	1	1
Alternativas	1	1

FONTE: Salomon e Montevechi (1998).

A matriz de alcance local é dividida em quatro blocos, sendo que cada um deles corresponde a um elemento da matriz de alcance global. Logo, se a matriz de alcance global tiver um elemento nulo, então os elementos do bloco correspondente na matriz de alcance local serão também todos nulos. (RANGEL, 2012).

### **Etapa 2.** Julgamentos.

Os julgamentos são realizados aos pares entre os grupos, e depois entre os elementos, assim como no método AHP. Os julgamentos devem ser feitos sempre considerando-se o objetivo da estrutura. Todos grupos deverão ser comparados entre si sobre sua influência, importância ou afinidade, relativa a cada grupo. (SALOMON; MONTEVECHI, 1998).

A comparação entre elementos é efetuada quando um elemento tem uma relação de dependência de pelo menos dois elementos de um grupo. Esta comparação tem como objetivo obter o vetor de prioridade relativa destes elementos. Já a comparação entre grupos é realizada quando há relação de dependência de seus elementos com objetivo de definir o peso de cada grupo na ponderação da supermatriz. (RANGEL, 2012).

Assim, as matrizes de alcance podem fornecer, previamente, o número total de julgamentos necessários para a composição dos resultados da rede. Na matriz de alcance global serão necessários julgamentos entre os elementos não nulos de cada coluna, enquanto na matriz de alcance local serão necessários julgamentos entre os elementos não nulos de cada coluna em cada bloco.

### **Etapa 3.** Síntese dos Resultados.

Poderão ser obtidos autovetores das matrizes das comparações simultâneas, entre os grupos e entre os elementos. Após substituir os componentes dos autovetores na matriz de alcance global, obtém-se a matriz dos pesos e substituindo na matriz de alcance local obtém-se a supermatriz. (SALOMON; MONTEVECHI, 1998).

Na, sequência, ao multiplicar os pesos dos elementos em cada bloco da supermatriz pelo peso correspondente do bloco na matriz dos pesos, obtém-se a supermatriz ponderada, que é uma matriz estocástica quanto às colunas. De tal modo, esta matriz possuirá um matriz limite, em que suas potências convergirão para uma matriz estocástica com todas colunas iguais entre si (matriz limite). (SALOMON; MONTEVECHI, 1998).

Uma vez normalizada a matriz limite, para que a soma de cada coluna em cada bloco seja igual a um, obtém-se então, a matriz final que fornece as prioridades das alternativas. (RANGEL, 2012).

### 2.6.1.3 Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

O método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (Técnica de Ordem de Preferência por Semelhança a uma Solução Ideal), conhecido como TOPSIS, baseia-se no conceito de que a alternativa escolhida deve ter a menor distância da solução ideal-positiva e ter a maior distância possível da solução ideal negativa. A solução ideal-positiva consiste numa combinação dos melhores valores de desempenho exibidos por qualquer alternativa para cada critério, enquanto a solução ideal negativa é o conjunto dos piores valores de desempenho. A proximidade de cada um destes extremos de desempenho é medida no sentido euclidiano (por exemplo, raiz quadrada da soma das distâncias ao quadrado ao longo de cada eixo no "espaço de critério"), com ponderação opcional de cada critério. O processo de construção deste método é transparente, o que o torna facilmente compreensível pelo público em geral. (BAO et al., 2012).

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

As vantagens e limitações deste método apontadas por Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014) são apresentadas no QUADRO 3:

QUADRO 3 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MÉTODO TOPSIS.

Vantagens	Limitações
Adequado para modelar valores de critérios quantitativos precisamente conhecidos	Inadequado para modelar variáveis qualitativas
Processo de coleta de dados é mais simples e requer menor quantidade de julgamentos	Dificuldade para definição dos pesos
Menor complexidade computacional	Possibilidade de inversão no ranking

FONTE: Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014).

As etapas deste método são descritas a seguir conforme apresentado por Krohling e Souza (2011).

**Etapla 1.** Construção da matriz de decisão.

A matriz de decisão  $A$  composta por alternativas e critérios é descrita por:

$$A = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & (x_{11} & \dots & x_{n1}) \\ \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & (x_{m1} & \dots & x_{mn}) \end{matrix} \quad (4)$$

em que  $A_1, A_2, \dots, A_m$  são as alternativas disponíveis,  $C_1, C_2, \dots, C_n$  são os critérios,  $x_{ij}$  representa o desempenho da alternativa  $A_j$ , segundo o critério  $C_j$ .

**Etapla 2.** Atribuição de pesos.

O vetor de peso  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  formado pelos pesos individuais para cada critério  $C_j$ , corresponde ao somatório

$$\sum_{i=1}^n w_j = 1. \quad (5)$$

**Etapla 3.** Normalização da matriz.

Devidos às diferentes origens de seus dados, a matriz precisa ser normalizada, de modo que se torne uma matriz adimensional possibilitando assim a comparação entre os critérios. A normalização da matriz pode ser feita de acordo com:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \text{ sendo } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Assim, a matriz, que representa o desempenho relativo das alternativas, pode ser descrita por:

$$A_n = (p_{ij})_{m \times n}, \text{ com } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

**Etapa 4.** Cálculo das soluções ideais positivas e negativas.

As soluções ideais positivas  $A^+$  e das soluções ideais negativas  $A^-$  podem ser calculadas por:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+) \quad (8)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-) \quad (9)$$

em que

$$p_j^+ = (\max_i p_{ij}, j \in J_1); \min_i p_{ij}, j \in J_2 \quad (10)$$

$$p_j^- = (\min_i p_{ij}, j \in J_1); \max_i p_{ij}, j \in J_2 \quad (11)$$

onde  $J_1$  e  $J_2$  representam os critérios de benefício e de custo, respectivamente.

**Etapa 5.** Cálculo das distâncias Euclidianas.

As distâncias Euclidianas entre  $A_i$  e  $A^+$  e entre  $A_i$  e  $A^-$  são calculadas por

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^+ - p_{ij})^2}, \text{ em que } i = 1, \dots, m \quad (12)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^- - p_{ij})^2}, \text{ em que } i = 1, \dots, m \quad (13)$$

**Etapa 6.** Cálculo da proximidade relativa.

A proximidade relativa  $\xi_i$  para cada alternativa  $A_i$  em relação à solução ideal positiva  $A^+$  é dada por:

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (14)$$

Por fim, faz-se a ordenação das alternativas.

#### 2.6.1.4 Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation (PROMETHEE)

O *Preference Ranking Organization METHod of Enrichment Evaluation* (Método de Organização de Ranking de Preferência de Avaliação de Enriquecimento), conhecido como PROMETHEE, é um método de preferência que fornece ao decisor uma estrutura preferencial entre alternativas discretas. No QUADRO 4 tem-se as variações das técnicas da família PROMETHEE. (GERVÁSIO; SILVA, 2012).

QUADRO 4 - VARIAÇÕES DA FAMÍLIA PROMETHEE.

Variações da família PROMETHEE	Recurso do método
PROMETHEE I	Fornece um ranking parcial, incluindo possíveis incomparabilidades
PROMETHEE II	Mostra um ranking completo de alternativas
PROMETHEE III	Fornece uma classificação baseada em intervalos
PROMETHEE IV	Fornece uma classificação baseada em um caso contínuo
PROMETHEE V	Alarga a aplicação do PROMETHEE II para o problema da seleção de várias opções, dado um conjunto de restrições
PROMETHEE VI	Visa representar o cérebro humano

FONTE: A autora (2018).

De acordo com Albuquerque e Núñez (2010), o PROMETHEE é, provavelmente, o método multicritério mais utilizado em todo o mundo, uma vez que ajuda a resolver, de forma matematicamente simplificada e sem incompatibilidades, problemas de difícil compreensão nas mais diversas áreas.

A seguir, descrevem-se as etapas do algoritmo para calcular a melhor alternativa com base no PROMETHEE (nas suas variações I e II), conforme apresentado por Brans, Vincke e Mareschal (1986).

#### **Etapa 1.** Construção da matriz de decisão.

Sendo  $A$  o conjunto de alternativas, para cada alternativa  $a_i \in A$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $f_j(a)$  é uma avaliação dessa alternativa segundo o critério  $j$ ,  $j = 1, \dots, k$ . O conjunto dessas avaliações podem ser representadas na matriz  $M$ :

$$M = \begin{bmatrix} f_1(a_1) & f_2(a_1) & \cdots & f_k(a_1) \\ f_1(a_2) & f_2(a_2) & \cdots & f_k(a_2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_1(a_n) & f_2(a_n) & \cdots & f_k(a_n) \end{bmatrix} \quad (15)$$

**Etapa 2.** Especificação, para cada critério  $f_j$ , de uma função de preferência generalizada ( $P_j$ ), tal que:

$$P_j: A \times A \rightarrow [0,1] \quad (16)$$

A função de preferência de um critério descreve a forma como a preferência do decisor varia com a diferença entre os níveis de desempenho de duas alternativas em relação a esse critério. Numa comparação entre duas alternativas quaisquer,  $a_r$  e  $a_s$ , pertencentes ao conjunto  $A$ , tem-se:

$$P_j(a_r, a_s) = P(x) = P[f(a_r) - f(a_s)] \quad (17)$$

que representa a intensidade com que a alternativa  $a_r$  é preferível a  $a_s$ , segundo o critério  $j$ .

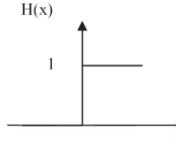
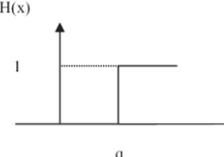
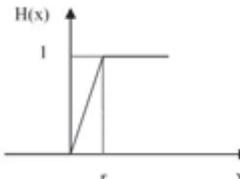
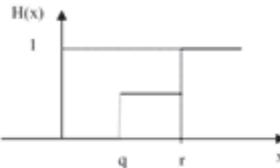
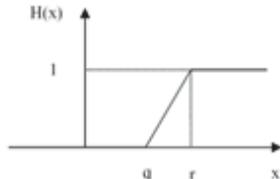
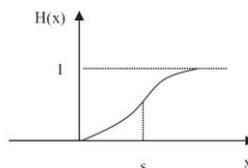
- a) se  $P(x) = 0$ , não há preferência de  $a_r$  em relação a  $a_s$ ;
- b) se  $P(x) \approx 0$ , há fraca preferência de  $a_r$  em relação a  $a_s$ ;
- c) se  $P(x) \approx 1$ , há forte preferência de  $a_r$  em relação a  $a_s$ ;
- d) se  $P(x) = 1$ , há total preferência de  $a_r$  em relação a  $a_s$ .

Quando o critério precisa ser maximizado, utiliza-se  $x = f(a_r) - f(a_s)$  para definir a função de preferência. Para a minimização do critério, a função de preferência será  $x = f(a_s) - f(a_r)$ . A intensidade de preferência deve ser calculada para cada par de alternativas, considerando todos os critérios. As funções de preferência determinadas por Brans, Vincke e Mareschal (1986) são apresentadas na TABELA 8.

Cada uma dessas funções tem um significado, conforme descrito a seguir:

- a) na função de preferência *Linear*, existe indiferença entre as alternativas  $a_r$  e  $a_s$  somente se  $f(a_r) = f(a_s)$ . Se as avaliações são diferentes, o avaliador tem preferência total pela alternativa que possui melhor avaliação;

TABELA 8 - FUNÇÕES DE PREFERÊNCIA DO MÉTODO PROMETHEE

Tipo	$P(x)$	$H(x)$	Parâmetros fixados
Linear	$P(x) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases}$		-
U-Shape	$P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ 1 & x > q \end{cases}$		q
V-Shape	$P(x) = \begin{cases} x/r & x \leq r \\ 1 & x > r \end{cases}$		r
Level	$P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ 1/2 & q < x \leq r \\ 1 & x > r \end{cases}$		q, r
V-Shape I	$P(x) = \begin{cases} 0 & x \leq q \\ \frac{x-q}{r-q} & q < x \leq r \\ 1 & x > r \end{cases}$		q, r
Gaussian	$P(x) = 1 - e^{-x^2/2s^2}$		s

FONTE: Brans, Vincke e Mareschal (1986).

- b) na função de preferência *U-Shape*, as alternativas são indiferentes sob o ponto de vista do avaliador se não excedem o limite de indiferença  $q$ . Senão, há preferência total pela alternativa  $a_i$ ;
- c) na função de preferência *V-Shape*,  $r$  é o limite de preferência total, e se a diferença entre as alternativas for menor do que esse limite, então a preferência pela alternativa  $a_r$  aumenta linearmente com a diferença  $x$ . Se a diferença é maior que  $r$ , há preferência total pela alternativa  $a_i$ ;

- d) na função de preferência *Level*, o avaliador defini o limite de indiferença  $q$  e o limite de preferência  $r$  tal que: se  $x$  é menor do que  $q$ , então existe indiferença entre as alternativas; se  $x$  está entre  $q$  e  $r$ , há uma fraca preferência (1/2) por  $a_r$  e se  $x$  é maior do que  $r$ , então a alternativa  $a_r$  é preferível à alternativa  $a_s$ ;
- e) na função de preferência *V-Shape I*, o avaliador considera que sua preferência aumenta linearmente da indiferença para a total preferência entre os limites  $q$  e  $r$ ;
- f) na função de preferência *Gaussian*, o avaliador define o parâmetro  $s$ , que indica o valor a partir do qual há mudança na concavidade na curva de preferência.

**Etapa 3.** Definição dos pesos  $a_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), que são as medidas de importância de cada critério.

Essa avaliação é feita pelos decisores ou especialistas. Caso os critérios tenham a mesma importância, os pesos podem ser todos iguais.

**Etapa 4.** Calcular o índice de preferência ponderada global,  $\pi(a_r, a_s)$ , para todos os pares de alternativas.

Este índice indica o percentual de preferência da alternativa  $a_r$  em relação à  $a_s$ , considerando os pesos atribuídos a cada critério, conforme equação a seguir:

$$\pi(a_r, a_s) = \sum_{j=1}^n \alpha_j P_j(a_r, a_s) \quad (18)$$

em que,

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1, \text{ e} \quad (19)$$

$$0 \leq \pi(a_r, a_s) \leq 1 \forall a_r, a_s \in A \quad (20)$$

**Etapa 5.** Cálculo do fluxo de importância positivo, que representa a média de preferência de qualquer alternativa  $a_r$  sobre as demais alternativas do conjunto  $A$ :

$$\phi^+(a_r) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A}^n \pi(a_r, x) \quad (21)$$

onde,

$$\phi^+: A \rightarrow [0,1] \quad (22)$$

quanto maior  $\phi^+(a_r)$ , melhor a alternativa.

**Etapa 6.** Cálculo do fluxo de importância negativo, que representa a média de preferência de todas as alternativas sobre a alternativa  $a_r$ :

$$\phi^-(a_r) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{x \in A}^n \pi(x, a_r) \quad (23)$$

onde,

$$\phi^-: A \rightarrow [0,1] \quad (24)$$

quanto menor  $\phi^-(a_r)$ , melhor a alternativa.

Como saída do algoritmo, tem-se a classificação parcial (PROMETHEE I) e a classificação completa (PROMETHEE II) das alternativas.

O PROMETHEE I consiste na pré-ordenação parcial das alternativas de acordo com os fluxos positivo e negativo. Já o PROMETHEE II consiste na hierarquização das alternativas seguindo uma ordem decrescente, realizada através do Fluxo de Importância Líquido de preferência ( $\Phi$ ), calculado pela diferença entre os fluxos de importância positivo e negativo.

Este método é uma abordagem adequada para uma análise integrada, pois devido ao seu algoritmo flexível, permite que os aperfeiçoamentos personalizados satisfaçam requisitos específicos para uma abordagem de avaliação integrada. (GERVÁSIO; SILVA, 2012). Ainda de acordo com os autores, a principal limitação do método é a definição dos valores de preferência do decisor em relação

aos critérios considerados, pois para sua aplicação, presume-se que o decisor é capaz de ponderar os critérios adequadamente, embora não seja fornecida nenhuma orientação.

#### 2.6.1.5. Višekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje (VIKOR)

O Método *Višekriterijumsko KOMPromisno Rangiranje* (VIKOR), que significa Otimização Multicritério e Solução de Compromisso, foi desenvolvido por Yu (1973), e tem como objetivos a determinação de um ranking de compromisso, a solução de compromisso e os intervalos de estabilidade de peso para a estabilidade preferencial da solução de compromisso obtido com os pesos iniciais.

Este método se resume em elaborar um ranking a partir de um conjunto de alternativas de critérios contraditórios presentes, apresentando assim uma classificação com base na medida de proximidade com a solução ideal. O ranking de compromisso, obtido através do VIKOR possui quatro etapas, que são descritas a seguir conforme aprestando por Opricovic (2011).

**Etapa 1.** Determinar os maiores valores  $f_i^+$  e os menores valores  $f_i^-$  de toda a função:

$$f_i^+ = \max f_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (25)$$

$$f_i^- = \min f_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (26)$$

onde,

$f_i^+$  = maior valor apresentado pelo indicador  $i$

$f_i^-$  = menor valor apresentado pelo indicador  $i$

**Etapa 2.** Calcular os valores  $S_j$  (grupo de utilidade máxima) e  $R_j$  (peso individual mínimo), onde  $j = 1, 2, \dots, J$ , nas relações, em que  $w_i$  são os pesos dos critérios.

$$S_i = \sum_{j=1}^m \left[ w_j \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right] \quad (27)$$

$$R_i = \max_j \left[ w_j \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right] \quad (28)$$

onde:

$S_j$  = grupo de utilidade máxima

$w_i$  = peso estratégico (normalmente  $v=0.5$ )

$f_{ij}$  = o valor do indicador  $i$

$R_j$  = peso individual mínimo

**Etapa 3.** Calcular os valores  $Q_j$ , onde  $j = 1, 2, \dots, J$ , pela relação, em que  $S^+ = \min S_j$ ,  $S^- = \max S_j$ ,  $R^+ = \min R_j$ ,  $R^- = \max R_j$ , o  $v$  é introduzido como peso de estratégia, geralmente utilizado como  $v = 0,5$ .

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^+)}{(S^- - S^+)} + \frac{(1 - v)(R_j - R^+)}{(R^- - R^+)} \quad (29)$$

onde:

$v = 0,5$

$Q_j$  = score final

$S^+$  = menor grupo de utilidade máxima

$S^-$  = maior grupo de utilidade máxima

$R^+$  = menor peso individual mínimo

$R^-$  = maior peso individual mínimo

**Etapa 4.** Classificar as alternativas de forma decrescente, pelos valores obtidos por  $S$ ,  $R$  e  $Q$ . Como resultado obtêm-se três listas de classificação. Porém podem ser considerados apenas os valores obtidos por  $Q$ .

### 2.6.1.6 Simple Additive Weighting (SAW)

O método *Simple Additive Weighting* (SAW), traduzido como Ponderação Aditiva Simples, agrega de maneira aditiva a contribuição dos atributos, ao multiplicar o valor do atributo por seu peso e somar posteriormente os produtos obtidos para cada alternativa. Na sequência, atribui-se a cada uma das alternativas um indicador equivalente à medida ponderada de todos os critérios (MEDINA, 2007):

$$SAW_i = \sum_j w_j r_{ij} \quad (30)$$

onde os pesos obedecem a:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (31)$$

em que  $i$  corresponde às alternativas e  $j$  aos critérios.

### 2.6.2 Método Delphi

O método Delphi tem sido amplamente utilizado para melhorar a tomada de decisão. Trata-se de uma técnica para a obtenção de informações, com base em consultas com especialistas de determinada área, que tem como objetivo obter pareceres de alta qualidade do grupo consultado. (REGUANT-ÁLVAREZ; TORRADO-FONSECA, 2016)

De acordo com Linstone e Turoff (2002), o Delphi pode ser caracterizado como um método para a estruturação de um processo de comunicação em grupo, tornando-se um processo eficaz ao permitir que um grupo de indivíduos possa lidar com um problema complexo.

Reguant-Álvarez e Torrado-Fonseca (2016) citam como características do método:

- a) Processo iterativo: os participantes expõem sua opinião em várias ocasiões. Entre as consultas, os especialistas têm a oportunidade de

refletir tanto sobre suas próprias opiniões como também sobre as opiniões dadas pelos outros especialistas. Para tanto utiliza-se um questionário formal e estruturado.

- b) Anonimato: os especialistas podem se conhecer, mas não identificar o que cada um diz. Este recurso se destaca como uma de suas maiores vantagens, uma vez que não há nenhuma possibilidade de viés decorrente do prestígio ou a liderança de um membro do grupo.
- c) *Feedback* controlado: o pesquisador analisa as respostas recebidas e cria uma nova consulta, enfatizando assim o que é necessário, segundo os objetivos do seu trabalho, garantindo também que estejam representadas todas as opiniões dadas pelos especialistas. São destacadas as contribuições significativas, os acordos explícitos entre os pontos de vista, as posições divergentes e outras informações.
- d) Resposta estatística do grupo: normalmente, inclui-se a aplicação de estimativas ao grupo de especialistas. Em geral, após a primeira rodada, as informações são analisadas, e apresentadas em rodadas subsequentes. Além disso, o *feedback* de cada rodada é em forma de dados estatísticos.

Conforme descreve Muller (2004) antes de início da aplicação do Método Delphi, realiza-se uma série de tarefas atividades, como: delimitar o contexto e o horizonte temporal em que se deseja realizar a previsão sobre o tema em estudo; selecionar os especialistas, que sejam grandes conhecedores sobre o tema de estudo e obter um compromisso de colaboração; e explicar aos especialistas escolhidos no que consiste o método e qual o objetivo de cada uma de suas fases, garantindo assim a obtenção de informações confiáveis, pois os especialistas irão conhecer em todo momento qual é o objetivo de cada uma das fases que o método requer.

De acordo com Oliveira (2015), na aplicação do método Delphi para apoio à tomada de decisão, é atribuída uma escala de 1 a 5 às respostas de questionário com perguntas de múltipla escolha, de acordo com a importância do parâmetro que se está avaliando. O autor descreve os passos do método da seguinte maneira:

- a) o pesquisador envia o questionário aos especialistas para que respondam às perguntas e devolvam ao pesquisador;
- b) as respostas de todos os especialistas são analisadas e agrupadas;

- c) no caso de não se obter consenso nas respostas, um novo questionário é enviado aos especialistas, apresentando resultados gerais, de forma que os especialistas conheçam as opiniões dos demais e possam rever alguma opinião dada, caso seja discordante da maioria; e
- d) após o recebimento das respostas do segundo questionário, uma nova análise é realizada e, se houver consenso ou for alcançado um nível satisfatório de informações o processo é concluído. Caso contrário, repete-se o passo 3.

Para decidir se houve ou não consenso após uma determinada rodada de aplicação do Delphi, deve ser utilizada equação (31). (WILSON; PAN; SCHUMSKY, 2012):

$$CVR = \frac{NE - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (32)$$

onde:

CVR = Content Validity Ratio (razão de validade de conteúdo);

NE = número de especialistas que indicam que um parâmetro é essencial; e

N = número total de especialistas participantes da pesquisa.

Neste caso, se o CVR for maior ou igual 0,29 diz-se que houve consenso e as rodadas do método são cessadas.

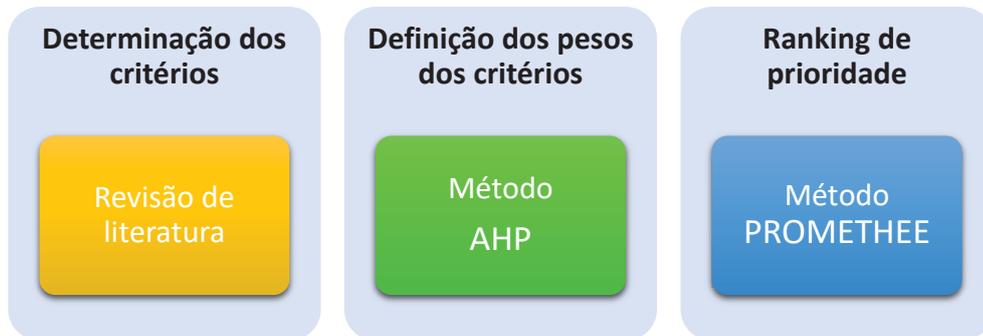
Quanto ao número de especialista, não se tem estipulado uma quantidade mínima, mas é importante que estes sejam selecionados da maneira mais adequada possível.

## 2.7 ESCOLHA DOS MÉTODOS

Após a revisão de literatura, foram selecionados dois métodos multicritérios de tomada de decisão, o AHP e o PROMETHEE, para compor o modelo de decisão para priorização de OAEs que necessitam de intervenção. O método Delphi é utilizado com aplicação de questionários junto aos especialistas, de forma que estes possam

confirmar e ponderar os critérios pesquisados. A forma de uso destes métodos é resumida na FIGURA 9.

FIGURA 9 - UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO



FONTE: A autora (2018).

O método AHP foi escolhido porque possui facilidade de uso, permite estruturar formalmente os problemas, apresenta simplicidade de comparação entre pares dos critérios e permite atribuir pesos e também checar a consistência dos pesos atribuídos. (LEITE; FREITAS, 2012).

O método AHP apesar de permitir a elaboração de um ranking de prioridade, não é adequado para problemas com grande quantidade de critérios e alternativas, uma vez que tornar o processo de comparação par a par inexecutável.

Para a criação do ranqueamento das alternativas, poderiam ser utilizados os demais métodos, porém escolheu-se o método PROMETHEE. Este método possui utilização rápida, fácil verificação e transparência nos resultados e flexibilidade no processo de comparação. (PEREIRA, 2004).

### 3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

As próximas subseções dedicam-se a apresentar a abordagem metodológica da pesquisa e a detalhar os métodos e procedimentos relativos a cada etapa do trabalho.

#### 3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Gerhardt e Silveira (2009) ressaltam que para se desenvolver uma pesquisa é imprescindível selecionar a estratégia de pesquisa a ser utilizada, cuja modalidade será escolhida de acordo com as características da investigação.

A seguir a pesquisa será classificada quanto à sua abordagem, sua natureza, seus objetivos e seus procedimentos, com base nos tipos de pesquisa adotados.

Esta pesquisa tem uma abordagem de pesquisa qualitativa e quantitativa. A pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um determinado tema. (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Por outro lado, a pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. (FONSECA, 2002). De acordo com Kirschbaum (2013), a combinação da pesquisa qualitativa e quantitativa implica uma maior amplitude do estudo evitando também as fragilidades próprias de cada método.

Este trabalho tem a natureza de uma pesquisa aplicada, uma vez que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, e envolve um interesse local, que é a priorização das obras de manutenção de OAEs rodoviárias do estado do Paraná.

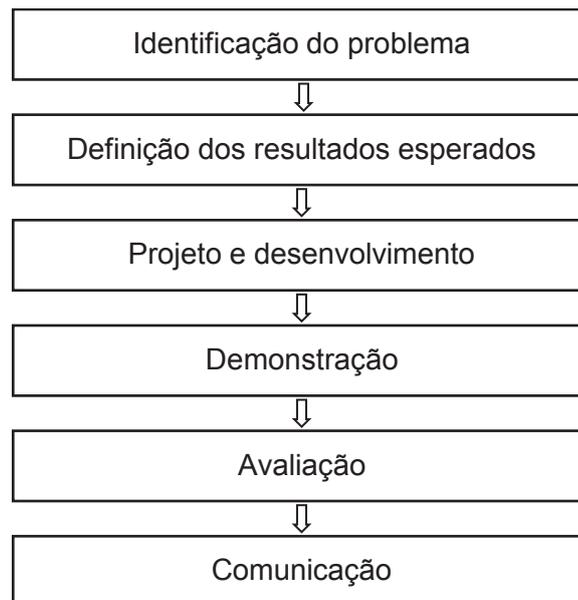
No tocante aos objetivos desta pesquisa, esta se classifica em uma pesquisa exploratória, cuja finalidade é proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.

Quanto ao procedimento, a pesquisa caracteriza-se como *design science* que, de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015, p.57) “é a ciência que procura consolidar conhecimento sobre o projeto e desenvolvimento de soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas ou, ainda, criar novos artefatos que contribuam para uma melhor atuação humana”. Com base no levantamento dos

critérios importantes na priorização da manutenção de OAEs, é desenvolvido o modelo de decisão baseado em métodos multicritérios de tomada de decisão.

Assim para desenvolvimento desta pesquisa utiliza-se o método proposto por Peffers et al. (2007), composto por seis atividades (FIGURA 10).

FIGURA 10 - MÉTODO DE PESQUISA PROPOSTO POR PEFFERS ET AL. (2007)



FONTE: Peffers et al. (2007).

Na atividade de identificação do problema realiza-se a definição dos pontos que motivam a realização da pesquisa, e justifica-se a importância da pesquisa, considerando a relevância e seriedade do problema investigado, além da aplicabilidade da solução que será proposta. Essa etapa é apresentada na introdução desta dissertação, onde são relatados o problema e a justificativa da pesquisa.

A atividade de definição dos resultados esperados é apresentada na seção de objetivos, ou seja, como resultados espera-se obter um modelo de decisão para a priorização da intervenção em OAEs, bem como uma relação estruturada de critérios e uma ferramenta de apoio à decisão de acordo com o modelo proposto.

A terceira atividade, consiste no projeto e desenvolvimento do artefato que auxiliará na solução do problema. Nesta etapa define-se as funcionalidades desejadas, sua arquitetura e seu desenvolvimento em si. Essa atividade é apresentada nesta seção de estratégia de pesquisa, em que são relatados os métodos e procedimentos utilizados para se alcançar o modelo de decisão.

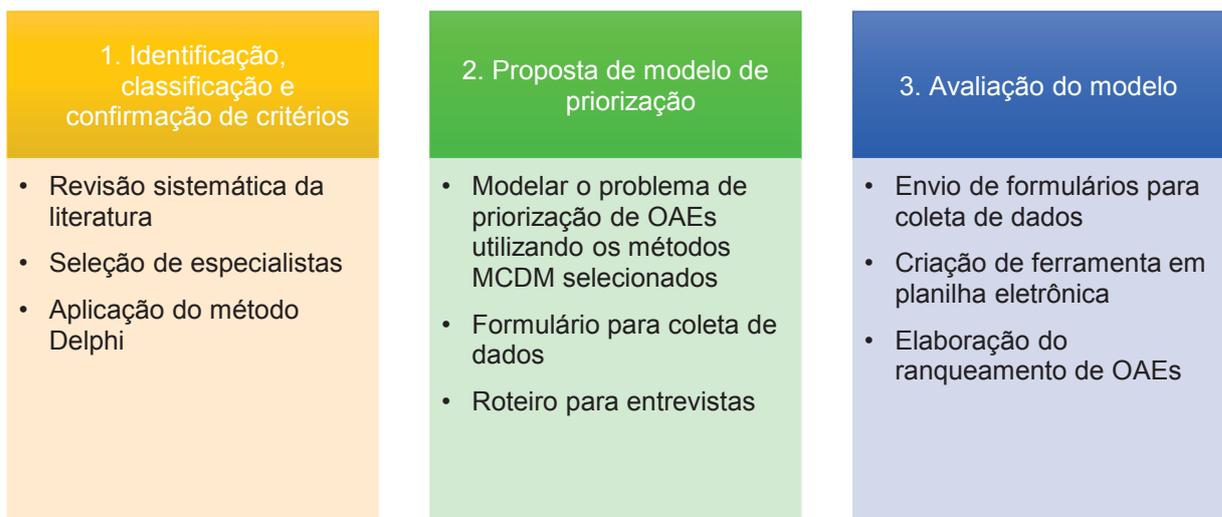
A atividade de demonstração, consiste no uso do artefato para solucionar o problema em questão. Essa etapa é apresentada na subseção de avaliação do modelo proposto, em que se utiliza o artefato criado numa situação hipotética de priorização de intervenção de manutenção em OAEs.

Na quinta atividade, avaliação, são comparados os resultados obtidos com os requisitos definidos na segunda atividade (definição dos resultados esperados). Essa atividade é apresentada na seção de resultados.

Por fim, a atividade de comunicação consiste na apresentação do problema que foi estudado e sua importância, do rigor com o qual a pesquisa foi conduzida, bem como do quão eficaz é a solução encontrada para o problema. A comunicação é realizada por meio da elaboração desta dissertação e dos artigos originados baseados neste trabalho.

Na FIGURA 11 é apresentada a estrutura da pesquisa através de uma representação esquemática das etapas e procedimentos metodológicos que serão utilizados para o alcançar os objetivos geral e específicos do trabalho. A abordagem adotada tem como referência o trabalho de Oliveira (2015). As próximas subseções detalham os procedimentos mostrados nesta representação gráfica.

FIGURA 11 - ETAPAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DESTA PESQUISA



FONTE: A AUTORA (2018).

## 3.2 IDENTIFICAÇÃO E CONFIRMAÇÃO DE CRITÉRIOS

A fim de obter um modelo de priorização da intervenção em OAEs que atenda de forma eficaz ao problema em questão, os critérios que farão parte do modelo devem ser bem selecionados e bem definidos. Para alcançar este objetivo é realizada uma revisão sistemática da literatura, conforme é apresentado a seguir.

### 3.2.1 Revisão sistemática da literatura

De acordo com Amini et al. (2016), para escolher uma entre várias OAEs para executar o procedimento de manutenção, é necessário priorizar as OAEs de acordo com fatores como custo de reparo, tipo de dano, nível de destruição dos componentes da OAE e considerações estratégicas.

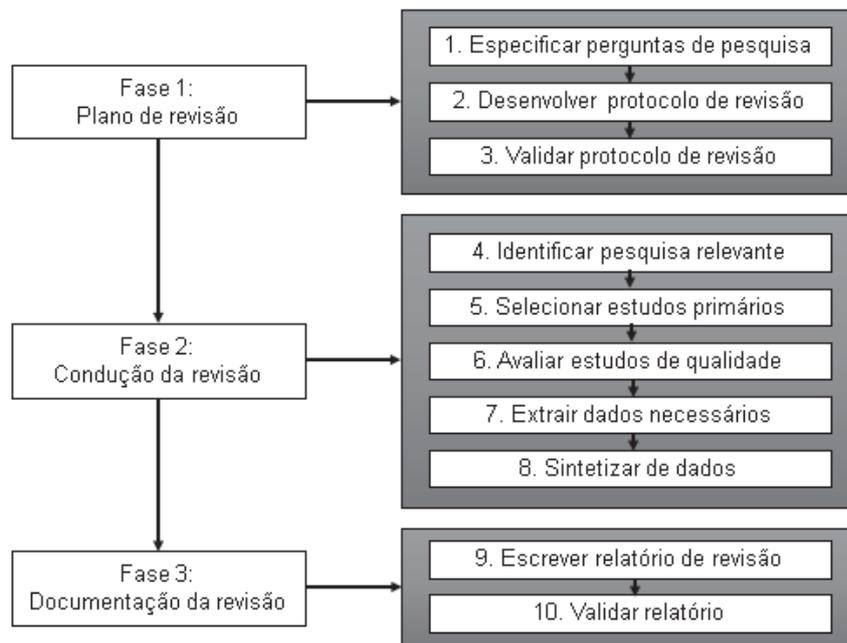
Com o intuito de identificar na literatura quais critérios são importantes para a intervenção em OAEs e de que forma estes critérios devem ser considerados no processo decisório, é realizada uma revisão da literatura de forma sistemática. Para Kitchenham (2004), uma revisão dessa natureza objetiva fornecer um método robusto para análise bibliográfica, por meio de uma pesquisa abrangente, exaustiva e replicável.

Brereton et al. (2007) destacam três fases de uma revisão sistemática da literatura (FIGURA 12): plano de revisão, condução da revisão e documentação da revisão.

Na primeira fase desta revisão define-se como pergunta de pesquisa: Quais critérios, ou parâmetros, devem ser considerados no processo decisório de priorização para intervenção em OAEs de concreto armado?

Determina-se ainda que a pesquisa será realizada através dos portais de busca *Scopus*, Periódicos CAPES, *Science Direct* e *Scielo*. As palavras-chaves são escolhidas com o intuito de englobar o maior número de trabalhos relacionados aos critérios para priorização de intervenção em OAEs. São utilizados os operadores lógicos disponíveis nos sistemas de busca para ampliar os resultados encontrados, isto é, os operadores “AND” e caracteres genéricos como “\*” ou “?”, que buscam termos com diferentes terminações.

FIGURA 12 - PROCESSO DE REVISÃO SISTEMÁTICA



FONTE: Adaptado de Brereton et al. (2007).

Em todas as bases de dados os termos definidos para a pesquisa (*critéri\**; *priorit\**; *rank\**; *interven\** e *parameter*) são somados (através do operador booleano AND) ao termo “*bridge maintenance*”. As palavras chave são buscadas sempre na seção de “tópicos” do sistema de busca, uma vez que esta seção abrange título, resumo e palavras-chave dos trabalhos buscados. As mesmas buscas são realizadas também para os equivalentes em português destes termos.

Na segunda fase da pesquisa, define-se como parâmetro principal para ser selecionado que o trabalho apresente critérios importantes a serem considerados na priorização de intervenção em OAEs candidatas à manutenção.

Nesta fase, realiza-se a pré-seleção dos trabalhos, por meio da verificação de títulos e resumos para enquadramento do escopo e eliminação de redundâncias, desconsiderando-se os trabalhos duplicados. Os trabalhos pré-selecionados são então submetidos a uma análise de conteúdo, na qual leem-se os trabalhos na íntegra e aplicam-se os critérios de seleção definidos anteriormente.

As demais etapas desta fase que incluem a apresentação e síntese dos resultados e as etapas da fase de documentação da revisão, são abordadas se seção 4.1.

### 3.2.2 Seleção de especialistas

Para confirmar os critérios levantados e testar a aplicabilidade dos métodos de tomada de decisão escolhidos, foram selecionados para participar da pesquisa dez especialistas da área de OAEs, tanto do meio acadêmico como do setor privado, que atuam há pelo menos cinco anos na gestão de OAEs. Desta forma, a amostra adotada é não probabilística, por conveniência, ou seja, foram selecionados especialistas em que os pesquisadores tinham contato prévio e que os mesmos tinham interesse em participar da pesquisa. Os especialistas são:

- a) Foi professor da UFPR e engenheiro do Departamento de Estradas de Rodagem – PR, atualmente é engenheiro projetista e sócio diretor em empresa Consultoria em Engenharia, atua com OAE há 60 anos;
- b) Foi professor da UFPR e engenheiro do Departamento de Estradas de Rodagem – PR, atualmente é engenheiro projetista e sócio diretor em empresa Consultoria em Engenharia, atua com OAE há 60 anos;
- c) Foi professor da UFPR, atualmente é engenheiro projetista de OAE, presidente do Instituto de Engenharia do Paraná e diretor técnico em empresa de Engenharia, atua com OAE há 52 anos;
- d) É engenheiro projetista de OAE e diretor técnico em empresa de Engenharia, atua com OAE há 48 anos;
- e) É professor na UFPR, atua com OAE há 30 anos;
- f) É coordenador técnico do Departamento de Estradas de Rodagem – PR, atua com OAE há mais de 10 anos;
- g) É gerente de OAE do Departamento de Estradas de Rodagem – PR, atua com OAE há mais de 13 anos;
- h) É gerente de Obras e Serviços do Departamento de Estradas de Rodagem – PR;
- i) É gerente de Obras e Serviços do Departamento de Estradas de Rodagem – PR;
- j) Coordenador técnico de engenharia em empresa concessionária de rodovias.

Assim, uma vez identificados e classificados os critérios, os questionários (apresentados no apêndice A) elaborados, tanto para aplicação do Método Delphi quanto dos métodos MCDM são enviados aos especialistas, para que estes possam confirmar os critérios levantados a partir da revisão de literatura, bem como ponderar tais critérios.

Considera-se que o envio destes questionários, e conseqüentemente o recebimento de respostas, possa ser feito tanto remotamente (via entrevista telefônica, e-mail, formulários eletrônicos, etc.), quanto pessoalmente (entrevistas semiestruturadas).

### 3.2.3 Utilização do método Delphi

Para avaliar os critérios selecionados a partir da revisão sistemática da literatura, bem como validar a estrutura hierárquica proposta, aplicou-se juntamente com os especialistas, o método Delphi. Para aplicação do método, foram utilizados questionários, conforme descrito anteriormente.

Uma vez realizada a coleta inicial dos dados, estes são avaliados e, em caso de não convergência, é realizada outra rodada de coleta de dados. Foi estabelecido para esta pesquisa um máximo de três rodadas Delphi, havendo consenso ou não entre os especialistas, visto que o método permite concluir o processo de decisão caso haja informações suficientes sobre o assunto estudado, ainda que não exista consenso total entre os decisores.

## 3.3 PROPOSTA DO MODELO

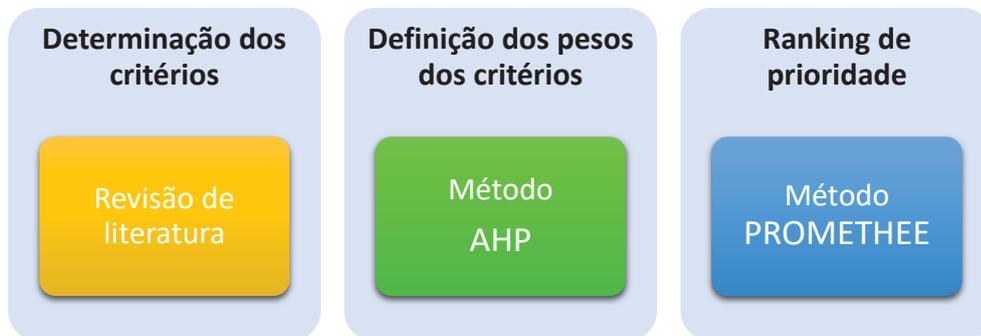
Nas próximas subseções são detalhadas as etapas para a criação do modelo proposto.

### 3.3.1 Modelo

Com os critérios do modelo de decisão já validados pelos especialistas, propõe-se uma combinação de métodos para criar o ranking final de prioridade. A

combinação dos métodos do modelo proposto neste estudo é representada na FIGURA 13.

FIGURA 13 - ETAPAS DO MODELO PROPOSTO



FONTE: A autora (2017).

Neste modelo, o conjunto de OAEs candidatas à manutenção é dividido em classes segundo os níveis de criticidade da estrutura. O critério de agrupamento escolhido neste modelo é a nota técnica, apresentada no item 2.4.1. Assim, são cinco as classes de priorização, devendo então ser priorizados os grupos com a menor nota técnica.

Para a definição dos pesos dos critérios, relacionam-se então os dados necessários para uso do AHP com os seguintes parâmetros do modelo: objetivo geral (priorização de OAEs para intervenção) e critérios (obtidos da revisão de literatura e confirmados pelos especialistas). Para a utilização do método PROMETHEE são necessários os dados das OAEs e os pesos obtidos após a aplicação do método AHP.

No modelo proposto, o ranqueamento final é obtido com base nas propriedades de métodos multicritério de tomada de decisão, mais especificamente nas estruturas do AHP e do PROMETHEE, que uma vez bem estruturados auxiliam uma melhor tomada de decisão a respeito de um determinado problema.

Este modelo é criado com o intuito de não necessitar de um pesquisador facilitador para ser utilizado. Uma vez elaborado e entendido seu passo a passo, um gestor de manutenção de OAEs pode utilizar o modelo para avaliar qualquer priorização de intervenção sob sua responsabilidade.

### 3.3.2 Instrumentos de coleta de dados

Neste estudo foram realizadas duas etapas de coleta de dados junto aos especialistas. A primeira compreendeu a confirmação dos critérios levantados e a identificação de novos critérios para compor o modelo, por meio do método Delphi. A segunda etapa compreendeu a ponderação dos critérios pelo método AHP.

Os instrumentos elaborados para coleta e tratamento de dados para elaborar o ranking de prioridades OAEs para intervenção, são parte integrante do modelo proposto nesta dissertação.

A confirmação dos critérios selecionados da revisão sistemática da literatura foi feita por meio do método Delphi, utilizando um questionário (Apêndice A).

A ponderação dos critérios pelo do método AHP foi realizada por meio de questionário elaborado segundo a estrutura do método, que permite ao especialista a comparação pareada dos critérios. Este questionário contém informações sobre os critérios a serem consideradas na priorização da intervenção em OAE. Estas informações são padrão e servirão para outras situações de priorização, entretanto, devem ser atualizadas de acordo com as novas informações de cada situação.

O questionário completo para uso com o AHP é apresentado no Apêndice A desta dissertação. As respostas dos questionários foram inseridas em planilha eletrônica, para obtenção dos pesos de cada um dos critérios e uso do método PROMETHEE.

### 3.3.3 Definição de software de apoio ao uso dos métodos

De forma a facilitar a obtenção dos dados junto aos especialistas, os questionários utilizados em conjunto com o Delphi e o AHP foram elaborados utilizando o Microsoft Word, que permitiu o envio do formulário elaborado por *e-mail* e a impressão dos documentos criados.

O tratamento dos dados coletados com os métodos AHP e PROMETHEE é realizado utilizando o editor de planilhas Microsoft Excel. Estas planilhas foram elaboradas baseadas nos conceitos e formulações de cada método apresentados anteriormente.

### 3.4 AVALIAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

A partir da proposição do modelo, realizou-se a etapa de avaliação do modelo elaborando o ranqueamento de 50 OAEs. Esta avaliação foi feita de acordo com a FIGURA 14, que ilustra a modelagem do problema segundo os métodos multicritério de tomada de decisão.

FIGURA 14 – ETAPAS E FERRAMENTAS DA AVALIAÇÃO DO MODELO PROPOSTO



FONTE: A autora (2018).

Nesta situação, propôs-se realizar um ranking de prioridades para manutenção para as OAEs inspecionadas pelo EMEA, nos anos de 2015 e 2016.

A amostragem para o estudo de caso é não probabilística e enquadra-se como sendo do tipo caso crítico e por conveniência. A razão principal para a escolha destas OAEs para o ranqueamento é a possibilidade de acesso aos relatórios das inspeções realizadas.

Apesar desta avaliação poder refletir singularidades das OAEs em questão, entende-se que o modelo pode ser aplicado de forma mais abrangente para outras OAEs, em outros contextos.

A fim de avaliar a ferramenta criada, foi elaborado e enviado aos especialistas consultados, um questionário sobre sua usabilidade, definida pela ABNT NBR (9241-11) como a “medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso”.

Uma técnica de grande importância na avaliação da usabilidade compreende as de princípio ergonômico, que de acordo com Medeiros e Cybis (2000) “ajudam os projetistas a obter sistemas e componentes que podem ser usados de maneira eficaz, eficiente, segura e confortável”.

O questionário utilizado, apresentado no Apêndice B, foi elaborado exclusivamente para esse estudo, apresentando questões com o intuito de identificar se os objetivos estabelecidos anteriormente foram atingidos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados do trabalho, que correspondem aos resultados da identificação dos critérios por meio da revisão sistemática da literatura, da aplicação dos métodos de auxílio à tomada de decisão e da avaliação do modelo.

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA COMPOR O MODELO

Esta etapa do trabalho é baseada nos resultados da revisão sistemática sobre os critérios importantes para a priorização de OAEs para intervenção.

A revisão possui diretrizes bem definidas para busca dos trabalhos, detalhadas na Subseção 3.2.

Ao final da fase de pré-seleção dos trabalhos nas bases de dados escolhidas, de acordo com as palavras-chave definidas, 94 trabalhos foram enquadrados dentro do escopo delimitado. Todos estes foram submetidos à fase de análise de conteúdo, e após a retirada dos trabalhos duplicados, foram selecionados 46 trabalhos que apresentaram pelo menos um critério para criar o ranqueamento de prioridade de OAEs para manutenção.

Foram identificados 19 critérios, agrupados em 5 parâmetros: funcionalidade, custo, segurança, tráfego e um fator externo.

O QUADRO 5 apresenta os critérios selecionados da literatura, já eliminadas as sobreposições e agrupados por parâmetros, e o número de artigos em que os critérios são mencionados.

A forma como cada um desses critérios será considerada no modelo, é apresentada na seção 4.4.

Na sequência, é apresentado como cada um desses critérios é considerado pelos autores pesquisados.

QUADRO 5 – CRITÉRIOS PARA PRIORIZAÇÃO DE OAE'S OBTIDOS DA RSL

(continua)

Fatores	Crítérios	Nº de Artigos	Autores
Funcionalidade	Avaliação de risco	6	Elhag e Wang, 2007; Wang e Elhag, 2008; Wang, Liu e Elhag, 2008; Rashid, Lemass e Gibson, 2010; Guyer e Laman, 2012; Cheng e Hoang, 2014.
	Capacidade de carga	5	Vagiotas, Chassiakos e Theodorakopoulos, 2003; Abu Dabous e Alkass, 2011; Hearn e Johnson, 2011; Rashidi e Gibson, 2011; Wakchaure e Jha, 2011; Rashidi, Samali e Sharafi, 2016.
	Características do leito do rio	2	Chassiakos, Vagiotas e Theodorakopoulos, 2005; Augeri et al., 2014.
	Degradação da OAE/	29	Tracy, 1980; Bailey e Grenzeback, 1987; Vagiotas, Chassiakos e Theodorakopoulos, 2003; Liu e Frangopol, 2004, 2005a, 2005c; Chassiakos, Vagiotas e Theodorakopoulos, 2005; Lounis, 2005; Hsu et al., 2006; Morcou, 2007; Tserng e Chin-Lung Chung, 2007; Grierson, 2008; Gokey et al., 2009; Chen et al., 2010; Valenzuela, Solminihac e Echaveguren, 2010; Abu Dabous e Alkass, 2011; Hearn e Johnson, 2011; Rashidi e Gibson, 2011; Wakchaure e Jha, 2011; Huang e Chen, 2013; Zhu e Yang, 2013; Augeri et al., 2014; Lwambuka e Mtenga, 2014; Mild, Liesio e Salo, 2015; Yau e Chuang, 2015; Rashidi, Samali e Sharafi, 2016; Justus, Wakchaure e Jha, 2016; Amin, Kadir e Jamadin, 2017; Nurdin, Kristiawan e Handayani, 2017.
	Exposição estrutural	6	Vagiotas, Chassiakos e Theodorakopoulos, 2003; Augeri et al., 2014; Mild, Liesio e Salo, 2015.
	Idade da OAE	8	Vagiotas, Chassiakos e Theodorakopoulos, 2003; Chassiakos, Vagiotas e Theodorakopoulos, 2005; Tserng e Chin-Lung Chung, 2007; Rashidi e Gibson, 2011; Wakchaure e Jha, 2011; Huang e Chen, 2013; Augeri et al., 2014; Rashidi, Samali e Sharafi, 2016.
Custo	Ciclo de vida	11	Frangopol et al., 1999; Thompson, 2001; Liu e Frangopol, 2005b, 2005c, 2006; Morcou, 2007; León Escobedo e Acosta, 2010; Vacheyroux e Corotis, 2010; Wakchaure e Jha, 2011; Vacheyroux e Corotis, 2013; Wang et al., 2015.
	Manutenção	12	Wei e Singh, 1997; Chassiakos, Vagiotas e Theodorakopoulos, 2005; Liu e Frangopol, 2004, 2005a, 2005c, 2006; Lounis, 2005; Grierson, 2008; Wakchaure e Jha, 2011; Essahli e Madanat, 2012; Huang e Chen, 2013; Lwambuka e Mtenga, 2014.
	Usuário	3	Bailey e Grenzeback, 1987; Bolar, Tesfamariam e Sadiq, 2012; Lwambuka e Mtenga, 2014.
Segurança	Estado de segurança	5	Bailey e Grenzeback, 1987; Liu e Frangopol, 2004, 2005c; Grierson, 2008; Abu Dabous e Alkass, 2011
	Segurança para os Usuários	3	Wang, Liu e Elhag, 2008; Wakchaure e Jha, 2011; Bolar, Tesfamariam e Sadiq, 2012.
Tráfego	Categoria da estrada/OAE	10	Vagiotas, Chassiakos e Theodorakopoulos, 2003; Abu Dabous e Alkass, 2011; Hearn e Johnson, 2011; Rashidi e Gibson, 2011; Wakchaure e Jha, 2011; Huang e Chen, 2013; Zhu e Yang, 2013; Mild, Liesio e Salo, 2015; Rashidi, Samali e Sharafi, 2016; Amin, Kadir e Jamadin, 2017.
	Comprimento do desvio	3	Lounis, 2005; Gokey et al., 2009; Hearn e Johnson, 2011.

Fatores	Crítérios	Nº de Artigos	Autores
Tráfego	Importância estratégica	4	Valenzuela, Solminihac e Echaveguren, 2010; Wakchaure e Jha, 2011; Augeri et al., 2014; Amin, Kadir e Jamadin, 2017.
	Tráfego médio diário	12	Tracy, 1980; Chassiakos, Vagiotas e Theodorakopoulos, 2005; Lounis, 2005; Gokey et al., 2009; Abu Dabous e Alkass, 2011; Hearn e Johnson, 2011; Wakchaure e Jha, 2011; Huang e Chen, 2013; Zhu e Yang, 2013; Augeri et al., 2014; Mild, Liesio e Salo, 2015; Nurdin, Kristiawan e Handayani, 2017.
Externos	Aparência visual	2	Bolar, Tesfamariam e Sadiq, 2012; Mild, Liesio e Salo, 2015.
	Efeitos sobre o meio ambiente	3	Wang, Liu e Elhag, 2008; Wang e Elhag, 2008; Cheng e Hoang, 2014
	Importância histórica e cívica	1	Watanabe et al., 2010

FONTE: A autora (2018).

#### 4.1.1 Fatores de funcionalidade

Nesta dimensão foram associados os critérios relacionados diretamente à condição da estrutura da OAE. Os critérios selecionados foram: avaliação de risco, capacidade de carga, características do leito do rio, degradação da OAE, exposição estrutural, idade da OAE e urgência de intervenção.

##### 4.1.1.1 Avaliação de risco

Os trabalhos selecionados apontam que a avaliação de risco deve incluir quatro fatores: segurança, funcionalidade, sustentabilidade e ambiental (ELHAG; WANG, 2007; WANG; ELHAG, 2008; WANG; LIU; ELHAG, 2008; GUYER; LAMAN, 2012; CHENG; HOANG, 2014).

A avaliação do risco de segurança está relacionada ao risco para os usuários, que já está evidenciado no critério de segurança para os usuários da OAE. O risco de funcionalidade corresponde ao nível de serviço da OAE, diretamente relacionado à degradação da OAE.

O risco relacionado e à sustentabilidade se refere às despesas financeiras e carga de trabalho. A avaliação deste risco busca alcançar uma condição estável de despesas e carga de trabalho, evitando a acumulação de trabalho essencial e

inevitável, realizando uma manutenção preventiva efetiva e direcionada. Este risco é mais complexo e está fora do escopo do trabalho devido às suas limitações.

Finalmente, o risco ambiental diz respeito aos efeitos sobre o meio ambiente, incluindo a aparência (estética) das estruturas. Este risco aborda fatores externos, que não comprometem a funcionalidade ou segurança da OAE.

Vitorio (2008) propõe um método de determinação do grau de risco estrutural de OAEs, adotando-se a classificação: sem problemas, baixo, médio, alto e crítico. Para isso, o autor determina três fatores:

- a) relevância estrutural - com base na avaliação da importância de cada componente no desempenho estrutural da OAE (QUADRO 6);
- b) intensidade - para avaliar como as lesões de cada componente da OAE (QUADRO 7);
- c) agravante - que varia conforme cada situação específica (QUADRO 8).

QUADRO 6 - FATOR DE RELEVÂNCIA ESTRUTURAL

<b>Fator de relevância (FR)</b>	<b>Situação específica da OAE</b>
5	Fundações, encontros, pilares, dentes Gerber
2,5	Vigas principais, aparelhos de apoio, juntas de dilatação
1,5	Lajes do tabuleiro, pavimento, cortinas, alas
0,75	Transversinas, lajes de transição
0,25	Barreiras, guarda-rodas, instalações diversas

FONTE: VITÓRIO (2008).

QUADRO 7 - FATOR DE INTENSIDADE

<b>Fator de intensidade (FI)</b>	<b>Situação dos componentes</b>
1	Perfeitas condições, sem lesões estruturais
2	Boas condições, lesões estruturais leves
3	Razoáveis condições, lesões estruturais toleráveis com pequena perda de resistência
4	Más condições, lesões graves, gerando significativa insuficiência estrutural
5	Péssimas condições, lesões muito graves, gerando situação crítica com grande insuficiência estrutural

FONTE: VITÓRIO (2008).

QUADRO 8 - FATOR AGRAVANTE

Fator agravante (FA)	Situação específica da OAE
1,25	Erosão em fundações de pilares e encontros
1,20	Erosão em aterros de acesso
1,10	Seção de vazão insuficiente
1,20	Redução de seção de armaduras de pilares
1,00	Idade da obra até 25 anos
1,05	Idade da obra entre 25 e 35 anos
1,10	Idade da obra entre 35 e 45 anos
1,15	Idade da obra entre 45 e 55 anos
1,20	Idade da obra maior que 55 anos

FONTE: VITÓRIO (2008).

Assim, o Grau de risco final ( $GR_f$ ) será dado pela equação (33):

$$GR_f = FA \left[ \frac{\sum FR \times FI}{10} \right] \quad (33)$$

O fator agravante é utilizado apenas quando ocorrer as situações listadas no QUADRO 8. Este fator também é cumulativo, ou seja, caso uma obra enquadre-se em mais de uma das situações do QUADRO 8, o valor de  $FA$  levará em conta todas as situações (através do produto dos índices para cada fator agravante), o que, evidentemente, aumentará o grau de risco final.

A classificação da OAE, segundo o grau de risco, é apresentada no QUADRO 9.

QUADRO 9 - RELAÇÃO ENTRE O GRAU DE RISCO E A CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CADA OAE

Grau de risco obtido ( $GR_f$ )	Classificação da OAE
$GR_f \leq 1$	Sem problemas
$1 < GR_f \leq 2$	Baixo
$2 < GR_f \leq 3$	Médio
$3 < GR_f \leq 4$	Alto
$4 < GR_f \leq 5$	Crítico

FONTE: VITÓRIO (2008).

#### 4.1.1.2 Capacidade de carga

De acordo com o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (BRASIL, 2010), a avaliação de uma estrutura é baseada no princípio simples e lógico de que sua capacidade de carga disponível deve ser maior que as solicitações provocadas pelas cargas atuantes.

Para esta avaliação, tem-se o índice de capacidade de carga que consiste na relação entre a capacidade resistente da estrutura e o somatório das solicitações das cargas atuantes. Este índice permite classificar as OAEs em satisfatórias (quando o índice é maior ou igual a 1,00) e deficientes (quando o índice é menor que 1,00).

O índice de capacidade de carga é dado por:

$$I_{cc} = (\Phi R_u - \sigma_g \cdot G) / \sigma_p \cdot P \cdot (1 + I) \cdot C_f \quad (34)$$

onde:

$I_{cc}$  = índice de capacidade de carga

$\Phi$  = coeficiente de redução a ser aplicado na resistência nominal calculada no estado limite último

$R_u$  = resistência nominal no estado limite último, na seção estudada, para a solicitação com maior probabilidade de provocar o colapso: momentos fletores, forças cortantes, forças normais etc.

$\sigma_g$  = coeficiente de majoração das solicitações de carga permanente;

$\sigma_p$  = coeficiente de majoração das solicitações de carga móvel

$G$  = soma das solicitações de carga permanente

$P$  = soma das solicitações de carga móvel

$I$  = parcela decimal do coeficiente de impacto

$C_f$  = coeficiente de correção

Esses parâmetros são descritos no QUADRO 10.

QUADRO 10 - PARÂMETROS PARA DETERMINAR O ÍNDICE DE CAPACIDADE DE CARGA

Parâmetros	Descrição
Cargas permanentes	Nas avaliações das solicitações de carga permanente, devem ser considerados os eventuais reforços efetuados, os recapeamentos, a substituição de guarda-rodas por barreiras etc.
Cargas móveis	Inicialmente, devem ser consideradas as solicitações de carga móvel do projeto original e, em seguida, as solicitações calculadas de acordo com as normas vigentes; quando possível e necessário, devem ser calculadas as solicitações provocadas pelos veículos, regulamentados e não regulamentados, que realmente transitam na ponte.
Coefficiente de redução da resistência nominal: $\Phi$	Este coeficiente depende das condições da superestrutura, boa ou deteriorada ou fortemente deteriorada, da redundância ou não dos elementos, da qualidade da inspeção, cuidadosa ou estimada, da manutenção, contínua ou intermitente e do tipo da estrutura, concreto protendido ou concreto armado; conforme a combinação das condições desfavoráveis, o coeficiente pode variar de 0,95 a 0,55.
Coefficiente de majoração das solicitações de carga permanente: $\sigma_g$	Este coeficiente pode variar de 1,20 a 1,35.
Coefficiente de majoração das solicitações de carga móvel: $\sigma_p$	Este coeficiente pode variar de 1,40 a 1,50; em casos excepcionais, rodovias com alto volume diário de tráfego de caminhões pesados, sem fiscalização constante e efetiva, este coeficiente pode ser majorado para até 1,80.
Coefficiente de impacto: $1 + I$	Tradicionalmente, pelas Normas Brasileiras é igual a $1,4 - 0,007 \times V$ . Em condições especiais, pista de rolamento lisa e sem defeitos e veículo em baixa velocidade, o coeficiente de impacto pode ser reduzido até 1,10
Coefficiente de correção: $C_f$	Conforme o método adotado no cálculo das solicitações, simplificado ou sofisticado, este coeficiente pode variar de 1,00 a 0,90.

FONTE: Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (BRASIL, 2010).

#### 4.1.1.3 Característica do leito do rio

Chassiakos, Vagiotas e Theodorakopoulos (2005) apontam que as características do leito do rio estão diretamente relacionadas à operabilidade e à deterioração da condição física da ponte. Os autores caracterizam o fluxo do leito do rio de duas formas: fluxo de nível baixo-calmo e fluxo íngreme-rápido.

#### 4.1.1.4 Degradação

Para Lounis (2005) a condição da OAE fornece uma avaliação qualitativa da confiabilidade da estrutura e é geralmente obtida a partir de uma combinação de inspeção visual e avaliação não destrutiva da estrutura investigada.

Como mencionado na subsecção 2.4.1, o SGO, que é o sistema de gerenciamento das OAEs, possui um método de classificação das condições da OAE,

a nota técnica, que é a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural, a partir das inspeções visuais e de acordo com a norma DNIT 010/2004-PRO. (DNIT, 2004).

#### 4.1.1.5 Exposição estrutural

Chassiakos, Vagiotas e Theodorakopoulos (2005) classificam as condições ambientais de exposição da estrutura como ar suave e seco (sem cloretos) e como agressivo, (ar úmido com cloretos).

#### 4.1.1.6 Idade da OAE

Para Rashid e Gibson (2011), uma vez que as OAEs são projetadas para suportar carga de fadiga (que aumenta com o tempo), a idade é um parâmetro importante envolvido na avaliação da condição estrutural. De acordo com o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (BRASIL, 2010), a durabilidade desejada de uma OAE já foi de cinquenta anos e, atualmente, é igual ou superior a cem anos.

Para Nascimento (2013), a idade da construção é decisiva e até conclusiva para avaliação da capacidade resistente de uma OAE, dado que as premissas de um projeto para dimensionamento destas estruturas passaram por um processo de evolução ao longo dos anos e a crescente demanda de utilização quase sempre leva a necessidade de readequação dessas obras.

Huang e Chen (2013), utilizam duas categorias para avaliar a idade da OAE: OAEs com mais 50 anos e OAEs com menos de 50 anos. Chassiakos, Vagiotas e Theodorakopoulos (2005) utilizam as seguintes categorias: OAEs com menos de 20 anos; entre 20 e 50 anos; e OAEs com mais de 50 anos.

Por outro lado, Augeri et al. (2014) utilizam três categorias para avaliar a idade da OAE: OAEs que foram projetadas nos anos 90, OAEs que foram projetadas entre os anos 70 e 90 e OAEs que foram projetadas antes dos anos 70.

#### 4.1.1.7 Urgência de intervenção

Conforme descreve Mitre (2005), o órgão gestor das OAEs deve valer-se de um Sistema de Gerenciamento de OAEs que disponha de critérios de classificação da gravidade, extensão e intensidade dos problemas de cada OAE, indicando níveis diferentes de urgência de intervenção, pois desta forma, a manutenção das obras torna-se economicamente viável, podendo atingir maior homogeneidade no estado de conservação da infraestrutura de cada via, sempre acima de um patamar mínimo aceitável.

Silva e Santos Filho (2017) apresentam a classificação da urgência de intervenção em OAEs em 4 tipos (TABELA 9): não urgente, dano a reparar, reparo imediato e limitação de carga.

TABELA 9 - URGÊNCIA DE INTERVENÇÃO

<b>TIPO</b>	<b>CRITÉRIO</b>	<b>Fator</b>
Não urgente	Intervenção não é urgente, pois o dano não interfere na utilização e capacidade da ponte, e também não altera a sua durabilidade	1
Dano a reparar	Dano deve ser reparado em período não maior que 5 anos, para garantir a servicibilidade e não comprometer a durabilidade da ponte	2,5
Reparo imediato	Reparo imediato, pois o dano já está comprometendo a utilização da ponte, com risco às pessoas	4
Limitação de carga	Limitação de carga, interrupção de tráfego e escoramento imediato deve ser feito, além do reparo	5

FONTE: SILVA; SANTOS FILHO (2017).

#### 4.1.2 Fatores de custo

Neste critério, são abordados os principais custos envolvidos nas atividades de manutenção da OAE, identificados na revisão de literatura. Os principais custos apontados pelos autores foram: do ciclo de vida, de manutenção e para os usuários.

Na avaliação deste critério, podem ser utilizados os custos orçados para a manutenção das OAEs em questão ou estimativas de custo.

#### 4.1.2.1 Custo do ciclo de vida

Como descreve Wang et al. (2015), o custo do ciclo de vida das OAEs deve incluir os custos associados à concepção, construção, gestão, inspeção, manutenção e reabilitação durante toda a vida útil da estrutura. Assim, todos os componentes e elementos que compõem a estrutura devem ser levados em consideração ao lidar com a otimização de custo do ciclo de vida.

#### 4.1.2.2 Custo de Manutenção

Na avaliação deste critério, podem ser utilizados os custos orçados para a manutenção das OAEs em questão ou as estimativas de custo como as fornecidas pelo DNIT (Custos Médios Gerenciais) ou pelos Departamentos de Estradas de Rodagem (DER) (Referencial de Preços de Serviços).

#### 4.1.2.3 Custo do usuário

De acordo com Lwambuka e Mtenga (2014), considera-se que o custo do usuário representa a soma de todos os custos incorridos pelos usuários durante a atividade de manutenção e depende principalmente da duração da atividade de manutenção. Assim o objetivo é priorizar a manutenção de OAEs com os maiores custos para usuários.

Se a OAE estiver interditada, os usuários terão impactos econômicos imediatos, levando a custos de viagem mais altos, devido ao maior tempo de viagem, maior consumo de combustível, tempo perdido, maiores custos de manutenção do veículo e maiores impactos ambientais devido ao aumento do consumo de combustível e das emissões de gases. (LOUNIS, 2005). Para Liu e Frangopol (2006), o custo de usuário de uma OAE é calculado como o aumento nas despesas acumuladas de viagem em comparação com o associado à rede totalmente operacional.

Para a avaliação deste critério, pode-se fazer uma estimativa de quais seriam estes custos para o usuário para cada situação.

#### 4.1.3 Fatores de segurança

Os trabalhos consultados apontaram como importantes neste critério a segurança da OAE baseada na condição estrutural e a segurança dos usuários.

##### 4.1.3.1 Estado de segurança

Na avaliação deste critério, Grierson (2008) utiliza como parâmetro o índice de segurança, que é definido como a relação entre a capacidade de carga disponível e a necessária. Este índice descreve o nível de segurança restante dos componentes da OAE deteriorados. Assim um quanto maior o valor do índice de segurança, maior a capacidade estrutural e menor a prioridade de manutenção.

##### 4.1.3.2 Segurança para os usuários

A avaliação da segurança dos usuários pode ser feita a partir da observação da existência ou não dos elementos de sistema de segurança, que são aqueles elementos que garantem a proteção tanto de veículos, quanto de pessoas. Formam parte deste sistema: refúgios, guarda corpo, guarda rodas, defensas metálicas e barreiras de concreto. Podem ser levados em consideração ainda, elementos como sistemas de sinalização e iluminação, faixa de pedestres e ciclovia.

#### 4.1.4 Fatores de tráfego

Foram classificados neste critério os aspectos: categoria da estrada e da OAE, comprimento do desvio, importância estratégica da OAE e o volume de tráfego médio diário.

##### 4.1.4.1 Categoria da estrada/OAE

Huang e Chen (2013) classificam as estradas em principais, secundárias e terciárias. Por outro lado, Rashid e Gibson (2011) utilizam uma categorização que se

assemelha a classificação funcional apresentada no Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (BRASIL, 2005), abordando assim as três classes funcionais:

- a) Arteriais: compreendem as rodovias cuja função principal é a de propiciar mobilidade;
- b) Coletoras: englobam as rodovias que proporcionam um misto de funções de mobilidade e acesso;
- c) Locais: abrangem as rodovias cuja função principal é oferecer condição de acesso.

#### 4.1.4.2 Comprimento do desvio

Para Gokey et al. (2009), o comprimento do desvio representa o possível inconveniente para os passageiros se a OAE já não pudesse ser utilizada. Se o comprimento do desvio fosse muito longo, poderia haver um impacto dramático no comércio típico das áreas circunvizinhas.

Lounis (2005) destaca que se a OAE for interditada, os usuários terão impactos econômicos imediatos, levando a maiores custos de viagem devido ao maior tempo de viagem, maior consumo de combustível, maior tempo perdido e maiores custos de manutenção do veículo. O autor destaca ainda a possibilidade de ocorrer maiores impactos ambientais devido ao aumento do consumo de combustível e das emissões de gases.

Dessa forma, neste critério, será considerado que quanto maior o comprimento do desvio, maior a prioridade na intervenção da OAE, de modo a minimizar os impactos mencionados.

#### 4.1.4.3 Importância estratégica

A localização da OAE reflete sua importância na rede rodoviária. A importância estratégica permite representar os efeitos da localização de OAEs na malha rodoviária para os usuários e as estratégias nacionais de desenvolvimento. (VALENZUELA; SOLMINIHAC; ECHAVEGUREN, 2010). Para os autores, OAEs localizadas em redes rodoviárias sem rotas alternativas e altamente trafegadas têm maior relevância estratégica para o sistema de transporte.

#### 4.1.4.4 Tráfego médio diário

O tráfego médio diário consiste no número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia, por dia, durante um certo período de tempo. (BRASIL, 2006). De acordo com Lounis (2005), este é um critério muito relevante, uma vez que fornece indiretamente uma classificação da importância da OAE em relação ao serviço prestado aos utilizadores e à atividade socioeconômica.

#### 4.1.5 Fatores externos

##### 4.1.5.1 Aparência visual

De acordo com Mild, Lesio e Salo (2015), deve-se garantir a aparência visual da estrutura de uma OAE para assegurar satisfação dos usuários. Segundo os autores, este critério é elaborado de acordo com a condição visual da OAE juntamente com sua condição técnica/estrutural.

Os autores propõem uma avaliação de satisfação dos usuários que relaciona a categoria do local (muito significativa, significativa, notável e regular), e classificação de limpeza (em uma escala de 0 a 4).

##### 4.1.5.2 Efeitos sobre o meio ambiente

A presença de OAEs em ecossistemas fechados, de maneira geral, promove uma irregularidade da dinâmica de equilíbrio do ecossistema, através de vários fatores que atuam em conjunto no processo de degradação ambiental. (MENDES et al., 2010). Para os autores, as medidas adotadas, em relação à construção e manutenção das estruturas, devem ser suficientes e primordiais para se reduzir as agressões ao meio ambiente, e as aplicações de outros procedimentos que levem à manutenção das condições naturais devem ser encorajadas.

#### 4.1.5.3 Importância histórica e cívica

Conforme descreve Muller (2004), a história das construções das OAEs está estreitamente vinculada a evolução das civilizações, uma vez que, obstáculos naturais e fronteiras políticas existentes são superadas por meio destas estruturas, beneficiando assim, toda a comunidade envolvida.

De acordo com Rodrigues (2004), quando obras antigas possuem valor cultural e histórico, os assuntos de intervenção nessas estruturas devem ser tratados com muito mais sensibilidade.

#### 4.1.6 Critérios considerados no modelo

Para compor o modelo de priorização de OAEs para manutenção são selecionados os parâmetros e critérios apresentados no QUADRO 11.

QUADRO 11 - CRITÉRIOS PARA COMPOR O MODELO DE PRIORIZAÇÃO DE OAES

<b>Parâmetros</b>	<b>Crítérios</b>
Funcionalidade	Capacidade de carga
	Características do leito do rio
	Degradação
	Exposição estrutural
	Idade da OAE
	Urgência de intervenção
Segurança	Estado de segurança
	Usuários
Tráfego	Comprimento do desvio
	Tráfego médio diário
Externo	Aparência visual

FONTE: A autora (2018).

Sobre o critério “avaliação de risco”, não foram encontrados estudos que avaliem qual o risco ambiental da degradação de OAEs individualmente, logo, este critério não constará no modelo, constituindo assim uma limitação do trabalho. Observa-se também, que os riscos de segurança relacionado à sustentabilidade já são abordados pelos critérios “degradação” e “segurança para os usuários”.

Com relação aos parâmetros de custo, devido à dificuldade de se obter o custo real ou estimativas de custo para a manutenção das OAEs, este critério não será abordado no modelo, constituindo assim uma limitação do trabalho.

Os critérios “categoria da estrada” e “importância estratégica” estão diretamente relacionados a capacidade de tráfego. Deste modo, pode-se dizer que estes critérios também podem ser avaliados pelo volume de tráfego médio diário.

Quanto aos critérios “efeitos sobre o meio ambiente” e “importância histórica e cívica”, uma vez que não foram encontrados dados para avaliação de OAEs individualmente, estes critérios não serão abordados no modelo, constituindo assim uma limitação do trabalho.

#### 4.2 APLICAÇÃO MÉTODO DELPHI

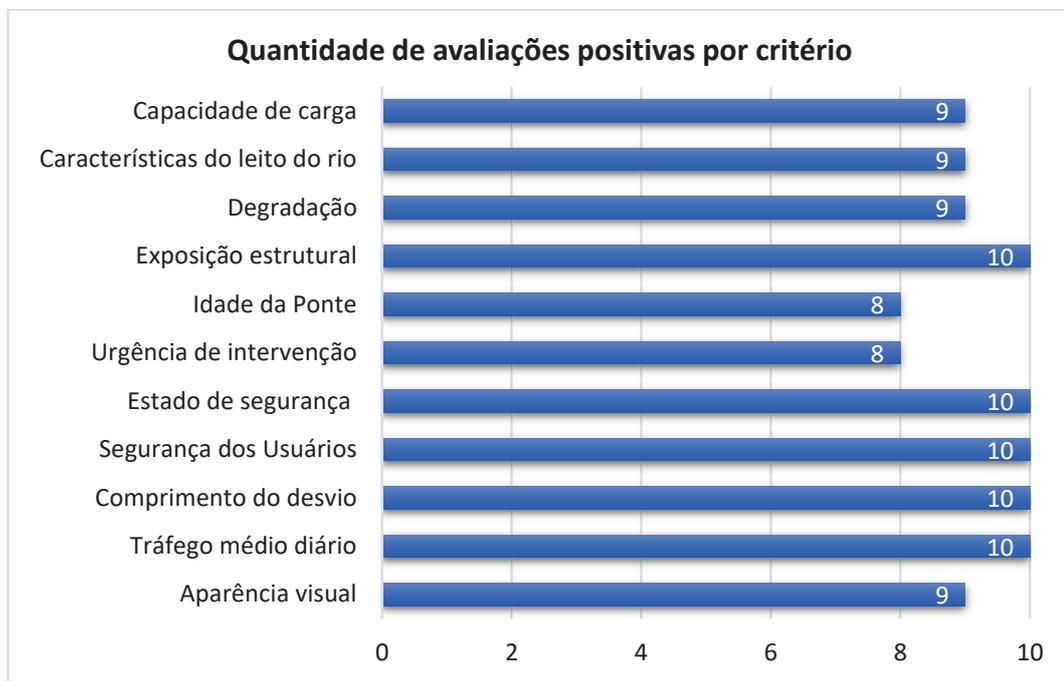
Para a confirmação dos critérios, por meio da aplicação do método Delphi, utilizou-se um questionário elaborado a partir dos critérios pré-selecionados da literatura.

Dos especialistas consultados, foram recebidos 10 questionários respondidos, num prazo de oito semanas.

O consenso foi atingido já na primeira rodada Delphi, sendo que para todas as perguntas o valor do Content Validity Ratio (CVR) foi maior do que 0,29. A escala das respostas do questionário variava de 1 (pouco importante) a 5 (muito importante), sendo que para o cálculo do CVR, de acordo com a equação 31, foram consideradas como avaliações negativas apenas as respostas iguais a 1, isto é, que indicavam que determinado critério era pouco importante. A FIGURA 15 mostra a frequência de avaliações positivas.

Como pode ser observado na FIGURA 15, todos os especialistas concordaram com os critérios selecionados para a priorização de OAEs. Dessa forma, os critérios selecionados para integrar o modelo, são aqueles mostrados no QUADRO 11, ou seja, não houve alterações nos critérios após a aplicação do método Delphi.

FIGURA 15 - AVALIAÇÕES POSITIVAS



FONTE: A autora (2018).

Na questão sobre quais outros critérios deveriam ser considerados na priorização de OAEs, foram mencionados pelos especialistas:

- Erosões no leito do rio, com uma nota 4;
- Variação sazonal das condições de operação, com uma nota 3 na escala de importância;
- Sismo, quando se trata de OAE próximo a hidrelétricas, com uma nota 4 na escala de importância;
- Critérios sobre avaliação de degradação das estruturas (inspeções rotineiras, com nota 4) e critérios relacionados a concepção de projeto e construção de OAEs (melhoria das condições de acesso das OAEs, com nota 4).

Sobre às erosões no leito do rio, estas serão abordadas no critério “características do leito do rio”, apresentado na subseção 4.4.1.2.

Os sismos em regiões próximo a hidrelétricas, não serão abordados neste trabalho, pois consiste num assunto bastante particular, e seria necessário um estudo específico para avaliar o risco provocado por sismos para as OAEs.

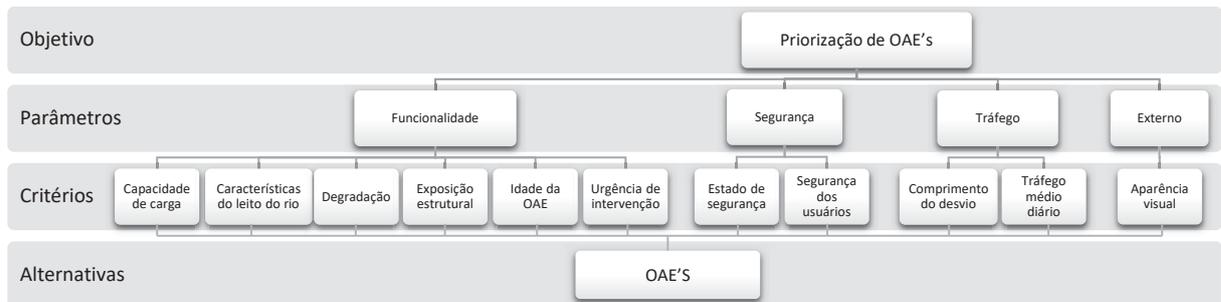
A variação sazonal das condições de operação representa um critério bastante interessante, porém não foram encontrados trabalhos que indiquem a forma de avaliar este critério. Para tanto, sugere-se que este seja tema de um trabalho futuro.

Os demais critérios mencionados não fazem parte do escopo do trabalho.

#### 4.3 APLICAÇÃO MÉTODO AHP

A hierarquia de parâmetros e critérios elaborada a partir do AHP, utilizada no modelo, é apresentada na FIGURA 16.

FIGURA 16 - ESTRUTURA HIERÁRQUICA PARA O PROBLEMA DE PRIORIZAÇÃO DE OAE'S



FONTE: A autora (2018).

A aplicação usual do método AHP é feita por meio de comparações par a par, utilizando-se de uma matriz contendo todos os critérios a serem avaliados.

Neste trabalho, optou-se por aplicar um questionário contendo um quadro com duas colunas, para a comparação par a par, uma vez que desta forma, a avaliação torna-se menos cansativa para o especialista, correndo-se menos riscos de não haver consistência nos julgamentos. O formato do questionário enviado aos especialistas seguiu o padrão estabelecido na Subseção 3.3.2, e encontra-se no Apêndice A.

Nesta etapa, foram obtidas também 10 respostas em oito semanas, prazo estabelecido para esta coleta de dados, dos mesmos especialistas selecionados para o método Delphi.

A média geométrica dos julgamentos individuais dos parâmetros, pelos especialistas, que permitirá obter a ponderação final dos critérios, é apresentada na TABELA 10.

TABELA 10 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DO MODELO

	Funcionalidade	Segurança	Tráfego	Externo
Funcionalidade	1,00	0,97	1,37	3,63
Segurança	1,03	1,00	2,61	3,57
Tráfego	0,73	0,38	1,00	2,66
Externo	0,28	0,28	0,38	1,00

FONTE: A autora (2018).

Para se obter os pesos relativos de cada parâmetro, é necessário, primeiramente, normalizar a matriz comparativa. A normalização é feita pela divisão entre cada valor da matriz pelo total de cada coluna.

O peso de cada parâmetro é calculado a partir do vetor de prioridade, obtido através da média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada, conforme apresentado na TABELA 11. O índice de inconsistência é baseado no valor do autovalor máximo ( $\lambda_{max}$ ), que é calculado por meio do somatório do produto de cada elemento do vetor de prioridades pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original (TABELA 11).

TABELA 11 - MATRIZ NORMALIZADA DE COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS, VETOR DE PRIORIDADE E AUTOVALOR

	Funcionalidade	Segurança	Tráfego	Externo	Vetor de prioridade	Autovalor
Funcionalidade	0,330	0,369	0,257	0,334	<b>0,322</b>	<b>0,977</b>
Segurança	0,339	0,379	0,487	0,329	<b>0,383</b>	<b>1,011</b>
Tráfego	0,240	0,146	0,187	0,245	<b>0,204</b>	<b>1,094</b>
Externo	0,091	0,106	0,070	0,092	<b>0,090</b>	<b>0,976</b>
					$\lambda_{max} =$	<b>4,058</b>

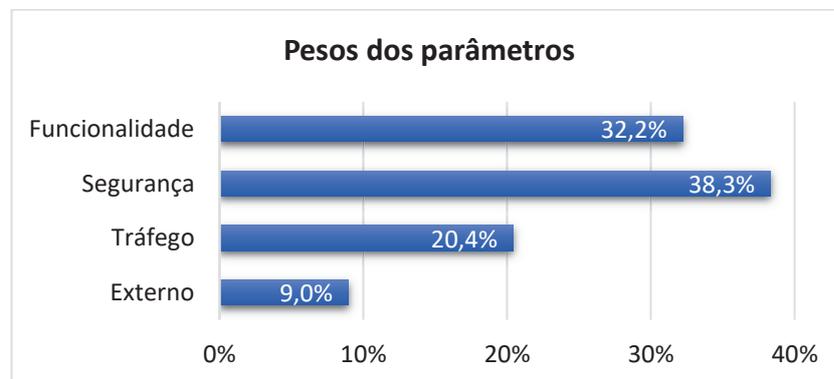
FONTE: A autora (2018).

Na sequência, verifica-se a validade dos dados através do índice de consistência (CI) e da razão de consistência (CR) de cada matriz de comparação, por meio das equações (1) e (2).

A matriz de comparação entre os parâmetros do modelo CR menor que 10% (CR = 2%), o que indica que é uma matriz consistente.

Os resultados dos pesos de cada parâmetro, no primeiro nível da hierarquia, podem ser observados na FIGURA 17.

FIGURA 17 - PESOS DOS PARÂMETROS



FONTE: A autora (2018).

Do mesmo modo que foi feito para os parâmetros, torna-se necessário avaliar os pesos relativos dos critérios no segundo nível da hierarquia. Esse processo é realizado de modo idêntico ao que apresentado para a matriz de comparação dos parâmetros.

A média geométrica dos julgamentos individuais dos especialistas, para os critérios do parâmetro funcionalidade, é apresentada na TABELA 12.

TABELA 12 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE FUNCIONALIDADE

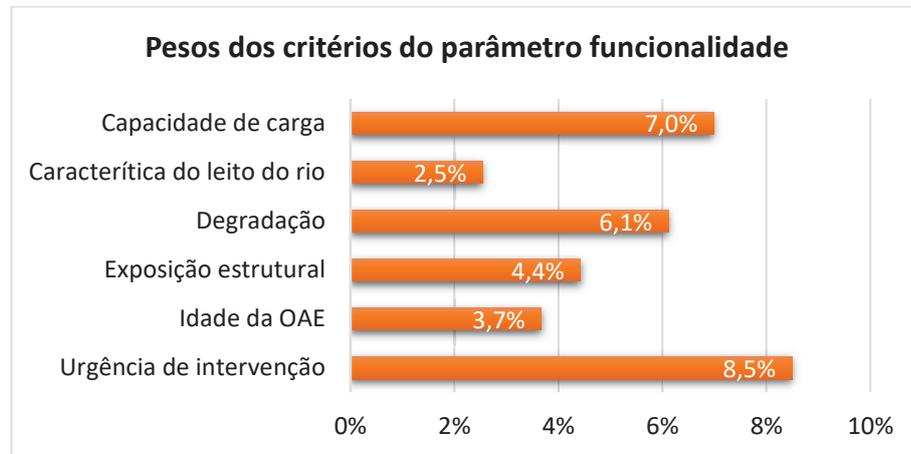
	Capacidade de carga	Característica do leito do rio	Degradação	Exposição estrutural	Idade da OAE	Urgência de intervenção
Capacidade de carga	1,00	2,62	1,03	2,03	2,01	0,74
Característica do leito do rio	0,38	1,00	0,36	0,62	0,48	0,41
Degradação	0,97	2,77	1,00	1,39	1,55	0,64
Exposição estrutural	0,49	1,60	0,72	1,00	1,35	0,67
Idade da OAE	0,50	2,09	0,65	0,74	1,00	0,31
Urgência de intervenção	1,35	2,44	1,57	1,50	3,19	1,00

FONTE: A autora (2018).

A matriz de comparação dos critérios de funcionalidade apresentou CR igual a 2%, que indica que a matriz é consistente.

Os pesos dos critérios do parâmetro funcionalidade, são apresentados na FIGURA 18.

FIGURA 18 - PESOS DOS CRITÉRIOS DO PARÂMETRO FUNCIONALIDADE



FONTE: A autora (2018).

A média geométrica dos julgamentos individuais dos especialistas, para os critérios do parâmetro segurança, é apresentada na TABELA 13.

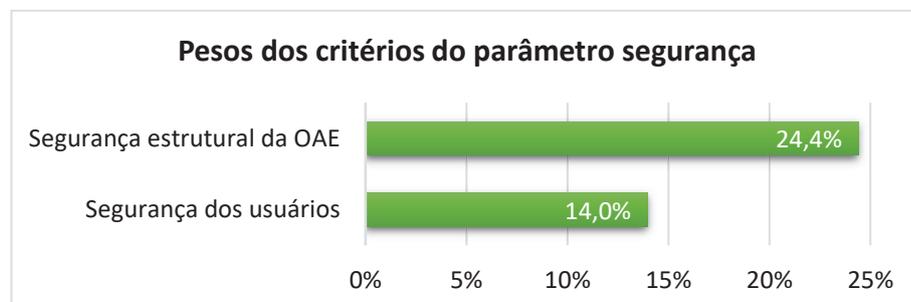
TABELA 13 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA

	Segurança estrutural da OAE	Segurança dos usuários
Segurança estrutural da OAE	1,00	1,75
Segurança dos usuários	0,57	1,00

FONTE: A autora (2018).

Os pesos dos critérios do parâmetro segurança, são apresentados na FIGURA 19.

FIGURA 19 - PESOS DOS CRITÉRIOS DO PARÂMETRO SEGURANÇA



FONTE: A autora (2018).

A média geométrica dos julgamentos individuais dos especialistas, para os critérios do parâmetro tráfego, é apresentada na TABELA 14.

TABELA 14 - MATRIZ DE COMPARAÇÃO DOS SUBCRITÉRIOS DE TRÁFEGO

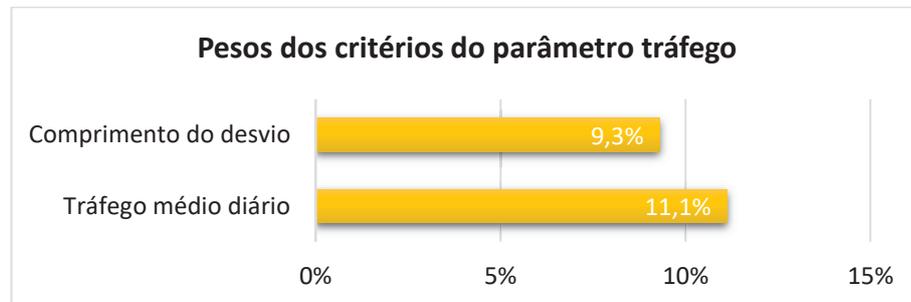
	Comprimento do desvio	Tráfego médio diário
Comprimento do desvio	1,00	0,84
Tráfego médio diário	1,20	1,00

FONTE: A autora (2018).

Os pesos dos critérios do parâmetro tráfego, são apresentados na FIGURA 20.

As matrizes de comparação dos critérios dos parâmetros segurança e tráfego apresentam CR igual a 0, sendo consideradas então, matrizes consistentes.

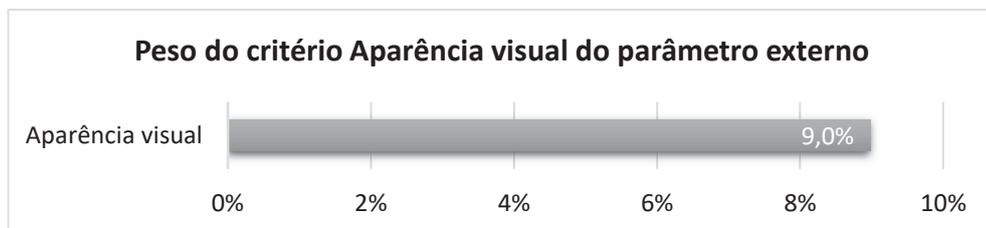
FIGURA 20 - PESOS DOS CRITÉRIOS DO PARÂMETRO TRÁFEGO



FONTE: A autora (2018).

Dado que o parâmetro externo apresenta apenas um critério, não há matriz de comparação para este parâmetro, assim o critério aparência visual receberá o mesmo peso atribuído ao parâmetro externo. O peso do critério aparência visual é apresentado na FIGURA 21.

FIGURA 21 - PESO DO CRITÉRIO DO PARÂMETRO EXTERNO



FONTE: A autora (2018).

É possível observar que para os especialistas, a “segurança estrutural da OAE” é o critério mais importante no ranqueamento para manutenção das estruturas,

com peso 24,4%, enquanto o critério “características do leito do rio” recebeu um peso de 2,5%.

A aplicação do AHP, permite identificar a partir da perspectiva dos especialistas consultados, os pesos para cada critério no ranqueamento de OAEs, segundo a importância de cada um deles. A distribuição de pesos que foi adotada para este ranqueamento poderia ser totalmente modificada, de acordo com as preferências de análise desejadas pelo decisor.

#### 4.4 APLICAÇÃO MÉTODO PROMETHEE

A partir da ponderação dos parâmetros e critérios obtida da seção anterior, é elaborado o ranqueamento de cinquenta OAEs, com Nota Técnica 3 e 4, selecionadas do banco de dados do EMEA, utilizando o método PROMETHEE.

Uma vez que a aplicação do PROMETHEE envolve apenas avaliações quantitativas, para a utilização de critérios qualitativos torna-se necessário realizar um tratamento preliminar de dados.

Nas subseções seguintes, serão apresentadas as formas de avaliação e utilização dos critérios na aplicação do PROMETHEE, as preferências para implementação do problema em planilha eletrônica e o resultado do ranqueamento.

##### 4.4.1 Avaliação dos critérios

Devido a limitação de dados sobre as OAEs a serem ranqueadas, as informações necessárias para a utilização de alguns critérios necessitam de um tratamento preliminar, isto é, uma adaptação ou combinação de dados.

###### 4.4.1.1 Capacidade de carga

O cálculo do índice de capacidade de carga, como mencionado na subseção 4.1.1.2 exige ter disponível informações, que nem sempre estão disponíveis para todas as OAEs num processo de priorização. Assim, avaliar o índice de capacidade de carga se torna inviável.

Por outro lado, é possível obter dos relatórios de inspeção, informações sobre a frequência da passagem de carga igual ou superior a 36tf, e da passagem de cargas excepcionais. Desta forma, é possível dar prioridade de intervenção para as OAEs mais solicitadas em termos de carga móvel.

Na avaliação capacidade de carga, para cada uma dessas informações é atribuída uma nota, sendo a avaliação final a soma das duas notas individuais, conforme apresentado no QUADRO 12.

QUADRO 12 - AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA

<b>Informações</b>	<b>Avaliação qualitativa (Conforme encontrada nos relatórios)</b>	<b>Avaliação numérica</b>
Frequência de passagem de cargas excepcionais	Alta, Média ou Baixa	2, 1 ou 0
Passagem de carga igual ou superior a 36tf	Frequente ou Esporádica	1 ou 0

FONTE: A autora (2018).

#### 4.4.1.2 Característica do leito do rio

Dos relatórios de inspeção das OAEs é possível obter duas informações sobre características do leito do rio: tipo de regime do rio e se se tratará de um leito de rio erodível.

Assim, na avaliação das características do leito do rio, utiliza-se as duas informações e para cada uma delas é atribuída uma nota, sendo a avaliação final a soma das duas notas individuais, conforme apresentado no QUADRO 13.

QUADRO 13 - AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO LEITO DO RIO

<b>Informações</b>	<b>Avaliação qualitativa (Conforme encontrada nos relatórios)</b>	<b>Avaliação numérica</b>
Regime do rio é torrencial	Sim ou Não	1 ou 0
Leito de rio é erodível	Sim ou Não	1 ou 0

FONTE: A autora (2018).

#### 4.4.1.3 Degradação

Para a avaliação da degradação das OAEs no modelo proposto, foi escolhido o Índice de Performance (IP) do Modelo EMEA, devido a disponibilidade de dados, uma vez que os relatórios de inspeção apresentam o IP calculado para cada uma das OAEs a serem ranqueadas. Além disso, o IP fornece informações mais precisas sobre o estado da OAE que a Nota Técnica.

#### 4.4.1.4 Exposição estrutural

A exposição estrutural da OAE pode ser avaliada também por meio da inspeção visual. Neste critério será avaliado se a estrutura se encontra em um meio ambiente agressivo ou não, conforme QUADRO 14.

QUADRO 14 - AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO ESTRUTURAL

<b>Informação</b>	<b>Avaliação qualitativa (Conforme encontrada nos relatórios)</b>	<b>Avaliação numérica</b>
Encontra-se em um meio ambiente agressivo	Sim ou Não	1 ou 0

FONTE: A autora (2018).

#### 4.4.1.5 Idade da OAE

Quando os documentos sobre a OAE a ser avaliada estão disponíveis, pode-se obter o ano de construção da estrutura. Assim, a avaliação deste critério pode ser feita com base no ano de construção da OAE.

#### 4.4.1.6 Urgência de intervenção

As informações sobre a urgência de intervenção são obtidas dos relatórios de inspeção das OAEs, sendo que a avaliação final será a soma das notas recebidas segundo a urgência de reparo de cada elemento a reparar.

#### 4.4.1.7 Estado de segurança

Na avaliação do estado de segurança das OAEs serão levados em consideração aspectos como: o histórico de manutenção da estrutura, as condições de estabilidade e os níveis de vibração da estrutura e do tabuleiro. A avaliação final será a soma das notas recebidas para cada aspecto, conforme QUADRO 15.

QUADRO 15 - AVALIAÇÃO DO ESTADO DE SEGURANÇA DA OAE

<b>Informação</b>	<b>Avaliação qualitativa (Conforme encontrada nos relatórios)</b>	<b>Avaliação numérica</b>
Histórico de manutenção da estrutura	Ruim, regular ou boa	2, 1 ou 0
Condições de estabilidade	Precária, sofrível ou boa	2, 1 ou 0
Vibração excessiva da estrutura	Sim ou não	1 ou 0
Nível de vibração do tabuleiro	Intenso ou Normal	1 ou 0

FONTE: A autora (2018).

#### 4.4.1.8 Segurança para os usuários

Na avaliação da segurança dos usuários é considerada a existência e segurança fornecida pelos elementos de sistema de segurança, que são aqueles elementos que garantem a proteção tanto de veículos, quanto de pessoas.

Serão considerados os seguintes elementos: sinalização, acostamentos, guarda corpo, guarda rodas, barreiras e defensas. A avaliação final será a soma das notas recebidas, para cada aspecto, apresentada no QUADRO 16.

QUADRO 16 - AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DOS USUÁRIOS

<b>Informação</b>	<b>Avaliação qualitativa (Conforme encontrada nos relatórios)</b>	<b>Avaliação numérica</b>
Possui acostamento	Sim ou não	1 ou 0
Possui sinalização	Sim ou não	1 ou 0
Guarda corpos, guarda rodas e barreiras oferecem segurança	Sim ou não	1 ou 0
Possui defensas	Sim ou não	1 ou 0

FONTE: A autora (2018).

#### 4.4.1.9 Comprimento do desvio

Na avaliação do comprimento do desvio, será considerado que quanto maior o acréscimo de distância de uma rota alternativa, maior a prioridade na intervenção da OAE, de modo a minimizar os impactos que podem ser ocasionados em caso de interdição da OAE.

Para avaliação em caso de inexistência de rotas alternativas, será atribuído um valor mais elevado que o acréscimo de distância das demais rotas, de modo que a OAE em avaliação tenha prioridade sobre as demais. Neste ranqueamento será atribuído o valor 1000.

#### 4.4.1.10 Tráfego médio diário

A avaliação do tráfego médio diário tem como base o número médio diário de veículos que trafega sobre a OAE, obtido diretamente da página web do Plano Nacional de Contagem de Tráfego do DNIT<sup>1</sup>.

#### 4.4.1.11 Aparência visual

A aparência visual da OAE será considerada de acordo com as condições de conservação da estrutura. Para este critério propõe-se uma avaliação segundo a condição de conservação da OAE, observada durante as inspeções visuais. Assim, uma boa condição de conservação, é sinal de uma aparência visual satisfatória para os usuários. Esta informação é retirada também dos relatórios de inspeção e a escala utilizada é apresentada no QUADRO 17.

QUADRO 17 - AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO APARÊNCIA VISUAL

<b>Informação</b>	<b>Avaliação qualitativa (Conforme encontrada nos relatórios)</b>	<b>Avaliação numérica</b>
Condições de conservação	Ruim, sofrível, regular ou boa	3, 2, 1 ou 0

FONTE: A autora (2018).

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/ContagemContinua>>.

#### 4.4.2 Preferências

A utilização do método PROMETHEE demanda a definição de algumas preferências que são descritas a seguir.

##### 4.4.2.1 Critérios de máximo e mínimo

Na aplicação do PROMETHEE, os critérios que precisam ser maximizados são tratados diferentes do que precisam ser minimizados. Assim, a classificação adotada, a partir das escalas apresentadas na subseção anterior, é apresentada do QUADRO 18.

QUADRO 18 - CLASSIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE MÁXIMO E MÍNIMO

<b>Crítérios de máximo</b>	<b>Crítério de mínimo</b>
Capacidade de carga	Idade de OAE
Características do leito do rio	Segurança para o usuário
Degradação	
Urgência de intervenção	
Exposição estrutural	
Segurança da OAE	
Comprimento do desvio	
Volume de tráfego	
Condições de conservação	

FONTE: A autora (2018).

##### 4.4.2.2 Ponderação

Os pesos adotados na avaliação do modelo são aqueles obtidos da aplicação do método AHP aos especialistas, apresentados na subseção 4.3.

##### 4.4.2.3 Função de preferência

A função de preferência adotada foi a usual, em que, existindo indiferença entre as alternativas, tem-se preferência total pela alternativa com a melhor avaliação.

#### 4.4.3 Implementação do método

Primeiramente, os dados dos critérios que possuem uma avaliação qualitativa foram convertidos em uma avaliação numérica, conforme QUADRO 19. Para a executar o algoritmo que constitui o método PROMETHEE, os dados das OAEs foram inseridos em planilha eletrônica, como apresentado no QUADRO 20. Após conversão dos dados para as escalas apresentadas, na subseção 4.4.1 obteve-se os resultados mostrados no QUADRO 21.

QUADRO 19 - CONVERSÃO DA ESCALA QUALITATIVA PARA ESCALA NUMÉRICA

<b>Crítérios</b>	<b>Informações</b>	<b>Avaliação qualitativa</b>	<b>Avaliação numérica</b>
Capacidade de carga	Frequência de passagem de cargas excepcionais	Alta	2
		Média	1
		Baixa	0
	Passagem de carga igual ou superior a 36tf	Frequente	1
Esporádica		0	
Característica do leito do rio	Regime do rio é torrencial	Sim	1
		Não	0
	Leito de rio é erodível	Sim	1
		Não	0
Exposição estrutural	Encontra-se em um meio ambiente agressivo	Sim	1
		Não	0
Estado de segurança	Histórico de manutenção da estrutura	Ruim	2
		Regular	1
		Boa	0
	Condições de estabilidade	Precária	2
		Sofrível	1
		Boa	0
	Vibração excessiva da estrutura	Sim	1
		Não	0
Nível de vibração do tabuleiro	Intenso	1	
	Normal	0	
Segurança para os usuários	Possui acostamento	Sim	1
		Não	0
	Possui sinalização	Sim	1
		Não	0
	Guarda corpos, guarda rodas e barreiras oferecem segurança	Sim	1
		Não	0
	Possui defensas	Sim	1
		Não	0
Aparência visual	Condições de conservação	Ruim	3
		Sofrível	2
		Regular	1
		Boa	0

FONTE: A autora (2018).

Na FIGURA 22, tem-se uma representação esquemática da planilha de implementação das informações das OAEs.

Nas situações em que faltam dados sobre o estado da OAE, segundo determinado critério, não é atribuída preferência para a OAE naquele critério, pois presume-se que naquele critério a estrutura se encontra em boa situação, assim a OAE recebe nota 0. Com exceção do critério “idade da OAE”, em que na falta de dados, presume-se que se trata de uma obra mais antiga e não existe documentos que indiquem a idade desta.

Foi elaborada também uma matriz a partir da combinação dos critérios, conforme apresentado na subseção 4.4.1. Esta combinação foi feita pela soma das avaliações numéricas das características de cada critério, obtidas dos relatórios de inspeção.

Em seguida, foi realizada a comparação duas a duas entre as OAEs. Para essa comparação, dado que a função de preferência escolhida foi a linear, foram calculadas, para cada OAE, quantas vezes esta possui uma avaliação melhor que as demais OAEs, segundo cada um dos critérios. Para critérios de máximo, contou-se para cada OAE quantas vezes esta possuía um valor maior naquele critério e, para critérios de mínimo, contou-se quantas vezes a OAEs possuía um valor menor naquele critério.

No QUADRO 22 tem-se o índice de preferência ponderada global, que indica o percentual de preferência da alternativa  $a_r$  em relação à  $a_s$ , considerando os pesos atribuídos a cada critério, conforme equação (18). Este índice é obtido por meio do produto do valor obtido das comparações das alternativas pelo peso do respectivo critério.

Na sequência, calculou-se o fluxo de importância positivo que representa a média de preferência de qualquer alternativa  $a_r$  sobre as demais alternativas do conjunto  $A$ , dado pela equação (21) e o fluxo de importância negativo, que indica a média de preferência de todas as alternativas sobre a alternativa  $a_r$ , dado pela equação (23).

A classificação completa das alternativas é realizada pelo fluxo de importância líquido de preferência ( $\Phi$ ) calculado pela diferença entre os fluxos de importância positivo e negativo. Os resultados dos fluxos de importância positivos e negativos e do fluxo líquido são apresentados no QUADRO 22.



**QUADRO 20 - IMPLEMENTAÇÃO DO PROMETHEE EM PLANILHA ELETRÔNICA**

continua

CRITÉRIOS	Funcionalidade				Segurança				Tráfego		Externo								
	Capacidade de carga		Característica do leito do rio		Exposição estrutural		Idade da OAE		Urgência de intervenção			Segurança estrutural da OAE		Segurança dos usuários		Tráfego médio diário		Aparência visual	
	Frequência de carga móvel ≥ 36tf	Passagem de cargas excepcionais	Regime do rio	Leito do rio	Índice de performance	Está em meio agressivo	Ano da construção	Intervenção	Urgência de intervenção	Condições de estabilidade		Nível de vibração da estrutura	Acostamento	Sinalização	Defensa metálica	Barreira, guarda rodas, calçada ou guarda corpo	Acréscimo de distância (km) - Rota alternativa	VDM	Condições de conservação
<b>Preferências</b>																			
Max/Min	max	max	max	max	max	min	max	max	min	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Peso	0,070	Frequente ou Esporádica	0,025	0,061	0,044	0,037	0,085	0,244	0,140	0,093	0,111	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
Escala	Alta, Média ou Baixa	Alta, Média ou Baixa	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica	Sim ou Não	Numérica	Boa, regular ou ruim	Boa, regular ou ruim	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica
<b>Alternativas</b>																			
OAE 001				0,0166	Não		8	Boa	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	0	1895,5	Boa	
OAE 002		Sim	Não	0,0157	Não		7,5	Boa	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	3	1895,5	Boa	
OAE 003		Não	Sim	0,006	Não		10,5	Regular	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	43,6	1895,5	Boa	
OAE 004	Baixa	Esporádica		0,0255	Não		18,5	Boa	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	0,85	3336	Boa	
OAE 005				0,0567	Não		17,5	Ruim	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	0	3336	Regular	
OAE 006	Baixa	Esporádica		0,0491	Não		17,5	Boa	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	1	3336	Boa	
OAE 007		Esporádica		0,0447	Não		22	Ruim	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	0,9	3336	Regular	
OAE 008	Baixa	Esporádica		0,0313	Não	1990	18,5	Ruim	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	0,7	3336	Boa	
OAE 011				0,0183	Não		15	Boa	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	32,4	3336	Boa	
OAE 013	Baixa	Esporádica		0,0309	Não		26	Boa	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	0	3336	Regular	
OAE 014				0,0589	Não		35	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Não	173,3	3336	Boa	
OAE 015				0,0464	Não	2007	27,5	Boa	Não	Normal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	16,5	3336	Regular	
OAE 016	Baixa	Esporádica	Sim	0,0592	Não	1959	29		Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Não	120	3366	Ruim	
OAE 017		Esporádica	Sim	0,0512	Não		30,5	Ruim	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	31	1961	Sofrível	
OAE 018				0,0367	Não	1980	18	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	124	1961	Boa	
OAE 019			Sim	0,0382	Não		17	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	120	1961	Regular	
OAE 020				0,0304	Não		15	Sofrível	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Não	14,8	1961	Regular	
OAE 021			Não	0,0847	Não		31,5	Ruim	Sim	Intenso	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	81,6	1961	Sofrível	
OAE 030				0,0724	Não		41,5	Regular	Boa	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	1	7169	Sofrível	
OAE 030a				0,073	Não		48,5	Boa	Boa	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	0	7169	Sofrível	
OAE 031			Não	0,0497	Não		31	Ruim	Boa	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	Não	180	7169	Regular	

continua

CRITÉRIOS	Funcionalidade				Segurança				Tráfego		Externo									
	Capacidade de carga	Degradação	Exposição estrutural	Idade da OAE	Urgência de intervenção	Segurança dos usuários			Comprimento do desvio	Tráfego médio diário	Aparência visual									
	Frequência de carga móvel ≥ 36tf	Regime do rio	Leito do rio	Índice de performance	Está em meio agressivo	Ano da construção	Urgência de intervenção	Histórico de manutenção	Condições de estabilidade	Vibração excessiva da estrutura	Nível de vibração do tabuleiro	Acostamento	Sinalização	Defensa metálica	Barreira, guarda rod, calçada ou guarda corpo	Acréscimo de distância (km) - Rota alternativa	VDM	Condições de conservação		
<b>Preferências</b>																				
Max/Min	max	max	max	max	max	min	max	max	min	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max	
Peso	0,070	0,061	0,044	0,037	0,085	0,037	0,244	0,140	0,093	0,111	0,090	0,093	0,111	0,090	0,093	0,111	0,090	0,090	0,090	
Escala	Alta, Média ou Baixa	Frequente ou Esporádica	Sim ou Não	Numérica	Numérica	Numérica	Boa, regular ou ruim	Boa, regular ou precária	Sim ou Não	Intenso ou Normal	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica
<b>Alternativas</b>																				
OAE 031a			Não		29,5		Ruim	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Não	180					Regular
OAE 032a	Média	Esporádica			20,5		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	180					Sofrível
OAE 033a	Média	Esporádica	Sim		29		Ruim	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	7					Boa
OAE 039			Não		10		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	14					Boa
OAE 040			Sim		53,5		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	5,55					Regular
OAE 042a	Alta	Esporádica	Sim		32		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	138					Boa
OAE 043a			Sim		36,5		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	84,4					Regular
OAE 044			Sim		27		Boa	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	34,5					Regular
OAE 045			Sim		27		Boa	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	3,4					Boa
OAE 046a			Sim		38		Boa	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	8					Regular
OAE 047			Sim		27,5		Boa	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	3,4					Boa
OAE 050			Sim		16		Boa	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	0					Boa
OAE 051a			Sim	1971	50		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	8,5					Regular
OAE 052a			Não		44		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	0,7					Regular
OAE 053			Sim		15		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	0,5					Regular
OAE 054			Sim	1977	13,5		Ruim	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	76,4					Regular
OAE 057			Sim		33		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	1000					Regular
OAE 059			Sim		19,5		Boa	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	32,9					Boa
OAE 060			Sim		12,5		Boa	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	10					Boa
OAE 063	Média	Esporádica	Não		19		Regular	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	550					Regular
OAE 064			Não		33		Ruim	Sofrível	Não	Intenso	Não	Sim	Sim	Sim	4					Sofrível
OAE 065	Média	Esporádica	Não		36		Boa	Boa	Não	Normal	Não	Sim	Sim	Sim	0,4					Regular

## conclusão

	Funcionalidade				Segurança				Tráfego		Externo						
	Capacidade de carga	Característica do leito do rio	Degradação	Exposição estrutural	Idade da OAE	Urgência de intervenção	Segurança dos usuários			Comprimento médio do desvio	Tráfego médio diário	Aparência visual					
<b>CRITÉRIOS</b>																	
	Frequência de carga móvel $\geq 36\text{tf}$	Regime do rio	Índice de performance	Está em meio agressivo	Ano da construção	Urgência de intervenção	Condições de estabilidade	Vibração excessiva da estrutura	Nível de vibração do tabuleiro	Acostamento	Sinalização	Defensa metálica	Barreira, guarda rod, calçada ou guarda corpo	Acréscimo de distância (km) - Rota alternativa	VDM	Condições de conservação	
<b>Preferências</b>																	
Max/Min	max	max	max	max	min	max	max			min				max	max	max	
Peso	0,070	0,025	0,061	0,044	0,037	0,085	0,244			0,140				0,093	0,111	0,090	
Escala	Alta, Média ou Baixa	Sim ou Não	Numérica	Sim ou Não	Numérica	Numérica	Boa, regular ou ruim	Boa, sofrível ou precária	Sim ou Não	Intenso ou Normal	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica	
<b>Alternativas</b>																	
OAE 067		Não	0,0549	Não		27,5	Regular	Boa	Não	Sim	Não	Sim	Sim	115	8161	Regular	
OAE 068		Não	0,0477	Não		14,5	Regular	Boa	Sim	Não	Não	Sim	Sim	30	8161	Boa	
OAE 069		Não	0,0645	Não		19		Boa	Não	Sim	Não	Sim	Sim	130	8161	Boa	
OAE 070		Não	0,013	Não		9		Boa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	2,4	8161	Boa	
OAE 072		Não	0,0047	Não		7,5	Boa	Boa	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	35	8161		
OAE 077		Sim	0,0085	Não		8,5	Boa	Boa	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	29,1	8161	Regular	
OAE 078		Não	0,0178	Não		10	Boa	Boa	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	20,5	8161	Boa	

FONTE: A autora (2018).

QUADRO 21 – MATRIZ DE DADOS APÓS CONVERSÃO DE ESCALAS

continua

CRITÉRIOS	Funcionalidade				Segurança				Tráfego		Externo														
	Capacidade de carga		Característica do leito do rio		Degradação		Exposição estrutural		Idade da OAE			Urgência de intervenção		Segurança estrutural da OAE		Segurança dos usuários		Comprimento do desvio		Tráfego médio diário		Aparência visual			
	Frequência de carga móvel ≥ 36tf	Passagem de cargas excepcionais	Regime do rio	Leito do rio	Índice de performance	Está em meio agressivo	Ano da construção	Intervenção	Condições de estabilidade	Nível de vibração excessiva da estrutura	Sinalização	Defensa metálica	Barreira, guarda rod, calçada ou guarda corpo	Acréscimo de distância (km) - Rota alternativa	VDM	Condições de conservação	max	min	max	max	max	max	max		
<b>Preferências</b>																									
Max/Min	max	max	max	max	max	min	max	max	max	max	min	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max		
Peso	0,070		0,025	0,061	0,044	0,037	0,085	0,244	0,140	0,093	0,111	0,090	0,093	0,111	0,090	0,093	0,111	0,090	0,093	0,111	0,090	0,093	0,111	0,090	
Escala	Alta, Média ou Baixa	Frequente ou Esporádica	Sim ou Não	Numérica	Sim ou Não	Numérica	Numérica	Boa, regular ou ruim	Sim ou Não	Intenso ou Normal	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica	
<b>Alternativas</b>																									
OAE 001	0	0	0	0,0166	0	0	8	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1895,5	0
OAE 002	0	0	1	0,0157	0	0	7,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1895,5	0
OAE 003	0	0	0	0,006	0	0	10,5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1895,5	0
OAE 004	0	0	0	0,0255	0	0	18,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3336	0
OAE 005	0	0	0	0,0567	0	0	17,5	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3336	1
OAE 006	0	0	0	0,0491	0	0	17,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3336	0
OAE 007	0	0	0	0,0447	0	0	22	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3336	1
OAE 008	0	0	0	0,0313	0	1990	18,5	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3336	0
OAE 011	0	0	0	0,0183	0	0	15	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3336	0
OAE 013	0	0	0	0,0309	0	0	26	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3336	1
OAE 014	0	0	0	0,0589	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3336	0
OAE 015	0	0	0	0,0464	0	2007	27,5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3336	1
OAE 016	0	0	1	0,0592	0	1959	29	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3366	3
OAE 017	0	0	1	0,0512	0	0	30,5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1961	2
OAE 018	0	0	0	0,0367	0	1980	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1961	0
OAE 019	0	0	0	0,0382	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1961	1
OAE 020	0	0	0	0,0304	0	0	15	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1961	1
OAE 021	0	0	0	0,0847	0	0	31,5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1961	1
OAE 030	0	0	0	0,0724	0	0	41,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7169	2
OAE 030a	0	0	0	0,073	0	0	48,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7169	2
OAE 031	0	0	0	0,0497	0	0	31	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7169	1

continua

CRITÉRIOS	Funcionalidade				Segurança				Tráfego		Externo										
	Capacidade de carga		Característica do leito do rio		Degradação		Exposição estrutural		Idade da OAE		Urgência de intervenção		Segurança estrutural da OAE		Segurança dos usuários		Comprimento do desvio		Tráfego médio diário	Aparência visual	
	Frequência de carga móvel ≥ 36tf	Passagem de cargas excepcionais	Regime do rio	Leito do rio	Índice de performance	Está em meio agressivo	Ano da construção	Histórico de manutenção	Condições de estabilidade	Vibração excessiva da estrutura	Nível de vibração do tabuleiro	Acostamento	Sinalização	Defensa metálica	Barreira, guarda rod, calçada ou guarda corpo	Acréscimo de distância (km) - Rota alternativa	VDM	Condições de conservação			
<b>Preferências</b>																					
Max/Min	max	max	max	max	max	min	max	max	min	min	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	
Peso	0,070	Frequente ou Esporádica	0,025	0,061	0,044	0,037	0,085	0,244	0,140	0,140	0,093	0,111	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	
Escala	Alta, Média ou Baixa	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica	Sim ou Não	Numérica	Numérica	Boa, regular ou ruim	Sim ou Não	Intenso ou Normal	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica	
<b>Alternativas</b>																					
OAE 031a	0	0	0	0,0431	0	0	29,5	2	0	0	0	0	0	1	1	0	180	0	0	1	
OAE 032a	1	0	0	0,0407	0	0	20,5	1	0	0	0	0	0	1	1	1	180	7169	2	2	
OAE 033a	1	0	1	0,061	0	0	29	2	0	0	0	0	0	1	1	1	7	7169	0	0	
OAE 039	0	0	0	0,029	0	0	10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	14	7169	0	0	
OAE 040	0	0	1	0,059	0	0	53,5	1	0	0	1	0	0	1	0	1	5,55	7169	1	1	
OAE 042a	2	0	0	0,0627	0	0	32	1	0	0	0	0	0	1	1	1	138	7169	0	0	
OAE 043a	0	0	1	0,0669	0	0	36,5	1	0	0	1	0	0	1	1	1	84,4	7169	1	1	
OAE 044	0	0	1	0,0542	0	0	27	0	0	0	0	0	0	1	1	1	34,5	7169	1	1	
OAE 045	0	0	1	0,0848	0	0	27	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3,4	0	0	0	
OAE 046a	0	0	0	0,0474	0	0	38	0	0	0	1	0	0	1	1	1	8	7169	1	1	
OAE 047	0	0	1	0,0457	0	0	27,5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3,4	7169	0	0	
OAE 050	0	0	0	0,044	0	0	16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	7169	0	0	
OAE 051a	0	0	1	0,0827	0	1971	50	1	0	0	1	0	0	1	1	1	8,5	7169	1	1	
OAE 052a	0	0	0	0,0569	0	0	44	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0,7	0	1	1	
OAE 053	0	0	0	0,0236	0	0	15	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0,5	7169	1	1	
OAE 054	0	0	0	0,0238	0	1977	13,5	2	0	0	0	0	0	0	0	1	76,4	0	1	1	
OAE 057	0	0	1	0,0322	0	0	33	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1000	0	1	1	
OAE 059	0	0	0	0,0691	0	0	19,5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	32,9	0	0	0	
OAE 060	0	0	1	0,0633	0	0	12,5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	10	0	0	0	
OAE 063	1	0	0	0,0257	0	0	19	1	0	0	0	0	0	1	1	0	550	0	1	1	
OAE 064	0	0	0	0,0492	1	0	33	2	1	1	1	0	0	1	0	1	4	0	2	2	
OAE 065	1	0	0	0,0681	0	0	36	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0,4	4787	1	1	

## conclusão

CRITÉRIOS	Funcionalidade					Segurança					Tráfego		Externo						
	Capacidade de carga		Degradação	Exposição estrutural	Idade da OAE	Segurança estrutural da OAE			Segurança dos usuários			Comprimento médio do desvio	Tráfego médio diário	Aparência visual					
	Frequência de carga móvel $\geq 36\text{tf}$	Passagem de cargas excepcionais	Regime do rio	Leito do rio	Índice de performance	Está em meio agressivo	Ano da construção	Urgência de intervenção	Condições de estabilidade	Vibração excessiva da estrutura	Nível de vibração do tabuleiro	Acostamento	Sinalização	Defensa metálica	Barreira, guarda rod, calçada ou guarda corpo	Acréscimo de distância (km) - Rota alternativa	VDM	Condições de conservação	
<b>Preferências</b>																			
Max/Min	max	max	max	max	max	max	max	max	max	min	min	max	max	max	max	max	max	max	max
Peso	0,070	0,025	0,061	0,044	0,037	0,085	0,244	0,140	0,093	0,111	0,090	0,090	0,111	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
Escala	Alta, Média ou Baixa	Frequente ou Esporádica	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica	Numérica	Numérica	Boa, regular ou ruim	Boa, regular ou precária	Sim ou Não	Intenso ou Normal	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Sim ou Não	Numérica
<b>Alternativas</b>																			
OAE 067	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	115	8161	1	1
OAE 068	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	30	8161	0	0
OAE 069	0	0	0	1	0,0645	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	130	8161	0	0
OAE 070	0	0	0	0	0,013	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2,4	8161	0	0
OAE 072	0	0	0	0	0,0047	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	35	8161	0	0
OAE 077	0	0	1	1	0,0085	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	29,1	8161	1	1
OAE 078	0	0	0	1	0,0178	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	20,5	8161	0	0

FONTE: A autora (2018).

**QUADRO 22 - ÍNDICE DE PREFERÊNCIA PONDERADA GLOBAL**

continua

CRITÉRIOS	Índice de preferência ponderada global										Fluxos de importância						
	Funcionalidade					Segurança					Tráfego			Aparência visual	Ø <sup>+</sup>	Ø <sup>-</sup>	Ø
	Capacidade de carga	Característica do leito do rio	Degradação	Exposição estrutural	Idade da OAE	Urgência de intervenção	Segurança estrutural da OAE	Segurança dos usuários	Comprimento do desvio	Tráfego médio diário	Externo						
<b>Preferências</b>	max	max	max	max	min	max	max	min	max	max	max	max	max				
Max/Min	0,070	0,025	0,061	0,044	0,037	0,085	0,244	0,140	0,093	0,111	0,090						
<b>Alternativas</b>																	
OAE 001	0	0	5	0	6	2	0	0	0	0	0	0	9	0	0,035	0,584	-0,550
OAE 002	0	30	4	0	6	0	0	0	14	9	0	0	9	0	0,072	0,562	-0,490
OAE 003	0	30	1	0	6	7	24	0	34	9	0	0	9	0	0,238	0,468	-0,230
OAE 004	0	0	10	0	6	19	0	23	9	17	0	0	17	0	0,171	0,474	-0,303
OAE 005	0	0	33	0	6	16	34	23	0	17	22	0	17	22	0,387	0,307	0,080
OAE 006	0	0	27	0	6	16	0	23	11	17	0	0	17	0	0,191	0,452	-0,261
OAE 007	0	0	22	0	6	25	34	0	10	17	22	0	17	22	0,342	0,327	0,016
OAE 008	0	0	15	0	1	19	34	23	7	17	0	0	17	0	0,339	0,391	-0,052
OAE 011	0	0	7	0	6	11	0	0	30	17	0	0	17	0	0,128	0,481	-0,354
OAE 013	0	0	14	0	6	26	0	0	0	17	22	0	17	22	0,146	0,461	-0,315
OAE 014	0	0	35	0	6	41	0	44	44	17	0	0	17	0	0,367	0,295	0,072
OAE 015	0	0	24	0	0	29	0	0	25	17	22	0	17	22	0,207	0,437	-0,230
OAE 016	0	42	37	0	5	32	24	34	39	26	49	0	26	49	0,566	0,250	0,317
OAE 017	0	30	30	0	6	35	34	44	29	12	43	0	12	43	0,574	0,190	0,384
OAE 018	0	0	17	0	2	18	0	44	41	12	0	0	12	0	0,284	0,418	-0,134
OAE 019	0	30	18	0	6	15	0	44	39	12	22	0	12	22	0,335	0,344	-0,009
OAE 020	0	0	13	0	6	11	47	34	24	12	22	0	12	22	0,484	0,288	0,196
OAE 021	0	0	48	0	6	37	48	44	36	12	43	0	12	43	0,667	0,142	0,525
OAE 030	0	0	45	0	6	45	24	23	11	28	43	0	28	43	0,487	0,244	0,243
OAE 030a	0	0	46	0	6	47	0	23	0	28	43	0	28	43	0,351	0,304	0,047
OAE 031	0	0	29	0	6	36	34	34	45	28	22	0	28	22	0,559	0,130	0,428
OAE 031a	0	0	20	0	6	34	34	34	45	0	22	0	0	22	0,480	0,222	0,258
OAE 032a	45	0	19	0	6	24	24	23	45	28	43	0	28	43	0,547	0,240	0,307
OAE 033a	45	42	38	0	6	32	34	23	19	28	0	0	28	0	0,528	0,228	0,299
OAE 039	0	0	12	0	6	5	0	0	23	28	0	0	28	0	0,135	0,462	-0,327
OAE 040	0	42	36	0	6	49	34	34	18	28	22	0	28	22	0,560	0,144	0,416
OAE 042a	49	30	39	0	6	38	24	23	43	28	0	0	28	0	0,535	0,240	0,294
OAE 043a	0	30	42	0	6	43	34	0	37	28	22	0	28	22	0,490	0,175	0,316
OAE 044	0	42	31	0	6	27	0	0	32	28	22	0	28	22	0,276	0,334	-0,058

CRITÉRIOS	Matriz de decisão com ponderação de critérios													Fluxos de importância				
	Funcionalidade						Segurança			Tráfego			Externo			Ø <sup>+</sup>	Ø <sup>-</sup>	Ø
	Capacidade de carga	Característica do leito do rio	Degradação	Exposição estrutural	Idade da OAE	Urgência de intervenção	Segurança estrutural da OAE	Segurança dos usuários	Comprimento do desvio	Tráfego médio diário	Aparência visual	max	min	max	max			
<b>Preferências</b>	Max/Min	max	max	max	min	max	max	min	max	max	max	min	max	max	max			
	Peso	0,070	0,025	0,061	0,044	0,037	0,085	0,244	0,140	0,093	0,111	0,090						
<b>Alternativas</b>																		
OAE 045	0	42	49	0	0	6	27	0	0	15	0	0	0	0,163	0,458	-0,295		
OAE 046a	0	0	25	0	0	6	44	24	0	20	28	22	22	0,373	0,297	0,076		
OAE 047	0	42	23	0	0	6	29	0	0	15	28	0	0	0,197	0,408	-0,211		
OAE 050	0	0	21	0	0	6	14	0	0	0	28	0	0	0,119	0,473	-0,354		
OAE 051a	0	30	47	0	0	4	48	34	0	21	28	22	22	0,473	0,224	0,250		
OAE 052a	0	0	34	0	0	6	46	24	23	7	0	22	22	0,365	0,351	0,014		
OAE 053	0	0	8	0	0	6	11	34	0	6	28	22	22	0,318	0,334	-0,016		
OAE 054	0	0	9	0	0	3	9	34	44	35	0	22	22	0,430	0,320	0,111		
OAE 057	0	42	16	0	0	6	39	24	34	49	0	22	22	0,464	0,268	0,196		
OAE 059	0	30	44	0	0	6	23	0	0	31	0	0	0	0,174	0,448	-0,275		
OAE 060	0	30	40	0	0	6	8	0	0	22	0	0	0	0,126	0,497	-0,371		
OAE 063	45	0	11	0	0	6	21	24	23	48	0	22	22	0,435	0,340	0,095		
OAE 064	0	30	28	49	0	6	39	48	34	17	0	43	43	0,614	0,226	0,388		
OAE 065	45	0	43	0	0	6	42	0	0	5	27	22	22	0,306	0,385	-0,079		
OAE 067	0	0	32	0	0	6	29	34	34	38	43	22	22	0,571	0,137	0,434		
OAE 068	0	0	26	0	0	6	10	24	34	28	43	0	0	0,421	0,303	0,119		
OAE 069	0	30	41	0	0	6	21	0	34	42	43	0	0	0,382	0,280	0,102		
OAE 070	0	0	3	0	0	6	4	0	0	13	43	0	0	0,138	0,480	-0,342		
OAE 072	0	0	0	0	0	6	0	0	0	33	43	0	0	0,165	0,451	-0,286		
OAE 077	0	42	2	0	0	6	3	0	0	27	43	22	22	0,223	0,407	-0,184		
OAE 078	0	30	6	0	0	6	5	0	0	26	43	0	0	0,183	0,442	-0,258		

FONTE: A autora (2018).

## 4.4.4 Resultado do ranqueamento

A partir da inserção das preferências e dos dados as OAEs na planilha eletrônica, obteve-se o ranqueamento apresentado na Tabela 15, na qual, são apresentadas outras formas possíveis de ranqueamento: Índice de Performance do Modelo EMEA, Urgência de Intervenção e Nota Técnica. O ranqueamento a ser obtido pelo modelo tem como objetivo auxiliar o gestor na priorização de OAE's para manutenção.

TABELA 15 – RANQUEAMENTO DE OAES PARA MANUTENÇÃO

continua

RANQUEAMENTO	PROMETHEE	ÍNDICE DE PERFORMANCE MODELO EMEA	URGÊNCIA DE INTERVENÇÃO	NOTA TÉCNICA
1°	OAE 021 <sup>(i)</sup> <sup>(2)</sup>	OAE 045 <sup>(1)</sup>	OAE 040 <sup>(*)</sup>	3 OAE 005
2°	OAE 067 <sup>(ii)</sup>	OAE 021 <sup>(2)</sup> <sup>(i)</sup>	OAE 051a <sup>(3)</sup> <sup>(**)</sup>	3 OAE 007
3°	OAE 031 <sup>(iii)</sup>	OAE 051a <sup>(3)</sup> <sup>(**)</sup>	OAE 030a <sup>(****)</sup>	3 OAE 016
4°	OAE 040 <sup>(*)</sup>	OAE 030a <sup>(****)</sup>	OAE 052a	3 OAE 017
5°	OAE 064	OAE 030	OAE 030	3 OAE 019
6°	OAE 017	OAE 059	OAE 046a	3 OAE 020
7°	OAE 016	OAE 065	OAE 043a	3 OAE 021 <sup>(2)</sup> <sup>(i)</sup>
8°	OAE 043a	OAE 043a	OAE 065	3 OAE 030
9°	OAE 032a	OAE 069	OAE 014	3 OAE 030a <sup>(****)</sup>
10°	OAE 033a	OAE 060	OAE 057	3 OAE 032a
11°	OAE 042a	OAE 042a	OAE 064	3 OAE 033a
12°	OAE 031a	OAE 033a	OAE 042a	3 OAE 044
13°	OAE 051a <sup>(3)</sup> <sup>(**)</sup>	OAE 016	OAE 021 <sup>(2)</sup> <sup>(i)</sup>	3 OAE 047
14°	OAE 030	OAE 040 <sup>(*)</sup>	OAE 031 <sup>(iii)</sup>	3 OAE 051a <sup>(3)</sup> <sup>(**)</sup>
15°	OAE 057	OAE 014	OAE 017	3 OAE 052.a
16°	OAE 020	OAE 052a	OAE 031a	3 OAE 053
17°	OAE068	OAE 005	OAE 016	3 OAE 054
18°	OAE 054	OAE 067 <sup>(ii)</sup>	OAE 033a	3 OAE 057
19°	OAE 069	OAE 044	OAE 015	3 OAE 064
20°	OAE 063	OAE 017	OAE 047	3 OAE 065
21°	OAE 005	OAE 031 <sup>(iii)</sup>	OAE 067 <sup>(ii)</sup>	3 OAE 067 <sup>(ii)</sup>
22°	OAE 046a	OAE 064	OAE 044	4 OAE 001
23°	OAE 014	OAE 006	OAE 045 <sup>(1)</sup>	4 OAE 002
24°	OAE 030a <sup>(****)</sup>	OAE 068	OAE 013	4 OAE 003
25°	OAE 007	OAE 005	OAE 007	4 OAE 004
26°	OAE 052a	OAE 015	OAE 032a	4 OAE 006
27°	OAE 019	OAE 047	OAE 059	4 OAE 008
28°	OAE 053	OAE 007	OAE 063	4 OAE 011
29°	OAE 008	OAE 050	OAE 069	4 OAE 013
30°	OAE 044	OAE 031a	OAE 004	4 OAE 014

conclusão

RANQUEAMENTO	PROMETHEE	ÍNDICE DE PERFORMANCE MODELO EMEA	URGÊNCIA DE INTERVENÇÃO		NOTA TÉCNICA
31°	OAE 065	OAE 032a	OAE 008	4	OAE 015
32°	OAE 018	OAE 019	OAE 018	4	OAE 018
33°	OAE 077	OAE 018	OAE 005	4	OAE 031 <sup>(iii)</sup>
34°	OAE 047	OAE 057	OAE 006	4	OAE 031a
35°	OAE 003	OAE 008	OAE 019	4	OAE 039
36°	OAE 015	OAE 013	OAE 050	4	OAE 040 <sup>(*)</sup>
37°	OAE 078	OAE 020	OAE 011	4	OAE 042a
38°	OAE 006	OAE 039	OAE 020	4	OAE 043a
39°	OAE 059	OAE 063	OAE 053	4	OAE 045 <sup>(1)</sup>
40°	OAE 072	OAE 004	OAE 068	4	OAE 046a
41°	OAE 045 <sup>(1)</sup>	OAE 054	OAE 054	4	OAE 050
42°	OAE 004	OAE 053	OAE 060	4	OAE 059
43°	OAE 013	OAE 011	OAE 003	4	OAE 060
44°	OAE 039	OAE 078	OAE 039	4	OAE 063
45°	OAE 070	OAE 001	OAE 078	4	OAE 068
46°	OAE 011	OAE 002	OAE 070	4	OAE 069
47°	OAE 050	OAE 070	OAE 077	4	OAE 070
48°	OAE 060	OAE 077	OAE 001	4	OAE 072
49°	OAE 002	OAE 003	OAE 002	4	OAE 077
50°	OAE 001	OAE 072	OAE 072	4	OAE 078

FONTE: A autora (2018).

Legenda: (i), (ii) e (iii): primeiro, segundo e terceiro na priorização do método PROMETHEE;

(1), (2) e (3): primeiro, segundo e terceiro na priorização do Modelo EMEA; e

(\*), (\*\*) e (\*\*\*) : primeiro, segundo e terceiro na priorização por Urgência de Intervenção.

Na TABELA 15, são destacadas as três primeiras OAEs no ranqueamento pelo método PROMETHEE, pelo Índice de Performance do Modelo EMEA e pela urgência de intervenção.

A OAE 021, é a primeira no ranqueamento pelo método PROMETHEE e segunda pelo ranqueamento pelo Índice Relativo do Modelo EMEA, enquanto npela Urgência de Intervenção, ocupa a 12ª posição. A OAE 067, é a segunda no ranqueamento pelo método PROMETHEE, a 18ª no Índice Relativo do Modelo EMEA e, no ranqueamento pela Urgência de Intervenção ocupa a 21ª posição. A OAE 031 é a terceira no ranqueamento pelo método PROMETHEE, enquanto no ranqueamento do Índice Relativo do Modelo EMEA ocupa a 21ª posição e pela Urgência de Intervenção ocupa a 14ª posição.

O ranqueamento das demais OAEs pelo PROMETHEE apresenta uma proximidade das posições que algumas OAEs ocupam em relação ao Índice Relativo do Modelo EMEA e à Urgência de Intervenção.

Utilizando o método das distâncias euclidianas para comparar o ranqueamento obtido pelo PROMETHEE com o Índice Relativo do Modelo EMEA e com a Urgência de Intervenção, observou-se que o ranqueamento obtido pelo PROMETHEE se aproxima mais do ranqueamento obtido pela Urgência de Intervenção (cuja soma das distâncias euclidianas entre os métodos é igual a 514) que do ranqueamento obtido pelo Índice Relativo do Modelo EMEA (cuja soma das distâncias euclidianas entre os métodos é igual a 586). A proximidade entre o ranqueamento obtido pelo PROMETHEE e pela Urgência de Intervenção, mostra que mesmo com o uso de vários critérios, o ranqueamento final se aproxima mais do ranqueamento que seria obtido por meio do critério de maior peso.

As diferenças dos resultados encontrados se devem às diferentes variáveis analisadas em cada ranqueamento. O ranqueamento por Urgência de Intervenção, leva em conta apenas uma variável, que é a urgência dos reparos na OAE. O ranqueamento pelo Índice de Performance do Modelo EMEA considera cinco parâmetros: manifestação patológica, elemento estrutural em que a manifestação patológica ocorre, intensidade do dano, extensão de propagação do dano nos demais elementos e urgência de intervenção. Já a hierarquização realizada pelo PROMETHEE buscou atender a onze critérios, reunindo o melhor resultado para atender aos vários objetivos incluídos na tomada de decisão.

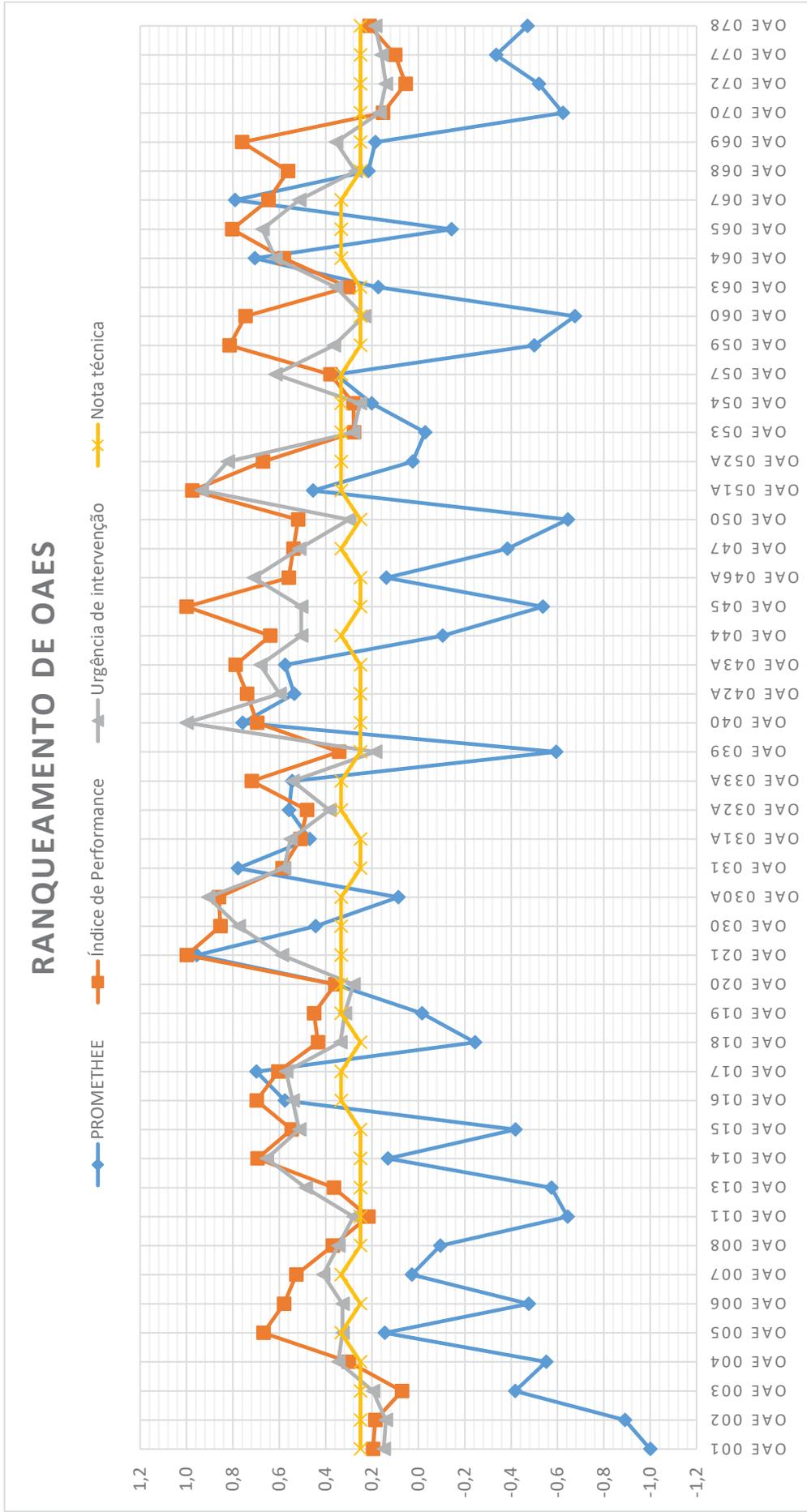
A classificação das OAEs pela Nota Técnica foi adicionada à TABELA 15. Nesta classificação existem apenas dois grupos, um com nota 3 e outro com nota 4 (separados por uma linha de maior espessura), e é possível observar que, utilizar apenas a Nota Técnica como critério de ranqueamento pode dificultar o processo de decisão para o decisor.

Na FIGURA 23 é apresentado um gráfico com os quatro ranqueamentos apresentados anteriormente. No gráfico, os valores dos métodos PROMETHEE, Índice de Performance e Urgência de Intervenção estão normalizados, isto é, cada valor foi dividido pelo maior (em módulo) de cada um dos métodos. Nestes métodos, quanto maior a nota da OAE, pior seu estado. Com relação a Nota técnica, foi colocado o valor inverso da nota, dado que quanto menor a nota da OAE, pior seu estado. Assim, no gráfico, os maiores valores em cada método, representam

prioridade de intervenção. Observa-se pelo gráfico, que as OAE's apresentam desempenho semelhante nos métodos PROMETHEE, Índice de Performance e Urgência de Intervenção.

Apesar da Nota Técnica apresentar apenas dois valores, é possível observar pelo gráfico, que a Nota Técnica de algumas OAE's tem correspondência com os valores obtidos nos outros métodos, ou seja, algumas OAE's como as das extremidades do gráfico, apresentam notas baixas nos quatros método apresentados.

FIGURA 23 - RANQUEAMENTO DE OAES



FONTE: A autora (2018).

#### 4.5 AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA

O modelo proposto inclui, como primeira etapa, a definição dos critérios a serem considerados no ranqueamento. Os critérios obtidos da revisão de literatura foram considerados adequados pelos especialistas consultados, e compõe o modelo e o ranqueamento exposto. Caso seja considerado necessário, podem ser acrescentados outros critérios ao modelo.

A segunda etapa do modelo consiste na ponderação dos critérios a serem levados em consideração na priorização de OAEs, feita utilizando o método AHP. A ponderação apresentada, obtida por meio de consulta a especialistas, pode ser utilizada para outras priorizações caso seja considerada adequada, ou pode ser feita uma nova ponderação, segundo as preferências do decisor.

A última etapa consiste no ranqueamento das estruturas, utilizando método multicritério de tomada de decisão, o PROMETHEE. A aplicação deste método considera as preferências do decisor e o algoritmo de avaliação aos pares das alternativas, deve ser efetuado por meio de ferramentas de Análise Multicriterial.

Como parte do modelo, foi elaborada uma ferramenta de apoio à decisão, constituída por planilhas eletrônicas, nas quais, para definição dos pesos dos critérios, é possível aplicar o método AHP, com um grupo de até 20 pessoas. Além daqueles já selecionados para este modelo, outros critérios e subcritérios podem ser acrescentados.

A ferramenta contempla em uma de suas planilhas, a aplicação do PROMETHEE, para ranqueamento de até 50 OAEs. Nesta planilha, podem ser inseridas as preferências do decisor e as avaliações das OAEs de acordo com cada critério de priorização. Nas preferências de pesos, podem ser utilizados os pesos obtidos do AHP ou conforme a preferência do decisor. Outros 10 critérios podem ainda ser acrescentados à planilha, por meio de quatro escalas pré-determinadas (sim ou não, frequência, condição e numérica).

Esta ferramenta tem como objetivo ser flexível, em se tratando de critérios e pesos, acessível e de fácil utilização pelo decisor.

Para certificar que a ferramenta fornece resultados corretos, as avaliações dos decisores para ponderação e o ranqueamento das OAEs foram também implementados em softwares gratuitos em sua versão educacional, *SuperDecisions* e *VisualPROMETHEE*. Os resultados obtidos por meio dos softwares foram coerentes

com aqueles calculados pelas planilhas, apresentando pequenas variações quando utilizado um número diferente de casas decimais.

A fim de avaliar a ferramenta criada, foi elaborado e enviado aos especialistas consultados, um questionário sobre sua usabilidade. O questionário utilizado, apresentado no Apêndice B, foi elaborado exclusivamente para esse estudo, apresentando questões com o intuito de identificar se os objetivos estabelecidos anteriormente foram atingidos.

Foram consultados três dos dez especialistas já participantes dessa pesquisa. Segundo esses especialistas, as avaliações de usabilidade da ferramenta foram consideradas positivas, principalmente no que se refere a apresentar as instruções de forma clara.

## 5 CONCLUSÕES

Além das conclusões sobre a pesquisa, esta seção também apresenta sugestões para trabalhos futuros, como continuação do tema pesquisado. O objetivo geral desta dissertação era propor um modelo de tomada de decisão baseado em uma análise multicritério para a priorização de intervenções de manutenção em OAEs. O modelo desenvolvido, apresenta critérios de priorização, considerando as preferencias do decisor e ranqueamento de OAEs para intervenção.

Para o desenvolvimento deste modelo, primeiramente foi realizada uma revisão sistemática da literatura para identificar quais métodos multicritério de tomada de decisão poderiam ser utilizados para a ponderação dos critérios e ranqueamento das OAEs. Na sequência, outra revisão sistemática da literatura foi realizada para identificar quais critérios deveriam compor o modelo de priorização, atendendo assim, ao primeiro objetivo específico.

Três métodos foram utilizados, o primeiro, Delphi, para confirmar os critérios selecionados da literatura por meio da revisão sistemática. Esta etapa da pesquisa serviu como uma validação da revisão sistemática, confirmando com especialistas o que foi encontrado na literatura como critérios importantes de priorização de OAEs.

Os outros dois métodos foram escolhidos para efetivamente modelar o problema (AHP e PROMETHEE), pois possuem estruturas lógicas e de tratamento de dados bem definidas, são de fácil aplicação, podem ser aplicados tanto em grupo como individualmente e possuem transparência nos resultados. Assim, compreende-se que as respostas obtidas por meio destes métodos são de grande importância para auxiliar o decisor no processo de tomada de decisão sobre priorização de OAEs para manutenção.

A partir da criação de instrumentos de coleta e planilhas para tratamento de dados para o modelo, atingiu-se o segundo objetivo específico deste trabalho, que consiste na elaboração de uma ferramenta de apoio à decisão em planilha eletrônica. Os resultados obtidos a partir dessa ferramenta em planilha eletrônica são coerentes com aqueles obtidos usando softwares, apresentando pequenas diferenças de acordo com o número de casas decimais utilizadas.

A avaliação do modelo, permitiu avaliar a usabilidade do modelo proposto e como os resultados gerados pelo modelo poderiam auxiliar à tomada de decisão por parte dos decisores. Foi possível observar o resultado de um ranqueamento obtido

através do modelo e compará-lo com outras formas de ranqueamento, inclusive com a forma atual, utilizada pelo DNIT, a Nota Técnica. Nesta avaliação, o ranqueamento criado apresenta alguma proximidade de posições em relação às outras classificações (Índice Relativo do Modelo EMEA e Urgência de Intervenção).

Os resultados obtidos com o modelo permitiram obter uma ponderação de critérios feita por especialistas, utilizando o AHP, e necessária para o ranqueamento pelo método PROMETHEE. O ranqueamento tem como objetivo auxiliar o decisor a selecionar OAEs para manutenção. Vale ressaltar que os pesos adotados nesta dissertação podem ser alterados de acordo com as preferências do decisor, como também, outros critérios podem ser acrescentados.

Na engenharia das OAEs, a priorização destas estruturas para manutenção é um problema usual. Ao estruturar os parâmetros e critérios, identificando a importância de cada um deles para a priorização de OAEs, o modelo permite ao decisor tomar decisões fundamentadas em métodos estruturados, de forma a atender aos critérios importantes, da melhor maneira possível.

Assim, o modelo pode ser adotado pelos decisores para realizar o ranqueamento das OAEs, buscando fornecer adequadamente manutenção para estas estruturas em tempo hábil e estabelecer a prioridade do financiamento, o que poderia ajudar a reduzir as chances de uma falha catastrófica, uma vez que a manutenção pode ser realizada de forma prioritária.

Por fim, sugere-se como trabalho futuro desenvolver métodos de avaliação de OAEs segundo os critérios não avaliados neste modelo, principalmente relacionados a custo, critério este bastante mencionado nos artigos encontrados na revisão sistemática de literatura. Assim, seria possível obter um modelo mais abrangente, para auxiliar o decisor no processo de tomada de decisão.

Sugere-se também, aplicar o método PROMETHEE II em um caso real, comparando a aplicação de cenários diferentes na tomada de decisão em relação a prioridade das intervenções em OAEs, bem como realizar uma análise comparativa do método PROMETHEE II com outros métodos matemáticos, na análise da prioridade de intervenção em OAEs

## REFERÊNCIAS

- ABU DABOUS, S.; ALKASS, S. A multi-attribute ranking method for bridge management. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 17, n. 3, p. 282-291, 2010. DOI 10.1108/09699981011038079.
- ABU DABOUS, S.; ALKASS, S. Decision support method for multi-criteria selection of bridge rehabilitation strategy. **Construction Management and Economics**, v. 26, n. 8, p. 883-893, 2008. DOI: 10.1080/01446190802071190.
- ABU DABOUS, S.; ALKASS, S. Managing bridge infrastructure under budget constraints: a decision support methodology. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 38, n. 11, p. 1227-1237, 2011. DOI: 10.1139/L11-082.
- ALBUQUERQUE, F. S.; NÚÑEZ, W. P. Critérios para a tomada de decisão em obras rodoviárias sustentáveis. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 3, p. 151-163, 2010.
- ALMEIDA, J. A. **Modelo multicritério para seleção de portfólio de projetos de sistema de informação**. 2012. 115f. Tese (Doutor em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- AMINBAKHS, S.; GUNDUZ, M.; SONMEZ, R. Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. **Journal of Safety Research**, v. 46, p. 99–105, 2013. DOI: 10.1016/j.jsr.2013.05.003.
- AMIN, N. M.; KADIR, N.; JAMADIN, A. Condition rating system of bridges in Malaysia: A case study. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 12, n. 4, p. 787-791, 2017.
- AMINI, A.; NIKRAZ, N.; FATHIZADEH, A. Identifying and evaluating the effective parameters in prioritization of urban roadway bridges for maintenance operations. **Australian Journal of Civil Engineering**, v. 14, n. 1, p. 23-34, 2016. DOI: 10.1080/14488353.2015.1092640.
- ARAÚJO NETO, G. N. **Contribuição ao desenvolvimento de técnicas de monitoramento remoto para blocos de fundação de edifícios em concreto armado com vistas à durabilidade**. 2012. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia de Construção Civil da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9241-11**: Requisitos Ergonômicos para Trabalho de Escritórios com Computadores Parte 11 – Orientações sobre Usabilidade. Rio de Janeiro, 2002.
- AUGERI, M. G. et al. Dominance-based rough set approach to network bridge management. **The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**, v. 9, n. 1, p. 31-31, 2014. DOI:10.3846/bjrbe.2014.05.

BACK, F. T. E. E.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Gestão por competência dos profissionais através de um modelo multicritério construtivista. **Produto & Produção**, v. 13, n. 3, 2012.

BAILEY, D. M.; GRENZEBACK, L. R. **Evaluation of Existing Bridge Maintenance Management Practices for Application to the Army**. Construction Engineering Research Lab (Army) Champaign Il, 1987.

BALALI, V. et al. Selection of appropriate material, construction technique, and structural system of bridges by use of multicriteria decision-making method. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2431, p. 79-87, 2014. DOI: 10.3141/2431-11.

BAO, Q.; RUAN, D.; SHEN, Y.; HERMANS, E.; JANSSENS, D. Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation. **Knowledge-based systems**, v. 32, p. 84-90, 2012. DOI: 10.1016/j.knosys.2011.08.014.

BERTONCINI, C.; BRITO, A.; LEME, E.; SILVA, I.; SILVA, T. F. D.; PERRI, R. A Processo decisório: a tomada de decisão. **Revista FAEF**. Garça, SP, v. 5, n. 3, p. 8-34, 2013.

BOLAR, A. A.; TEFAMARIAM, S.; SADIQ, R. Quality Function Deployment (QFD) for Bridge Maintenance. In: **International Specialty Conference on Sustaining Public Infrastructure**, 1, 2012.

BORTOLUZZI, S. C.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Avaliação de desempenho multicritério como apoio à gestão de empresas: Aplicação em uma empresa de serviços. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 3, p. 633-650, 2011.

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. DOI: 10.1016/0377-2217(86)90044-5.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Glossário de termos técnicos rodoviários**. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro, 1999.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Geral. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Manutenção de Obras de Arte Especiais – OAEs**. 1. ed. Brasília, 2016.

\_\_\_\_\_. Tribunal de Contas da União. Auditoria operacional nas atividades de manutenção, conservação e reparo de obras de arte especiais (pontes, viadutos e outros) das rodovias federais. Unidade: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). TC 003.134/2011-3. 2012.

BRERETON, P. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of Systems and Software**, v. 80, n. 4, p. 571–583, 2007. DOI:10.1016/j.jss.2006.07.009.

CAFISO, S. et al. Multicriteria analysis method for pavement maintenance management. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 1816, p. 73-84, 2002. DOI: 10.3141/1816-09.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2012. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CHASSIAKOS, A. P.; VAGIOTAS, P.; THEODORAKOPOULOS, D. D. A knowledge-based system for maintenance planning of highway concrete bridges. **Advances in Engineering Software**, v. 36, n. 11, p. 740-749, 2005. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2005.03.020.

CHEN, Zhen et al. ANP experiment for demolition plan evaluation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 2, p. 06013005, 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000791.

CHEN, M. H. et al. Bridge maintenance prioritization through visual inspection results. In: **Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization**, CRC Press, 2010. DOI: 10.1201/b10430-472.

CHENG, M. Y.; HOANG, N. D. Risk score inference for bridge maintenance project using evolutionary fuzzy least squares support vector machine. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 28, n. 3, p. 04014003, 2014. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000275.

ĆOSIĆ, M.; FOLIĆ, R.; FOLIĆ, B. Multidisciplinary Approach to the Assessment of Seismic Performances and Rehabilitation of Bridges: Nonlinear Analyses, Probability Theory and Optimization Theory. **Procedia Engineering**, v. 156, p. 83-90, 2016. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.271.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **NORMA DNIT 010**: Inspeção em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. Assessoria de Imprensa. **Audiência pública detalha programa de recuperação de pontes – PROARTE**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/dnit-realizou-audiencia-publica-para-proarte>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

\_\_\_\_\_. **Instrução de serviço de 06 de julho de 2016**. Disponível em: <[http://www.dnit.gov.br/instrucoes-normativas/instrucoes-de-servicos/instrucoes-de-servico-por-ano/2016/IS\\_DGN14.2016](http://www.dnit.gov.br/instrucoes-normativas/instrucoes-de-servicos/instrucoes-de-servico-por-ano/2016/IS_DGN14.2016)>. Acessado em: 14 jun. 2017.

\_\_\_\_\_. **Pontes e viadutos das rodovias federais estão em boas condições**. 23 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/pontes-e-viadutos-das-rodovias-federais-estao-em-boas-condicoes>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

\_\_\_\_\_. Unidade de Programas Especiais. **Programa de Manutenção e Reabilitação de Obras de Arte Especiais**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/sala-de-imprensa/imagens-noticias/apresentacao-proarte-audiencia-22012011-r10.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. **Multicriteria decision aid classification methods**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre, Bookman, 2015.

ELHAG, T. M. S; WANG, Y. M. Risk assessment for bridge maintenance projects: neural networks versus regression techniques. **Journal of computing in civil engineering**, v. 21, n. 6, p. 402-409, 2007. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3801(2007)21:6(402).

ENSSLIN, L.; BORGERT, A. A gestão de custos no processo decisório das organizações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 1998. **Anais...** Fortaleza, 1998, p. 453-466.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FRANGOPOL, D.M., et al. Integration of NDE in life-cycle cost of highway bridges. In: The 1999 Structures Congress, 1999, New Orleans, Louisiana. **Proceedings...** American Society of Civil Engineers, 1999. p. 825-828.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pd>>. Acesso em: 8 maio 2016.

GERVÁSIO, H.; SILVA, L. S. A probabilistic decision-making approach for the sustainable assessment of infrastructures. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 8, p. 7121-7131, 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.01.032.

GOKEY, J. et al. Development of a prioritization methodology for maintaining Virginia's bridge infrastructure systems. In: Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS'09), 2009. **Proceedings...** Charlottesville: IEEE, 2009. p. 252-257. DOI: 10.1109/SIEDS.2009.5166190.

GUYER, R. C.; LAMAN, J. A. Short-line railroad management system for bridge prioritization. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 2, n. 1, p. 25-40, 2012. DOI: 10.1108/20441241211235035.

GRIERSON, D. E. Pareto multi-criteria decision making. **Advanced Engineering Informatics**, v. 22, n. 3, p. 371-384, 2008. DOI:10.1016/j.aei.2008.03.001.

HAGHIGHAT, F. Application of a multi-criteria approach to road safety evaluation in the Bushehr Province, Iran. **PROMET-Traffic&Transportation**, v. 23, n. 5, p. 341-352, 2011. DOI: 10.7307/ptt.v23i5.152.

HEARN, G.; JOHNSON, B. Identification and Tracking of Highway Bridge Maintenance. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2220, p. 12-20, 2011. DOI: 10.3141/2220-02.

HONG, T.; HASTAK, M. Evaluation and determination of optimal MR&R strategies in concrete bridge decks. **Automation in construction**, v. 16, n. 2, p. 165-175, 2007. DOI: 10.1016/j.autcon.2006.03.002.

HSU, H. C. et al. Small and medium size bridge maintenance sequence analysis by optimization technique. In: International Conference Nn Bridge Maintenance, Safety and Management, 3, Porto, Portugal. **Proceedings...** Londres: Taylor & Francis Group, 2006. p. 99.

HUANG, F.; CHEN, Z. Sequence of urban bridge maintenance and repair based on Multiple factors. **Applied Mechanics and Materials**, v. 405-408, p. 1682-1686. 2013. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.405-408.1682.

JAJAC, N.; MAROVIĆ, I.; HANÁK, T. Decision support for management of urban transport projects. **Građevinar: časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera**, v. 67, n. 2, p. 131-141, 2015. DOI: 10.14256/JCE.1160.2014.

JAKIEL, P.; FABIANOWSKI, D. FAHP model used for assessment of highway RC bridge structural and technological arrangements. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 8, p. 4054-4061, 2015. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.12.039.

JUSTUS, D., WAKCHAURE, S. S., JHA, K. N. Prioritising concrete bridges for maintenance using reliability index based on visual inspection. **Indian Concrete Journal**, v. 90, n. 2, p. 42-53, 2016.

KALAMARAS, G. S. et al. Application of multicriteria analysis to select the best highway alignment. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 15, n. 4, p. 415-420, 2000. DOI:10.1016/S0886-7798(01)00010-4.

- KHADEMI, N.; SHEIKHOLESAMI, A. Multicriteria group decision-making technique for a low-class road maintenance program. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 16, n. 3, p. 188-198, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000023.
- KIRSCHBAUM, C. Decisões entre pesquisas quali e quanti sob a perspectiva de mecanismos causais. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 28, n. 82, 2013.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004. DOI:10.1.1.122.3308.
- KLUNGBOONKRONG, P.; TAYLOR, M. A. P. An integrated planning tool for evaluating road environmental impacts. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 14, n. 5, p. 335-345, 1999. DOI: 10.1111/0885-9507.00152.
- KROHLING, R. A.; SOUZA, T. Dois exemplos da aplicação da técnica TOPSIS para tomada de decisão. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA, Macaé**, v. 1, n. 8, p. 31-35, 2011.
- LEE, J. et al. Improving the reliability of a Bridge Management System (BMS) using an ANN-based Backward Prediction Model (BPM). **Automation in Construction**, v. 17, n. 6, p. 758–772, 2008. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.02.008.
- LEITE, I. M. S.; FREITAS, F. F. T. Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério à decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEÉ. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 32, 2012. **Anais...** Bento Gonçalves-RS: ABEPRO, 2102.
- LEMOS, F. S. B.; VIEIRA, R. G.; KNISS, J. Uma Abordagem Multicriterial Utilizando o Método ANP para Análise de Centralidade em Redes Sociais Online. In: Workshop de Redes P2P, Dinâmicas, Sociais e Orientadas a Contendo-WP2P, 9, 2014, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2014. p. 39-52.
- LEÓN ESCOBEDO, D.; ACOSTA, A. T. Bridge preventive maintenance based on life-cycle assessment. **Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia**, v. 33, n. 1, 2010.
- LEVIÄKANGAS, P.; LÄHESMAA, J. Profitability evaluation of intelligent transport system investments. **Journal of Transportation Engineering**, v. 128, n. 3, p. 276-286, 2002. 10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:3(276).
- LI, Z.; SINHA, K. C. Methodology for the determination of relative weights of highway asset management system goals and of performance measures. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 15, n. 2, p. 95-105, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2009)15:2(95).
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 781-801, 2013.
- LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. The Delphi Method. **Techniques and applications**, v. 53, 2002.

LIU, M.; FRANGOPOL, D. M. Balancing connectivity of deteriorating bridge networks and long-term maintenance cost through optimization. **Journal of Bridge Engineering**, v. 10, n. 4, p. 468-481, 2005a. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0702(2005)10:4(468).

LIU, M.; FRANGOPOL, D. M. Managing bridge networks using reliability and multiple cost criteria. In: *Advances in Reliability and Optimization of Structural Systems: Proceedings 12th IFIP Working Conference on Reliability and Optimization of Structural Systems*, Aalborg, Denmark, 22-25 May, 2005b. CRC Press, 2005. p. 41.

LIU, M.; FRANGOPOL, D. M. Optimal bridge maintenance planning based on probabilistic performance prediction. **Engineering Structures**, v. 26, n. 7, p. 991-1002, 2004. DOI: 10.1016/j.engstruct.2004.03.003.

LIU, M.; FRANGOPOL, D. M. Optimizing bridge network maintenance management under uncertainty with conflicting criteria: Life-cycle maintenance, failure, and user costs. **Journal of structural Engineering**, v. 132, n. 11, p. 1835-1845, 2006. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)132:11(1835).

LIU, M.; FRANGOPOL, D. M. Maintenance planning of deteriorating bridges by using multiobjective optimization. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 11s, p. 491-500, 2005c. DOI: 10.3141/trr.11s.w314312t0x87x5v7.

LOUNIS, Z. Network-level bridge management using a multiobjective optimization decision model. In: **First CSCE specialty conference on infrastructure technologies, Management and policy**, Toronto. 2005. p. 121-1 – 121-9.

LWAMBUKA, L.; MTENGA, P. V. Bridge management strategy based on extreme user costs for bridge network condition. **Advances in Civil Engineering**, v. 2014, 2014. DOI: 10.1155/2014/390359.

MADEIRA, J. G. F. **Escolha de ferramenta de apoio à tomada de decisão para escolha de sítio para rejeitos de alta atividade**. 2013. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. 3.reimpr. São Paulo-SP: Blucher, 2013.

MARDANI, A. et al. Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, v. 28, n. 1, p. 516-571, 2015. DOI: 10.1080/1331677X.2015.1075139.

MARKIZ, N.; JRADE, A. Integrating a fuzzy-logic decision support system with bridge information modelling and cost estimation at conceptual design stage of concrete box-girder bridges. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 1, p. 135-152, 2014. DOI: 10.1016/j.ijbsbe.2014.08.002.

MEDEIROS, M. A.; CYBIS, W. A. Método de avaliação de usabilidade de software a partir da satisfação de usuários e da aplicação de quesitos da norma ISO 9241. In: IHC'2000–III Workshop sobre Fatores Humanos em Sistemas de Computação. 2000. p. 93-101. Disponível em:

<<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/ihc/2000/0002.pdf>>. Acessado em 1 de fev. 2017.

MEDINA, G. H. J. M. Impacto económico del regadío sobre el desarrollo local en España. In: Reunión Anual ASEPELT, 21, 2007, Valladolid. **Anais...** Valladolid: ASEPELT, 2007. p. 103-115.

MENDES, L. C. et al. Pontes em concreto armado em meios de elevada agressividade ambiental. In: Congreso de Patología y Recuperación de Estructuras, 6, 2010, Córdoba. **Anais...** Córdoba: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 2010. p. 29. Disponível em:

<[http://www.edutecne.utn.edu.ar/cinpar\\_2010/Topico%201/CINPAR%20073.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/cinpar_2010/Topico%201/CINPAR%20073.pdf)>. Acessado em 15 de jun. 2017

MILD, P.; LIESIÖ, J.; SALO, A. Selecting infrastructure maintenance projects with Robust Portfolio Modeling. **Decision Support Systems**, v. 77, p. 21-30, 2015. DOI:10.1016/j.dss.2015.05.001.

MITRE, M. P. **Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto**. 2005. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MORCOUS, G. Pareto analysis for multicriteria optimization of bridge preservation decisions. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 1991, p. 62-68, 2007. DOI: 10.3141/1991-08

MÜLLER, R. **Critérios para o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários no Estado do Paraná**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

NASCIMENTO, V. D. **Envelhecimento das obras civis: identificação das patologias e estudo de recuperação e reforço das estruturas de concreto – análise de algumas pontes e viadutos de São Paulo-SP**. 2013, 163f. Monografia (Especialização em Construção Civil) , – Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://dspace.mackenzie.br/handle/10899/330>>.

NURDIN, A.; KRISTIAWAN, S. A.; DEWI, H. Determination of the bridge maintenance and rehabilitation priority scale in kabupaten Pinrang. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2017. p. 012070. DOI: 10.1088/1742-6596/795/1/012070.

ODOKI, J. B.; DI GRAZIANO, A.; AKENA, R. A multi-criteria methodology for optimising road investments. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport**. Thomas Telford Ltd, 2015. p. 34-47. DOI: 10.1680/tran.12.00053.

OLIVEIRA, G. A. Q. S. M. **Avaliação do desempenho de projetos de smart grids utilizando métodos multicritério de apoio à tomada de decisão**. 2015.133 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

OPRICOVIC, S. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 10, p. 12983-12990, 2011. DOI: /10.1016/j.eswa.2011.04.097.

OUMA, Y. O. et al. Optimization of urban highway bypass horizontal alignment: a methodological overview of intelligent spatial MCDA approach using fuzzy AHP and GIS. **Advances in Civil Engineering**, v. 2014, 2014. DOI: 10.1155/2014/182568.

PAN, N. F. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method. **Automation in construction**, v. 17, n. 8, p. 958-965, 2008. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.03.005.

PANOUE, K. D.; SOFIANOS, A. I. A fuzzy multicriteria evaluation system for the assessment of tunnels vis-à-vis surface roads: The WPMA case – part II. **Tunnelling and underground space technology**, v. 17, n. 2, p. 209-219, 2002a. DOI: 10.1016/S0886-7798(02)00007-X.

PANOUE, K. D.; SOFIANOS, A. I. A fuzzy multicriteria evaluation system for the assessment of tunnels vis-à-vis surface roads: theoretical aspects – part I. **Tunnelling and underground space technology**, v. 17, n. 2, p. 195-207, 2002b. DOI: 10.1016/S0886-7798(02)00006-8.

PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007. DOI: 10.2753/MIS0742-1222240302.

PEREIRA, S. L. P. Utilização do método multicritério PROMÉTHÉE para definição da ordem de desenvolvimento de programas de indicadores de negócio. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 36, 2004, São João del Rey. **Anais...** São João del Rey: SOBRAPO, 2004, p. 1135 – 1146.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

RANGEL, D. A. **Proposta de um procedimento para identificar, avaliar e priorizar riscos em cadeias de suprimentos**. 2012. 223 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

RASHIDI, M.; GIBSON, P. Proposal of a Methodology for Bridge Condition Assessment. **Australasian Transport Research Forum**, 2011, p 1-13. Disponível em: <<http://ro.uow.edu.au/engpapers/1278>>. Acessado em 15 de jun. 2017.

RASHIDI, M.; LEMASS, B.; GIBSON, P. A decision support system for concrete bridge maintenance. In: LU, Jane WZ et al. (Ed.). **AIP Conference Proceedings**. AIP, 2010. p. 1372-1377. DOI: 10.1063/1.3452105.

RASHIDI, M.; SAMALI, B.; SHARAFI, P. A new model for bridge management: Part A: condition assessment and priority ranking of bridges. **Australian Journal of Civil Engineering**, v. 14, n. 1, p. 35-45, 2016. DOI: 10.1080/14488353.2015.1092641

REGUANT-ÁLVAREZ, M.; TORRADO-FONSECA, M. El método Delphi. **REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació**, v. 9, n. 1, p. pp. 87-102, 2016. DOI:10.1344/reire2016.9.1916.

RODRIGUES, R. M. S. C. O. **Construções antigas de madeira: Experiência de obra de reforço estrutural**. 2004, 287 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, Universidade do Minho, Minho, 2004.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Netherland: Kluwer academic publishers, 1996.

SAATY, T. L. How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9–26, 1990. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I).

SAN CRISTÓBAL, J. R. Contractor selection using multicriteria decision-making methods. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 6, p. 751-758, 2011. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000488.

SALOMON, V.; MONTEVECCHI, J. Método de análise em redes: sucessor do método de análise hierárquica. **Produto & Produção**, v. 3, n. 2, p. 107-117, 1998.

SILVA, C. F.; FABIANI, A. L. T. Modelo matemático de ranqueamento: avaliação do gabarito de pontes. **Revista Técnico-Científica do Crea-PR**, Edição especial, 2017.

SILVA, C. F.; SANTOS FILHO, M. L. Aplicação do modelo matemático para ranqueamento de obras de arte especiais desenvolvido pelo Escritório Modelo De Engenharia Civil–EMEA/UFPR – um estudo de caso. **Revista Técnico-Científica do Crea-PR**, Edição especial, 2017.

SILVESTRO, L.; MORAIS, L.; SANTOS FILHO, M. L. Estudo comparativo da aplicação do modelo UFPR de inspeção em obras de arte especiais localizadas em rodovias com diferentes características de tráfego. In: Reunião Anual de Pavimentação, 45; Encontro Nacional de Conservação, 19; Fórum Rodoviário, de Trânsito e de Mobilidade, 1; 2016, Brasília. **Anais... 45º Reunião Anual de Pavimentação, 19º Encontro Nacional de Conservação e 1º Fórum Rodoviário, de Trânsito e de Mobilidade**, 2016. v. 1. p. 1-11.

SITTER, W. R. Costs for service life optimization. The Law of fives. In: International CEBRILEM workshop on durability of concrete structures. **Proceedings...** Copenhagen: CEBRILEM, 1984, p.18-20.

SORDYL, J. Application of the AHP method to analyze the significance of the factors affecting road traffic safety. **Transport Problems**, v. 10, n. 2, p. 57-68, 2015.

THOMPSON, Paul D. Decision Support Analysis in Ontario's New Bridge Management System. In: **Structures 2001: A Structural Engineering Odyssey**. 2001. p. 1-2. DOI: 10.1061/40558(2001)50.

TRACY, R. G. SCHEDULING THE BRIDGE DECK REPAIR PROGRAM. **Public Works**, v. 3, n. 1, p. 44-47, 1980.

TSERNG, H. P.; CHUNG, C. L. Health assessment and maintenance strategy for bridge management systems: Lessons learned in Taiwan. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 13, n. 3, p. 235-246, 2007. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:3(235).

VACHEYROUX, G.; COROTIS, R. Strategies of investment in the management of urban bridges. In: International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, 5, 2010. **Proceedings...** CRC Press, 2010. p. 1277-1284. DOI: 10.1201/b10430-183.

VACHEYROUX, G.; COROTIS, R. Strategies of investment in the management of urban bridges: a life-cycle approach illustrated for Paris. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 9, n. 11, p. 1080-1093, 2013. DOI: 10.1080/15732479.2012.665464.

VAGIOTAS, P.; CHASSIAKOS, A. P.; THEODORAKOPOULOS, D. D. Modelling Expert Decisions for Highway Bridge Maintenance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO CIVIL AND STRUCTURAL ENGINEERING, 7. **Proceedings...** Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 13, 2003. DOI:10.4203/ccp.78.13.

VALENZUELA, S.; SOLMINIHAC, H.; ECHAVEGUREN, T. Proposal of an integrated index for prioritization of bridge maintenance. **Journal of Bridge Engineering**, v. 15, n. 3, p. 337-343, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000068.

VARGAS, R. V. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process-AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. In **PMI Global Congress**, v. 29, p. 31, 2010.

VERLY, R. C. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 178 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/19260>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

VINHAL, G.; LEITE, H. "**Foi negligência pública**", diz especialista sobre **desabamento de viaduto Correio Braziliense**. Correio Brasiliense, Brasília, 06 fev. 2018. Disponível em:

<[https://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/cidades/2018/02/06/interna\\_cidad esdf,658142/foi-negligencia-publica-diz-especialista-sobre-desabamento-de-viadu.shtml](https://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/cidades/2018/02/06/interna_cidad esdf,658142/foi-negligencia-publica-diz-especialista-sobre-desabamento-de-viadu.shtml)>. Acesso em: 17 de abril de 2018.

VITÓRIO, J. A. P. Avaliação do grau de risco estrutural de pontes rodoviárias de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2008.

VUČIJAK, B.; PAŠIĆ, M.; ZORLAK, A. Use of multi-criteria decision aid methods for selection of the best alternative for the highway tunnel doors. **Procedia Engineering**, v. 100, p. 656-665, 2015. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.01.417.

WAKCHAURE, S. S.; JHA, K. N. Prioritization of bridges for maintenance planning using data envelopment analysis. **Construction Management and Economics**, v. 29, n. 9, p. 957-968, 2011. DOI: 10.1080/01446193.2011.614267.

WANG, C. S. et al. Life-cycle cost based maintenance and rehabilitation strategies for cable supported bridges. **International Journal of Advanced Steel Construction**, v. 11, n. 3, p. 395-410, 2015. DOI: 10.18057/IJASC.2015.11.3.12.

WANG, Y. M.; ELHAG, T. M. S. An adaptive neuro-fuzzy inference system for bridge risk assessment. **Expert systems with applications**, v. 34, n. 4, p. 3099-3106, 2008. DOI: 10.1016/j.eswa.2007.06.026.

WANG, Y. M.; LIU, J.; ELHAG, T. M. S. An integrated AHP–DEA methodology for bridge risk assessment. **Computers & industrial engineering**, v. 54, n. 3, p. 513-525, 2008. DOI:10.1016/j.cie.2007.09.002.

WARDHANA, K.; HADIPRIONO, F. C. Analysis of recent bridge failures in the United States. **Journal of performance of constructed facilities**, v. 17, n. 3, p. 144-150, 2003.

WATANABE, E., et al. Study for bridge renewal and repair by Osaka municipal government. In: Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization. **Proceedings...** 5th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, p. 2614-2619, 2010.

WEI, X.; SINGH, G. GIS model for concrete bridge maintenance database. In: **Infrastructure Condition Assessment: Art, Science, and Practice**. ASCE, 1997. p. 267-276.

WIETHOFF, M. et al. A methodology for improving road safety by novel infrastructural and invehicle technology combinations. **European transport research review**, v. 4, n. 2, p. 67-77, 2012. DOI: 10.1007/s12544-011-0065-2.

WILSON, F. R.; PAN, W.; SCHUMSKY, D. A. Recalculation of the critical values for Lawshe's content validity ratio. **Measurement and Evaluation in Counseling and Development**, v. 45, n. 3, p. 197-210, 2012.

YAU, N. J.; CHUANG, Y. H. Analyzing Taiwan Bridge Management System for decision making in bridge maintenance: A big data approach. In: **Software Technologies (ICSOFT), 2015 10th International Joint Conference on**. IEEE, 2015. p. 1-6. DOI: 10.5220/0005554000730078.

YU, J.; LIU, Y. Prioritizing highway safety improvement projects: A multi-criteria model and case study with SafetyAnalyst. **Safety science**, v. 50, n. 4, p. 1085-1092, 2012. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.11.018.

YU, Po-Lung. A class of solutions for group decision problems. **Management Science**, v. 19, n. 8, p. 936-946, 1973. DOI: 10.1287/mnsc.19.8.936.

ZHU, J. S.; YANG, Y. Determining Bridge Maintenance Priorities by Time Series-Based Multi-Attribute Decision-Making Method. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications, 2013. p. 1312-1315. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.253-255.1312

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA CONFIRMAÇÃO E PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

### Critérios para priorização de OBRAS DE ARTE ESPECIAIS (OAEs) para realização de intervenções de manutenção

Este questionário é parte integrante dos instrumentos de coleta de dados para o desenvolvimento de uma dissertação de mestrado em Engenharia de Construção Civil, com tempo médio de resposta de 20 minutos.

Foram selecionados através de uma revisão de literatura, alguns critérios para priorizar OAEs para manutenção. A avaliação destes critérios será feita por meio dos julgamentos dos especialistas, e por isso, sua participação é tão importante.

Utilizando como base o método Delphi de apoio à decisão, as perguntas deste questionário devem ser respondidas numa escala de 1 a 5.

\*Obrigatório

#### Pede-se preencher os dados abaixo antes de começar o questionário.

Estas perguntas servem apenas para identificação do respondente. Não serão reveladas informações pessoais.

1. Nome: \*

---

2. E-mail: \*

---

3. Empresa/Organização: \*

---

4. Cargo: \*

---

#### Informações

A partir de uma revisão sistemática da literatura, são selecionados alguns critérios mencionados como importantes no processo de priorização de OAEs para manutenção.

Estes critérios são:

- a) **Capacidade de carga** - A avaliação de uma estrutura é baseada no princípio simples e lógico de que sua capacidade de carga disponível deve ser maior que as solicitações provocadas pelas cargas atuantes.
- b) **Característica do leito do rio** - As características do leito do rio estão diretamente relacionadas à operabilidade e à deterioração da condição física da OAE.
- c) **Degradação** - A condição de degradação da OAE fornece uma avaliação qualitativa da confiabilidade da estrutura e é geralmente obtida a partir de uma combinação de inspeção visual e avaliação não destrutiva da estrutura investigada.
- d) **Exposição estrutural** - A exposição estrutural da OAE pode ser avaliada por meio da inspeção visual. Neste critério pode-se avaliar se a estrutura se encontra em um meio ambiente agressivo ou não.
- e) **Idade da OAE** - A durabilidade desejada de uma OAE já foi de cinquenta anos e, atualmente, é igual ou superior a cem anos. Uma vez que as OAE's são projetadas para suportar carga de fadiga (que aumenta com o tempo), a idade é um parâmetro importante envolvido na avaliação da condição estrutural.
- f) **Urgência de intervenção** - Dispor de critérios de classificação da gravidade, extensão e intensidade dos

problemas de cada OAE, indicando níveis diferentes de urgência de intervenção, torna a manutenção das obras economicamente viável, podendo atingir maior homogeneidade no estado de conservação da infraestrutura de cada via.

- g) **Estado de segurança da OAE** - Para avaliação do estado de segurança da via podem ser levados em consideração aspectos como: as condições de estabilidade e conservação da estrutura e os níveis de vibração da estrutura.
- h) **Segurança dos Usuários** - A avaliação da segurança dos usuários pode ser feita a partir da observação da existência ou não dos elementos de sistema de segurança, que são aqueles elementos que garantem a proteção tanto de veículos, quanto de pessoas. Formam parte deste sistema: refúgios, guarda corpo, guarda rodas, defensas metálicas e barreiras de concreto. Podem ser levados em consideração ainda, elementos como sistemas de sinalização e iluminação, faixa de pedestres e ciclovia.
- i) **Comprimento do desvio** - O comprimento do desvio representa o possível inconveniente para os passageiros se a OAE já não pudesse ser utilizada. Se o comprimento do desvio for muito longo, pode haver impactos negativos no comércio típico das áreas circunvizinhas.
- j) **Tráfego médio diário** - O tráfego médio diário consiste no número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia, por dia, durante um certo período de tempo. Este critério fornece indiretamente uma classificação da importância da OAE em relação ao serviço prestado aos utilizadores e à atividade socioeconômica.
- k) **Aparência visual** - A garantia da aparência visual da estrutura de uma OAE está relacionada à satisfação dos usuários. Este critério é elaborado de acordo com a condição visual da OAE juntamente com sua condição técnica/estrutural.

**5. Numa escala de 1 a 5 (em que 1 significa pouco importante e 5 muito importante), indique, na sua opinião, qual a importância dos critérios abaixo, no processo de priorização de OAEs para manutenção.\***

	Pouco importante			Muito importante	
	1	2	3	4	5
Capacidade de carga					
Características do leito do rio					
Degradação					
Exposição estrutural					
Idade da Ponte					
Urgência de intervenção					
Estado de segurança					
Segurança dos Usuários					
Comprimento do desvio					
Tráfego médio diário					
Aparência visual					

**6. Quais outros critérios você consideraria importante na priorização das OAEs? Indique também a importância destes critérios, numa escala de 1 a 5.\***

---



---



---



---



---



---



---

7. Compare os critérios, dois a dois, indicando qual é o mais importante (da coluna A ou coluna B) e a relação de importância de um sobre o outro na priorização de OAE para manutenção, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 significa que ambos fatores têm igual importância e 5 que um fator é extremamente mais importante que o outro. \*

Quadro 1 - Avaliação de critérios relacionados à funcionalidade.

Critérios		Mais importante	Escala
A	B	A ou B	(1 a 5)
Capacidade de carga	Características do leito do rio		
	Degradação		
	Exposição estrutural		
	Idade da OAE		
	Urgência de intervenção		
Características do leito do rio	Degradação		
	Exposição estrutural		
	Idade da OAE		
	Urgência de intervenção		
Degradação	Exposição estrutural		
	Idade da OAE		
	Urgência de intervenção		
Exposição estrutural	Idade da OAE		
	Urgência de intervenção		
Idade da OAE	Urgência de intervenção		

Quadro 2 - Avaliação de critérios relacionados à segurança.

Critérios		Mais importante	Escala
A	B	A ou B	(1 a 5)
Estado de segurança estrutural da OAE	Segurança dos Usuários		

Quadro 3 - Avaliação de critérios relacionados ao tráfego.

Critérios		Mais importante	Escala
A	B	A ou B	(1 a 5)
Comprimento do desvio	Tráfego médio diário		

8. Compare os fatores abaixo, dois a dois, indicando qual é o mais importante (da coluna A ou coluna B) e a relação de importância de um sobre o outro na priorização de OAEs para manutenção, utilizando uma escala de 1 a 5, em que 1 significa que ambos fatores têm igual importância e 5 que um fator é extremamente mais importante que o outro. \*

**Funcionalidade** – Neste fator são considerados os critérios relacionados diretamente à condição da estrutura da OAE: capacidade de carga, características do leito do rio, degradação da OAE, exposição estrutural, idade da OAE e urgência de intervenção.

**Segurança** – São considerados neste fator a segurança da OAE baseada na condição estrutural e a segurança dos usuários.

**Tráfego** – São considerados neste fator os aspectos: comprimento do desvio e o volume de tráfego médio diário.

**Externos** – Classificam-se como fatores externo aspectos como, por exemplo, a aparência visual (estética) da OAE.

Quadro 4 - Avaliação de fatores para priorização de pontes.

Fatores		Mais importante	Escala
A	B	A ou B	(1 a 5)
Funcionalidade	Segurança		
	Tráfego		
	Externo		
Segurança	Tráfego		
	Externo		
Tráfego	Externo		

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO NA PRIORIZAÇÃO DE OAES

### Avaliação da ferramenta de ranqueamento de OAES

Este questionário é parte integrante dos instrumentos de coleta de dados para o desenvolvimento de uma dissertação de mestrado em Engenharia de Construção Civil, com tempo médio de resposta de 2 minutos.

Pede-se que seja avaliada a usabilidade da ferramenta criada para ranqueamento de OAES.

\*Obrigatório

1. Nome: \*

---

2. E-mail: \*

---

3. Sobre a ferramenta para ranqueamento de OAES, indique se apresenta as seguintes características. \*

	Sim	Não
Apresenta as instruções de forma clara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Indica as possibilidades de uso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Facilidade de instalação e desinstalação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fornecer o manual de utilização com linguagem apropriada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
É compatível com outros softwares e hardwares	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
É autoexecutável	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Apresenta facilidade de navegação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Atinge os resultados esperados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
É facilmente modificada de forma a adequar-se às necessidades das tarefas do usuários e suas preferências	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Quais melhorias sugere para esta ferramenta?

---



---



---



---



---



---



---



---



---