



Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em

# **Computação Aplicada**

**Mestrado Acadêmico**

Elionai de Souza Magalhães

**UM MODELO COMPUTACIONAL BASEADO EM ANÁLISE DE  
DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO  
DE RECURSOS:**

**Uma aplicação ao caso das comunidades ribeirinhas da cidade de Coari-AM**

São Leopoldo, 2016







UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA INTERDISCIPLINAR DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM COMPUTAÇÃO APLICADA  
NÍVEL MESTRADO

ELIONAI DE SOUZA MAGALHÃES

**UM MODELO COMPUTACIONAL BASEADO EM ANÁLISE DE  
DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO  
DE RECURSOS:**

**Uma aplicação ao caso das comunidades ribeirinhas da cidade de Coari-AM**

São Leopoldo

2016





Elionai de Souza Magalhães

**UM MODELO COMPUTACIONAL BASEADO EM ANÁLISE DE  
DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO  
DE RECURSOS:**

**Uma aplicação ao caso das comunidades ribeirinhas da cidade de Coari-AM**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do título de Mestre, pelo  
Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação  
em Computação Aplicada da Universidade do  
Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky

São Leopoldo

2016

M188m            Magalhães, Elionai de Souza.

Um modelo computacional baseado em análise de decisão multicritério para priorização na alocação de recursos : uma aplicação ao caso das comunidades ribeirinhas da cidade de Coari-AM / Elionai de Souza Magalhães. – 2016.

96 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada, 2016.

"Orientador: Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky."

1. Alocação de recursos. 2. Análise multicritério. 3. TOPSIS. 4. Modelo computacional. 5. Modelo de decisão. I. Título.

CDU 004

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)

Elionai de Souza Magalhães

UM MODELO COMPUTACIONAL BASEADO EM ANÁLISE DE DECISÃO  
MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS:

Uma aplicação ao caso das comunidades ribeirinhas da cidade de Coari-AM

Dissertação apresentada à Universidade do Vale  
do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito  
parcial para obtenção do título de Mestre em  
Computação Aplicada.

Aprovado em 4 de março de 2016

BANCA EXAMINADORA

---

Leonardo Dagnino Chiwiacowsky – UNISINOS

---

Prof. Dr. Luiz Paulo Luna de Oliveira - UNISINOS

---

Prof. Dr. Gabriel Vidor - UCS

Prof. Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky (Orientador)

Visto e permitida a impressão  
São Leopoldo,

Prof. Dr. Sandro José Rigo  
Coordenador PPG em Computação Aplicada





*À minha mãe, Doralice e meu pai, Raimundo Nonato,  
pelo incentivo, educação e motivação.*

*If I have seen farther than others,  
it is because I stood on the shoulders of giants.*

**— Sir Isaac Newton**





## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, em primeiro lugar, que me proporcionou as condições necessárias para não desistir, fortalecendo-me nos momentos de dificuldade.

À minha família e amigos, em especial à minha esposa Naiana Sheron, minhas filhas Luanne e Clarice, que mesmo em momentos de dificuldades se mostraram pacientes e compreensíveis para que eu pudesse seguir com a finalização desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky, pela admirável condução desta pesquisa, pela paciência com que tolerou minhas falhas e pela bondade com que repetiu as lições que eu deveria aprender.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - Campus Coari e à sua direção geral, o administrador Jurandy Moreira Maciel Aires da Silva, cujos esforços resultaram na parceria entre IFAM e UNISINOS, fruto que possibilitou meu ingresso no seletivo grupo que buscava a titulação de mestrado.

Aos colegas de sala de aula, em especial, Thiago Silva, pela parceria e apoio no decorrer do curso.

Aos gestores dos órgãos municipais, Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal do Amazonas, Secretarias de Saúde, Infra-Estrutura Rural e Defesa Civil, pelo apoio na disponibilização de informações que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

O meu verdadeiro obrigado!





## RESUMO

A responsabilidade de tomar decisões em si não é fácil, e quando está relacionada à gestão de recursos na área pública é uma tarefa ainda mais difícil, pois está ligada a um alto nível de complexidade. Neste trabalho, é apresentado um modelo computacional baseado em análise de decisão multicritério para a priorização da alocação de recursos financeiros para as comunidades ribeirinhas da região de Coari, Amazonas. Com o surgimento da Pesquisa Operacional, foi possível o desenvolvimento de métodos que auxiliam os tomadores de decisão no que se refere à avaliação e escolha em ambientes que envolvem multicritérios. É o caso da gestão pública, cuja decisão sobre a alocação de recursos passa pela análise de diversos critérios. As técnicas de decisão multicritério, aliadas às novas tecnologias de informação e comunicação, possibilitam novas formas de conhecimento e maior qualidade em diversos serviços. O emprego destas tecnologias no desenvolvimento de ferramentas de auxílio à decisão para a alocação de recursos é de grande utilidade, tendo em vista a automação no processo de análise e rapidez na obtenção dos resultados, possibilitando agilidade na tomada de decisão. Neste trabalho, é desenvolvido um modelo computacional baseado na técnica de Auxílio à Decisão Multicritério para ajudar na alocação de recursos públicos em comunidades ribeirinhas do Amazonas. O modelo emprega a técnica *TOPSIS* de análise multicritério com o intuito de obter um *ranking* das comunidades, para assim indicar aquela com maior grau de prioridade para receber a alocação de recursos públicos. Os experimentos foram realizados assumindo um conjunto de seis critérios empregados na ordenação de oito regiões de comunidades ribeirinhas. No estudo realizado, a lista de priorização indicou a região de comunidades do Baixo Solimões como a prioritária para a alocação de recursos públicos e a robustez da priorização obtida na aplicação efetuada foi avaliada através da realização de uma análise de sensibilidade.

**Palavras Chave:** Alocação de Recursos. Análise Multicritério. TOPSIS. Modelo Computacional, Modelo de Decisão.





## ABSTRACT

The responsibility of making decisions itself is not easy, and when it is related to the management of resources in the public sector is an even more difficult task, because it is linked to a high level of complexity. In this paper, we present a computational model based on multi-criteria decision analysis to prioritize the allocation of financial resources to the coastal communities of Coari region of Amazonas. With the emergence of Operational Research, development methods was possible that assist decision makers with regard to the evaluation and choice in environments that involve advanced. This is the case of public administration, whose decision on the allocation of resources involves the analysis of various criteria. The techniques of multi-criteria decision, combined with the new technologies of information and communication, enable new forms of knowledge and higher quality in different services. The use of these technologies in the development of the decision support tools for the allocation of resources is useful in view of automation in the process of analysis and speed in obtaining results, enabling agility in decision making. In this work, we developed a computational model based on the technique of Aid to Decision Multicriteria to assist in the allocation of public resources in riverine communities of Amazonas. The model uses the TOPSIS technique of multi-criteria analysis in order to obtain a ranking of the communities, so as to indicate that more priority to receive the allocation of public resources. The experiments were performed assuming a set of six criteria used in the ordination of eight regions of riverside communities. In the study, the list of priority indicated the region of the Lower Solimões communities as a priority for the allocation of public resources and the robustness of the obtained priority in the application made was assessed by performing a sensitivity analysis.

**Keywords:** Resource allocation. Multi-criteria analysis. TOPSIS. Computational Model, Decision model.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Município de Coari - Amazonas .....	2
Figura 2: Típica comunidade ribeirinha. Foto: Paulo Pinto .....	3
Figura 3: Problema de decisão simples de alocação de recurso .....	10
Figura 4: Método TOPSIS .....	14
Figura 5: Arquitetura geral do modelo desenvolvido .....	23
Figura 6: Módulo de Entrada de Dados .....	24
Figura 7: Módulo de implementação do método TOPSIS .....	25
Figura 8: Módulo de Armazenamento e suas conexões .....	26
Figura 9: Módulo para geração de relatórios .....	26
Figura 10: Fluxograma do modelo <i>TopAloc</i> .....	27
Figura 11: Diagrama de classes .....	29
Figura 12: Diagrama de caso de uso .....	30
Figura 13: Modelo da base de dados .....	32
Figura 14: Fases de priorização para alocação de recursos. ....	37
Figura 15: Região da cidade de Coari com lagos e rios .....	43
Figura 16: Tela de cadastro de alternativas ( <i>TopAloc</i> ) .....	44
Figura 17: Tela de cadastro de critérios e pesos ( <i>TopAloc</i> ) .....	46
Figura 18: Cluster das comunidades .....	66



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre os trabalhos relacionados.....	19
Tabela 2: Comparação com o trabalho realizado .....	20
Tabela 3: Atores do processo de decisão e suas respectivas áreas de interesse. ....	38
Tabela 4: Critérios definidos .....	40
Tabela 5: Regiões de comunidades selecionadas para o processo de priorização .....	44
Tabela 6: Descrição dos critérios .....	45
Tabela 7: Matriz de avaliação dos grupos de comunidades ribeirinhas. ....	47
Tabela 8: Cenários .....	48
Tabela 9: Normalização dos desempenhos.....	51
Tabela 10: Ponderação das pontuações normalizadas .....	52
Tabela 11: Cálculo da distância de cada ação .....	53
Tabela 12: Resultado do cálculo do coeficiente de proximidade relativa de cada ação.....	54
Tabela 13: Ordenação das alternativas do cenário 1 .....	58
Tabela 14: Ordenação das alternativas do cenário 2 .....	58
Tabela 15: Ordenação das alternativas do cenário 3 .....	59
Tabela 16: Alteração dos pesos do cenário 1 para o novo cenário 1 .....	60
Tabela 17: Alteração dos pesos do cenário 2 para o novo cenário 2.....	60
Tabela 18: Alteração dos pesos do cenário 3 para o novo cenário 3.....	61
Tabela 19: Ranking de classificação da nova análise.....	62
Tabela 20: Pesos e suas proporcionalidades.....	63
Tabela 21: Desempenho cenário 1.....	65
Tabela 22: Agrupamento .....	66
Tabela 23: Ordem do agrupamento .....	67



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Cenário 1 (ordenação) .....	55
Gráfico 2: Cenário 2 (ordenação) .....	56
Gráfico 3: Cenário 3 (ordenação) .....	57
Gráfico 4: Reunião da posição de cada alternativa nos três cenários avaliados.....	59
Gráfico 5: Resultado para nova análise .....	62
Gráfico 6: Análise de sensibilidade .....	64



## LISTA DE SIGLAS

ABC	Custeio Baseado em Atividade
ADGEPA	Assistente Digital para Gestão Pública Participativa
ADM	Análise de Decisão Multicritério
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ASD	Agente para Suporte a Decisão
DB	<i>Data Base</i>
eGOV	Governo Eletrônico
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
ONU	Organização das Nações Unidas
PO	Pesquisa Operacional
SP	Soma Ponderada
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Ideal Solution</i>



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Motivação .....	4
1.2 Questão de Pesquisa .....	5
1.3 Objetivo .....	5
1.4 Estrutura do texto .....	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	7
2.1 Tecnologias e sistemas de informação .....	7
2.2 Gestão de Recursos Financeiros na Área Pública .....	7
2.3 Alocação de Recursos Públicos.....	8
2.4 Tomada de decisão .....	9
2.4.1 Teoria de decisão .....	9
2.4.2 Problemas de decisão .....	10
2.5 Decisão multicritério.....	10
2.5.1 Métodos de Auxílio à Decisão Multicritério (ADM) .....	11
2.6 O método TOPSIS .....	13
2.6.1 Modelagem do método TOPSIS .....	14
3 TRABALHOS RELACIONADOS .....	17
3.1 Modelos multicritério para alocação de recursos .....	17
3.2 Comparativo entre os trabalhos apresentados.....	19
4 MODELO COMPUTACIONAL.....	21
4.1 Processo de construção do modelo computacional.....	21
4.2 Arquitetura Geral do Modelo.....	22
4.2.1 Interface.....	23
4.2.2 Componente de entrada.....	24
4.2.3 Módulo de implementação da técnica de ADM.....	24
4.2.4 Data Base.....	25
4.2.5 Módulo para geração de relatórios .....	26
4.2.6 Fluxograma do Modelo.....	26
4.3 Especificação do modelo .....	27
4.4 Modelagem dos dados.....	30
5 MODELO DE DECISÃO .....	35
5.1 Processo de desenvolvimento do modelo de decisão .....	35
5.2 O processo de priorização de alocação de recursos em comunidades ribeirinhas do município de Coari .....	36
5.2.1 Interventores no processo de decisão .....	38
5.2.2 Definição das alternativas .....	38
5.2.3 Definição dos critérios .....	39
5.2.4 Modelagem de preferência dos critérios .....	41
5.3 Aplicação do modelo de decisão para auxílio na alocação de recursos nas comunidades ribeirinhas .....	42
5.3.1 Estruturação do problema.....	42
5.3.2 Definição das Alternativas.....	43
5.3.3 Definição dos Critérios .....	45
5.3.4 Matriz de desempenho.....	46
5.3.5 Atribuição dos pesos para análise .....	48
6 APLICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL E DE DECISÃO .....	51
6.1 Resultado da aplicação do modelo .....	51
6.1.1 Priorização das comunidades ribeirinhas .....	51
6.2 Análise de sensibilidade.....	60
6.2.1 Análise pelo mesmo grau de importância .....	60
6.2.2 Análise por variação proporcional dos pesos .....	63
6.3 Conclusões sobre a aplicação do modelo computacional.....	65

<b>6.4 Análise de <i>Cluster</i></b> .....	<b>65</b>
6.4.1 Considerações finais .....	67
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>69</b>
<b>7.1 Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	<b>70</b>
<b>8 REFERENCIAS</b> .....	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), aliada ao avanço da Gestão Pública, tem instigado e impulsionado novas perspectivas na condução dos processos e auxílio no apoio à tomada de decisão (OLIVEIRA, J. B. F. DE, 2009). Muitos dos trabalhos realizados por órgãos públicos apresentam certa complexidade que, às vezes, acabam se tornando um problema para uma prestação de serviço adequada. Desta forma, o tratamento das informações de um órgão público, assim como os seus processos de gestão, precisam defrontar-se e apropriar-se das TIC's. (OLIVEIRA, J. B. F. DE, 2009).

Com o passar das últimas décadas, o governo brasileiro, por meio do programa Governo Eletrônico (eGOV) (NATIONS, 2014), vem trabalhando para tornar efetiva a prática da priorização do uso de TIC's com o intuito de democratizar o acesso à informação. Com essa ação, busca-se alcançar a ampliação do debate e a participação da população na construção das políticas públicas, com a finalidade de alcançar a melhor eficiência no que se refere a fatores de produção e da qualidade dos serviços prestados pelos órgãos públicos, (ABREU, W. M. DE; GOMES, 2010).

A responsabilidade de tomar decisões no âmbito da gestão pública é sempre uma tarefa difícil e está ligada a um elevado nível de complexidade, considerando que nem sempre há a disponibilidade de recursos financeiros suficientes, que possibilitem o atendimento equilibrado a todas as demandas que a sociedade necessita em seus diversos setores (AMORIM, 2014a). Tal complexidade ocorre porque há uma série de situações que envolvem vários problemas reunidos em diversos aspectos e contextos diferentes como, por exemplo: os setores da área social, saúde, educação, ambiental e outros, dentre outros diversos aspectos envolvidos na alocação de recursos. (AMORIM, 2014a).

Um dos principais desafios na gestão pública é a alocação eficiente dos recursos nos sistemas públicos, e isto estimula a sociedade a buscar mecanismos que garantam a maximização de resultados sociais (ABREU, A. DE; SILVA, 2012). O objetivo principal na alocação dos recursos, por parte do governo, é a oferta de bens e serviços necessários à população e que não são providos pelo sistema privado, devido a sua inviabilidade econômica (ABREU, A. DE; SILVA, 2012). Com isso, mostra-se necessária a eficiência do planejamento, permitindo uma melhor alocação e uso mais racional dos recursos públicos (ARRETCHE, 1998). Estudos têm sido direcionados à análise de eficiência da alocação de recursos públicos (ABREU, A. DE; SILVA, 2012). Dentre as responsabilidades do Estado, sejam na distribuição, estabilização e alocação de recurso, todas buscam melhorar, corrigir ou minimizar as diferenças no âmbito da sociedade e seus segmentos. Com base nessas observações, é possível destacar com clareza que grande parte das políticas públicas possui um gargalo no uso otimizado dos recursos, tendo em vista os critérios de distribuição para as demandas existentes, via de regra superior à oferta, porém critérios relevantes que determinam a efetividade do Estado. A existência da desigualdade em diversos setores da sociedade como: educação, saneamento, saúde, dentre outros, especialmente no que diz respeito à oferta desses serviços, e a ineficiência na alocação dos recursos públicos, reflete na desigualdade e no desenvolvimento socioeconômico das regiões e, conseqüentemente, na qualidade de vida da população (ABREU, A. DE; SILVA, 2012).

Com o surgimento da Pesquisa Operacional (PO), foram desenvolvidos métodos voltados ao auxílio de tomadores de decisão no que se refere à avaliação e escolha de alternativas em ambientes complexos envolvendo múltiplos critérios, em geral conflitantes. Estes ambientes são caracterizados por apresentarem situações envolvendo uma quantidade

elevada de elementos, cuja interpretação adequada passa pela análise de diversos critérios, como é o caso da gestão pública, mais especificamente a alocação de recursos públicos (FERNANDES, 2013). Para tanto, se faz necessário o emprego de uma metodologia que satisfaça as necessidades impostas nesse contexto. A Análise de Decisão Multicritério (ADM) é uma metodologia adequada e que está sendo bastante empregada e inclusive está ganhando muita importância no âmbito da gestão pública (AMORIM, 2014b). Ainda nas situações em que há a necessidade do papel decisório na gestão pública, a análise de custo-benefício e a análise de custo-eficácia estão sendo comumente utilizadas. É importante acrescentar que, em documentos da Organização das Nações Unidas (ONU), existem recomendações para o uso da ADM em situações que houver a necessidade de considerar critérios que possuem complexidades em termos financeiros (GAMPER, 2007).

Estudos na área da ciência da computação têm abordado o uso da base tecnológica no apoio à gestão municipal, apontando o potencial, ou seja, as principais vantagens no uso das tecnologias existentes e propondo a intensificação do emprego de TIC's no apoio a tomada de decisão na gestão pública municipal (FUNAI; REZENDE, 2011).

No Brasil, existem muitas cidades que sofrem pela ineficiência na alocação de recursos públicos, este problema é agravado quando o município possui uma vasta extensão territorial que contribui para uma maior complexidade e dificuldade no que se refere à alocação de recursos para obras e/ou serviços (SILVA; AUXILIADORA; MONTEIRO, 2011). Como foco de estudo, este trabalho aborda o problema de decisão na alocação de recursos a serem direcionados a comunidades ribeirinhas da cidade de Coari. A tarefa de decisão torna-se complexa por ser um município do interior do estado do Amazonas, localizado no Rio Solimões, entre o Lago Mamiá e o Lago de Coari, como mostra a Figura 1. O município possui 211 comunidades ribeirinhas espalhadas em seu território e o acesso só é possível por meio de transporte fluvial de pequeno porte, o que torna as viagens demoradas.

**Figura 1: Município de Coari - Amazonas**



Fonte: (IBGE, 2014)

A cidade de Coari destaca-se pela produção de petróleo e gás natural. Possui uma população estimada de 82.209 pessoas, onde 67% destas residem na área urbana e 33% na zona rural do município (IBGE, 2014). Vale destacar que, por se tratar da região amazônica, e considerando a densa floresta, o principal meio de transporte é o fluvial. Tratando-se da população da zona rural, esta se refere às comunidades ribeirinhas, ou seja, comunidades

estabelecidas às margens do Rio Solimões. Nessas comunidades, as casas são construídas sobre barrancos para fugir da cheia do rio que, no seu auge, faz com que a água chegue a ultrapassar o piso das casas e, algumas vezes, exigindo a construção de um novo piso quando o nível do rio sobe demais. A Figura 2 mostra uma típica comunidade ribeirinha do Amazonas.

**Figura 2: Típica comunidade ribeirinha. Foto: Paulo Pinto**



(FUKUDA, 2010)

Essas comunidades estão, em sua maioria, distantes da cidade, em virtude do extenso território do município, que é de 57.921,906 km<sup>2</sup>. Apesar dos recursos disponíveis, o município apresenta expressiva desigualdade social, com reflexos principalmente na área que abrange as comunidades ribeirinhas. (IBGE, 2010).

O trabalho da gestão pública em si já é algo complexo, ou seja, apresenta certa dificuldade para realizar uma análise adequada visando à distribuição de recursos de forma a se chegar a uma decisão definitiva. Quando esse assunto é direcionado para a região amazônica, ele se torna ainda mais complicado. Esse é o caso do processo de análise para priorização da distribuição de recursos financeiros para as comunidades ribeirinhas da região de Coari, Amazonas. O município possui aproximadamente quatrocentas comunidades que possuem de cinquenta a dois mil moradores, e todas elas carecem de atenção por parte do município, algo que torna muito difícil o trabalho dos responsáveis pela administração municipal.

Existem diversas ações intermediadas pelo poder público com o objetivo de dar suporte aos moradores de comunidades distantes da cidade. Estas ações envolvem atendimento médico, odontológico, combate à dengue e à malária. Nas comunidades mais desenvolvidas, existem geradores de energia elétrica, postos para atendimento médico, aulas de informática e infraestrutura para oferecer o ensino fundamental e médio. Além disso, existem também ações intermediadas por equipes de profissionais independentes que se disponibilizam a ajudar, oferecendo atendimentos em diversas especialidades como: atendimento médico, psicológico, tecnológico, social, dentre outras especialidades.

Nos últimos anos, o Brasil vem passando por mudanças na sua forma de gestão, incorporando novos métodos e ferramentas para elaboração de diagnósticos, na identificação espacial das áreas de intervenção e na tomada de decisão em geral. É possível identificar o

emprego de técnicas mais estruturadas para tratamento, análise e uso do processo decisório sendo usadas em empresas públicas, concessionárias de serviços e em Políticas Públicas. Uma técnica que tem ganhado bastante espaço é a de Análise de Decisão Multicritério (ADM) ou Análise Multicritério (JANNUZZI; MIRANDA; SILVA, 2009).

As novas tecnologias de informação e comunicação, em conjunto com a computação, possibilitam novas formas de conhecimento e maior qualidade em diversos serviços, sobretudo no que diz respeito à praticidade (FIGUEIREDO *et al.*, 2013). Essas tecnologias, empregadas no auxílio a decisão para alocação de recursos, seriam de grande utilidade tendo em vista a automação no processo de análise e rapidez na obtenção dos resultados, possibilitando agilidade na tomada de decisão.

Devido à grande quantidade de informações que os gestores municipais precisam considerar no processo de tomada de decisão, é altamente recomendado que os mesmos utilizem o auxílio de uma ferramenta computacional que implemente os métodos de ADM, permitindo assim uma decisão mais assertiva para alocação dos recursos públicos.

Com base nesse cenário, o presente trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo computacional baseado na técnica de Análise de Decisão Multicritério (ADM) por uso da metodologia TOPSIS<sup>1</sup> (ISHIZAKA; NEMERY, 2013). O modelo implementado, denominado *TopAloc*, é direcionado ao uso por parte dos gestores municipais como uma ferramenta de auxílio na tarefa de alocação de recursos públicos a comunidades ribeirinhas localizadas na cidade de Coari, no estado do Amazonas. O modelo terá a capacidade de aplicar a metodologia TOPSIS de Análise de Decisão Multicritério com o intuito de promover um *ranking* das comunidades para assim indicar aquela com maior grau de prioridade para receber a alocação de recursos públicos.

## 1.1 Motivação

Considerando todo o contexto e o modelo proposto, é possível citar algumas informações que motivam a realização do presente trabalho. A tomada de decisão é uma tarefa difícil e mais complexa quando inserida na gestão pública, sobretudo quando envolve alocação de recursos. Com o emprego de uma ferramenta computacional, é possível auxiliar os responsáveis no seu trabalho de decisão.

Hoje em dia, é perceptível o grande crescimento no uso de tecnologias que ajudam a automatizar ou aprimorar diversos serviços, fazendo com que os dados sejam processados rapidamente e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de resposta. É possível observar que empresas, órgãos públicos e instituições estão se adaptando às novas tendências tecnológicas para o tratamento da informação e, conseqüentemente, o interesse por novas técnicas que reduzam o tempo na análise de decisão. Empresas públicas e privadas estão buscando incorporar ferramentas computacionais a seu dia-a-dia com o intuito de melhorar seus negócios e agilidade na tomada de decisões (LECHETA, 2010).

A ferramenta computacional aqui apresentada poderá beneficiar as comunidades ribeirinhas e os gestores municipais na tomada de decisão no que tange ao auxílio na decisão sobre a priorização na alocação de recursos financeiros. A decisão para distribuição de recursos feita por meio do auxílio computacional, utilizando o modelo proposto neste

---

<sup>1</sup> A sigla vem da expressão *Technique of Order Preference Similarity To Ideal Solution* (Técnica de Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal).

trabalho, irá proporcionar democratização, garantindo que a decisão a ser tomada seja racional e não resultando de conceitos preliminares próprios dos responsáveis pelo processo de decisão. Atualmente, o município não utiliza nenhuma ferramenta computacional para auxílio na decisão da alocação de recursos. A análise para a alocação é feita de forma manual, considerando principalmente a potencialidade agrícola das comunidades, ou seja, os gestores do município priorizam aquelas que produzem mais. Com isso, espera-se que as comunidades recebam recursos de forma proporcional e mais igualitária, tanto em frequência quanto em valores.

Além dos benefícios já mencionados, é possível citar também aqueles que apontam diretamente aos tomadores de decisão, ou seja, o modelo computacional poderá ser bastante útil no auxílio direto aos gestores encarregados pela tomada de decisão, oferecendo agilidade e ganho de tempo, o que é bastante significativo para as empresas tanto públicas quanto privadas. Vale ressaltar também a diminuição na complexidade do problema pelo fato de ser tratado de maneira estruturada e automática, sendo necessária apenas a definição dos pesos e valores para os critérios assumidos no modelo de decisão.

## 1.2 Questão de Pesquisa

Com base no exposto, este trabalho busca responder a seguinte questão de pesquisa:

*"Como melhorar a eficiência na alocação de recursos públicos em comunidades ribeirinhas do interior do estado do Amazonas, por meio do emprego de técnicas de análise multicritério para apoio a decisão, adaptadas a uma ferramenta computacional?"*.

Dessa forma, o propósito desse trabalho consiste em desenvolver um modelo computacional que implemente a técnica de análise multicritério para apoio a tomada de decisão, a fim de que se obtenha melhor eficiência no ranqueamento de comunidades ribeirinhas, com base em determinados critérios, para garantir uma melhor priorização na alocação dos recursos públicos.

## 1.3 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um modelo computacional, denominado *TopAloc*, baseado em um modelo de análise multicritério, que possibilite o auxílio aos gestores públicos do município de Coari, Amazonas, na tomada de decisão referente à alocação de recursos financeiros para obras, implantação, ou manutenção de serviços, que beneficie as populações residentes em áreas de comunidades ribeirinhas. Foi adotada a técnica de análise multicritério TOPSIS para aplicação do modelo de decisão desenvolvido. Por meio desta técnica, é possível identificar a ordenação ideal das comunidades ribeirinhas, indicadas para priorização na alocação de recursos públicos.

Dessa maneira, deseja-se verificar a eficiência da técnica de ADM por meio da metodologia TOPSIS no auxílio ao processo de decisão para a priorização na alocação de recursos financeiros às comunidades ribeirinhas. Para tanto, além do emprego dos modelos desenvolvidos, é também realizada uma análise de sensibilidade com o intuito de determinar os efeitos da alteração dos dados de entrada sobre a priorização da alocação de recursos indicada pela aplicação do modelo proposto.

## 1.4 Estrutura do texto

O restante do texto está estruturado conforme segue. No capítulo 2, são apresentados os conceitos básicos, ou seja, o referencial teórico essencial para compreensão do modelo desenvolvido. No capítulo 3, são discutidos os principais trabalhos acadêmicos que buscam realizar, dentro de suas respectivas áreas de interesse, inovações para ajudar a melhorar a alocação de recursos públicos e uso do método de análise multicritério para apoio a decisão na área da gestão pública. No capítulo 4, é apresentada a descrição do modelo computacional desenvolvido, chamado *TopAloc*, e que aplica a técnica de análise multicritério. No capítulo 5, é realizado o detalhamento do modelo de decisão, sendo apresentado o modelo de análise multicritério adaptado ao problema foco deste trabalho. No capítulo 6, é descrita a aplicação do modelo desenvolvido, apresentando a sua forma de avaliação através do emprego de métricas estabelecidas para avaliar a qualidade e robustez da técnica, com base em termos nos quais ela se propõe a representar. Concluindo a estrutura deste trabalho, são apresentados, no capítulo 7, os comentários finais e as contribuições que esta pesquisa alcançou com os resultados obtidos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados os conceitos teóricos dos itens relacionados aos objetivos definidos neste trabalho. Os itens abordados neste capítulo possuem o propósito de cobrir todo o escopo do trabalho, conforme especificado nos objetivos, e também de garantir a qualidade e atualidade do estudo aqui realizado. Deste modo, procurou-se incluir somente tópicos que se relacionam diretamente com os itens citados nos objetivos. Dentre os temas abordados, tem-se: Modelo Computacional, Gestão Pública, Alocação de Recursos Públicos, Comunidades Ribeirinhas, Análise Multicritério para Apoio a Decisão e o método TOPSIS.

### 2.1 Tecnologias e sistemas de informação

Esta seção apresenta conceitos sobre as tecnologias e sistemas de informação. Serão descritos, de forma geral, os assuntos relacionados aos mesmos, com o intuito de expô-los de maneira clara e de possibilitar o seu bom entendimento, alinhado ao objetivo de desenvolvimento de um Modelo Computacional, entendido como uma sequência de entrada de dados, processamento de cálculos e acesso aos resultados (JÚNIOR *et al.*, 2008).

A Tecnologia da Informação (TI) pode ser descrita como um conjunto organizado de *software*, *hardware*, banco de dados e rede de telecomunicações. Este conjunto, ou seja, esta infraestrutura, possibilita a manipulação, geração e distribuição de dados ao longo de seus usuários (LEITE, 2015).

Os sistemas de informação (SI) são processos ou sistemas capazes de fornecer informações necessárias aos gestores, promovendo eficácia na tomada de decisão. Seu principal elemento é a informação, como sugere o termo. Neste tipo de sistema, o principal objetivo é armazenar e processar informações de modo que possa satisfazer os interesses de organizações, auxiliando nos processos e/ou tarefas, principalmente relacionadas à tomada de decisão (SISTEMA..., 2014). Outra característica que vale ressaltar sobre os sistemas de informação, é a de assegurar a agilidade da informação e a qualidade, que são de vital importância para os gestores e as organizações como um todo, tanto de caráter público quanto privado (JUNGER, 2011). Considerando o avanço ocorrido na área da tecnologia computacional, e principalmente aquela atrelada à era da informação, torna-se evidente que a utilização de uma boa ferramenta computacional é uma peça chave no auxílio à tomada de decisão (BAZZOTTI; GARCIA, 2004).

As tecnologias de informação são capazes de oferecer uma variedade de novas formas de conhecimento e, conseqüentemente, um aumento na qualidade dos cuidados com a tomada de decisão auxiliada por essas ferramentas (FIGUEIREDO *et al.*, 2013).

### 2.2 Gestão de Recursos Financeiros na Área Pública

A administração financeira dos órgãos públicos baseia-se na Lei nº. 4.320 de 17 de março de 1964 (COELHO; QUINTANA, 2008), e também na Lei Complementar nº 101/2000, denominada Lei de Responsabilidade Fiscal. A gestão orçamentária envolve: (i) o processo de estabelecimento das metas orçamentárias; (ii) o processo de elaboração e uso de orçamentos; e, (iii) o controle orçamentário. (AGUIAR; SOUZA, 2010).

A contabilidade é considerada um instrumento da gestão financeira, pois fornece informações e relatórios que podem ser usados no auxílio da gestão dos recursos, na tomada de decisão e na prestação de contas às partes interessadas, para avaliarem suas atividades e seu desempenho. (BARTON, 2011). Entretanto, somente os relatórios contábeis não são suficientes para assegurar uma gestão dos recursos públicos de maneira eficiente e com a qualidade exigida. Em muitas situações, como é o caso do município de Coari e suas comunidades ribeirinhas, a gestão dos recursos não pode se basear unicamente em dados contábeis e balanços financeiros, uma vez que também estão envolvidos aspectos não financeiros a serem considerados na tomada de decisão, os quais não estão contemplados nas demonstrações contábeis (ENSSLIN; ENSSLIN, 2012).

Devido às restrições orçamentárias, comumente verificadas na esfera pública, torna-se imprescindível o emprego de técnicas de auxílio a tomada de decisões gerenciais, com o objetivo de (i) eliminar despesas e/ou ajustá-las às receitas; (ii) avaliar os custos relacionados aos diversos projetos, atividades e setores; e (iii) eliminar desperdícios e aumentar a qualidade dos gastos públicos (AUGUSTO; SILVA, 2011). A não utilização de um sistema adequado de gestão, muitas vezes conduz o gestor público a adotar práticas de resultados duvidosos, pelo fato de não possuir informações precisas que o orientem onde e como reduzir despesas (ABREU; GOMES, 2010). Isto pode acarretar em cortes de investimento em atividades que podem, por vezes, comprometer a qualidade dos serviços prestados e até com conseqüências nas metas da organização pública (ENSSLIN; ENSSLIN, 2012).

### **2.3 Alocação de Recursos Públicos**

A tomada de decisão para alocação de recursos é um processo complexo, pois é necessário envolver aspectos relacionados ao próprio recurso, ao conjunto de critérios utilizados na sua alocação e também à dimensão do processo diante das características do sistema (PRADO, 2007).

Um dos principais desafios na gestão pública é a alocação eficiente dos recursos nos sistemas públicos, sendo estimulada a busca por resultados que garantam a maximização de resultados sociais (ABREU, A. DE; SILVA, 2012).

O objetivo principal na alocação dos recursos, por parte do governo, é a oferta de bens e serviços necessários à população e que não são providos pelo sistema privado, devido a sua inviabilidade econômica (ABREU, A. DE; SILVA, 2012). Uma das principais importâncias da avaliação da eficiência na alocação dos recursos, tanto para o planejamento quanto para a gestão das políticas, está na possibilidade de dar ao gasto público melhor alocação e uso mais racional (ARRETCHE, 1998). Assim, estudos têm sido direcionados à análise desta eficiência (ABREU, A. DE; SILVA, 2012).

Se tratando da gestão pública, no sentido de garantir meios que viabilizem os principais serviços necessários à população, bem como oferecer um canal que possibilite a sociedade avaliar o trabalho da gestão no âmbito social, é preciso seguir os princípios de uma boa alocação, distribuição e efetiva aplicação dos recursos disponíveis (ABREU, A. DE; SILVA, 2012).

A política de desenvolvimento urbano é competência do poder público municipal e um dos seus objetivos é a utilização das receitas municipais para investimentos em Educação (CORRAR, 2005). Para atender ao direito à educação, conforme a constituição de 1988, é necessário que seja realizada a manutenção de um sistema de escolas públicas e gratuitas para

toda a população, e que seja oferecido a todo cidadão um grau mínimo de educação (ABREU, A. DE; SILVA, 2012).

Em relação à área da saúde, caracterizada pela falta de recursos financeiros, humanos e materiais para suprir todas as necessidades que um sistema desta área demanda, os responsáveis pela gestão do Sistema Único de Saúde deparam-se com a necessidade de estabelecer algumas prioridades no que diz respeito à alocação destes recursos (ANTONIO; FORTES, 2011). Quando há, por parte do Ministério da Saúde, a advertência de que não possui condições de atender a todas as pessoas vulneráveis a uma possível infecção, são estabelecidos critérios no intuito de selecionar, mas restritivamente, a distribuição dos fármacos. Esta prática é denominada “micro alocação” de recursos escassos, referente à seleção individualizada de beneficiários dos recursos disponíveis (ANTONIO; FORTES, 2011).

A habitação é um direito socialmente relevante. A emenda constitucional nº 26 de 2000, altera o artigo 6º que determina a inclusão do direito à moradia como um direito social e humano. Desta forma, compete ao poder público (União, Estados, Distrito Federal e Municípios), nos termos da Constituição Federal de 1988, satisfazer a necessidade de moradia. É responsabilidade da União a instituição de diretrizes para a habitação, aos Municípios promover programas de construção de moradias, assim como prover melhorias relacionadas às condições habitacionais e de saneamento básico (ABREU, A. DE; SILVA, 2012).

## **2.4 Tomada de decisão**

A tomada de decisão é um método científico, inserido na área de Pesquisa Operacional, que procura aperfeiçoar as operações existentes visando a fornecer subsídios racionais para a realização de escolhas em ambientes complexos (GOMES, 2012).

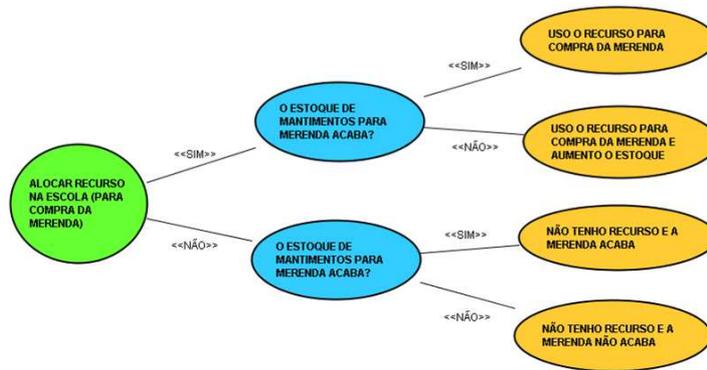
Hoje em dia, existe um grande número de organizações, tanto governamentais quanto privadas, que estão investindo cada vez mais no estudo sobre técnicas de análise de decisões. Grupos de “Apoio à Tomada de Decisão” estão sendo criados por várias instituições de várias áreas onde se reúnem profissionais de diversas especialidades como: matemáticos, estatísticos, cientistas da computação, economistas e especialistas em pesquisa operacional, dentre outros. (AMORIM, 2014a).

### **2.4.1 Teoria de decisão**

Em problemas que possuem mais de uma alternativa para uma possível solução, então tem-se definido um problema de decisão (MIGUEL, 2014).

Vários são os exemplos de problemas de decisão que surgem no dia a dia. Como exemplo de decisão, considere a avaliação de duas alternativas para alocação de recursos: “aplicar recursos em uma escola (compra de material para preparo da merenda) ou aplicar recursos em uma câmara de vereadores (compra de material para preparo de cafezinho)?”. Caso a decisão seja a de alocar recurso na escola, surge, em seguida, a necessidade de decidir sobre “Quais ingredientes comprar para a merenda?”. Estes problemas são considerados problemas de decisão simples (MIGUEL, 2014). A Figura 3 ilustra este exemplo de decisão simples.

**Figura 3: Problema de decisão simples de alocação de recurso**



Fonte: Adaptado pelo autor

## 2.4.2 Problemas de decisão

È possível formular problemas de decisão de diferentes formas, empregando uma definição mais formal que pode estar enquadrada em diversas problemáticas (MIGUEL, 2014).

A análise multicritério pode ser útil em diversas situações que não somente para resolução de um problema. Há situações em que o objetivo é de elaborar um conjunto de ações, elaborar um conjunto adequado de critérios ou determinar, para todas ou algumas alternativas, suas respectivas performances. Para este tipo de problemática, atribui-se o nome de problemática de descrição ou de cognição (MIGUEL, 2014).

Além da problemática citada, existem ainda três outras categorizações para problemas de análise de decisão (ROY, 1996):

- Problemática de escolha: o objetivo para este tipo de problema é a seleção de um conjunto pequeno de boas alternativas, de forma que viabilize a escolha de uma boa alternativa para recomendação;
- Problemática de classificação: neste tipo de problema, o objetivo é atribuir cada uma das alternativas a uma categoria já pré-selecionada, estas poderão estar ordenadas ou não;
- Problemática de ordenação: o objetivo do problema é priorizar as alternativas por meio de uma ordenação completa ou parcial das alternativas, que admite a sua comparação.

## 2.5 Decisão multicritério

O ADM não visa apresentar ao agente de decisão uma solução definitiva para seu problema, elegendo uma única verdade representada pela alternativa selecionada. Essa abordagem visa, sim, apoiar o processo decisório com a recomendação de ações que estejam em sintonia com as preferências expressas pelo agente de decisão. Neste tópico será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a Análise de Decisão Multicritério (ADM). Faz-se necessário observar a diferença entre a decisão simples e a decisão multicritério. Para os problemas simples, é

possível atribuir, objetivamente, um único número a cada consequência possível (MIGUEL, 2014).

Para problemas mais complexos, que exigem uma quantidade maior de critérios, o grau de dificuldade aumenta, ainda mais quando esses critérios são conflitantes. Para essas situações, é comum não encontrar uma alternativa que seja melhor que as demais em todos os critérios. Para isto, torna-se fundamental o papel do agente de decisão para intervir no processo, com o intuito de se chegar a uma conclusão, por meio de suas preferências e dos critérios considerados, dentre as várias alternativas.

Com base neste contexto, é possível afirmar que, em problemas de decisão multicritério, não existe objetivamente uma solução ótima, sendo definida uma alternativa preferida dentre as demais e isto pode mudar de um agente de decisão para outro, dependendo da importância assumida para cada critério (MIGUEL, 2014).

### 2.5.1 Métodos de Auxílio à Decisão Multicritério (ADM)

Nesta seção serão apresentados os principais métodos multicritério existentes, sendo divididos entre métodos da Escola Americana e da Escola Francesa.

A escola Americana, considerada pioneira na linha de pesquisa de decisão multicritério, se baseia na teoria da utilidade. Essa escola utiliza métodos que se caracterizam pelo auxílio ao decisor na construção da função utilidade representativa das suas preferências. A seguir, é apresentado um breve detalhamento dos principais métodos desta escola (MIGUEL, 2014):

- AHP: O *Analytic Hierarchy Process* é um método baseado em comparações entre alternativas e na medição de preferências com base no uso de escalas. Decompõe o problema em níveis hierárquicos, facilitando a sua compreensão e avaliação (SAATY, 1980).
- Ponto Médio: Método para construção de funções utilidade (CHANKONG & HAMIES, 1983).
- Programação por Metas: Exige que o decisor declare a sua preferência indicando a meta que deseja alcançar. Permite ordenar todas as alternativas a partir da distância de cada uma delas em relação a essa meta (LEE, 1972).
- Smarts: *Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings*. Auxilia a construção de funções de utilidade aproximando-as por funções lineares (EDWARDS & BARRON, 1994).
- Smarts Intervalar: Auxilia a construção de funções de utilidade introduzindo nelas a imprecisão dos julgamentos do decisor (MUSTAJOKI *et al.*, 2005).
- Smarter: *Simple Multi-Attribute Rating Technique Exploiting Ranks*. Método similar ao Smarts que aproxima as funções de utilidade por funções lineares e estima o peso de cada critério por uma técnica chamada *Rank Order Centroid* (EDWARDS & BARRON, 1994).
- TODIM: Tomada de Decisão Interativa Multicritério. Método multicritério baseado na Teoria dos Prospectos (CARLOS; MELLO, 2010).

- TOPSIS: *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*. Estabelece relações de dominância entre alternativas com base nas distâncias entre cada alternativa e as soluções ideais positiva e negativa (YOON & HWANG, 1995).
- UTA: Os métodos UTA (*Utilités Additives*) procuram inferir uma ou mais funções de valor aditivas através de uma dada ordenação em um conjunto de referência, utilizando técnicas especiais de programação linear (JACQUET- LAGREZE & SISKOS, 1982). Existem muitas variantes deste método, que foram comparadas em (BEUTHE & SCANNELLA, 2001).
- UTADIS: *Utilités Additives Discriminantes*. Classifica alternativas em categorias predefinidas pela simples comparação entre o valor da função utilidade global para cada alternativa e constantes usadas para delimitar cada classe (ALBERTO; RANGEL, 2012)

Com relação aos métodos propostos pela escola Francesa, são encontradas duas fases distintas. Na primeira fase, os métodos realizam uma comparação entre todas as alternativas para fins de estabelecer uma relação de dominância. Na segunda fase, as relações são utilizadas de forma que se obtenha uma ordenação das alternativas, uma classificação em categorias ou a obtenção da melhor alternativa. A seguir, é apresentada uma lista dos principais métodos desta escola (MIGUEL, 2014).

- Argus: Utiliza valores qualitativos para representar a intensidade de preferência numa escala ordinal (DE KEYSER & PEETERS, 1994).
- Electre I: *Elimination and Choice Translating Reality*. Baseia-se no conceito de concordância e discordância para construir as relações de dominância entre as alternativas. Essas relações definem um grafo a partir do qual é possível definir o menor conjunto de alternativas consideradas satisfatórias (MICHEL; LEITE, 2012).
- Electre II: Método usado para ordenar as alternativas da melhor até à pior, tendo como dados de entrada os resultados obtidos pelo método Electre I (MICHEL; LEITE, 2012).
- Electre III: Utiliza os conceitos de relação de dominância e índice de credibilidade para ordenar as alternativas da melhor à pior (MICHEL; LEITE, 2012).
- Electre VI: Método usado para ordenar as alternativas, mas que oferece a vantagem de não exigir a especificação do peso de cada critério (ROY, 1991).
- Electre Tri: Método baseado em relações de dominância usado para classificar as alternativas em categorias predefinidas, a partir da comparação entre cada alternativa e os perfis que definem os limites das categorias (YU, 1992).
- Evamix: O método é uma generalização da análise de concordância no caso de informação mista na avaliação de alternativas, e permite obter uma ordenação das mesmas (VOOGD, 1982).
- Oreste: Método baseado no conceito de dominância, usado para ordenar as alternativas da melhor até a pior (ROUBENS, 1982).
- Promethee I: *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*. Usa o conceito de fluxo de rede da teoria de grafos para construir as

relações de dominância e ordenar as alternativas da melhor até à pior. Admite situações em que a preferência do decisor é indefinida e as alternativas são consideradas incomparáveis (MICHEL; LEITE, 2012).

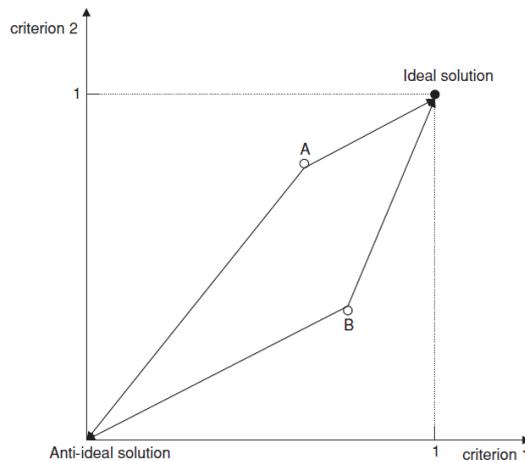
- Promethee II: Método similar ao Promethee I onde não são admitidos julgamentos em que as alternativas são incomparáveis (MICHEL; LEITE, 2012).
- Promethee V: Método que começa por executar o Promethee II, seguido de um método de busca até encontrar a alternativa que respeita uma série de restrições sobre o valor do fluxo de rede e que está melhor colocada na ordenação (MICHEL; LEITE, 2012).
- Qualiflex: É um procedimento métrico baseado na avaliação de todas as possíveis permutações das alternativas consideradas (PAELINCK, 1976).
- Regime: É um método que pode ser visto como uma generalização ordinal de métodos de comparação aos pares, tal como a análise de concordância (HINLOOPEN *et al.*, 1983).

A técnica de ADM escolhida como base para o modelo aqui desenvolvido foi o TOPSIS. A escolha se deu por esta técnica apresentar facilidade de implementação e também pela forma como ela aborda o problema de decisão, através da comparação das alternativas com duas situações hipotéticas: ideal e anti-ideal (SALOMON; PAMPLONA, 1999). Outro aspecto positivo que pode ser ressaltado no uso dessa metodologia é que, em uma mesma base de dados, podem ser considerados critérios que geram benefícios e outros que geram custos (CALILI *et al.*, 2010).

## 2.6 O método TOPSIS

A sigla TOPSIS tem sua origem na expressão *Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution* (Técnica de Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal), e representa um método de ADM onde os únicos parâmetros subjetivos são os pesos associados a cada um dos critérios impostos na comparação das alternativas. O método TOPSIS fundamenta-se na escolha da melhor solução, ou seja, aquela que, após a análise, se apresente mais próxima em relação a uma solução ideal e, ao mesmo tempo, mais distante em relação a uma solução não-ideal ou anti-ideal (YOON; HWANG, 1995). A Figura 4 ilustra a ideia de funcionamento deste método.

**Figura 4: Método TOPSIS**



Fonte: (ISHIZAKA; NEMERY, 2013)

No exemplo representado na figura 4, é assumida a existência de dois critérios que devem ser maximizados. É possível notar que a alternativa “A” se posiciona mais próxima da solução ideal em comparação com a alternativa “B” e, ao mesmo tempo, mais distante da solução anti-ideal, considerando que os pesos dos critérios são iguais. Pelo método TOPSIS, é possível concluir que a alternativa “A” é uma solução melhor que a alternativa “B”.

### 2.6.1 Modelagem do método TOPSIS

Para a implementação do método TOPSIS, é necessária a construção da matriz de decisão, ou matriz de desempenho. Como demonstração, será considerado um problema genérico com  $n$  alternativas  $A_1, A_2, \dots, A_n$  e  $m$  critérios  $C_1, C_2, \dots, C_m$ . Cada alternativa é avaliada a luz dos  $m$  critérios considerados. Cada valor determinado para cada alternativa em relação a cada critério irá compor a matriz de decisão, denotada por  $\mathbf{X} = (\mathbf{X}_{ij})_{n \times m}$  e representada na Equação 1 (TSAUR, 2011):

**Equação 1:**

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nj} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}.$$

Fonte: (TSAUR, 2011)

Além da matriz de decisão, é necessário definir o peso de cada um dos critérios assumidos para a análise de decisão. Considere  $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)$  como sendo o vetor contendo os valores de peso relativos aos  $m$  critérios, satisfazendo a condição  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ . Agora, o procedimento do método TOPSIS pode ser descrito através da seguinte sequência de passos (TSAUR, 2011):

**Passo 1:** normalização dos desempenhos. O objetivo é possibilitar a comparação das alternativas definidas, originalmente, em diferentes unidades de medida. A literatura apresenta diferentes formas de executar esta normalização. Aqui são apresentadas duas diferentes maneiras.

- Normalização Distributiva (YOON; HWANG, 1995): efetua a normalização de cada elemento da matriz de decisão em relação ao desempenho de todas as alternativas em relação a cada um dos critérios.

**Equação 2:**

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n x_{kj}^2}} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad \text{e } j = 1, \dots, m.$$

Fonte: (YOON; HWANG, 1995)

- Normalização Ideal (YOON; HWANG, 1995): efetua a normalização através da divisão pelo valor referente ao melhor desempenho em cada critério. Se o critério é de maximização, este valor será o maior valor da coluna, conforme equação (3). Se o critério é de minimização, este valor será o menor valor da coluna, conforme equação (4).

**Equação 3:**

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{u_i^+} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad \text{e } j = 1, \dots, m;$$

Fonte: (YOON; HWANG, 1995)

onde  $u_i^+ = \max(x_{ij})$  para todo  $i = 1, \dots, n$ .

**Equação 4:**

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{u_i^-} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad \text{e } j = 1, \dots, m;$$

Fonte: (YOON; HWANG, 1995)

onde  $u_i^- = \min(x_{ij})$  para todo  $i = 1, \dots, n$ .

**Passo 2:** é realizada a ponderação da matriz de decisão normalizada através da multiplicação dos desempenhos normalizados  $r_{ij}$  por seus pesos correspondentes  $w_j$ , conforme definido na equação (5):

**Equação 5:**

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij}, \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad \text{e } j = 1, \dots, m.$$

Fonte: (YOON; HWANG, 1995)

**Passo 3:** os desempenhos ponderados devem ser comparados em relação às soluções ideal e anti-ideal. Diferentes maneiras podem ser adotadas para definir uma solução virtual ideal (zênite) e uma solução virtual anti-ideal (*nadir* ou ideal negativo) (YOON; HWANG, 1995). Neste trabalho, será adotada a estratégia de reunir os melhores e piores desempenhos

observados na matriz de desempenho normalizada, em relação a cada critério. Desta forma, a solução ideal é definida como  $A^+ = (v_1^+, \dots, v_m^+)$  e solução anti-ideal é definida como  $A^- = (v_1^-, \dots, v_m^-)$ , onde  $v_j^+ = \max_i(v_{ij})$  para caso o critério  $j$  seja de maximização, e onde  $v_j^- = \min_i(v_{ij})$  para caso o critério  $j$  seja de minimização.

**Passo 4:** é efetuado o cálculo da distância de cada alternativa em relação à solução ideal, conforme equação (6), e em relação à solução anti-ideal, conforme Equação 6.

**Equação 6:**

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^+ - v_{ij})^2} \quad i = 1, \dots, n.$$

Fonte: (YOON; HWANG, 1995)

**Equação 7:**

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^- - v_{ij})^2} \quad i = 1, \dots, n.$$

Fonte: (YOON; HWANG, 1995)

**Passo 5:** é realizado o cálculo do coeficiente de proximidade relativa de cada ação por meio da equação (8):

**Equação 8:**

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad \text{para } i = 1, \dots, n.$$

Fonte: (YOON; HWANG, 1995)

**Passo 6:** a ordenação das alternativas é feita de acordo com a proximidade relativa de cada alternativa em relação à solução ideal. A melhor alternativa é a com a maior proximidade relativa em relação à solução ideal, isto é, com o maior valor do coeficiente de proximidade.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, serão apresentados alguns trabalhos que foram desenvolvidos recentemente no âmbito da análise multicritério, envolvendo cenários de decisão na área pública e outras. Para melhor exposição do assunto, serão apresentados trabalhos que se mostram relevantes ao tema da presente pesquisa, como: técnicas para alocação de recurso; exemplos de aplicação utilizando TOPSIS e ferramentas computacionais que dão suporte por meio de auxílio em determinadas tarefas.

#### 3.1 Modelos multicritério para alocação de recursos

Na dissertação escrita por Amorim (2014), é apresentado o Assistente Digital para Gestão Pública Participativa (ADGEPA). Consiste em um projeto para suporte à tomada de decisão participativa em gestão pública, através do uso de Agente para Suporte a Decisão (ASD) implementado com o método multicritério de Soma Ponderada (SP), com o propósito de auxiliar no processo decisório. Neste trabalho, a técnica de análise multicritério é empregada para ranquear os aspectos mais relevantes para atenuar, ou solucionar, a maior parte das reclamações da população.

O autor justifica o emprego do método multicritério de Soma Ponderada pelos seguintes motivos:

- Facilidade de implementação;
- Facilidade para estruturar o problema;
- Fácil entendimento, o que proporciona transparência;

Este método foi usado para solucionar problemas na área de segurança pública, com o objetivo de auxiliar os gestores na identificação de políticas adequadas para reduzir a criminalidade em determinada região. Neste estudo, foram considerados aspectos como densidade geográfica, crescimento populacional, população em condições sub-humanas, concentração de renda e IDH (Índice de Desenvolvimento Humano). (GURGEL; MOTA; PEREIRA, 2012). O autor utiliza a metodologia de análise multicritério para ser empregada em um Agente de Suporte a Decisão, pois existe a necessidade de criar uma ordenação com o propósito de realizar o ranqueamento dos problemas socioambientais que precisam receber uma atenção prioritária. Neste caso os problemas socioambientais que receberem maior grau de prioridade, segundo a ordenação, receberam prioridade na solução do problema.

Na tese desenvolvida por Campos (2011), é apresentado um modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. As diretrizes estabelecidas por este trabalho auxiliam os tomadores de decisão por meio de uma sequência de conceitos, fases e, principalmente, pela aplicação da metodologia de análise multicritério. Com relação à contribuição da pesquisa, esta consiste em estruturar a decisão pelas definições dos elementos do processo (intervenientes, alternativas potenciais, critérios, problemática), modelagem de preferência, escolha dos métodos multicritérios, sistemas de apoio à decisão, avaliação de resultados e análise de sensibilidade.

Quanto ao método multicritério adotado, o autor fez uso do PROMETHEE II. O seu uso é justificado pelo fato deste método estar entre a classe de métodos de dominância, ou seja, pelo fato de não admitir relação de incomparabilidade entre alternativas, neste caso o

resultado final é uma pré-ordem completa. Assim, a ordenação obtida vai depender do comparativo entre todas as opções de projetos de saneamento avaliadas no problema.

O modelo proposto para priorização tem a função de estruturar o processo de decisão. O autor apresenta os detalhes do modelo da seguinte forma:

- Intervenientes no processo de decisão: nesta fase são identificados os atores participantes no processo de decisão no setor de saneamento e sua área de interesse;
- Definição do tipo de decisão em grupo: nesta fase são estudadas algumas das propriedades relativas aos procedimentos de seleção de projetos sanitários, sendo identificados alguns tipos de abordagem para decisão em grupo, conforme segue: Quanto à forma, Quanto à regra, Quanto à manifestação do poder, Quanto à análise de preferência e Técnicas de decisão;
- Definição das alternativas: para esta fase, o autor destacou algumas observações importantes a serem levadas em consideração como, atentar para definição clara dos projetos que devem ser priorizados; atentar para projetos que oferecem acesso detalhado a informações; a quantidade de alternativas, destacando que esta última dependerá da dimensão do problema.
- Definição dos critérios: recomenda-se consultar o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Outra fonte importante citada pelo autor são os indicadores de desenvolvimento sustentável do IBGE;
- Escolha do método multicritério: a escolha do método depende das características do problema em questão e das preferências do decisor. Deve-se escolher o método baseando-se nas suas características, como: natureza do problema, tipos de critérios e maneira pela qual será conduzida a modelagem de preferência.

No trabalho desenvolvido por Moura *et al.* (2013), é proposto um modelo de análise multicritério para priorização na alocação de recursos para projetos sustentáveis. Consiste em utilizar a abordagem multicritério por meio do método PROMETHEE II para priorizar projetos, ou seja, montar um *ranking* dentro de um conjunto de projetos propostos no âmbito social sustentável.

No desenvolvimento deste trabalho, o modelo abrange a problemática de alocação de recursos limitados para o desenvolvimento de projetos sustentáveis. Com base no exposto, o foco principal do modelo é a avaliação e posterior priorização dos projetos dentro do portfólio de projetos socialmente sustentáveis. Os autores utilizaram o modelo em uma problemática com dados hipotéticos, porém, podendo ser utilizado para problemas reais.

Para aplicação do modelo proposto neste trabalho, foi adotado um conjunto de projetos de sustentabilidade que disputam recursos limitados relativos a aspectos financeiros, de pessoal, tecnológicos e físicos. Em decorrência das limitações de recurso, os *Stakeholders* envolvidos na decisão de priorização dos projetos necessitam analisar, criteriosamente, cada projeto, fazendo isso através da análise inter-critério proporcionada pela metodologia multicritério adotada. Ao término das comparações par a par realizadas pela aplicação do método, é possível obter o *ranking* dos projetos, segundo o fluxo líquido calculado para cada alternativa.

Sobre as conclusões, os autores evidenciam a necessidade por modelos que incorporem métodos multicritério para a priorização de projetos socialmente sustentáveis, devido as suas características peculiares e pela dificuldade da classificação, em virtude da análise subjetiva realizada pelos decisores. Outra contribuição mencionada, e citada como considerável, seria a

aplicação deste modelo em um estudo de caso, utilizando dados reais fornecidos por alguma indústria.

No trabalho desenvolvido por Amiri (2010), é apresentada a proposta de uma nova metodologia para fornecer uma abordagem simples para priorizar projetos, e assim ajudar o tomador de decisão a escolher a melhor opção de projeto que irá contribuir para o desenvolvimento de campos de petróleo para a *National Iranian Oil Company*. O autor utiliza seis critérios de comparação para as alternativas inseridas na análise. Faz uso da metodologia de análise multicritério com os métodos AHP e TOPSIS *fuzzy* para ordenação das alternativas. O AHP é usado para analisar a estrutura do problema de seleção de projetos e para determinar os pesos dos critérios e o método TOPSIS *fuzzy* é utilizado para obter priorização final.

Ainda de acordo com o autor, todo projeto começa como uma proposta, que passa por uma triagem e se for viável, passa a ser um projeto e então compõe o conjunto de alternativas que serão processadas. Em um mundo de recursos limitados, as escolhas têm de ser feitas. O objetivo do processo de priorização de projetos é analisar a viabilidade de execução, realizar a aprovação ou rejeição com base nos critérios estabelecidos e seguir um conjunto de passos estruturados até se obter uma ordenação por priorização. Neste trabalho, o método proposto para o problema de seleção de projetos, composto por AHP e métodos TOPSIS *fuzzy*, consiste em três etapas básicas: (1) identificar os critérios que serão utilizados no modelo, (2) os cálculos AHP, (3) avaliação de alternativas com TOPSIS *fuzzy* e determinação da classificação final.

### 3.2 Comparativo entre os trabalhos apresentados

Com o objetivo reunir os principais aspectos contidos nos trabalhos relacionados apresentados anteriormente e ao mesmo tempo realizando comparativo com o trabalho desenvolvido é apresentado a Tabela 1. Entre os itens comparados estão: a modalidade considerada no trabalho; o método de análise multicritério utilizado; o objetivo do trabalho, ou seja, se oferece auxílio a priorização na alocação de recursos limitados; a área de aplicação, especialmente a área pública; a existência de aplicação de um modelo computacional.

**Tabela 1: Comparação entre os trabalhos relacionados**

<b>Autor</b>	Amorim (2014)	Campos (2011)	Moura <i>et al.</i> (2013)	Amiri (2010)
<b>Modalidade</b>	Segurança pública	Saneamento	Social Sustentável	Campos de petróleo
<b>Método(s) Utilizado(s)</b>	Soma Ponderada	PROMETHEE II	PROMETHEE II	AHP e TOPSIS
<b>Priorizar alocação de recursos</b>	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Área pública</b>	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Aplica modelo computacional</b>	Não	Não	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os estudos apresentam metodologias de análise de decisão multicritério aplicados no auxílio a decisão da alocação de recursos limitados. O trabalho apresentado por Amiri (2010) propõe um modelo de decisão para priorização de investimentos em campos de petróleo e os

demais abordam problemas relacionados à alocação de recursos no âmbito da gestão pública. Um aspecto comum em todos os trabalhos apresentados é a possibilidade de oferecer auxílio aos gestores na tomada de decisão envolvendo recursos financeiros. O trabalho proposto por Amorim (2014) trata especificamente da priorização de investimentos voltados para a segurança pública e utiliza informações oriundas da participação da própria população para determinar os dados a serem utilizados no processo de decisão. No trabalho proposto por Moura *et al.* (2013), trata-se o problema de priorização de recursos aplicados a projetos no âmbito social sustentável. Para este estudo o autor utilizou dados hipotéticos, mas destaca que o modelo pode ser usado em situações reais.

No trabalho apresentado por Amiri (2010), é proposto um modelo para priorização de projetos que contribuam para o desenvolvimento de campos de petróleo. O autor destaca a realização de uma triagem (classificação dos projetos com mais relevância/potencialidade) antes da aplicação do modelo propriamente dito.

Com o propósito de facilitar a comparação entre os trabalhos relacionados é apresentado por meio da Tabela 2, relação entre os trabalhos relacionados e o trabalho desenvolvido tendo como base os mesmos aspectos de observação.

**Tabela 2: Comparação com o trabalho realizado**

<b>Autor</b>	Elionai Magalhães (2016)
<b>Modalidade</b>	Região das comunidades ribeirinhas, AM (Âmbito geral)
<b>Método(s) Utilizado(s)</b>	TOPSIS
<b>Priorizar alocação de recursos</b>	Sim
<b>Área pública</b>	Sim
<b>Aplica modelo computacional</b>	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor.

No presente trabalho, a modalidade considerada foi à priorização de recursos em áreas de comunidades ribeirinhas da cidade de Coari, Amazonas. O método utilizado para a análise multicritério e ordenamento das regiões por prioridade foi o TOPSIS. O método foi aplicado por meio de implementação em um modelo computacional proposto neste trabalho, dessa forma os passos para a execução do método TOPSIS foi automatizado. Nenhum dos trabalhos apresentados anteriormente apresenta a proposta de um novo modelo computacional para implementação da técnica de análise multicritério.

## 4 MODELO COMPUTACIONAL

Este capítulo apresenta o modelo computacional desenvolvido, denominado *TopAloc*. Ele é baseado em uma metodologia de Análise de Decisão Multicritério aplicada ao problema de alocação eficiente de recursos em comunidades ribeirinhas da região de Coari, Amazonas. Neste capítulo é dado o devido destaque e detalhamento dos componentes da arquitetura e os artefatos que integram o modelo desenvolvido. O modelo baseia-se no emprego do método TOPSIS para solução do problema da eficiência na alocação de recursos públicos em comunidades ribeirinhas do Estado do Amazonas. O modelo, denominado *TopAloc*, será apresentado em mais detalhes assim como os componentes de arquitetura, descrição da tecnologia usada na construção do mesmo, e todos os elementos que integram o sistema em geral. Para o primeiro tópico deste capítulo será apresentado o passo a passo da construção do modelo, em seguida a arquitetura do modelo *TopAloc*, seguida da descrição dos requisitos do modelo e casos de uso. Dando continuidade à apresentação do modelo, será apresentada a estrutura da técnica aplicada ao modelo para ranquear as alternativas envolvidas no problema de tomada de decisão multicritério.

### 4.1 Processo de construção do modelo computacional

Nesta seção será apresentado o passo a passo da construção do modelo computacional proposto. Um modelo de engenharia de software é escolhido considerando-se a natureza do projeto e de onde será aplicado, os métodos e as ferramentas a serem aplicados (MOURÃO; PONTES; GORAYEB, 2009). Foram seguidas as seguintes etapas para construção do modelo:

- Engenharia do modelo TopAloc: nesta etapa procurou-se obter uma visão ampla da metodologia de decisão, pois a principal tarefa é a aplicação do método TOPSIS de análise de decisão multicritério. Esta etapa foi importante, pois o modelo proporciona uma interface com o usuário e com uma base de dados. Nesta etapa foi envolvida a coleta de requisitos em nível de modelo;
- Análise do modelo TopAloc: para esta etapa foi realizado uma intensificação do processo de coleta de dados feito na etapa anterior, houve um refinamento dos requisitos observados para compor o modelo. Uma das finalidades desta etapa foi entender a natureza do modelo a ser desenvolvido, sua função, seu desempenho e principalmente a interface com os usuários, neste caso os decisores do processo de priorização de alocação de recursos do município de Coari, Amazonas;
- Projeto do modelo: nesta etapa foi desenvolvida a arquitetura geral do modelo com base nas duas etapas anteriores. Nesta etapa foi estabelecida a identificação e a descrição das abstrações do modelo e suas relações. No processo do projeto estão incluídas a estrutura de dados, arquitetura do modelo, procedimentos e a interface;
- Etapa de codificação: nesta etapa o projeto do modelo foi codificado em linguagem de programação. Foi realizada a programação do modelo, onde a plataforma computacional utilizada pode interpretar e executar o que lhe foi proposto;

- Etapa de testes: após a construção do protótipo de modelo proposto foi realizado vários testes com o propósito de verificar e garantir que as funcionalidades implementadas atendiam ao esperado;
- Manutenção do modelo: após as etapas anteriores a aplicação desenvolvida foi posta em operação. Após a verificação do desempenho da aplicação foram identificadas algumas necessidades de mudanças onde as mesmas sofreram adaptações e foram corrigidas.

Após ter seguido os detalhes da construção do modelo apresentado nesta seção, foi possível gerar a documentação que especifica os detalhes do modelo computacional proposto. A seguir, serão apresentadas informações referentes aos resultados destas etapas.

## 4.2 Arquitetura Geral do Modelo

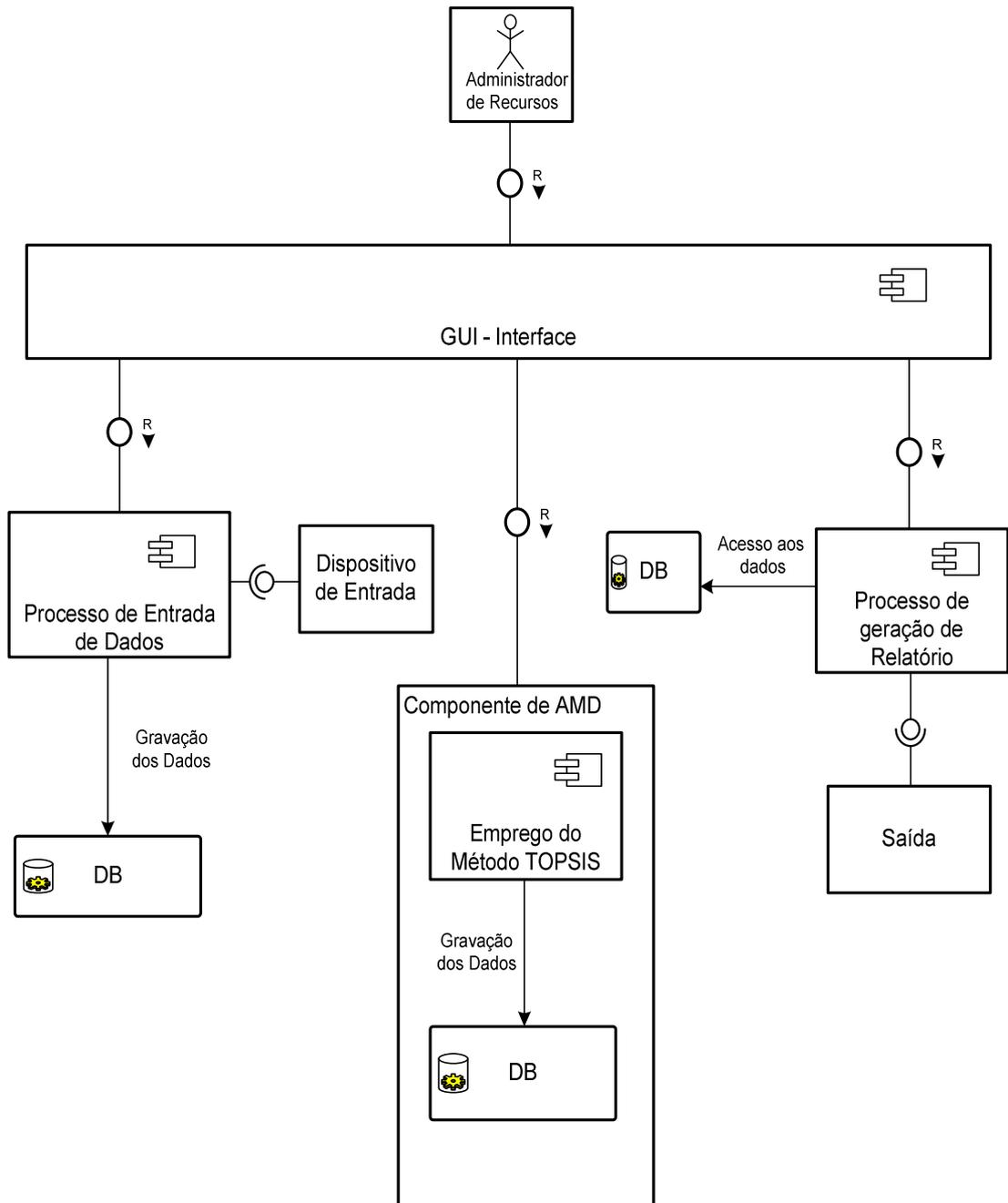
O modelo computacional proposto será descrito por sua arquitetura geral representada por meio da Figura 5. Os módulos que constituem o modelo são os seguintes: (i) *Graphical User Interface - GUI*<sup>2</sup>, (ii) Módulo responsável pelo controle de Entrada de Dados, (iii) Módulo que servirá para implementação do método de Análise Multicritério TOPSIS por meio de recursos de programação, (iv), Modelagem da base de dados, (v) Módulo de tratamento dos resultados obtidos, geração de relatório.

Todos os módulos que compõem a arquitetura do modelo computacional apresentado serão descritos com mais detalhes nas próximas seções.

---

<sup>2</sup> Interface Gráfica com o Usuário

**Figura 5: Arquitetura geral do modelo desenvolvido**



Fonte: Elaborado pelo autor.

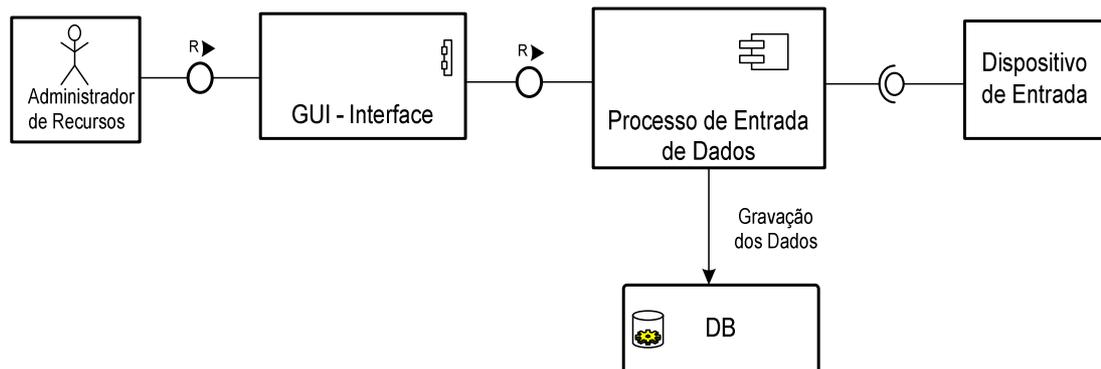
#### 4.2.1 Interface

A arquitetura foi elaborada de forma que possa ser adaptável tanto para ser implementada em um computador *desktop* como também em um aparelho móvel, como celular ou *tablet*. Na arquitetura apresentada na Figura 5, este componente é responsável pela interação do usuário com o sistema e suas funcionalidades e tem o objetivo de ser o mais amigável possível e de fácil compreensão.

#### 4.2.2 Componente de entrada

Trata-se do mecanismo usado para entrada de dados. Por se tratar de uma arquitetura para um modelo genérico, este componente pode ser implementado para funcionar por meio de um teclado tradicional de computador de mesa ou um teclado acionado pela tecnologia *Touch Screen*<sup>3</sup>.

**Figura 6: Módulo de Entrada de Dados**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme mostra a Figura 6, o usuário, por meio da interface da aplicação, terá acesso aos mecanismos de inserção de dados representados pelos componentes: Processo de Entrada de Dados, Dispositivo de Entrada e *Data Base* (DB). As informações inseridas no sistema servirão para construção da matriz de desempenho como citado na seção 2.6.1. Todas as informações, ao fim do processo de entrada, serão armazenadas na base de dados, representada pelo DB.

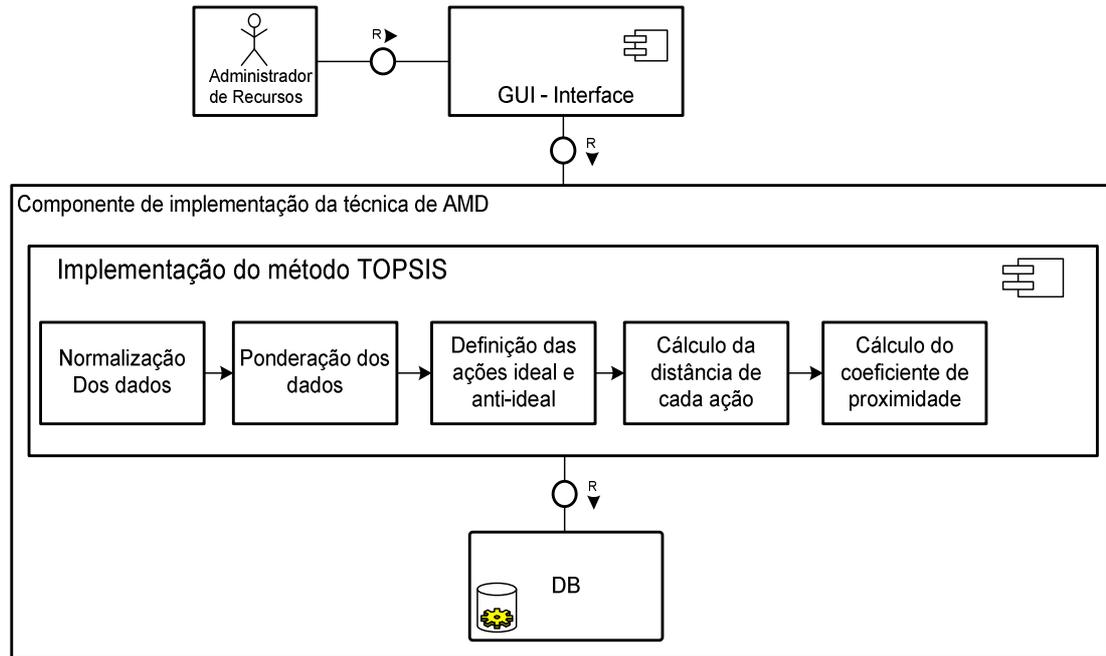
#### 4.2.3 Módulo de implementação da técnica de ADM

Nesta parte do modelo, conforme apresentado na Figura 7, é colocada em prática a realização da implementação da técnica de Análise de Decisão Multicritério (ADM) a qual foi apresentada em detalhes no item 2.6. A técnica será implementada usando a metodologia TOPSIS a qual tem como ideia de que a melhor solução é aquela que apresenta a *menor* distância em relação à solução ideal e a *maior* distância em relação à solução anti-ideal. Ao fim da aplicação da técnica, será possível a elaboração de um *ranking* o qual irá ordenar as alternativas cadastradas baseadas nos seus desempenhos em relação a cada critério, conforme explicado no item 2.6.1. Por meio do *ranking* será possível determinar quais as alternativas, ou seja, as comunidades ribeirinhas com maior prioridade para receber a alocação de recursos provenientes da receita municipal.

---

<sup>3</sup> É um tipo de tela, geralmente usada em equipamentos como telefones celulares, sensível ao toque e que dispensa o uso de teclados e mouses. É também conhecido como "sensível ao toque".

**Figura 7: Módulo de implementação do método TOPSIS**



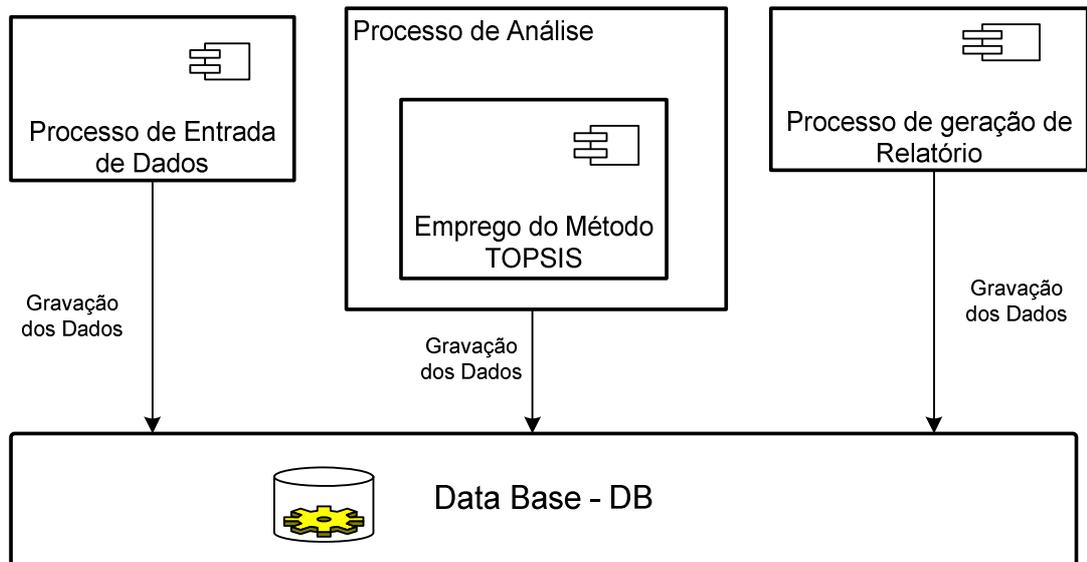
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na implementação do método TOPSIS, o módulo é responsável pela seleção das informações necessárias para iniciar o procedimento de análise, e isto é feito por meio de acesso ao DB. Após aquisição das informações relativas às Alternativas e aos Critérios, é iniciada a aplicação da metodologia TOPSIS. Ao término do processo, os resultados gerados são armazenados no DB para geração do *ranking*.

#### 4.2.4 Data Base

Neste módulo, são armazenadas todas as informações cadastradas pelo usuário e também os resultados obtidos por meio do processo de implementação da metodologia de ADM. O módulo responsável por gerar os relatórios, ou seja, a saída das informações, também está conectada ao DB, para ter acesso às informações que, depois de processadas, irão gerar os relatórios com os resultados. Este módulo está identificado na arquitetura pelo agente DB e apresentado por meio da Figura 8.

**Figura 8: Módulo de Armazenamento e suas conexões**

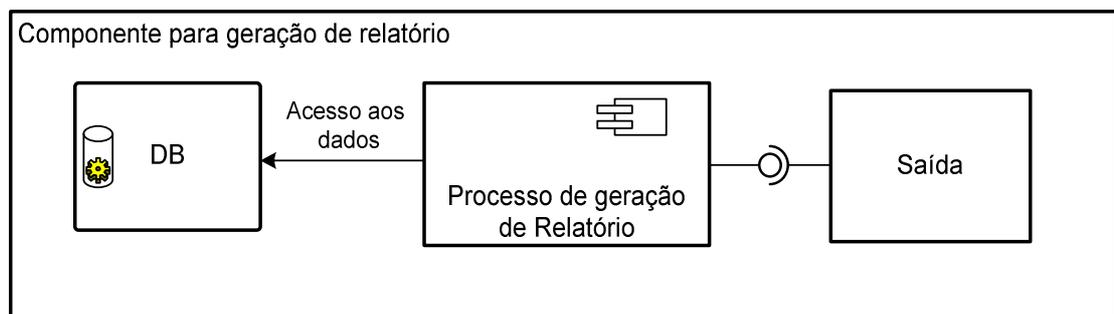


Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.5 Módulo para geração de relatórios

A estrutura desse módulo como mostra a Figura 9 está conectada ao DB com fins de acessar os dados armazenados para estruturá-los em formato de relatório e disponibilizá-los ao usuário de forma legível e compreensível.

**Figura 9: Módulo para geração de relatórios**



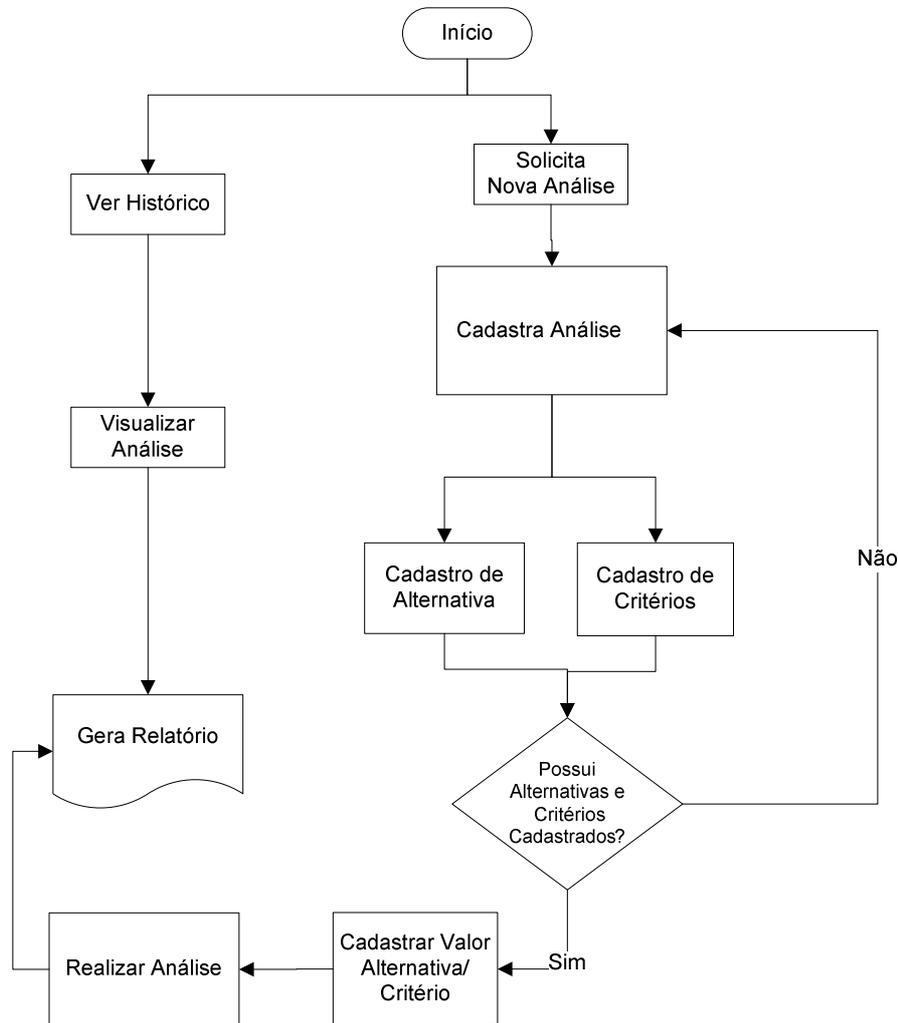
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.6 Fluxograma do Modelo

A partir do fluxograma apresentado por meio da Figura 10, é possível acompanhar os processos de acontecimentos possíveis do modelo apresentado. O gestor de recursos inicia solicitando uma análise ou consultando o histórico de análises já realizadas. Considerando que seja escolhida uma nova análise, o usuário será direcionado ao módulo de entrada de dados onde terá que cadastrar os dados da Análise como: nome e descrição. Após o cadastro da nova análise será necessário incluir as alternativas e critérios com seus respectivos pesos. Após esta etapa, é habilitada a opção de inserir os valores das alternativas referentes aos seus respectivos

critérios. Após esses passos, e com a confirmação do usuário, a ferramenta computacional inicia o processo de análise onde será aplicada a metodologia TOPSIS de ADM.

**Figura 10: Fluxograma do modelo *TopAloc***



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao fim do processo de análise, os resultados são guardados e colocados a disposição para geração do relatório. Através da geração do relatório, é possível visualizar o *ranking* das alternativas, verificando aquelas que possuem maior prioridade dentre as demais, um dos principais objetivos desse trabalho.

### 4.3 Especificação do modelo

Para o desenvolvimento do modelo, as suas especificações tiveram que ser definidas. Tais especificações foram realizadas por meio de diagramas UML, especificamente os diagramas de classe e o diagrama de caso de uso (BEZERRA, 2007). O diagrama de classes, apresentado na Figura 11, representa a estrutura estática de um sistema e as classes representam os objetos que serão manipulados. Na estrutura do diagrama de classes, são mostrados os atributos, métodos ou operações e os relacionamentos entre os vários objetos (MOURÃO; PONTES; GORAYEB, 2009). Para o modelo aqui proposto, foi elaborado o diagrama composto pelas seguintes classes:

**Análise:** esta classe possui os métodos e atributos responsáveis pelo armazenamento e alterações para informações das análises inseridas no modelo;

**Alternativas:** esta classe possui os métodos e atributos responsáveis pelo armazenamento e alteração dos dados referentes às alternativas;

**Crítérios:** esta classe possui os métodos e atributos responsáveis pelo armazenamento e alteração dos dados referentes aos critérios;

**ValorAlternativaCritério:** esta classe possui dados da classe alternativa e critério, seu objetivo é guardar os valores de cada critério para cada alternativa;

**Normalização:** esta classe guarda as informações referentes à normalização dos valores obtidos por meio da classe valorAlternativaCritério;

**Ponderação:** esta classe armazena os dados ponderados do modelo de decisão como mostrado no Equação 5: ;

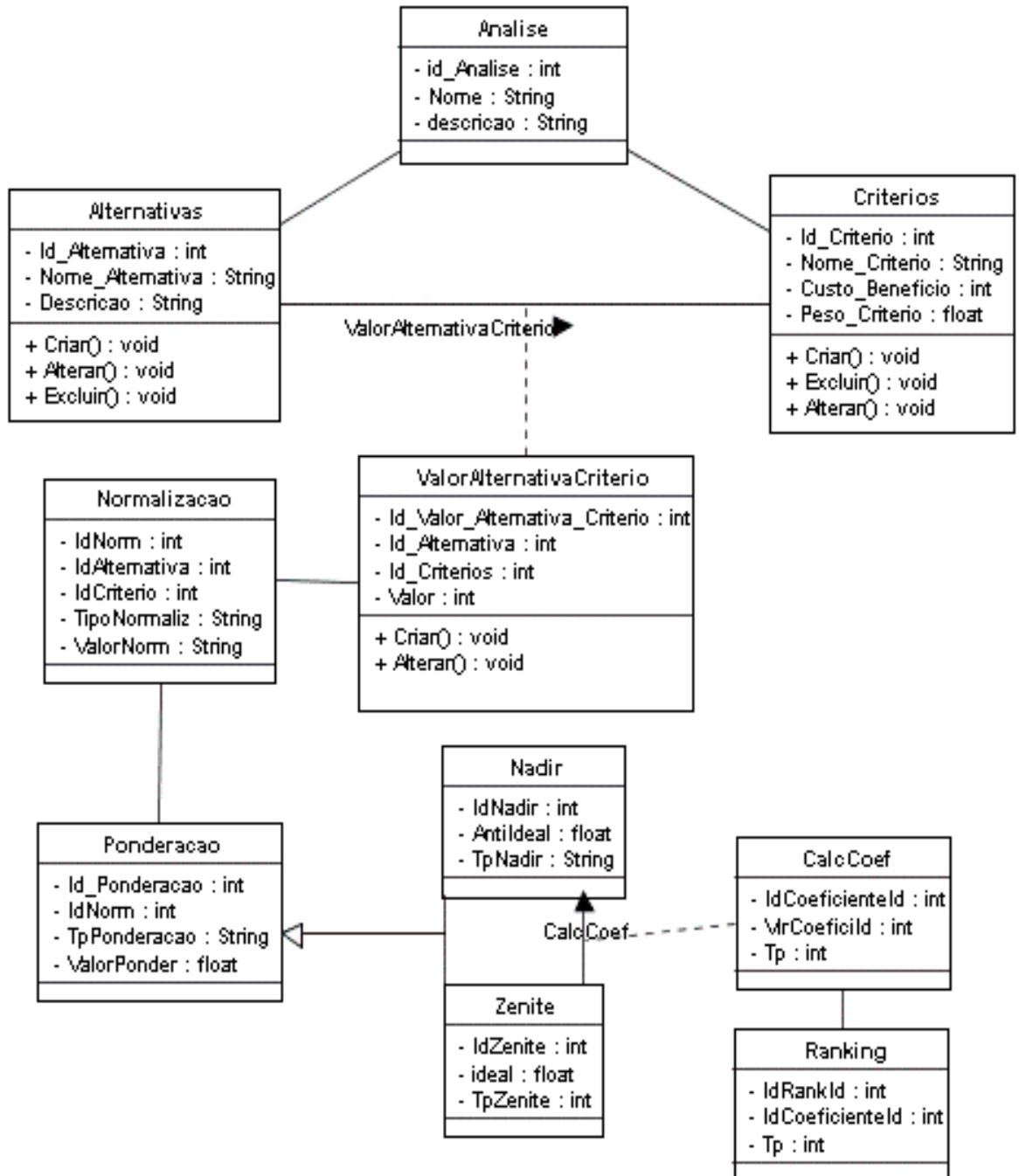
**Nadir:** esta classe armazena as informações referentes ao ponto anti-ideal como mostrado Equação 7: ;

**Zenite:** esta classe armazena as informações referentes ao ponto ideal como mostrado por meio da Equação 6: ;

**CalcCoef:** esta classe armazena as informações referentes ao cálculo do coeficiente de proximidade da solução ideal como mostrado na Equação 8: ;

**Ranking:** esta classe armazena as informações referentes à ordenação, ou seja, após o término do processo, o modelo irá gerar o produto final que será a ordenação das alternativas, sendo a primeira posição ocupada por aquela que possuir o maior grau de prioridade de acordo com os critérios estabelecidos para receber a alocação de recursos.

Figura 11: Diagrama de classes

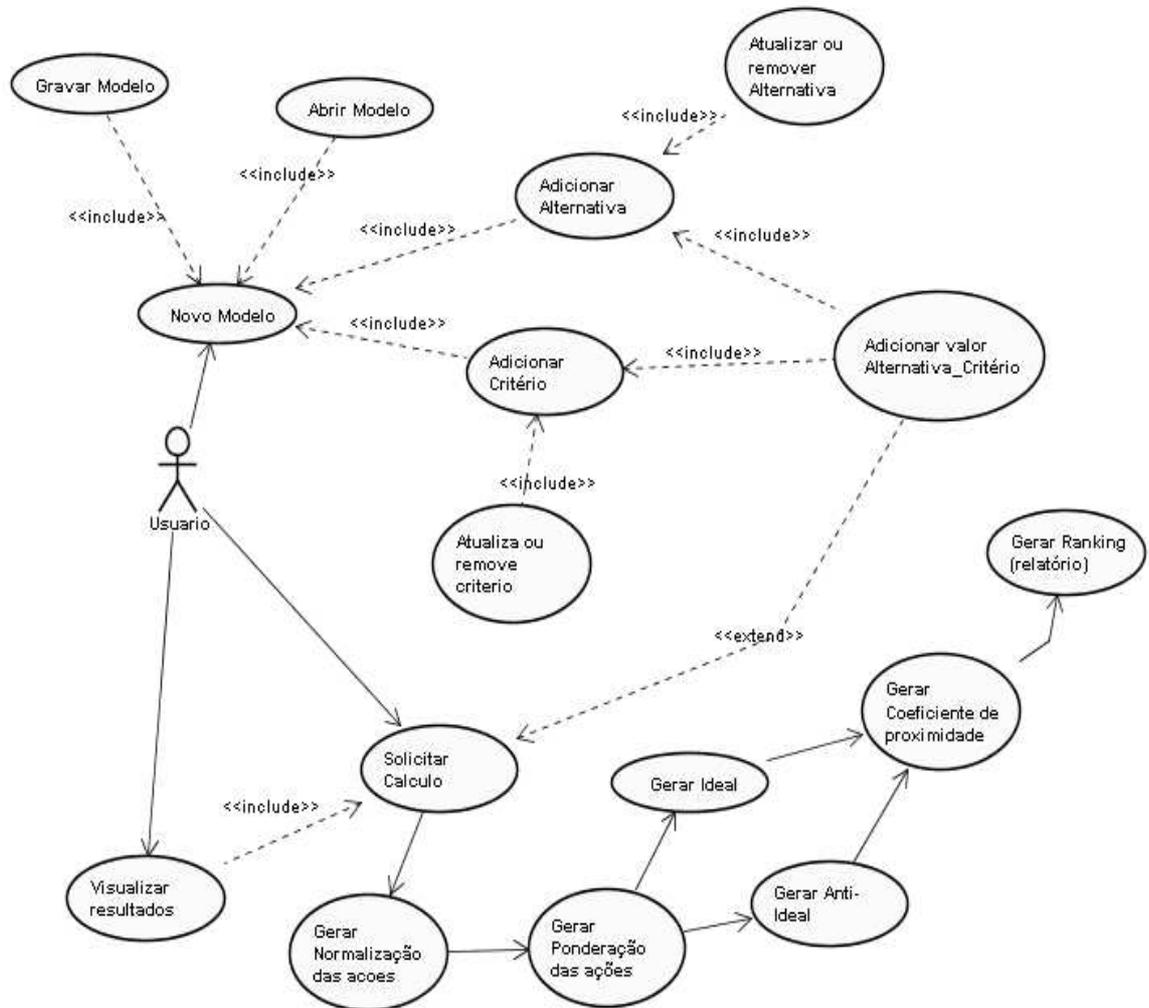


Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo de casos de uso possui a capacidade de representar as funcionalidades externamente observáveis do sistema e também dos elementos externos que interagem com ele, ou seja, o modelo de caso de uso molda os requisitos funcionais do sistema (BEZERRA, 2007). O diagrama de casos de uso apresentado na Figura 12, representa as várias maneiras que o usuário interage como o modelo. Nas interações mostradas neste diagrama de casos de uso, destacam-se três grupos distintos: o primeiro é a persistência do modelo (gravar e abrir modelo). O segundo é a edição do modelo (adicionar alternativas, adicionar critérios e adicionar valores de desempenho das alternativas nos critérios cadastrados). O terceiro grupo

é onde se obtém o resultado por meio do cálculo (solicita cálculo, gera normalização, gera ponderação, gera ideal e anti-ideal, geração do coeficiente de aproximação e o *ranking* final).

Figura 12: Diagrama de caso de uso



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4 Modelagem dos dados

O conceito de banco de dados é intuitivo e possui o mesmo objetivo dos variados tipos de banco que é o de armazenar coisas (MELO; PEREIRA; LIMA, 2009). Modelos de dados são padrões de organização e estruturação de dados que servem como uma espécie de forma para armazenagem dos dados e seu objetivo principal é o de possibilitar níveis de abstração de dados e omitir os detalhes de implementação. (MELO; PEREIRA; LIMA, 2009):

O tipo de Banco de dados implementado neste modelo foi o relacional. Este modelo é o mais usado comercialmente e está no mercado desde os anos 60, principalmente devido ao aumento de independência de dados no sistema de gerenciamento de banco de dados, o que promove o emprego de um conjunto de funções com base em álgebra relacional para o armazenamento e recuperação de dados (MELO; PEREIRA; LIMA, 2009).

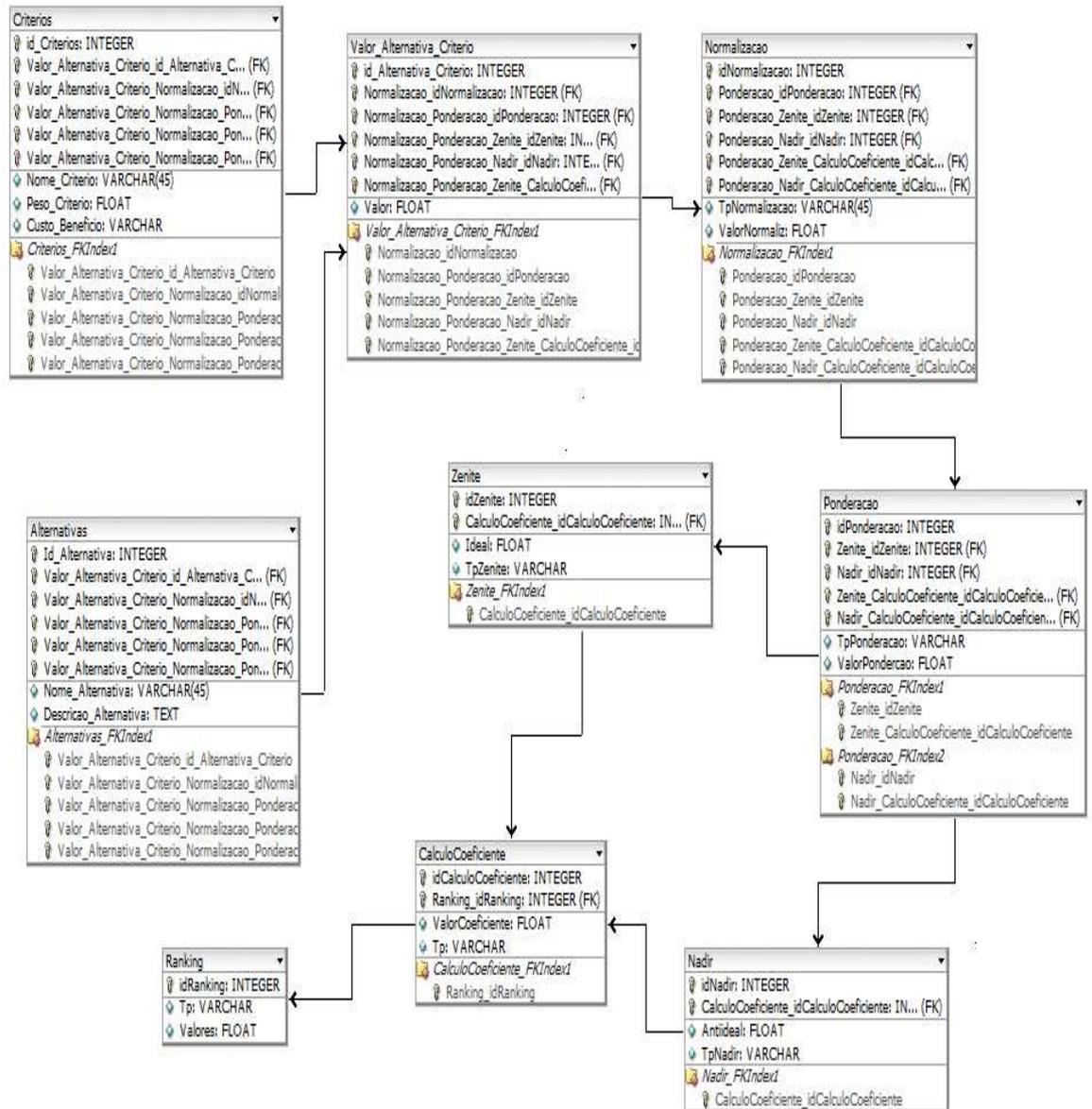
Este modelo foi escolhido devido à necessidade de armazenamento de grupo de objetos em um dicionário de dados, tornando a manipulação das informações, presentes no objeto, mais rápida e segura.

Para determinar o ranqueamento das alternativas visando à alocação de recursos financeiros, as informações relacionadas à aplicação do método TOPSIS foram modeladas utilizando o modelo de entidade relacionamento. A modelagem de dados tem como objetivo apresentar os requisitos das informações, através da demonstração descrita graficamente, denominado modelo de dados (OLIVEIRA, C. H. P., 2002).

O Modelo Entidade e Relacionamento (MER) destaca-se por ser uma excelente ferramenta para desenvolver a modelagem de dados de uma aplicação (MELO; PEREIRA; LIMA, 2009). Neste modelo, são definidos quais dados poderão ser armazenados no banco de dados, sem se preocupar como isso acontecerá (MELO; PEREIRA; LIMA, 2009).

Para a construção do modelo computacional, torna-se importante a modelagem da base de dados. O algoritmo usado para implementação do método TOPSIS necessita de informações a respeito do problema tratado, de modo que possa ser aplicado de maneira adequada e obtenha os resultados esperados. Uma vez realizada a modelagem dos dados, o estado final do modelo da base de dados pode ser representado conforme mostrado por meio da Figura 13.

Figura 13: Modelo da base de dados



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a implementação do método de análise multicritério TOPSIS, após terem sido reunidos os desempenhos das alternativas sobre os diferentes critérios, existem basicamente quatro passos necessários que precisam ser percorridos, conforme descrito na seção 2.7.1: (i) normalização dos desempenhos; (ii) ponderação das pontuações normalizadas; (iii) cálculo das distâncias a um ponto ideal e a um ponto anti-ideal e (iv) determinação das proximidades através do cálculo da razão entre as distâncias calculadas.

Na modelagem, a tabela *Análise\_Topsis* armazena informações a respeito do nome da análise que se pretende realizar e também uma breve descrição. A tabela *Alternativas* armazena informações a respeito das alternativas aptas a participarem da análise relativa à alocação de recursos. A tabela *Criterios* armazena informações a respeito dos critérios pelos quais as alternativas serão avaliadas. Na tabela *Alternativa\_Criterio*, são armazenados os nomes das alternativas, critérios e pesos correspondentes a cada critério.

A tabela *Analise\_Topsis* é composta por três atributos: *Id\_Table\_Analise\_Topsis*, *Nome*, *Descrição*. O atributo *Id\_Table\_Analise\_Topsis* é a chave primária da tabela, e por esta razão torna-se necessário o formato ser numérico e sequencial. O atributo *Nome* armazena o nome da tabela. O atributo *Descrição* armazena informações detalhadas sobre o tipo de análise que será realizada.

A tabela *Alternativas* é composta por quatro atributos: *Id\_Alternativa*, *Id\_Analise\_Topsis*, *Nome\_Alternativa*, *Descrição\_Alternativa*. O atributo *Id\_Alternativa* é a chave primária da tabela, por isso é em formato numérico sequencial. O atributo *Id\_Analise\_Topsis* é uma chave estrangeira da tabela *Analise\_Topsis* e representa um relacionamento de um (1) para *N* com esta tabela. Isso significa que uma (1) análise pode possuir mais de uma (1) alternativa ou que uma (1) alternativa pode estar em apenas uma (1) análise. O atributo *Alternativa* armazena o nome da alternativa e o atributo *Descricao* armazena detalhes sobre a alternativa em questão.

A tabela *Critérios* é composta por cinco atributos: *Id\_Criterios*, *Id\_Analise\_Topsis*, *Alternativa\_Criterio*, *Nome\_Criterio* e *Peso\_Criterio*. O atributo *Id\_Criterios* é a chave primária da tabela, por isso é em formato numérico sequencial. O atributo *Id\_Analise\_Topsis* é uma chave estrangeira da tabela *Analise\_Topsis* e representa um relacionamento de um (1) para *N* com esta tabela. Isso significa que uma (1) análise pode possuir mais de uma (1) alternativa ou que uma (1) alternativa pode estar em apenas uma (1) análise. O atributo *Alternativa\_Criterio* é uma chave estrangeira da tabela *Alternativa\_Criterio* e representa um relacionamento de um (1) para um (1) com esta tabela. O atributo *Nome* armazena a identificação do nome do referido critério. O atributo *Peso* armazena as informações referentes ao valor correspondente do respectivo critério para fins de cálculo.

A tabela *Alternativa\_Criterio* é composta por quatro (4) atributos: *Id\_Alternativa\_Criterio*, *Alternativa*, *Criterio*, *Peso*. O atributo *Id\_Alternativa\_Criterio* é a chave primária da tabela, por isso é em formato numérico sequencial. O atributo *Alternativa* armazena o nome de uma alternativa gravada na tabela *Alternativa*. O atributo *Criterio* armazena a informação sobre um (1) critério gravado na tabela *Criterio*. O atributo *Peso* armazena informação sobre o valor do peso de um critério na análise a ser realizada.



## 5 MODELO DE DECISÃO

A alocação de recursos em comunidades ribeirinhas é essencial para garantir a manutenção e ou implantação de serviços aos cidadãos para que os mesmos possam ter acesso aos serviços básicos como: saúde, educação, saneamento, entre outros. No entanto, não há recursos suficientes para garantir a atenção necessária a todas as comunidades que precisam ser beneficiadas por tais recursos. Por consequência desse fato, é preciso desenvolver um plano que defina a ordem de alocação dos recursos disponíveis. A fim de evitar que a definição das comunidades contempladas com recurso público seja feita de maneira empírica ou que a decisão não esteja fundamentada em informações técnicas, é necessário o emprego de um procedimento baseado em regras claras e estáveis para garantir um planejamento eficiente na tomada de decisão.

### 5.1 Processo de desenvolvimento do modelo de decisão

Nesta seção serão apresentadas as etapas de construção do modelo de decisão até a implementação do modelo computacional com a técnica TOPSIS de análise de decisão multicritério. A seguir, a sequência de etapas apresenta o passo a passo da construção do modelo de decisão proposto.

- Acolhimento das demandas: os líderes comunitários (representantes das comunidades ribeirinhas) apresentam no órgão responsável do governo municipal da cidade as solicitações de alocação de recursos, as justificativas e os objetivos para tal;
- Elaboração da documentação (projeto): uma equipe administrativa do órgão elabora o projeto referente a cada solicitação. Este trabalho é feito pela equipe da secretaria, pois a grande maioria dos líderes não possui instrução qualificada para tal trabalho, nestes casos os mesmos são auxiliados pela equipe administrativa;
- Triagem dos projetos e determinação das alternativas: nesta etapa os principais decisores, ou seja, os responsáveis pelas decisões e representantes do governo municipal, juntamente com um corpo técnico e outros funcionários considerados pela sua experiência na área de atuação junto às comunidades, realizam reuniões. Faz-se uma análise sobre todos os projetos candidatos a receberem recursos. Ao final desta etapa tem-se determinado quais e quantas comunidades participarão do processo de análise de decisão multicritério. As comunidades selecionadas nesta etapa comporão a matriz de decisão como sendo as alternativas;
- Determinação dos critérios e de seus pesos: por meio de reuniões com os decisores, a equipe de apoio e líderes comunitários são escolhidos os critérios que irão ser considerados na matriz de decisão. Para esta etapa os responsáveis consideram a relevância do critério, a quantidade e principalmente o grau de importância que cada um terá no emprego da técnica de decisão. Dentre as considerações, destacam-se informações junto ao IBGE, Secretaria de Saúde, Defesa Civil e outros. As informações estão relacionadas à quantidade de pessoas e famílias, qualidade de vida, posição geográfica e outros;
- Construção da matriz de desempenho: de posse de todas as informações colhidas por meio das etapas descritas anteriormente é possível a construção da matriz de

desempenho. Essa matriz será composta pelas alternativas, critérios e seus respectivos pesos e o desempenho de cada alternativa em relação a cada critério;

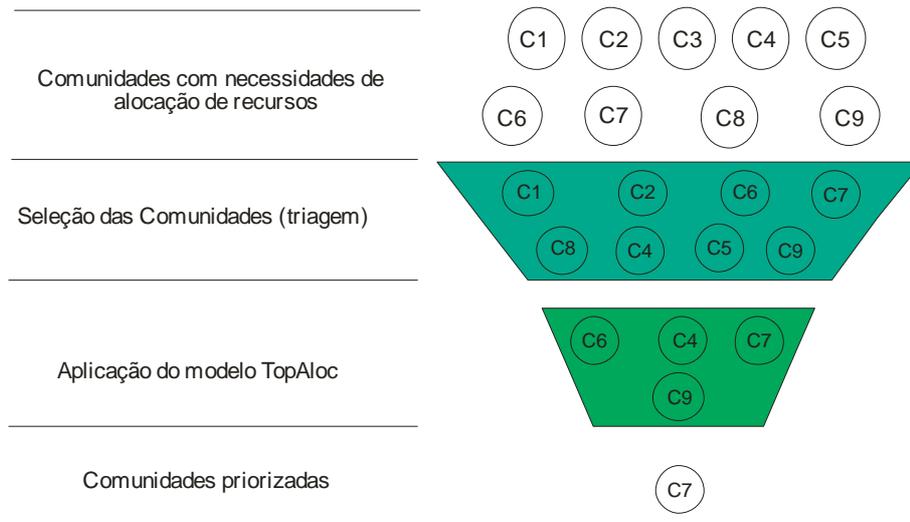
- Implementação do modelo computacional baseado na técnica TOPSIS: de posse das informações que compõem a matriz de desempenho insere-se os dados no protótipo *TopAloc*. O protótipo é baseado no modelo proposto e aplica a técnica TOPSIS de análise de decisão multicritério.
- Geração da ordenação por priorização: após o processo de implementação do modelo *TopAloc* é gerado o resultado final. No resultado é apresentada uma ordenação das alternativas baseada no desempenho de cada alternativa e no grau de importância de cada critério.

Nas seções seguintes serão apresentadas em mais detalhes as etapas que compõem o passo a passo do emprego deste modelo.

## **5.2 O processo de priorização de alocação de recursos em comunidades ribeirinhas do município de Coari**

Com o objetivo de auxiliar o tomador de decisão na priorização da alocação dos recursos municipais destinados às comunidades ribeirinhas, é necessária a construção de um modelo de decisão que parte de um conhecimento amplo sobre o problema e sobre a realidade vivida pelos habitantes destas comunidades.

Existem muitas comunidades e cada uma delas apresenta seus problemas específicos, ou seja, necessidades que precisam de atenção por parte do governo municipal. Sendo assim, muitas vezes a alocação de recursos para atender a certa demanda de uma determinada comunidade resulta em um projeto de grande porte que requer altos investimentos. Isto posto, o processo de alocação de recursos para as comunidades perpassa por diversas fases até a sua execução final. A Figura 14 ilustra a sequência de etapas do processo de identificação da comunidade que irá receber os recursos. É neste processo de identificação que pretende-se fazer uso do modelo *TopAloc* apresentado.

**Figura 14: Fases de priorização para alocação de recursos.**

Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 14, os círculos numerados e identificados com a letra "C" representam uma única comunidade ou um conjunto de comunidades, considerando que em algumas áreas do município existem várias comunidades pequenas e em outras áreas existe uma única comunidade, porém com a população equivalente a um conjunto de comunidades.

Através da sequência de etapas identificadas na Figura 14, é possível observar que todo o processo de priorização está dividido em quatro fases:

1. Análise de demandas e avaliação da necessidade de investimento nas comunidades;
2. Triagem das comunidades;
3. Aplicação do modelo proposto (*TopAloc*) baseado na técnica TOPSIS de análise multicritério;
4. Ordenação das comunidades por prioridade e identificação da(s) comunidade(s) prioritária(s) a receber(em) recursos.

Na etapa de levantamento das necessidades, podem ser identificadas necessidades ou demandas específicas. Um exemplo de necessidade é a compra de um motor gerador de energia elétrica, a construção ou reforma de um posto de saúde, instalação ou reforma de uma base para tratamento de água, ou de salas de aula ou ainda de moradia para um professor destacado para atender a comunidade, além de muitas outras necessidades que as comunidades costumam apresentar.

Na triagem, é realizada uma seleção minuciosa com o intuito de identificar as solicitações mais importantes a serem conduzidas ao estudo de priorização, ou seja, acontece uma pré-seleção das comunidades ou grupos de comunidades que passarão pelo processo de decisão. Por exemplo: As autoridades responsáveis pela distribuição de recursos recebem 200 solicitações de alocação de recursos, então é feita uma análise preliminar para selecionar aquelas que irão participar do processo de decisão. Após a triagem, é aplicada a técnica TOPSIS de ADM por meio do modelo proposto para, ao final, chegar à ordenação das comunidades por prioridade, a fim de receberem os recursos.

### 5.2.1 Interventores no processo de decisão

No âmbito da atenção às comunidades ribeirinhas, existe uma relação de órgãos e setores encarregados que abrangem as esferas federal, distrital, estadual e municipal. Em órgãos desta natureza, é indiscutível o interesse dos gestores públicos na tomada de decisão, fazendo com que esta área apresente vários atores. Os atores aqui referidos são todos aqueles que possuem responsabilidade e dever no processo de tomada de decisão, ou seja, os gestores municipais. A Tabela 3 apresenta alguns desses atores, aos quais são atribuídas as responsabilidades de tomada de decisão. O modelo desenvolvido neste trabalho pode servir como ferramenta de auxílio a esses gestores na tarefa de tomada de decisão relativa à alocação de recursos.

**Tabela 3: Atores do processo de decisão e suas respectivas áreas de interesse.**

<b>Atores</b>	<b>Área de interesse</b>
Representantes (líderes) das Comunidades	Intervenção junto aos líderes municipais. Exposição das necessidades e solicitação de serviços e obras
Governos estaduais e municipais, Câmara dos Vereadores	Elaboração de políticas públicas, acompanhamento e fiscalização de obras e serviços aos ribeirinhos
Organizações não governamentais, Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA), Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)	Defesa do meio ambiente, qualidade dos serviços prestados
Agentes financeiros, investidores, organismos multilaterais e outras instituições de fomento	Avaliação e acompanhamento de investimentos para o setor
Pesquisadores e instituições de pesquisa	Pesquisas na área da gestão pública, regulação técnica e econômica

Fonte: Adaptado de (CAMPOS, 2011)

Por meio da Tabela 3, é possível notar a grande quantidade de interessados e responsáveis pela aplicação de recursos. Além das entidades citadas no quadro, constam também os ribeirinhos<sup>4</sup>, os principais beneficiados pelos serviços, as organizações da sociedade civil e os prestadores de serviço. Entre os tomadores de decisão, ou seja, aqueles que irão estar diretamente envolvidos no processo de priorização na alocação de recursos, podem ser citados os seguintes: Prefeito, assessores, secretários, vereadores, líderes comunitários e prestadores de serviço.

### 5.2.2 Definição das alternativas

O conjunto de alternativas corresponde às comunidades ribeirinhas previamente selecionadas por meio de uma triagem realizada pelo conjunto de gestores responsáveis pela alocação de recursos, e também pelos próprios representantes das comunidades ribeirinhas, estes conhecidos como líderes comunitários. A alocação de recursos apresenta-se como um

---

<sup>4</sup> Pessoas que moram às margens de rios e igarapés.

trabalho complexo onde devem ser observados vários atributos. As comunidades, em geral, estão distantes do município e seu acesso só é possível por via fluvial. Existem áreas onde estão instaladas comunidades maiores, que possuem mais de cinquenta famílias, mas que possuem comunidades vizinhas menores, com até dez famílias. Nestes casos, é importante observar que a implantação de um serviço ou construção de uma obra pública na comunidade maior, beneficiaria também as comunidades próximas. Dessa forma, o número de famílias a ser considerado no modelo de priorização para alocação de recurso seria maior.

Para uma melhor qualidade no processo de tomada de decisão, é necessária uma observação detalhada das solicitações de alocação de recursos realizadas pelas comunidades ribeirinhas. Mostra-se necessária a realização de uma triagem minuciosa capaz de identificar as solicitações mais importantes a serem conduzidas ao estudo de priorização. Para tanto, é recomendável o acesso às informações completas e corretas de cada comunidade, de forma a possibilitar a sua avaliação em relação a cada um dos critérios empregados na análise. A qualidade da informação empregada garante a acurácia do processo de construção do modelo de análise multicritério e a assertividade da ordenação final.

Outro fator importante que deve ser observado, diz respeito à quantidade de alternativas consideradas no modelo. Para esta definição, o montante de recurso disponível para alocação possui grande influência. Caso exista uma quantia alta destinada à alocação em comunidades ribeirinhas, haverá a possibilidade de beneficiar um número maior de comunidades, caso contrário o número de comunidades a serem identificadas como alternativas possíveis para o modelo de decisão deverá ser reduzido.

Outra situação a ser observada é o caso de haver muitas comunidades a serem consideradas no processo de ordenação de priorização. Para essa situação, é importante verificar a necessidade de haver uma pré-seleção, ou seja, uma triagem das solicitações submetidas à análise para a alocação de recursos. Através desta seleção inicial, torna-se possível aprimorar o processo de tomada de decisão, viabilizando e promovendo uma maior garantia de qualidade na escolha e ordenação das solicitações destacadas com maior potencialidade, ou seja, que ofereceriam os melhores benefícios a uma quantidade maior de ribeirinhos.

Outra forma de resolver o problema relacionado à grande quantidade de comunidades ribeirinhas pretendentes a receber alocação de recursos, seria dividir o processo de decisão em duas problemáticas: classificação e priorização. Na primeira, aplica-se a problemática de classificação, onde as comunidades pretendentes são separadas em grupos, e, em seguida, aplica-se a problemática da priorização para dar ordenação aos grupos classificados (CAMPOS, 2011).

### 5.2.3 Definição dos critérios

A definição dos critérios é de essencial importância, pois tem efeito direto na qualidade da decisão a ser tomada, haja vista que servirão de base para avaliação das alternativas. Os critérios derivam de uma série de regras, de acordo com a visão do(s) tomador(es) de decisão, com a finalidade de avaliar as alternativas. É necessário analisar a importância da relação dos critérios escolhidos com as alternativas, pois existem casos em que alguns critérios, na verdade, são subcritérios ou até mesmo não possuem relevância no processo de decisão.

O desenvolvimento deste trabalho consiste em apresentar um modelo computacional baseado em um modelo de análise multicritério para auxiliar na decisão sobre a alocação de recursos, aplicado ao caso das comunidades ribeirinhas do município de Coari. Portanto, não é feita referência às áreas onde se deve aplicar o recurso, ou seja, educação, saúde, saneamento, entre outras, e sim, qual comunidade tem a prioridade para receber investimentos do poder público no momento da análise.

A definição dos critérios empregados no modelo de decisão aconteceu por meio de reuniões com os principais gestores envolvidos no processo de tomada de decisão para alocação de recursos nas comunidades ribeirinhas. Também participaram das reuniões os técnicos que possuem a função de auxiliar os gestores no atendimento sobre as demandas das comunidades. Sendo assim, participaram do processo de definição dos critérios profissionais que possuem experiências com as necessidades apresentadas pelas comunidades e que conhecem as principais dificuldades de acesso e comunicação com as comunidades, tendo em vista que esses são complicadores no processo de decisão.

Durante as reuniões foram feitas explicações sobre a metodologia de ADM, o Modelo Computacional e o Modelo de Decisão, ambos modelos apresentados neste trabalho com o objetivo de auxiliar o processo de priorização da alocação de. No decorrer do processo de desenvolvimento da ferramenta, foram apresentadas as principais dificuldades, foram apontados os principais aspectos que poderiam ser usados como critérios de escolha e que colocassem todas as regiões de comunidades no mesmo nível de escolha. Após as considerações, foi acordada junto aos envolvidos a definição de seis critérios, estes apresentados por meio da Tabela 4.

A seguir, será apresentado em mais detalhes cada um dos critérios definidos e inseridos no modelo de decisão.

**Tabela 4: Critérios definidos**

<b>Nº</b>	<b>Critérios</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Finalidade</b>
1	Total de famílias na comunidade	Nº	Maximizar
2	Total de Pessoas	Nº	Maximizar
3	Distância da cidade	Metros	Maximizar
4	Total de famílias atingidas pela última enchente	%	Maximizar
5	Total do último Recurso aplicado	\$	Minimizar
6	Dias desde a aplicação do último recurso	Meses	Maximizar

Fonte: Elaborado pelo autor

- Total de famílias na comunidade: este é um critério quantitativo e é considerado o número de famílias residentes em uma região de comunidades. A unidade deste critério deve ser maximizada;

- Total de Pessoas: total de pessoas residentes em cada comunidade. Apesar de esse critério apresentar semelhança com o critério anterior, existe diferença. É comum existirem famílias com mais de dez pessoas e outras famílias com apenas duas. Por isso acontecer, os decisores acharam correto considerar os dois critérios com o fim de tornar equilibrado o processo de priorização. Desta forma, a unidade deste critério também deve ser maximizada;
- Distância da cidade: o único meio de transporte para as comunidades é o fluvial. Algumas comunidades estão situadas próximas à cidade, do ponto de vista geográfico, mas na maioria dos casos, seguindo o percurso do rio até chegar a uma determinada comunidade, essa distância torna-se consideravelmente grande para os padrões locais. Considerando o percurso entre a cidade e algumas comunidades, existem aquelas que estão a 6 km e outras a 120 km de distância. Este critério é definido em metros e seu propósito é ser maximizado no processo de análise;
- Total de famílias atingidas pela última enchente: um dos critérios mais considerados pelos decisores. Todos os anos, centenas de famílias sofrem com a cheia dos rios. Durante este período, as famílias atingidas ficam desabrigadas e outras suspendem os assoalhos de suas casas para permanecerem dentro delas. O governo municipal precisa realizar um trabalho conjunto com vários setores, recursos públicos e muito planejamento para atender a essas famílias. Para este critério, foi considerada a porcentagem do total de famílias atingidas e a finalidade é o de maximizar o desempenho no processo de análise;
- Total do último recurso aplicado: esse foi um critério bastante discutido, pois o município acabara de passar por uma crise política. O fato de não existir um meio informatizado que armazene registros sobre informações dos últimos recursos aplicados, impossibilitou a inserção de dados diferenciados na análise. Até os dias atuais, o município ainda realiza a maioria dos seus processos de forma manual. Este é mais um complicador existente no município, principalmente por estar localizado no interior do estado do Amazonas e a cidade mais próxima, Manaus, estar a 363 km de distância em linha reta. Este critério considera o valor total do último recurso recebido pela comunidade, em forma de investimento, seja por meio de uma ação social ou por meio da realização de obras que beneficiem os ribeirinhos. A finalidade é que esta medida seja minimizada no processo de análise;
- Dias desde a aplicação do último recurso: este critério considera informações sobre a data do último recurso aplicado. Para esta medida, a contagem é feita em dias para melhor diferenciar uma alternativa da outra.

#### 5.2.4 Modelagem de preferência dos critérios

A modelagem de preferência aconteceu em conjunto com a escolha dos critérios, durante as reuniões com os especialistas. Para determinação dos pesos dos critérios, foi definida uma escala de 0 a 10. De acordo com a análise e recomendação dos pesos para os critérios definidos pelos especialistas, foi possível montar três cenários. No estudo aqui realizado, cada cenário apresenta os mesmos conjuntos de alternativas e critérios, estando a diferença apenas no grau de importância de cada um dos critérios. Dentre os critérios

considerados, destaca-se o "Total de famílias atingidas pela última enchente", que recebeu o mesmo grau de importância por todos os especialistas.

Na Tabela 8, apresentada na seção 5.3.5 a seguir, é possível visualizar o peso atribuído a cada um dos critérios considerados no modelo de decisão.

### **5.3 Aplicação do modelo de decisão para auxílio na alocação de recursos nas comunidades ribeirinhas**

O modelo de decisão apresentado, visando à priorização na alocação de recursos, foi aplicado no contexto das comunidades ribeirinhas da cidade de Coari, no estado do Amazonas. Segundo o censo de 2010, a população da cidade era de 75.965 habitantes, com estimativa de 83.078 para o ano de 2015. Parte dessa população reside em comunidades ribeirinhas, cerca 26.314 pessoas, que corresponde a 34,63% da população total, de acordo com o censo de 2010.

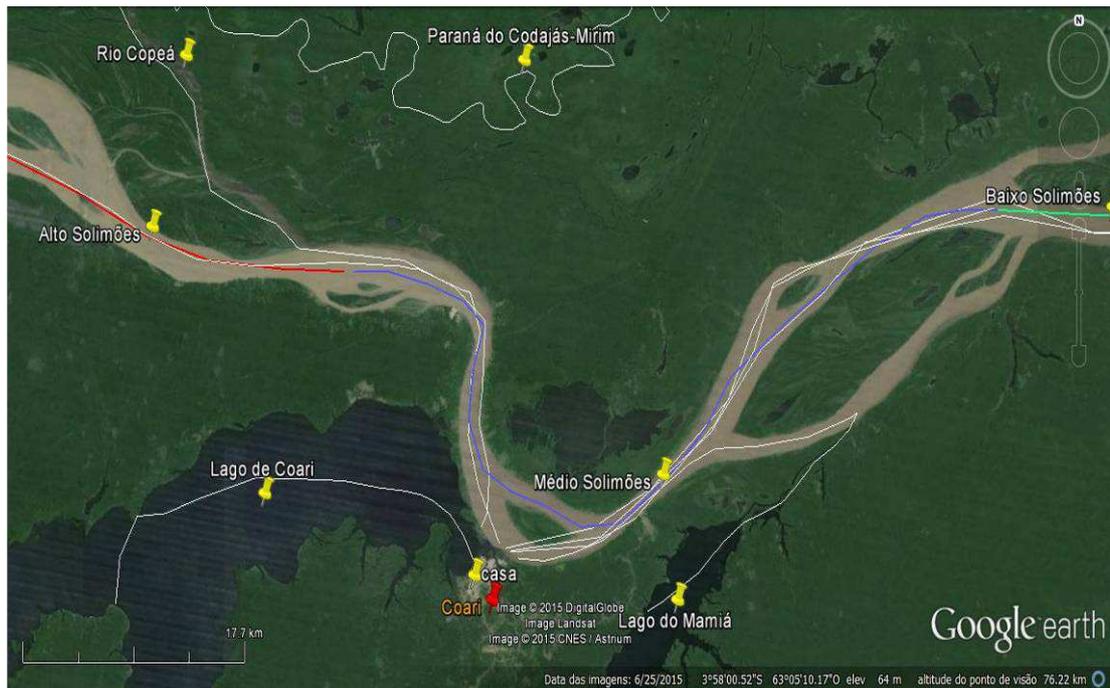
#### **5.3.1 Estruturação do problema**

Existem 211 comunidades ribeirinhas na cidade de Coari, segundo a secretaria de Infraestrutura Rural e o Instituto de Desenvolvimento do Amazonas (IDAM). As comunidades estão catalogadas por regiões que correspondem aos lagos e rios da região. É possível visualizar as regiões de rios e lagos por meio da Figura 15. Cada comunidade possui um representante, conhecido como líder comunitário, este é responsável por encaminhar até a secretaria municipal de Infraestrutura Rural as demandas da comunidade, com o propósito de captar recursos para alocação. Na secretaria, os pedidos chegam e são analisados pelos secretários, que no caso são três: o secretário titular e dois adjuntos. Estes secretários são os funcionários do órgão responsável pelos assuntos de interesse da zona rural. Após a análise preliminar dos pedidos, estes são enviados aos peritos para que façam uma análise de cunho técnico, com o objetivo de verificar se a solicitação corresponde à potencialidade que a comunidade oferece. Um exemplo é o caso de uma solicitação de alocação de recursos para incentivo à produção rural. Os técnicos irão verificar se aquela região é produtiva, dentre outros aspectos.

O modelo *TopAloc*, aqui apresentado, é importante para o processo de tomada de decisão sobre a alocação de recursos às comunidades ribeirinhas, pelos seguintes motivos:

- Não existem recursos suficientes para atender a todas as comunidades e estes precisam ser distribuídos de forma hierárquica, de forma a atender aquelas comunidades com maior prioridade;
- Os critérios escolhidos para a aplicação do modelo foram determinados por meio de reunião com os responsáveis diretos; existe a necessidade de transparência na decisão, proporcionando democracia, em virtude da participação de várias comunidades com seus respectivos interesses e também o interesse do poder público, secretarias e outros órgãos da organização municipal.

**Figura 15: Região da cidade de Coari com lagos e rios**



Fonte: Google earth

### 5.3.2 Definição das Alternativas

As alternativas identificadas para a aplicação do modelo *TopAloc* são apresentadas na Tabela 5, correspondendo a grupos de comunidades identificados a partir de características geográficas relativas a sua proximidade a um rio ou lago da região de Coari. Para o processo de priorização, foram definidas 8 alternativas. Nesse estudo, a análise realizada tem como foco a identificação de grupos de comunidades com maior prioridade para receber o recurso e não a identificação do setor carente onde este recurso deverá ser aplicado. Ou seja, o modelo de análise multicritério indicará os grupos de comunidades ribeirinhas prioritárias em função das suas necessidades em diferentes setores, como educação, transporte e saneamento, e não em função dos setores carentes, percebidos entre todas as comunidades ribeirinhas avaliadas. Apesar disso, esta estratégia também pode ser adotada, sendo, porém, necessária uma adaptação do modelo atual.

**Tabela 5: Regiões de comunidades selecionadas para o processo de priorização**

Nº	Sigla	Alternativa
1	AS	Alto Solimões
2	MS	Médio Solimões
3	BS	Baixo Solimões
4	RC	Rio Copeá
5	LC	Lago de Coari
6	LM	Lago do Mamiá
7	CM	Codajás Mirim
8	RP	Rio Piorini

Fonte: Elaborado pelo autor

As alternativas representam as regiões de comunidades ribeirinhas (grupo de comunidades) selecionadas para serem inseridas no processo de avaliação do modelo desenvolvido neste trabalho. Na descrição do trabalho realizado, as siglas apresentadas na Tabela 5 substituirão os nomes das regiões na matriz de desempenho. A Figura 16 mostra a tela de cadastro de alternativas do protótipo *TopAloc* implementado.

**Figura 16: Tela de cadastro de alternativas (*TopAloc*)**

Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.3 Definição dos Critérios

Os critérios foram definidos em comum acordo com os principais envolvidos no processo de tomada de decisão sobre a alocação de recursos para as comunidades ribeirinhas. A coleta das informações sobre a escolha dos critérios se deu por meio de reuniões com os participantes do processo de decisão. Participaram do processo os secretários e os integrantes da equipe técnica de análise. A deliberação conjunta dos secretários e da equipe técnica estabeleceu os critérios específicos para priorização das regiões de comunidades ribeirinhas selecionadas para receberem os recursos. A Tabela 6 apresenta os cinco critérios definidos.

**Tabela 6: Descrição dos critérios**

<b>Sigla</b>	<b>Critério</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Unidade</b>
TF	Total de famílias	Maximização	Quantidade absoluta
TP	Total de Pessoas	Maximização	Quantidade absoluta
DC	Distância da cidade	Maximização	Distância (metros)
TFAE	Total de famílias atingidas pela última enchente	Maximização	Porcentagem em relação ao total de famílias da região
TUR	Total do último Recurso aplicado	Minimização	Valor monetário em reais
DUR	Dias transcorridos desde a aplicação do último recurso	Maximização	Quantidade absoluta

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando a Tabela 6, é possível perceber que os critérios estipulados para o modelo de análise multicritério são específicos do problema em estudo. Os critérios definidos são definidos através do emprego de diferentes unidades:

- TF e TP: quantidade absoluta indicando o total de famílias (TF) e o total de pessoas (TP);
- DC: distância, em metros, entre a região central do grupo de comunidades e o centro do município de Coari;
- TFAE: percentual de famílias da região de comunidades que foram afetadas pela última enchente, representado por um valor entre 0 e 100.
- TUR: montante financeiro, em reais, alocado na última aplicação de recursos ou gastos na última ação executada pelo governo municipal;
- DUR: número de dias transcorridos desde a última aplicação de recursos.

A Figura 17 mostra a tela de "cadastro de critérios" do protótipo do modelo computacional *TopAloc* desenvolvido.

Figura 17: Tela de cadastro de critérios e pesos (*TopAloc*)

NomeCritério: Data do ultimo recur

Abreviatura: DUR

Peso: 1

Descricao: Quantos dias desde a aplicação do último recurso?

Cod	NomeCritério	Abreviatura	Peso	Descricao
1	Total de Famílias	TF	2	Total de famílias em uma determinada região
2	Total de Pessoas	TP	1	Total de pessoas para cada região
3	Distância da cidade	DC	2	Total em metros do trajeto da cidade até a região de comu
4	Atingidos p enchente	TAE	3	Total de famílias atingidas pela última enchente
5	Valor ultimo recurso	VUR	1	Valor total do ultimo recurso aplicado em um determinad
6	Data do último recur	DUR	1	Quantos dias desde a aplicação do último recurso?

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 5.3.4 Matriz de desempenho

Na matriz de desempenho apresentada por meio da Tabela 7, têm-se os desempenhos de cada alternativa para cada critério contido no processo. Os desempenhos citados correspondem às informações de cada alternativa para cada critério. Essas informações foram obtidas da seguinte forma:

TF - Total de famílias: esse critério corresponde ao total de famílias residentes em cada região de comunidades ribeirinhas. As informações sobre esse critério foram coletadas na Secretaria de Defesa Civil do município de Coari, pois possuíam no momento da pesquisa, dados mais atualizados sobre a quantidade de famílias;

TP - Total de pessoas: esse critério corresponde ao total de pessoas residentes em cada região de comunidades ribeirinhas. As informações sobre esse critério também foram obtidas na Secretaria de Defesa Civil do município de Coari;

DC - Distância da cidade: esse critério corresponde à distância em metros que cada região de comunidades está da cidade. Corresponde à metragem que existe entre uma região de comunidades e a cidade de Coari, utilizando-se a via fluvial como base. As informações sobre esse critério foram coletadas por meio do programa *Google Earth* onde se utiliza imagens de satélite e ferramentas que facilitam a medição de várias formas;

TFAE - Total de famílias atingidas pela última enchente: esse critério corresponde ao total de famílias residentes em áreas de comunidades ribeirinhas e que foram atingidas pela última cheia do rio. As informações sobre esse critério foram coletadas na Secretaria de Defesa Civil do município de Coari, pois é a principal, responsável pelo atendimento a essas famílias;

TUR - Total do último recurso aplicado: esse critério corresponde ao total do último recurso aplicado em uma determinada região de comunidades. As informações sobre esse critério foram coletadas na Secretaria de Infraestrutura Rural do município de Coari. Segundo os dados, todas as regiões receberam o mesmo valor em investimentos variados como: incentivo à produção rural, atendimento odontológico, serviço social e outros. Até a data desta pesquisa, nenhuma região havia obtido alocação de recurso em maiores proporções no governo municipal atual;

DUR - Dias desde a última aplicação de recurso: Total de dias contados desde a última alocação de recursos para as regiões de comunidades. As informações sobre esse critério também são provenientes da Secretaria de Infraestrutura Rural do município de Coari. De acordo com as informações obtidas, todas as regiões receberam alocação de recursos em um mesmo período, ou seja, aproximadamente seis meses. Considerando essa informação, foi sugerido pelos principais responsáveis da secretaria que fosse adotado o valor padrão de cento e oitenta dias para todas as regiões de comunidades.

**Tabela 7: Matriz de avaliação dos grupos de comunidades ribeirinhas.**

Critérios	Alternativas							
	AS	MS	BS	RC	LC	LM	CM	RP
TF	803	706	632	617	645	345	188	153
TP	3.116	2.457	2.825	2.315	3.108	1.373	740	596
DC	73.668	46.909	87.197	112.265	34.879	50.156	120.000	119.382
TFAE	59%	84%	100%	96%	43,6%	30,1%	88%	61%
TUR	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
DUR	180	180	180	180	180	180	180	180

Fonte: Dados informados pelas Secretarias de Defesa Civil, Infraestrutura Rural e Saúde.

Na matriz de desempenho, as siglas TF, TP, DC, TFAE, TUR e DUR correspondem aos critérios definidos no processo de análise, conforme descrito no item 5.3.3.

Observando os dados da Tabela 7, é possível perceber que os desempenhos das alternativas em relação aos quatro primeiros critérios (TF, TP, DC, TFAE) apresentam diferenças de valores, o que é natural pelo fato de serem medidas relacionadas às características físicas e geográficas de cada região. Entretanto, com relação aos critérios TUR e DUR, observa-se que todas as alternativas tiveram o mesmo desempenho. Segundo a Secretaria de Infraestrutura Rural, os valores que compõem o critério TUR na Tabela 7, são valores referentes ao incentivo à produção rural, o qual todas as regiões de comunidades ribeirinhas receberam a mesma quantia no mesmo período de tempo, que por sua vez define o critério DUR.

### 5.3.5 Atribuição dos pesos para análise

A atribuição dos pesos foi realizada por meio de entrevistas em reuniões feitas com os principais responsáveis pelo processo de decisão, neste caso os gestores da Secretaria de Infraestrutura Rural do município e a equipe técnica. Os principais decisores entrevistados foram 1º Secretário, 2º Secretário e 3º Secretário. A secretaria é o órgão responsável por atender as demandas das comunidades rurais e possui pessoal especializado para dar atenção no que se refere às principais necessidades das regiões de comunidades ribeirinhas.

Por meio das reuniões e em consenso com os participantes, foram expostas as preferências de cada um dos decisores envolvidos, resultando em três cenários para avaliação do modelo de análise multicritério, com base nos diferentes pesos atribuídos aos critérios estabelecidos. Dessa forma, pretende-se analisar os julgamentos individuais em relação à ponderação dos critérios e o impacto nos resultados da ordenação final. Vale ressaltar que a atribuição dos pesos não é uma tarefa fácil, pois o decisor pode não entender os conceitos relacionados à metodologia multicritério. Neste caso, é importante o auxílio do analista, com o intuito de oferecer ao decisor clareza sobre os questionamentos realizados no processo.

A Tabela 8 apresenta o resumo da definição dos pesos realizada para os cenários estabelecidos, conforme as regras do TOPSIS.

**Tabela 8: Cenários**

<b>Cenário 1</b>		
<b>Critério</b>	<b>Max/Min</b>	<b>Peso</b>
Total de famílias	Maximizar	2
Total de Pessoas	Maximizar	1
Distância da cidade	Maximizar	2
Total de famílias atingidas pela última enchente	Maximizar	3
Total do último Recurso aplicado	Minimizar	1
Dias desde a aplicação do último recurso	Maximizar	1
<b>Cenário 2</b>		
<b>Critério</b>	<b>Max/Min</b>	<b>Peso</b>
Total de famílias	Maximizar	3
Total de Pessoas	Maximizar	1
Distância da cidade	Maximizar	1
Total de famílias atingidas pela última enchente	Maximizar	3
Total do último Recurso aplicado	Minimizar	1
Dias desde a aplicação do último recurso	Maximizar	1
<b>Cenário 3</b>		
<b>Critério</b>	<b>Max/Min</b>	<b>Peso</b>
Total de famílias	Maximizar	1
Total de Pessoas	Maximizar	3
Distância da cidade	Maximizar	1

Total de famílias atingidas pela última enchente	Maximizar	3
Total do último Recurso aplicado	Minimizar	1
Dias desde a aplicação do último recurso	Maximizar	1

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com os cenários apresentados na Tabela 8, é possível verificar que os valores atribuídos aos critérios não seguem um mesmo grau de importância, com exceção do critério "Total de famílias atingidas pela enchente". Notou-se que para esse critério os decisores, em geral, atribuíram um peso maior, em virtude da importância do problema enfrentado pelas regiões, todos os anos, com a cheia dos rios, o que exige maior atenção das autoridades do município.



## 6 APLICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL E DE DECISÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar a aplicação do modelo computacional baseado em análise de decisão multicritério, denominado *TopAloc* e apresentado nos capítulos 4 e 5, ao problema de priorização de comunidades ribeirinhas para recebimento dos recursos municipais destinados ao desenvolvimento destas regiões.

### 6.1 Resultado da aplicação do modelo

Nesta seção, são apresentados os resultados da aplicação do modelo *TopAloc*, baseado na técnica de ADM, para auxílio à decisão na priorização da alocação de recursos nas regiões de comunidades ribeirinhas. Os resultados são apresentados por meio de tabelas e gráficos extraídos do modelo computacional desenvolvido.

#### 6.1.1 Priorização das comunidades ribeirinhas

Os dados obtidos por meio das entrevistas foram inseridos no protótipo *TopAloc* para a realização dos cálculos conforme exposto na seção 2.6.1, com fins de se obter a priorização das regiões de comunidades para alocação dos recursos. Vale ressaltar que o modelo *TopAloc* é baseado no método TOPSIS de ADM. A matriz de desempenho é mostrada na Tabela 7, apresentada na seção 5.3.4.

A seguir, por meio da Tabela 9: Normalização dos desempenhos, são apresentados os desempenhos normalizados em relação aos três cenários propostos e mostrados por meio da Tabela 8. É importante salientar que os cenários foram propostos pela equipe gestora da Secretaria de Infraestrutura Rural do município de Coari, onde foram atribuídos pesos diferentes para os critérios estabelecidos, ou seja, os cenários se distinguem apenas pelos valores dos pesos. Os resultados apresentados nas tabelas a partir desta seção foram obtidos por meio das equações apresentadas na seção 2.6.1.

O objetivo da normalização dos desempenhos para os diferentes critérios é possibilitar a comparação em diferentes unidades de medida. Para realização da normalização dos desempenhos, foram usadas as seguintes equações: Equação 3 (com o propósito de maximizar os desempenhos): esta equação foi usada nos critérios: “Total de famílias”, “Total de Pessoas”, “Distância da cidade”, “Total de famílias atingidas pela última enchente” e “Dias desde a aplicação do último recurso”; Equação 4: (com o propósito de minimizar os desempenhos): esta equação foi utilizada na normalização do desempenho do critério “Total do último recurso aplicado”.

**Tabela 9: Normalização dos desempenhos**

Normalização dos desempenhos - cenário 1								
	AS	MS	BS	RC	LC	LM	CM	RP
Total de famílias	1,000	0,879	0,787	0,768	0,803	0,430	0,234	0,191
Total de Pessoas	1,000	0,789	0,907	0,743	0,997	0,441	0,237	0,191
Distância da cidade	0,614	0,391	0,727	0,936	0,291	0,418	1,000	0,995

Total de famílias atingidas pela última enchente	0,590	0,840	1,000	0,960	0,436	0,301	0,880	0,610
Total do último Recurso aplicado	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Dias desde a aplicação do último recurso	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<b>Normalização dos desempenhos - cenário 2</b>								
	AS	MS	BS	RC	LC	LM	CM	RP
Total de famílias	1,000	0,879	0,787	0,768	0,803	0,430	0,234	0,191
Total de Pessoas	1,000	0,789	0,907	0,743	0,997	0,441	0,237	0,191
Distância da cidade	0,614	0,391	0,727	0,936	0,291	0,418	1,000	0,995
Total de famílias atingidas pela última enchente	0,590	0,840	1,000	0,960	0,436	0,301	0,880	0,610
Total do último Recurso aplicado	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Dias desde a aplicação do último recurso	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<b>Normalização dos desempenhos - cenário 3</b>								
	AS	MS	BS	RC	LC	LM	CM	RP
Total de famílias	1,000	0,879	0,787	0,768	0,803	0,430	0,234	0,191
Total de Pessoas	1,000	0,789	0,907	0,743	0,997	0,441	0,237	0,191
Distância da cidade	0,614	0,391	0,727	0,936	0,291	0,418	1,000	0,995
Total de famílias atingidas pela última enchente	0,590	0,840	1,000	0,960	0,436	0,301	0,880	0,610
Total do último Recurso aplicado	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Dias desde a aplicação do último recurso	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor

Para a ponderação dos dados normalizados, são considerados os pesos respectivos de cada um dos cenários avaliados. Para construir uma matriz normalizada ponderada, é aplicada a operação definida pela Equação 5, apresentada na seção 2.6.1. A Tabela 10 mostra os valores resultantes, correspondendo aos três cenários avaliados.

**Tabela 10: Ponderação das pontuações normalizadas**

<b>Ponderação das pontuações normalizadas - cenário 1</b>								
	AS	MS	BS	RC	LC	LM	CM	RP
TF	2,000	1,758	1,574	1,537	1,606	0,859	0,468	0,381
TP	1,000	0,789	0,907	0,743	0,997	0,441	0,237	0,191
DC	1,228	0,782	1,453	1,871	0,581	0,836	2,000	1,990
TFAE	1,770	2,520	3,000	2,880	1,308	0,903	2,640	1,830
TUR	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
DUR	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<b>Ponderação das pontuações normalizadas - cenário 2</b>								
	AS	MS	BS	RC	LC	LM	CM	RP

TF	3,000	2,638	2,361	2,305	2,410	1,289	0,702	0,572
TP	1,000	0,789	0,907	0,743	0,997	0,441	0,237	0,191
DC	0,614	0,391	0,727	0,936	0,291	0,418	1,000	0,995
TFAE	1,770	2,520	3,000	2,880	1,308	0,903	2,640	1,830
TUR	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
DUR	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<b>Ponderação das pontuações normalizadas - cenário 3</b>								
	AS	MS	BS	RC	LC	LM	CM	RP
TF	1,000	0,879	0,787	0,768	0,803	0,430	0,234	0,191
TP	3,000	2,366	2,720	2,229	2,992	1,322	0,712	0,574
DC	0,614	0,391	0,727	0,936	0,291	0,418	1,000	0,995
TFAE	1,770	2,520	3,000	2,880	1,308	0,903	2,640	1,830
TUR	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
DUR	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a obtenção das pontuações ponderadas, foi realizada a comparação de cada alternativa em relação a uma alternativa virtual ideal e uma alternativa virtual anti-ideal. Foram obtidas as seguintes alternativas virtuais para cada cenário:

- Cenário 1:

$$A^+ = (2,000; 1,000; 2,000; 3,000; 1,000; 1,000);$$

$$A^- = (0,381; 0,191; 0,581; 0,903; 1,000; 1,000).$$

- Cenário 2:

$$A^+ = (3,000; 1,000; 1,000; 3,000; 1,000; 1,000);$$

$$A^- = (0,572; 0,191; 0,291; 0,903; 1,000; 1,000).$$

- Cenário 3:

$$A^+ = (1,000; 3,000; 1,000; 3,000; 1,000; 1,000);$$

$$A^- = (0,191; 0,574; 0,291; 0,903; 1,000; 1,000).$$

Após a definição dos pontos ideal e anti-ideal, foi realizado o cálculo da distância de cada alternativa em relação aos pontos obtidos por meio das Equação 6: e Equação 7 apresentadas na seção 2.6.1. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 11: Cálculo da distância de cada ação**

<b>Cálculo da distância de cada ação - Cenário 1</b>		
<b>Alternativas</b>	<b>Ponto ideal</b>	<b>Ponto Anti-Ideal</b>
Alto Solimões - AS	1,452	2,108
Médio Solimões - MS	1,348	2,216
Baixo Solimões - BS	0,699	2,663
Rio Copeá - RC	0,558	2,686
Lago de Coari - LC	2,243	1,522
Lago do Mamiá - LM	2,714	0,596

Codajás Mirim - CM	1,749	2,245
Rio Piorini - RP	2,155	1,686
<b>Cálculo da distância de cada ação - Cenário 2</b>		
	<b>Ponto ideal</b>	<b>Ponto Anti-Ideal</b>
Alto Solimões - AS	1,289	2,722
Médio Solimões - MS	0,882	2,693
Baixo Solimões - BS	0,701	2,881
Rio Copeá - RC	0,753	2,763
Lago de Coari - LC	1,927	2,048
Lago do Mamiá - LM	2,824	0,770
Codajás Mirim - CM	2,447	1,881
Rio Piorini - RP	2,814	1,164
<b>Cálculo da distância de cada ação - Cenário 3</b>		
	<b>Ponto ideal</b>	<b>Ponto Anti-Ideal</b>
Alto Solimões - AS	1,289	2,720
Médio Solimões - MS	1,009	2,512
Baixo Solimões - BS	0,446	3,090
Rio Copeá - RC	0,817	2,720
Lago de Coari - LC	1,845	2,528
Lago do Mamiá - LM	2,807	0,796
Codajás Mirim - CM	2,439	1,882
Rio Piorini - RP	2,813	1,164

Fonte: Elaborado pelo autor

Após o cálculo das distâncias de cada alternativa, foi realizado o cálculo do coeficiente de proximidade relativa de cada alternativa utilizando-se a Equação 8 vista na seção 2.6.1. O coeficiente de proximidade é um valor entre 0 e 1, onde o valor 1 indica a alternativa preferível. Os resultados estão apresentados por meio da Tabela 12.

**Tabela 12: Resultado do cálculo do coeficiente de proximidade relativa de cada ação**

<b>Cálculo do coeficiente de proximidade relativa de cada ação</b>			
<b>Alternativas</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
Alto Solimões - AS	0,592109	0,678575	0,678435
Médio Solimões - MS	0,621702	0,753312	0,713374
Baixo Solimões - BS	0,792032	0,804285	0,873969
Rio Copeá - RC	0,827884	0,785757	0,769075
Lago de Coari - LC	0,404216	0,515130	0,578021
Lago do Mamiá - LM	0,180151	0,214229	0,220861
Codajás Mirim - CM	0,562150	0,434613	0,435524

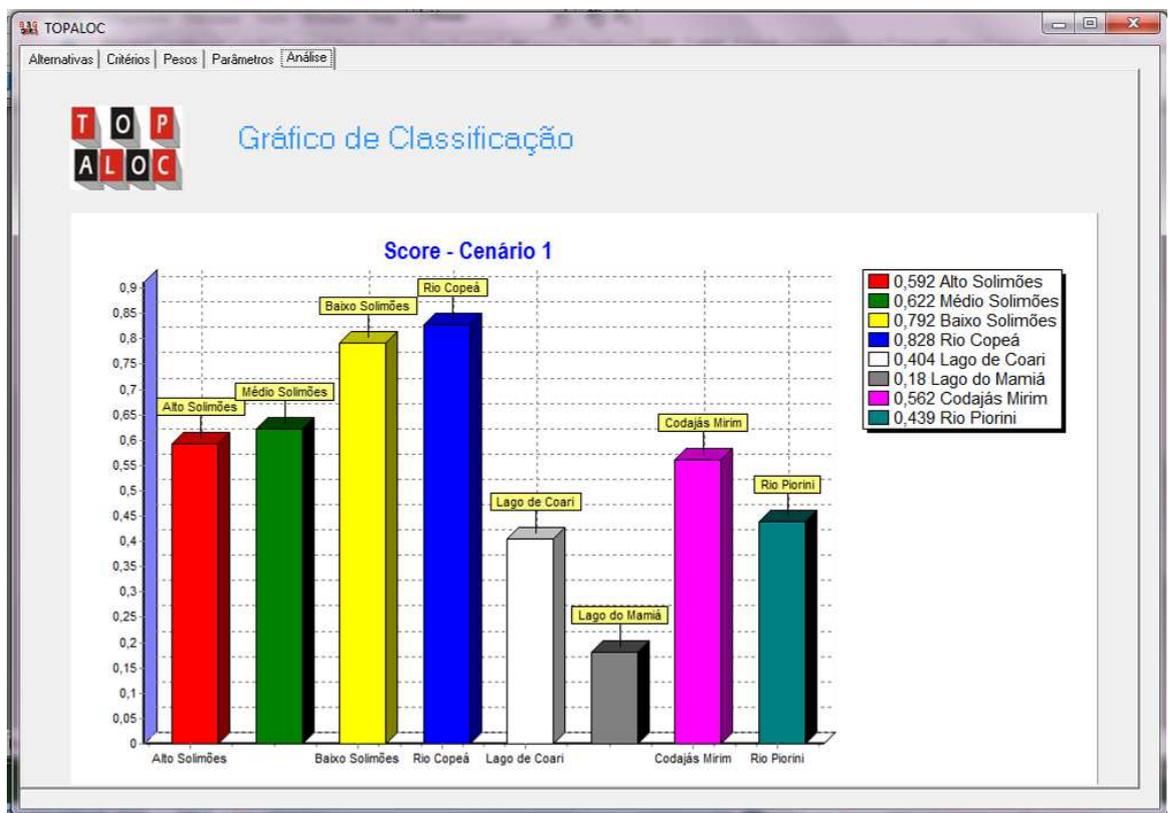
Rio Piorini - RP	0,438961	0,292615	0,292739
------------------	----------	----------	----------

Fonte: Elaborado pelo autor

Os gráficos 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos para os respectivos cenários definidos Tabela 8 da seção 5.2.5. Os dados apresentados nos gráficos mostram os coeficientes de cada região de comunidades ribeirinhas obtidos com a aplicação do método TOPSIS. A presente análise considera a ordenação de forma decrescente, dessa forma as descrições sobre as posições alcançadas consideram a 1ª posição aquela que obtiver o maior desempenho e a última aquela que obtiver o pior desempenho.

O Gráfico 1 apresenta a ordenação final obtida, tendo como base os pesos apresentados na Tabela 8 para o cenário 1:

Gráfico 1: Cenário 1 (ordenação)

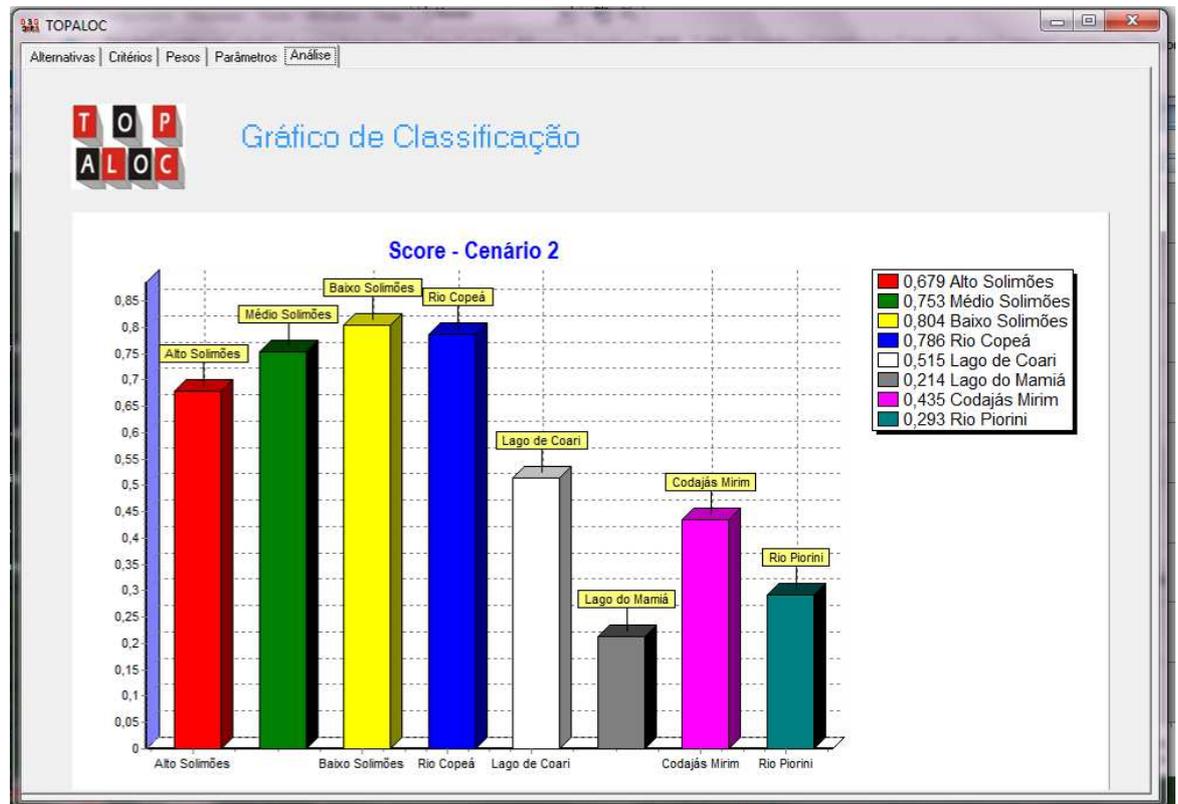


Fonte: Elaborado pelo autor (aplicação do *TopAloc*)

As alternativas "Lago de Coari" e "Lago do Mamiá", foram ordenadas em 7º e 8º lugar respectivamente no *ranking* final do cenário 1, ou seja, tiveram os menores desempenhos. Por outro lado, as alternativas "Rio Copeá" e "Baixo Solimões" alcançaram os melhores desempenhos nos coeficientes, ficando nas posições 1º e 2º, respectivamente.

A seguir o Gráfico 2 apresenta a ordenação final obtida com base nos pesos apresentados na Tabela 8 para o cenário 2:

Gráfico 2: Cenário 2 (ordenação)



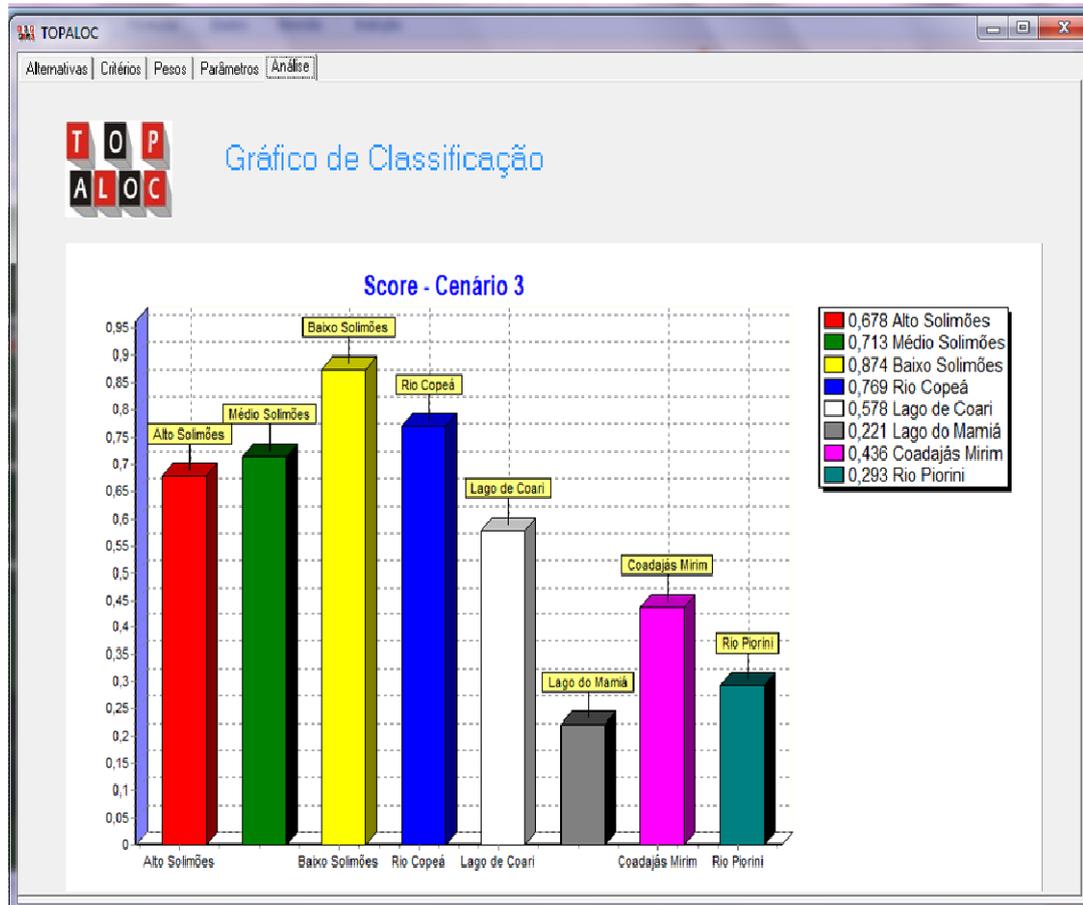
Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados do cenário 2 apresentam uma troca na ordenação em relação a 1ª e 2ª posição da ordenação com o cenário 1, a alternativa "Baixo Solimões" aparece na 1ª posição enquanto que o "Rio Copeá" posiciona-se em 2º na ordem. Esta inversão ocorre devido à alteração do peso no critério "Distância da Cidade - DC", no cenário 1 este critério recebeu peso 2, e para este cenário (2) o mesmo critério recebeu peso 2, impactando na diferença da ordem, pois a Alternativa "Rio Copeá" encontra-se mais distante do município com uma diferença de mais de 30.000 metros.

O "Rio Piorini" e "Lago do Mamiá" apresentaram os menores valores de coeficiente, posicionando-se em 7º e 8º lugar respectivamente no *ranking*. E a alternativa "Lago de Coari" que antes ocupava a 7ª posição passa a posicionar-se em 5º na ordem. Para este resultado houve influência em decorrência da mudança dos pesos nos critérios "Total de famílias - TF" e "Distância da cidade - DC".

Por fim, o gráfico 3 apresenta a ordenação obtida com base nos pesos apresentados na Tabela 8 para o cenário 3:

Gráfico 3: Cenário 3 (ordenação)



Fonte: Elaborado pelo autor (aplicação do *TopAloc*)

Com base na análise dos resultados apresentados no Gráfico 3 e comparando com os resultados dos outros dois cenários, é possível verificar que todos apresentam à alternativa "Lago do Mamiá" em última na ordem de priorização. A alternativa "Rio Piorini" apresenta-se em 7º na ordenação, mesma posição do cenário 2. Com relação às alternativas melhor posicionadas, novamente os resultados mostraram as regiões "Baixo Solimões" e "Rio Copeá" como 1º e 2º posições, respectivamente, repetindo os resultados do cenário 2. A principal diferença está na atribuição do peso 3 ao critério "Total de Pessoas", isto fez com que a Alternativa "Baixo Solimões" se mantivesse em 1º e com uma diferença maior em relação ao cenário 2.

Nos três cenários avaliados, as alternativas "Baixo Solimões" e "Rio Copeá" (regiões de comunidades) apresentaram, por meio dos resultados observados na análise exposta anteriormente, maior preferência em relação às demais. Com observância para as duas primeiras alternativas ordenadas, os resultados da análise mostraram a região do "Baixo Solimões", primeira na ordenação, na maioria das vezes a frente da região "Rio Copeá", segunda na ordem com maior ou menor vantagem no seu grau de preferência. O "Baixo Solimões" ganha vantagem na ordenação em relação ao "Rio Copeá" devido às ações do critério "Total de pessoas", onde há uma diferença de 510, e o "Total de famílias atingidas pela última enchente", onde a alternativa "Baixo Solimões" teve 100% de suas famílias atingidas contra 96% do "Rio Copeá", apesar da diferença em porcentagem ser de apenas 4%, este critério apresenta peso 3 em uma classificação de 0 a 10. A alternativa "Rio Copeá" só possui vantagem em relação ao "Baixo Solimões" em se tratando do critério "Distância do

município" (aqui consideradas em metros), onde a diferença é de 25.068 metros. Considerando o "Cenário 1", onde o peso para esse critério é 2, representando a maior preferência dentre os três cenários analisados, a alternativa "Rio Copeá" ficou em 1º na ordenação das alternativas.

Quanto ao pior desempenho entre as alternativas avaliadas, a região "Lago do Mamiá" se mostrou presente nos três cenários propostos. A segunda pior alternativa ordenada foi a região do "Rio Piorini", ou seja, ficou na 7ª posição da ordenação. É possível observar que os coeficientes calculados nos três cenários avaliados, apresentaram valores muito próximos. Tal comportamento foi devido à pequena mudança nos valores dos pesos dos critérios, estipulados pelos decisores.

Os valores dos resultados das análises foram organizados nas tabelas a seguir, destacando as três primeiras posições de maior preferência de acordo com o método empregado. O intuito da apresentação dos resultados neste formato é oferecer uma maior compreensão da ordenação obtida.

A Tabela 13 apresenta a classificação ordenada dos desempenhos para o primeiro cenário:

**Tabela 13: Ordenação das alternativas do cenário 1**

Ordenação	Alternativa	Score
1	Rio Copeá	0,828
2	Baixo Solimões	0,792
3	Médio Solimões	0,622
4	Alto Solimões	0,592
5	Codajás Mirim	0,562
6	Rio Piorini	0,439
7	Lago de Coari	0,404
8	Lago do Mamiá	0,180

Fonte: Elaborado pelo autor (com base na aplicação *TopAloc*)

A Tabela 14 apresenta a classificação ordenada dos desempenhos para o segundo cenário:

**Tabela 14: Ordenação das alternativas do cenário 2**

Ordenação	Alternativa	Score
1	Baixo Solimões	0,804
2	Rio Copeá	0,786
3	Médio Solimões	0,753
4	Alto Solimões	0,679
5	Lago de Coari	0,515
6	Codajás Mirim	0,435
7	Rio Piorini	0,293
8	Lago do Mamiá	0,214

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 15 apresenta a classificação ordenada dos desempenhos para o terceiro cenário:

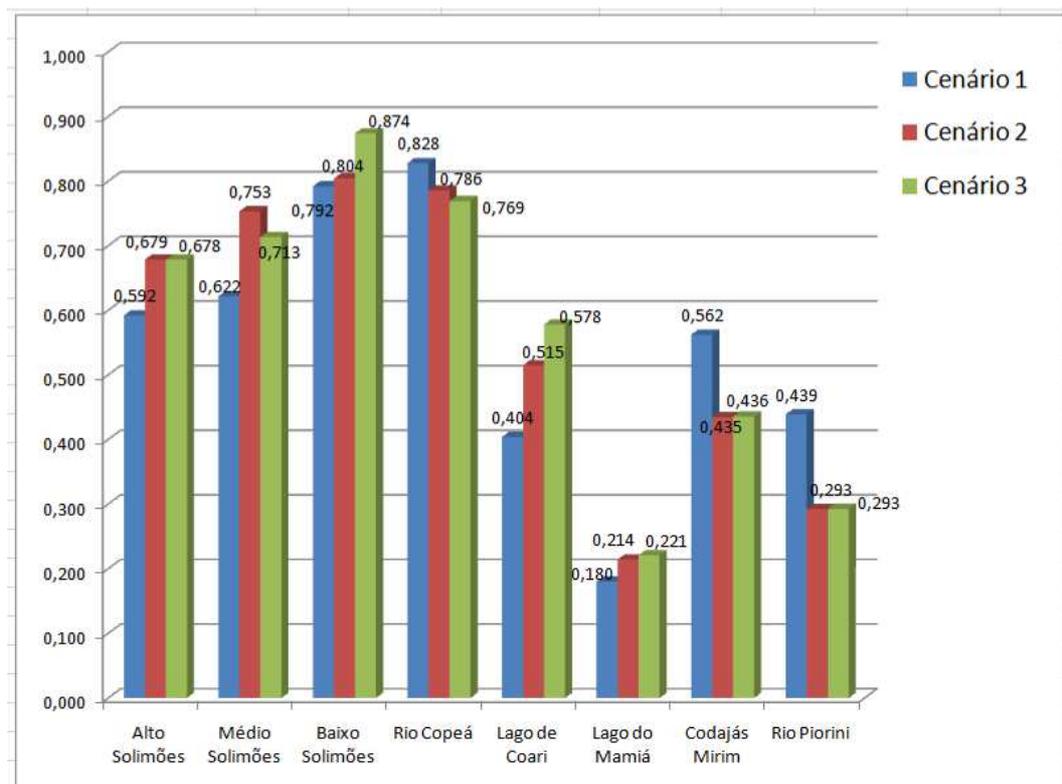
**Tabela 15: Ordenação das alternativas do cenário 3**

Ordenação	Alternativa	Score
1	Baixo Solimões	0,874
2	Rio Copeá	0,769
3	Médio Solimões	0,713
4	Alto Solimões	0,678
5	Lago de Coari	0,578
6	Codajás Mirim	0,436
7	Rio Piorini	0,293
8	Lago do Mamiá	0,221

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível observar que, independente dos pesos atribuídos aos critérios e os desempenhos das alternativas, os resultados das análises para os três cenários dispõem a mesma ordenação para as alternativas, isto é: Baixo Solimões em 1º, Rio Copeá em 2º e Médio Solimões em 3º.

**Gráfico 4: Reunião da posição de cada alternativa nos três cenários avaliados**



Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 4 apresenta uma visão unificada da posição de cada alternativa para os três cenários avaliados. Observando o Gráfico, é possível identificar no eixo vertical o coeficiente de proximidade das alternativas nos três cenários e, a partir do valor neste eixo, observa-se a

posição de cada uma das alternativas, ou seja, aquela que é a preferível de acordo com a análise realizada.

## 6.2 Análise de sensibilidade

Com o intuito de avaliar a robustez do resultado alcançado na priorização global obtida por meio do modelo de decisão, é importante que seja feita uma análise de sensibilidade.

Esta seção apresenta duas abordagens de análise: a primeira atribui igual valor aos pesos de todos os critérios, colocando-os no mesmo nível de importância; na segunda, é avaliado o impacto no resultado da priorização, quando assumidos diferentes valores de peso para um critério específico e, por consequência, com variação proporcional nos pesos dos demais critérios. O objetivo é demonstrar o comportamento das alternativas em cenários diferentes daqueles propostos anteriormente. Nas seções anteriores, foram apresentados os resultados obtidos por meio do emprego de valores de peso definidos pelos decisores e pelo analista. As seções seguintes demonstram em mais detalhes estas análises.

### 6.2.1 Análise pelo mesmo grau de importância

Para esta análise de sensibilidade, serão propostas alterações nos valores de peso dos critérios definidos pelos decisores.

A alteração nos pesos dos critérios tem como objetivo avaliar situações diferentes, porém passíveis de acontecerem, como o caso em que todos os critérios apresentam o mesmo grau de importância. Neste cenário, qualquer alteração na ordem de classificação será causada apenas pelos desempenhos de cada alternativa e não pela influência gerada pelo peso atribuído a um critério.

A seguir, Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18 mostram os valores dos pesos de cada um dos critérios assumidos inicialmente e os valores assumidos para o novo cenário:

**Tabela 16: Alteração dos pesos do cenário 1 para o novo cenário 1**

<b>Critérios</b>	<b>De</b>	<b>Para</b>
Total de famílias	20%	16,6%
Total de Pessoas	10%	16,6%
Distância da cidade	20%	16,6%
Total de famílias atingidas pela última enchente	30%	16,6%
Total do último Recurso aplicado	10%	16,6%
Dias desde a aplicação do último recurso	10%	16,6%

Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 17: Alteração dos pesos do cenário 2 para o novo cenário 2**

<b>Critérios</b>	<b>De</b>	<b>Para</b>
Total de famílias	30%	16,6%

Total de Pessoas	10%	16,6%
Distância da cidade	10%	16,6%
Total de famílias atingidas pela última enchente	30%	16,6%
Total do último Recurso aplicado	10%	16,6%
Dias desde a aplicação do último recurso	10%	16,6%

Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 18: Alteração dos pesos do cenário 3 para o novo cenário 3**

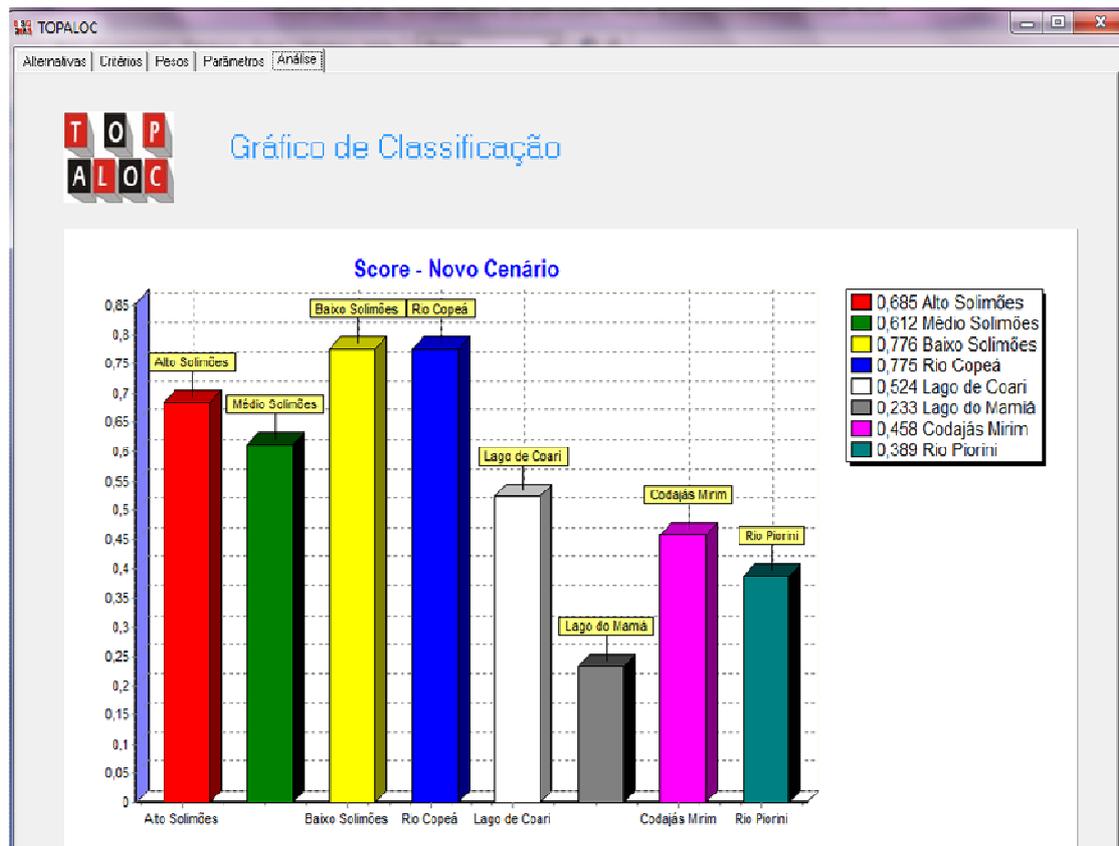
<b>Critérios</b>	<b>De</b>	<b>Para</b>
Total de famílias	10%	16,6%
Total de Pessoas	30%	16,6%
Distância da cidade	10%	16,6%
Total de famílias atingidas pela última enchente	30%	16,6%
Total do último Recurso aplicado	10%	16,6%
Dias desde a aplicação do último recurso	10%	16,6%

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os dados apresentados nas tabelas anteriores, é possível observar que a diferença que existe entre os cenários anteriores e o novo cenário a ser avaliado se restringe apenas aos valores de peso dos critérios. Para a nova avaliação, essa diferença é eliminada, ou seja, todos os critérios recebem valores de peso idênticos.

Aplicando novamente a metodologia TOPSIS de ADM por meio do protótipo desenvolvido *TopAloc*, agora assumindo os novos valores de peso, é possível obter o novo *ranking* final, apresentado por meio do Gráfico 5.

Gráfico 5: Resultado para nova análise



Fonte: Elaborado pelo autor (com base na aplicação *TopAloc*)

Uma vez que a nova configuração a ser avaliada é única, onde são assumidos pesos idênticos para os critérios, foi gerado apenas um gráfico contendo os resultados da ordenação final. Por meio do Gráfico 5, é possível verificar as novas posições de cada uma das alternativas no cenário com pesos idênticos. A Tabela 19 apresenta a ordenação obtida para as alternativas.

Tabela 19: Ranking de classificação da nova análise

Ordenação	Alternativa	Score
1	Baixo Solimões	0,776
2	Rio Copeá	0,775
3	Alto Solimões	0,685
4	Médio Solimões	0,612
5	Lago de Coari	0,524
6	Codajás Mirim	0,458
7	Rio Piorini	0,389
8	Lago do Mamiá	0,233

Fonte: Elaborado pelo autor (com base na aplicação *TopAloc*)

As alternativas “Baixo Solimões” e “Rio Copeá” se mantiveram nas mesmas posições em relação aos cenários analisados anteriormente, ou seja, 1ª e 2ª posição, respectivamente. A alternativa “Alto Solimões”, que agora aparece na 3ª posição, ganhou uma posição em relação

aos cenários 1 e 2, e duas posições em relação ao cenário 3. Já a alternativa “Médio Solimões”, classificada na quarta posição segundo o *ranking* da nova análise, perdeu uma posição em relação aos cenários anteriores, onde aparecia em terceira posição em todos os cenários avaliados. As alternativas “Lago de Coari”, “Codajás Mirim” e “Rio Piorini” se mantiveram em posições intermediárias, como nas análises realizadas assumindo os cenários anteriores, variando entre uma posição a mais e uma a menos. A alternativa “Lago do Mamiá” obteve o menor desempenho na maioria das análises, ocupando a última posição em três dos quatro cenários avaliados.

### 6.2.2 Análise por variação proporcional dos pesos

Nesta análise, é avaliado como a variação nos pesos dos critérios influenciam na priorização das alternativas. Para a aplicação desta análise de sensibilidade, assume-se a variação do peso relativo a apenas um critério por vez, a variação dos demais pesos dos demais critérios acontece de forma proporcional à medida que varia o peso do critério base adotado. Uma análise completa desta natureza deve realizar a variação dos pesos assumindo por base cada um dos critérios por vez e em todos os cenários apresentados.

Para a análise apresentada aqui foi tomado como base o cenário 1, sendo assumido o critério "Total de famílias atingidas pela última enchente" (TFAE) como critério base. Este critério foi escolhido por ter sido alvo de grande atenção por parte dos decisores do processo e também por ter recebido o maior grau de importância em todos os cenários avaliados. Com a realização da análise de sensibilidade, é possível verificar o resultado da priorização das alternativas para diferentes graus de importância deste critério em específico. A Equação 9 apresenta a expressão aplicada para geração dos novos valores de peso para os demais critérios.

Equação 9

$$novo\_peso_j = peso_j \times \left[ \frac{1 - novo\_peso_k}{1 - peso_k} \right]$$

Fonte: Adaptado pelo autor

A Tabela 20 representa a matriz com os pesos de cada um dos critérios, assumindo como referência a variação imposta ao peso do critério "Famílias atingidas pela última enchente" (TFAE) e a proporcionalidade definida no cenário 1.

**Tabela 20: Pesos e suas proporcionalidades**

TFC	TP	DC	TFAE	TUR	DAUR
0,2857	0,1429	0,2857	0	0,1429	0,1429
0,2571	0,1286	0,2571	0,1000	0,1286	0,1286
0,2286	0,1143	0,2286	0,2000	0,1143	0,1143
0,2000	0,1000	0,2000	0,3000	0,1000	0,1000
0,1714	0,0857	0,1714	0,4000	0,0857	0,0857
0,1429	0,0714	0,1429	0,5000	0,0714	0,0714
0,1143	0,0571	0,1143	0,6000	0,0571	0,0571
0,0857	0,0429	0,0857	0,7000	0,0429	0,0429
0,0571	0,0286	0,0571	0,8000	0,0286	0,0286

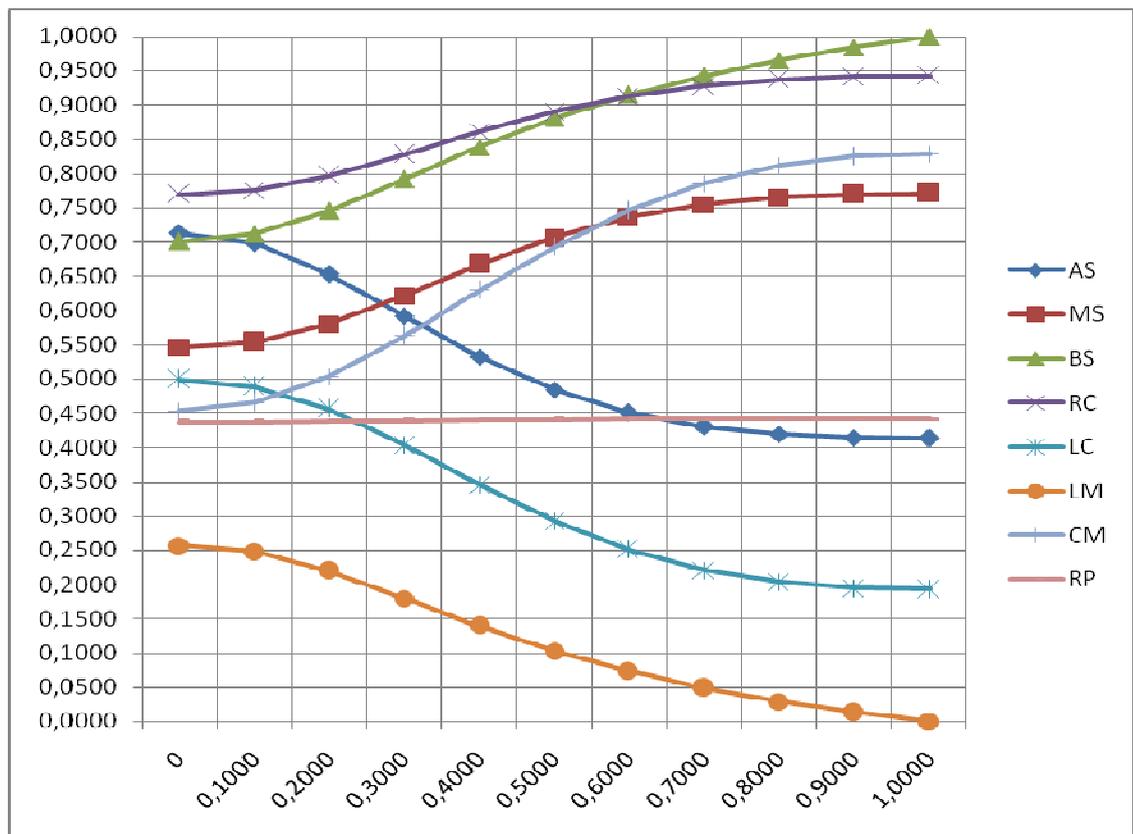
0,0286	0,0143	0,0286	0,9000	0,0143	0,0143
0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000

Fonte: Elaborado pelo autor

Quando o peso do critério TFAE é igual a 0,3000, o mesmo atribuído no cenário 1, os pesos dos demais critérios também se igualam aos seus respectivos pesos originais do cenário em questão.

Por meio do Gráfico 6, é possível visualizar o efeito que as mudanças dos pesos têm sobre os resultados da ordenação das alternativas após a aplicação do TOPSIS.

**Gráfico 6: Análise de sensibilidade**



Fonte: Elaborado pelo autor

O eixo vertical indica os desempenhos das alternativas durante a análise e o eixo horizontal indica os pesos atribuídos ao critério TFAE, os quais foram assumidos arbitrariamente neste processo de análise. Conforme o gráfico, no momento em que o peso para o critério TFAE apresenta o valor 0,3000, os desempenhos das alternativas se igualam aos obtidos no referido cenário 1, conforme Gráfico 1, uma vez que os demais pesos assumem também seus valores originais respectivos, conforme cenário 1 e apresentados na Tabela 20.

É possível observar que as alternativas BS e RC mantiveram-se a frente na priorização, reafirmando os resultados conforme análises anteriores. À medida que cresce o peso do critério TFAE, a alternativa BS posiciona-se a frente da alternativa RC, a partir do grau 0,6 de importância. As alternativas AS, LC e LM posicionaram-se cada vez mais abaixo na ordem de priorização, conforme o aumento no grau de importância do critério TFAE. Por outro lado, as alternativas BS, RC, MS e CM ganharam posições positivas. Tal fato se deu devido às alternativas apresentarem maior índice de famílias afetadas pela última enchente.

### 6.3 Conclusões sobre a aplicação do modelo computacional

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo *TopAloc* se mostraram compreensíveis aos decisores que se mostraram receptivos à iniciativa do trabalho. A entrevista com os decisores, visando à definição das suas preferências, isto é, dos critérios e dos seus respectivos pesos, foi realizada sem dificuldades, pois os decisores conseguiram compreender a metodologia e assim puderam determinar os parâmetros e seus valores, para uso na análise, sem dificuldades.

O modelo *TopAloc* alcançou êxito por oferecer uma análise detalhada acerca do problema de alocação de recursos, sendo obtida a identificação adequada das prioridades e a sua respectiva ponderação, bem como o desempenho das alternativas, a análise de sensibilidade, e uma visão clara da influência dos pesos sobre a priorização das alternativas.

Com base no apresentado, é possível concluir que a ferramenta computacional desenvolvida teve o desempenho conforme o esperado. Em relação ao resumo da análise dos resultados obtidos, a alternativa “Baixo Solimões” se mostrou preferível em todos os cenários avaliados, devido ao desempenho superior desta alternativa em cada um dos critérios considerados. O gráfico gerado para se ter uma visão ilustrada da ordenação obtida com o emprego do modelo *TopAloc* permitiu a investigação das diferenças de priorização.

### 6.4 Análise de Cluster

Considerando a proximidade de alguns dos valores finais das priorizações, é possível realizar uma análise de *Cluster* (análise de agrupamento) para classificar as comunidades em grupos (blocos). Essa análise permite a separação das regiões em blocos, que a critério dos tomadores de decisão podem ser usados para receberem alocação de recursos conforme ordem de priorização. Para demonstração da análise de *cluster* foi utilizado o resultado final de priorização obtido no cenário 1 e apresentado na Tabela 21, conforme obtidos com a aplicação do TOPSIS.

**Tabela 21: Desempenho cenário 1**

Alternativas	Desempenho
AS	0,5921
MS	0,6217
BS	0,7920
RC	0,8279
LC	0,4042
LM	0,1802
CM	0,5622
RP	0,4390

Fonte: Elaborado pelo autor

Sobre os parâmetros para realização da análise de agrupamento, utilizou-se o método *Ward* que consiste no agrupamento hierárquico (SEIDEL *et al.*, 2008) e para medir a distância de similaridade foi utilizada a Distância Euclidiana (DEZA; DEZA, 2009). Após a utilização

desses métodos (“Análise de Agrupamento”, 2016), foi possível obter os seguintes resultados referentes ao agrupamento, conforme descrito na Tabela 22.

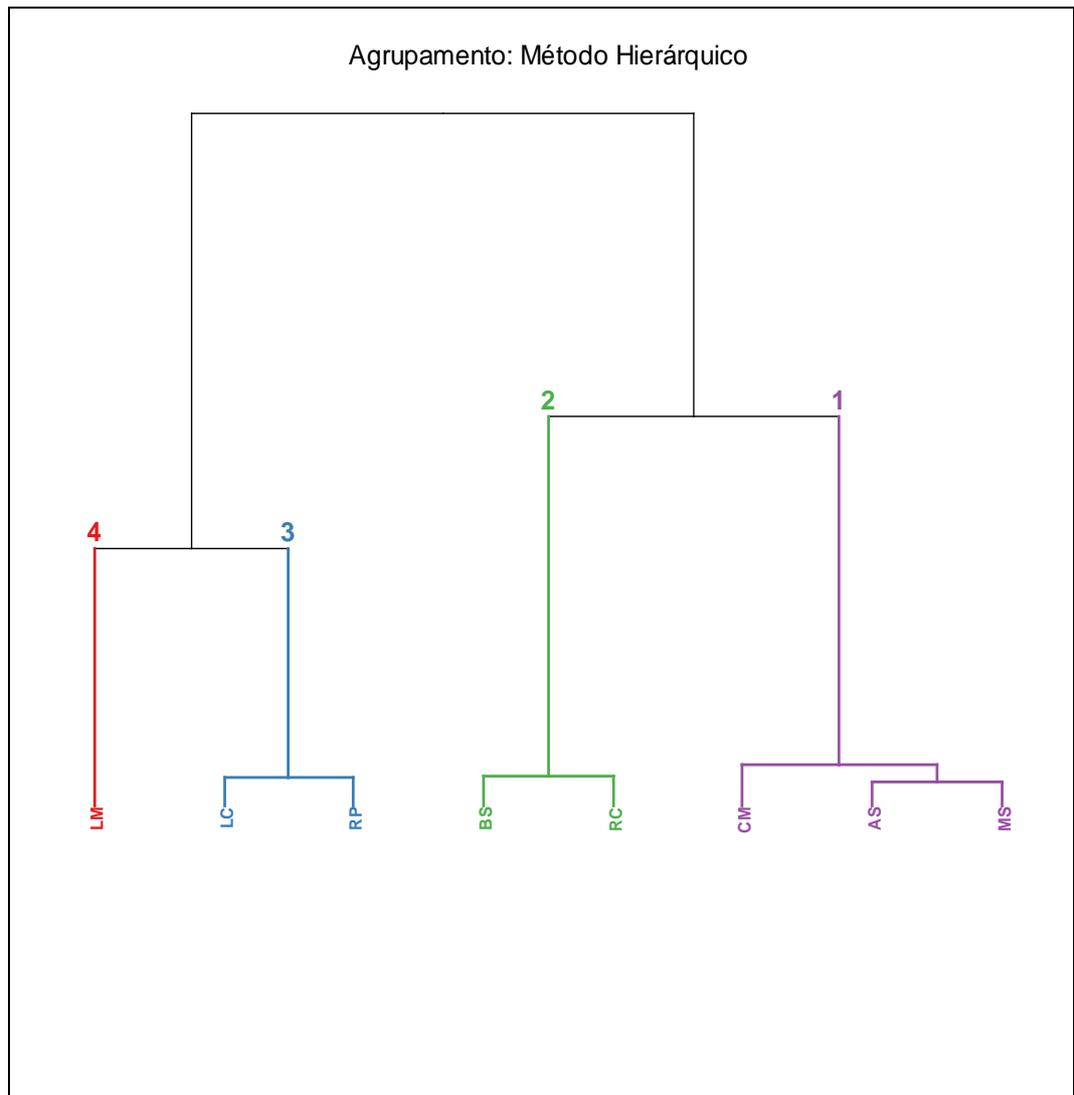
**Tabela 22: Agrupamento**

ANÁLISE DE AGRUPAMENTO			
<i>Agrupamento: Método Hierárquico</i>			
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
AS	BS	LC	LM
MS	RC	RP	
CM			

Fonte: Elaborado pelo autor

Os grupos obtidos por meio da análise estão representados na Figura 18, que mostra a formação de quatro agrupamentos. Dentro de cada agrupamento, temos as regiões de comunidades ribeirinhas.

**Figura 18: Cluster das comunidades**



Fonte: Elaborado pelo autor

No primeiro agrupamento formado, é possível identificar as regiões de comunidades ribeirinhas do CM, AS e MS. O segundo agrupamento é composto pelas regiões de comunidades ribeirinhas do RC e BS. O terceiro agrupamento é formado pelas regiões de comunidades do LC e RP. O quarto agrupamento foi formado apenas pela região de comunidades ribeirinhas do LM. Observando a formação dos agrupamentos e também a ordem de priorização obtida na aplicação do TOPSIS para este cenário em questão, é possível identificar que os grupos foram formados pelas regiões que tiveram seus valores finais aproximados. Por exemplo: no grupo 2, tem-se as comunidades BS e RC, cujos valores finais para essas alternativas foram respectivamente: 0.792 e 0.827. Já o grupo 4, onde se tem apenas a comunidade LM, ficou assim formado por não haver outra região com parâmetros semelhantes, ou seja, o valor final para o desempenho do LM é de 0.180, não havendo outra região com valor próximo. A análise descritiva destes agrupamentos é apresentada na Tabela 23.

**Tabela 23: Ordem do agrupamento**

<b>Grupos</b>		
<b>Rótulos</b>	<b>Ordem dos rótulos</b>	<b>Grupos</b>
<b>LM</b>	6	4
<b>LC</b>	5	3
<b>RP</b>	8	3
<b>BS</b>	3	2
<b>RC</b>	4	2
<b>AS</b>	1	1
<b>MS</b>	2	1
<b>CM</b>	7	1

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 6.4.1 Considerações finais

Por meio da análise de *cluster* apresentada, foi possível agrupar as alternativas avaliadas no processo de decisão. Este método possibilita uma comparação entre os resultados apresentados nos cenários anteriores. Também foram abordados os principais aspectos que tiveram relação direta na determinação dos grupos.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A responsabilidade de tomar decisões no âmbito da gestão pública é sempre uma tarefa difícil e está ligada a um elevado nível de complexidade, considerando que nem sempre há a disponibilidade de recursos financeiros suficientes que possibilitem o atendimento equilibrado a todas as demandas que a sociedade necessita em seus diversos setores. Tendo em vista as limitações de recursos financeiros para aplicação em áreas de comunidade ribeirinhas da cidade de Coari, no Amazonas, e o grande número dessas comunidades que necessitam da atenção que depende desses recursos, torna-se necessário o estabelecimento de prioridades para alocação de recursos que atendam às demandas dessas comunidades. Com base nessas considerações, torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de uma ferramenta de suporte a decisão que torne o processo de priorização democrático e melhore o planejamento para a alocação dos recursos financeiros.

Este trabalho trouxe como objetivo geral o desenvolvimento de um modelo de decisão baseado na técnica de ADM e a ser incorporado a um modelo computacional para emprego na geração de uma ordenação das comunidades ribeirinhas, visando à alocação de recursos. Denominado *TopAloc*, o modelo computacional é baseado em um modelo de decisão multicritério que oferece auxílio aos gestores públicos do município de Coari, Amazonas, na tomada de decisão referente à alocação de recursos financeiros para implantação e/ou manutenção de obras e/ou serviços, que beneficie as populações residentes em áreas de comunidades ribeirinhas. Foi adotada a técnica de análise multicritério TOPSIS para aplicação do modelo de decisão desenvolvido. Por meio desta técnica, foi possível obter uma ordenação das comunidades ribeirinhas para identificar aquela mais próxima de uma configuração ideal, indicada através do maior valor do coeficiente de proximidade, e indicada para receber a alocação de recursos públicos.

Com base nos resultados apresentados por meio da aplicação do protótipo *TopAloc*, o objetivo geral deste trabalho foi alcançado, com a construção de um modelo computacional baseado na metodologia TOPSIS de Análise de Decisão Multicritério. A implementação da ferramenta possibilitou a geração de um *ranking* para os grupos de comunidades ribeirinhas, servindo como ferramenta de auxílio aos decisores encarregados da alocação de recursos a estas comunidades. A ordenação das comunidades foi realizada tendo como base os critérios e seus respectivos graus de importância (pesos), estabelecidos na etapa de análise. A definição dos critérios aconteceu por meio de consenso estabelecido em reuniões que tiveram a participação dos gestores da secretaria de Infraestrutura Rural (responsáveis por atender as demandas das comunidades) e do grupo técnico (pessoas especializadas que auxiliam os gestores). A definição dos critérios, realizada pelos profissionais que vivenciam de perto as necessidades dos moradores das regiões de comunidades ribeirinhas, foi muito importante para dar maior legitimidade à análise realizada. Um critério muito importante e que ganha bastante atenção por parte do governo, foi identificado através das reuniões realizadas, sendo denominado "Total de famílias atingidas pela última enchente". Através da definição dos pesos dos critérios, foi possível observar que, nos três cenários propostos pelos gestores para avaliação, este critério teve o maior valor de importância. Com base nessa observação, é possível, futuramente, realizar um estudo voltado especificamente para o problema da enchente nessas áreas.

É importante acrescentar que o trabalho desenvolvido demonstrou ter forte relevância no meio social e político. Um aspecto importante é a possibilidade de oferecer o auxílio à tomada de decisão de forma mais racional do que comumente é realizado, bem como agilizar o processo dos decisores os quais se mostraram satisfeitos com a realização deste trabalho.

Por meio da aplicação da análise de sensibilidade foi possível avaliar a robustez dos resultados alcançados pela aplicação do modelo *TopAloc*, o qual apresentou resultados satisfatórios ao propósito do modelo. A aplicação da análise de *cluster* foi fundamental e tem o viés de oferecer aos decisores uma alternativa para aplicar recursos em grupos de regiões de comunidades ribeirinhas ao invés de priorizar apenas uma. Nesse sentido a aplicação do modelo proposto neste trabalho alcançou os resultados desejados.

A implementação do modelo *TopAloc* com aplicação ao caso das comunidades ribeirinhas de Coari, baseado na metodologia TOPSIS de análise de decisão multicritério, ofereceu a oportunidade de realizar um estudo detalhado no que diz respeito à potencialidade das alternativas em estudo. Com isso, foi possível observar de forma clara a ordenação das regiões avaliadas no experimento de análise multicritério.

### **7.1 Sugestões para trabalhos futuros**

É possível a modificação do modelo proposto neste trabalho para adaptá-lo a outras situações similares. Ainda se tratando do problema em estudo, ou seja, o caso das comunidades ribeirinhas, é possível aprimorar o modelo proposto de forma que possa considerar as alternativas em uma abordagem mais ampla, as alternativas assumidas neste trabalho como sendo "comunidades ribeirinhas" pode ser desmembrada em "comunidade ribeirinha + área de aplicação". Outra sugestão seria realizar o aprimoramento de acordo com a necessidade do problema em questão e que necessite do uso da metodologia aqui empregada. Quanto à seleção dos critérios, pode-se realizar um estudo mais aprofundado para identificar outros que possuam maior representatividade para priorização das regiões de comunidades. Com relação aos critérios empregados no processo de análise, é importante ressaltar, no entanto, que outros critérios poderiam ter sido usados para fazer uma pré-seleção das regiões de comunidades candidatas a receber alocação de recursos. Para este fim, os requisitos para a seleção dos critérios deveriam estar alinhados com os objetivos do decisor ou com as características de avaliação. Outra sugestão para trabalhos futuros é a exploração de técnicas para definição dos pesos assumidos para cada um dos critérios. Neste caso, seria possível associar a ferramenta atual a outras técnicas de análise de decisão multicritério, como o AHP, por exemplo, a fim de identificar de maneira mais confiável os valores a serem empregados como pesos dos critérios.

## 8 REFERENCIAS

- BREU, A. DE; SILVA, P. Eficiência na Alocação de Recursos Públicos Destinados à Educação, Saúde e Habitação em Municípios Mineiros. p. 96–114, 2012.
- ABREU, W. M. DE; GOMES, R. C. Orçamento público : análise da formulação de estratégias sob a perspectiva do planejamento emancipatório e desenvolvimentista. *Revista do Serviço Público*, v. 61, n. 3, p. 269–286, 2010.
- AGUIAR, A. B. DE; SOUZA, S. M. DE. Processo orçamentário e criação de reservas em uma instituição hospitalar <br>DOI:10.5007/2175-8069.2010v7n13p107. *Revista Contemporânea de Contabilidade*, v. 7, n. i, p. 1–15, 2010.
- ALBERTO, L.; RANGEL, D. CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO DOS FATORES DE COMPROMETIMENTO ORGANIZACIONAL: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO UTADIS. p. 354–365, 2012.
- AMORIM, L. A. *Agente para suporte à decisão multicritério em gestão pública participativa*. 2014a. 88 f. Universidade Federal de Goiás, 2014.
- AMORIM, L. A. *Agente para suporte à decisão multicritério em gestão pública participativa*. 2014b. 88 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 2014.
- Análise de Agrupamento*. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/en/node/2124>>. Acesso em: 8 abr. 2016.
- ANTONIO, P.; FORTES, D. C. O dilema ético de priorizar recursos escassos. p. 34–35, 2011.
- ARRETCHE, M. T. S. *Tendências no estudo sobre avaliação*. 1998. 161 f. 1998.
- AUGUSTO, C.; SILVA, T. Análise Dos Recursos Públicos Aplicados No. p. 1–28, 2011.
- BARTON, A. Why governments should use the government finance statistics accounting system. *Abacus*, v. 47, n. 4, p. 411–445, 2011.
- BAZZOTTI, C.; GARCIA, E. A importância do sistema de informação gerencial para tomada de decisões. n. 045, p. 1–13, 2004.
- BEZERRA, E. *Princípios de Análise e Projetos de Sistemas com UML*. 2ª. ed. Rio de janeiro: Campus, 2007.
- CALILI, R. F. *et al.* Estudo de modelos decisórios para escolha de alternativas de usinas geradoras de energia elétrica : utilização dos métodos multicritério TOPSIS, ELECTRE e AHP. p. 362–371, 2010.
- CAMPOS, V. R. *Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento*. 2011. Universidade de São Paulo, 2011.

- CARLOS, J.; MELLO, C. B. S. DE. USO INTEGRADO DE DOIS MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO : VIP ANALYSIS E MACBETH Maria Cecília de Carvalho Chaves UFF. p. 89–99, 2010.
- COELHO, D. M.; QUINTANA, A. C. Análise do desempenho econômico e financeiro de entidades da administração pública direta: O caso da Prefeitura Municipal do Rio Grande (RS). *Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ*, v. 13, p. 1–15, 2008.
- CORRAR, S. E. Educação em Minas Gerais : Uma Análise de Eficiência na Alocação de. p. 1–15, 2005.
- DEZA, M. M.; DEZA, E. *Encyclopedia of distances*. [S.l: s.n.], 2009.
- ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Gestão financeira e orçamentária governamental: construção de um modelo de gestão multicritério. *ENAPG*, p. 1–16, 2012.
- FERNANDES, A. M. 16 a 19. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, p. 1332–1343, 2013.
- FIGUEIREDO, C. *et al.* A utilização da computação móvel na armazenagem de dados de paciente em atendimentos domiciliares de saúde. 2013.
- FUKUDA, N. *Ribeirinhos*.
- FUNAI, M. T.; REZENDE, D. A. GOVERNO ELETRÔNICO NA GESTÃO MUNICIPAL : AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ELETRÔNICOS DA PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS ( PARANÁ ) E-GOVERNMENT IN THE MUNICIPAL MANAGEMENT: EVALUATION OF THE E-SERVICES OF LOCAL GOVERNMENT OF SÃO JOSÉ DOS PINHAIS ( PR ). *Gestão & Regionalidade*, v. 27, p. 15–29, 2011.
- GAMPER, C. D. *On the governmental use of multi-criteria analysis*. [S.l: s.n.], 2007.
- GURGEL, A. M.; MOTA, C. M. DE M.; PEREIRA, D. V. DE S. GESTÃO DA SEGURANÇA PÚBLICA: UM MODELO DE CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO COMBINADO A SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. p. 475–481, 2012.
- ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. *Multi-Criteria Decision Analysis Multi-Criteria Decision Analysis*. [S.l: s.n.], 2013.
- JANNUZZI, P. DE M.; MIRANDA, W. L. DE; SILVA, D. S. G. DA. Aplicativo Operacional e Aplicações. v. 11, n. 1, p. 69–87, 2009.
- JUNGER, S. *A organização e a importância dos Sistemas de Informação* . Disponível em: <[www.craes.org.br/](http://www.craes.org.br/)>. Acesso em: 8 jul. 2015.
- JÚNIOR, J. C. F. B. *et al.* Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas . Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. n. 87, p. 3–11,

2008.

- LECHETA, R. R. *Google Android Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK*. 2ª. ed. São Paulo: Novatec, 2010.
- LEITE, L. M. *Tecnologia da Informação : os 5 componentes da TI Componentes da TI*. Disponível em: <<http://ogestor.eti.br/>>. Acesso em: 7 jul. 2015.
- MELO, Á. H. DA S.; PEREIRA, E. C.; LIMA, R. P. *Fundamentos de Banco de Dados*. Manaus/AM: UEA Edições, 2009.
- MICHEL, I.; LEITE, S. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO : AHP , ELECTRE E PROMETHEE. 2012.
- MIGUEL, J. Universidade do Minho Escola de Engenharia João Miguel Ramos da Costa Amorim Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão multicritério. 2014.
- MOURA, J. A. DE *et al.* PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS SOCIALMENTE SUSTENTÁVEIS : UMA ABORDAGEM MULTICRITERIO. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013.
- MOURÃO, A. B.; PONTES, D. P. N.; GORAYEB, D. M. DA C. *Análise e Projeto de Sistemas I*. 1ª Edição ed. Manaus/AM: UEA Edições, 2009.
- NATIONS, U. *UNITED NATIONS E-GOVERNMENT SURVEY 2014 E-GOVERNMENT FOR THE FUTURE WE WANT*. New York: [s.n.], 2014. Disponível em: <<http://unpan3.un.org/egovkb/>>.
- OLIVEIRA, J. B. F. DE. Governo Eletrônico: Uma Visão Sobre a Importância do Tema. *Informática Pública*, v. 11, n. 1, p. 7–13, 2009.
- OLIVEIRA, C. H. P. *SQL Curso Prático*. São Paulo: Novatec, 2002.
- PRADO, M. Modelo Fuzzy para Subsidiar a Alocação de Recursos Financeiros em Sistemas de Transportes Sobre Trilhos. p. 311, 2007.
- SALOMON, V. P.; PAMPLONA, E. O. JUSTIFICATIVAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA. *ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção*, p. 17, 1999. Disponível em: <[www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999\\_A0034.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0034.PDF)>.
- SEIDEL, E. J. *et al.* Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. v. 30, n. 1, p. 7–15, 2008.
- SILVA, E. A.; AUXILIADORA, D.; MONTEIRO, A. Alocação de Recursos Públicos : uma Análise de Eficiência Relativa nas Microrregiões Mineiras. XXXV Encontro da ANPAD, p. 1–17, 2011.
- Sistema de Informações*. Disponível em: <<http://www.ifba.edu.br/>>. Acesso em: 9 jul. 2015.

TSAUR, R. Decision risk analysis for an interval TOPSIS method. *Applied Mathematics and Computation*, v. 218, n. 8, p. 4295–4304, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2011.10.001>>.

YOON, K. P.; HWANG, C.-L. *Multiple Attribute Decision Making - An Introduction*. 07.–104. ed. New Delhy: [s.n.], 1995.