

# Priorização por Multicritérios: metodologia da árvore balanceada

## Prioritization by Multicriteria: balanced-tree methodology

José Carlos da Silva  
Exército Brasileiro (EB)  
Estado-Maior do Exército  
+55 61 98253-6670  
carlossilva.jose@eb.mil.br

José Gladistone da Rocha  
Exército Brasileiro (EB)  
Estado-Maior do Exército  
+55 61 98251-6335  
jgladistone@gmail.com

Carlo Kleber da Silva Rodrigues  
Centro de Matemática, Computação e  
Cognição (CMCC)  
Universidade Federal do ABC  
+55 11 4996-8342  
carlo.kleber@ufabc.edu.br

### RESUMO

A escolha de uma metodologia adequada é fundamental para gerar priorizações confiáveis em apoio a um processo decisório. A priorização de projetos, por exemplo, é uma das atividades precípuas para subsidiar o apoio à decisão dos gestores, contribuindo para justificar a seleção, o corte e a alocação de recursos entre os projetos de um portfólio. Este artigo visa apresentar uma nova metodologia de priorização para decisão por multicritério baseada na combinação da Lei de Miller com o Princípio de Pareto. Como principal contribuição pretendida, tem-se a expectativa de se poder realizar priorizações multicritério com menor esforço, particularmente quando uma grande quantidade de elementos priorizáveis estiver envolvida, com a certeza do atingimento de resultados adequadamente consistentes e confiáveis.

### Palavras-chave

Priorização; Decisão multicritério; Metodologia; Árvore balanceada.

### ABSTRACT

Choosing an appropriate methodology is essential to generate reliable prioritizations in support of a decision-making process. The prioritization of projects, for example, is one of the main activities to support the decision-making of managers, helping to justify the selection, cutting and allocation of resources among the projects in a portfolio. This article aims to present a new prioritization methodology for multicriteria decisions based on the combination of Miller's Law and Pareto's Principle. As the main intended contribution, there is the expectation of being able to carry out multicriteria prioritizations with less effort, particularly when many prioritized elements are involved, with the certainty of achieving adequately consistent and reliable results.

### CCS Concepts

• Information systems ~ Information systems applications ~ Decision support systems ~ Expert systems

### Keywords

Prioritization; Multicriteria decision; Methodology; Balanced tree.

## 1. INTRODUÇÃO

As instituições precisam justificar seus gastos em variados setores, sendo um deles a execução de projetos [28]. A priorização de projetos, por exemplo, é uma das atividades precípuas para

subsidiar a decisão dos gestores, e justificar a seleção, o corte e a alocação de recursos entre os projetos de seus portfólios. Essa atividade é conhecida como “balanceamento de portfólio” ou “equilíbrio de investimentos”.

O processo de tomada de decisão, relacionado à seleção e priorização de projetos, é caracterizado por incertezas, devido à natureza dinâmica e complexa dos projetos e à subjetividade dos critérios utilizados para avaliação [16].

A aplicação de métodos de análise de decisão multicritério apresenta-se na literatura como uma ferramenta eficiente para auxiliar gestores nos processos de tomada de decisão nos diferentes setores da organização, em especial, em cenários de maior complexidade de critérios, por exemplo, a seleção de projetos de um portfólio [10]. Assim, a escolha de metodologias de priorização confiáveis é fundamental para apoiar decisões.

Nas últimas décadas, vários métodos de apoio à decisão multicritério, do inglês *Multiple Criteria Decision Aiding* (MCDA), foram propostos para auxiliar na avaliação das melhores alternativas de decisão ([33]; [34]). Sendo assim, a escolha do método mais adequado vai depender de questões básicas, tais como: a estrutura de preferências do decisor, a racionalidade com o que o decisor pretende avaliar a situação-problema (compensatória e não compensatória) e contexto inserido [2].

Segundo Vincke [31] e Nikolić et al. [22], são três as categorias de métodos multicritérios: critério único de síntese, sobreclassificação (*outranking*) e interativos. Entre os métodos de critério único de síntese, destacam-se os baseados no modelo aditivo determinístico e na Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT). Já entre os de sobreclassificação destacam-se as famílias de métodos ELECTRE e PROMETHEE. Por fim, para os interativos tem-se os métodos de Programação Linear Multiobjetivo ([2]; [13]).

Neste contexto, este artigo tem o objetivo de apresentar uma nova metodologia para priorização para decisão por multicritério, que combina a Lei de Miller [19] com o Princípio de Pareto [23], denominada de Metodologia da Árvore Balanceada (MAB). Entre as contribuições pretendidas por este trabalho estão a realização de priorizações multicritério com menor esforço, particularmente para grandes quantidades de elementos priorizáveis, e a apresentação para a decisão de resultados confiáveis e consistentes.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 faz a análise crítica de trabalhos recentes da literatura que tratam da problemática da priorização-decisão. A Seção 3 apresenta a nova metodologia. A Seção 4 apresenta um estudo de caso. Finalmente, a Seção 5 trata das conclusões finais e trabalhos futuros.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O método multicritério de apoio à tomada de decisão é aplicado amplamente em diversas áreas e pesquisas, sendo um instrumento importante para auxiliar os decisores na priorização de projetos em empresas. Nestas avaliações, é possível que fatores, tanto quantitativos quanto qualitativos, sejam considerados na implementação de modelos matemáticos [32].

Um contexto decisório, que envolve multicritérios, não é um problema matematicamente bem definido. Usualmente, não é possível achar uma solução que otimize simultaneamente todos os critérios. Contudo, um método para apoiar a decisão, utilizando múltiplos critérios, deve ser simples, ou seja, ter um grau de complexidade que não impeça a compreensão do decisor. O método a ser adotado não deve ser uma caixa-preta que produza uma solução sem que o decisor compreenda como foi obtida [6].

Segundo Gomes [12], uma vez que a decisão nas organizações normalmente ocorre na presença de múltiplos critérios, quantitativos e qualitativos, torna-se indispensável o emprego de métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD). Esses métodos fornecem um suporte adequado aos decisores, devido à capacidade de elevar a racionalidade do processo e buscam amenizar eventual viés causado por decisões intuitivas e/ou influências políticas [20].

Um dos métodos mais usados em priorização multicritérios é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que é do tipo compensatório, onde se agregam os critérios em um único critério de síntese. Estes métodos pressupõem a condição do decisor de obter uma concepção exata sobre a utilidade dos *scores* de cada alternativa e dos pesos de cada critério, com uma metodologia baseada em análise hierárquica dos dados [11]. Em sua execução, a taxa de consistência deve ser de 0,10 ou menos para ser considerada aceitável. Se o valor for superior, o resultado não é o ideal e, nesse caso, seria necessário refazer a comparação aos pares da matriz de comparação [35]. Na prática, no entanto, taxas de consistência superiores a 0,10 ocorrem com frequência [25]. Isso significa que o método AHP sempre apresenta inconsistências, seja maior ou menor que 0,10, o que torna o trabalho de certa forma pouco robusto, além do mais esse método não se mostra muito eficiente se utilizado com um grande número de parâmetros ([33]; [11]).

Na técnica AHP, os requisitos são comparados de maneira pareada para determinar a extensão de como um dos requisitos é mais importante que o outro. Para  $n$  número de requisitos, o AHP faz comparações segundo a Fórmula (1), em cada nível da hierarquia [1].

$$C_2^n = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

O ideal seria substituir a comparação pareada por uma comparação simultânea de vários requisitos. Porém, o aumento da quantidade de requisitos faz decair drasticamente a capacidade humana de comparar de uma só vez. G. A. Miller criou a “Lei de Miller” [19], onde afirma que o ser humano consegue tratar simultaneamente entre 5 a 9 variáveis. Isso sugere que as

comparações paritárias podem ser substituídas por comparações simultâneas de até nove requisitos.

Mota e Almeida [21] realizaram um trabalho relacionado ao problema de como efetuar uma priorização multicritérios de atividades paralelas em projetos de construção. Conceberam o método multicritério ELECTRE IV-H, baseado no ELECTRE IV, dando nova abordagem para determinação das relações de sobreclassificação.

O método *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMÉTHÉE) trata-se de uma variação do método ELECTRE, com uma maior resistência às variações dos parâmetros, mas sujeitos às subjetividades dos parâmetros técnicos [7]. É considerada uma das principais metodologias de avaliação multicritério por sua facilidade de aplicação e entendimento [18].

Costa [8] desenvolveu a proposição e implantação de um método, com critérios de seleção e priorização de projetos, que aprimorou o processo de decisão para a composição de portfólios em uma empresa de mídia. Sua contribuição científica está no desenvolvimento do método a partir de fundamentos teóricos, e na sua aplicação na empresa com resultados satisfatórios.

Aragão et al. [4] propuseram a aplicação da metodologia *Value Focused Thinking* (VFT) que busca a definição dos valores que o decisor deverá utilizar como guia do processo decisório, em conjunto com o método de apoio à decisão PROMETHEE II para identificação e priorização de ações socioambientais em contexto organizacional.

Farias et al. [10] propuseram um método híbrido de priorização de projetos com dois estágios. O primeiro utiliza uma matriz de qualidade adaptada da ferramenta *fuzzy QFD* (*Quality Function Deployment*) para ponderação dos critérios, e o segundo emprega a técnica PROMETHEE II para ordenação dos projetos. Aplicaram o método na gestão do portfólio de projetos de infraestrutura de Tecnologia da Informação do Centro Integrado de Telemática do Exército, resultando no emprego adequado de recursos humanos e financeiros.

Uma questão que sempre permeia as demandas de apoio à decisão nas organizações é a de qual método empregar para tratá-las. Segundo Roger Neves, Cesar Galhardi e Cezar Lucato [27], uma das críticas a respeito dos métodos multicritérios é que diferentes técnicas podem produzir resultados discordantes quando aplicadas ao mesmo problema. Os autores compararam três métodos de AMD, baseados em paradigmas diferentes, o AHP, o TODIM e o PROMETHEE II, aplicando-os a um processo de seleção de software para escolher entre sete fornecedores qualificados. Além de verificarem e compararem a consistência dos resultados, utilizaram grupos com 3, 7 e 11 critérios (parâmetros), apresentaram as percepções da aplicabilidade, da complexidade, e da laboriosidade requeridas do usuário quanto à utilização dos métodos. O trabalho apontou características individuais, pontos positivos e negativos de um método sobre o outro, e inconsistências nos resultados devidas a algumas inversões na ordem de classificação dos fornecedores. Vários outros trabalhos reportaram também sobre a aplicação conjunta de métodos AMD, visando a comparação entre eles, tais como: [24]; [9]; [14]; [26]; [3]; [17]; e [15].

Com exceção da complexidade, que é intrínseca de cada método, a aplicabilidade, a laboriosidade e a consistência estão fortemente relacionadas entre si e com a quantidade de parâmetros utilizados, o que implica na alteração significativa dos resultados obtidos

quando cresce a ordem de grandeza do número de parâmetros. Além disso, alcançar resultados iguais não valida os métodos aplicados, tampouco resultados diferentes permitem decidir qual o melhor método. Finalmente, todos os métodos se preocupam apenas com seus cálculos, não se importando com a validação das informações utilizadas, o que reduz, para todos eles, a confiabilidade dos resultados. Por estas razões, verificou-se que os critérios mais adequados para avaliar métodos AMD estão nas três categorias citadas a seguir.

#### 1) COMPLEXIDADE

- Laboriosidade: esforço humano empregado e tempo gasto na execução dos trabalhos;
- Inteligibilidade: clareza dos cálculos para facilitar o entendimento dos resultados; e
- Rastreabilidade: memória das informações utilizadas nos trabalhos.

#### 2) CONFIABILIDADE

- Habilitação: escolha de pessoas com perfil adequado para os trabalhos;
- Consistência: tratamento dado aos julgamentos contraditórios; e
- Combinação: modo de efetuar a junção dos resultados encontrados nos trabalhos.

#### 3) CONFORMIDADE

- Aplicabilidade: capacidade humana de tratar o problema com a metodologia;
- Adaptabilidade: acomodar a organização à metodologia para facilitar os trabalhos; e
- Aprendizagem: facilidade e rapidez para conhecer e aplicar a metodologia.

Do exposto, pode-se afirmar que as abordagens existentes de AMD, ou seja, critério único de síntese, sobreclassificação e interativos focam exclusivamente no tratamento dado à relação entre critérios e alternativas, e não se preocupam com os limites da capacidade humana de fornecer para os processos as informações necessárias da lógica do negócio envolvida nas decisões. A MAB, diferentemente dos métodos apresentados nesta

Seção, trata o processo de produção dessas informações, conserva sua semântica, reduz o esforço dos assessores do processo decisório, proporciona consistência nas prioridades e rastreabilidade das informações das decisões.

### **3. METODOLOGIA DA ÁRVORE BALANCEADA (MAB)**

Considerando-se as três abordagens de métodos multicritérios apresentadas por [31] e [22], a MAB proporciona a opção de agregar critérios em critérios múltiplos, base da abordagem do **critério único de síntese**, e também a opção de comparar o desempenho de alternativas separadamente em diversos critérios (critérios simples), como prevê a abordagem da **sobreclassificação** e, finalmente, na maneira como combina critérios na Matriz de Combinação de Critérios, estabelece uma otimização de Pareto ([35]; [5]), que define uma ordenação de compromisso típica de abordagens **iterativas**.

O objetivo maior da MAB é proporcionar processos de priorização e processos decisórios de qualidade, o que é possível tornando suas complexidades acessíveis aos assessores e decisores. O processo MAB, cujas 22 atividades estão representadas na Figura 1, é essencialmente formado pelo processo decisório (raia do Decisor), e pelo processo de priorização, estratificado em níveis (raias dos Níveis Básico, Intermediário e Superior). O processo técnico (raia do Nível Técnico) é composto por uma equipe de especialistas, exímios conhecedores da metodologia MAB, responsáveis por facilitar e coordenar a execução do processo MAB, garantindo, em seus relatórios, a rastreabilidade das informações da decisão.

Ainda, a MAB distingue-se dos demais métodos por adotar a prática de comparações de até nove proposições simultâneas, e empregar o princípio manter a Visão, Interação, e Semântica Totalmente Acessíveis (VISTA) ou simplesmente manter VISTA.

Conjunto de cartões, categorias, grafo-bag, árvore balanceada, Matriz de Combinação de Critérios (MCC), e hierarquia são ferramentas analíticas da MAB que, absorvem a semântica do negócio, pelo emprego dos princípios manter VISTA, Lei de Miller, e Princípio de Pareto, discriminados nesta Seção.

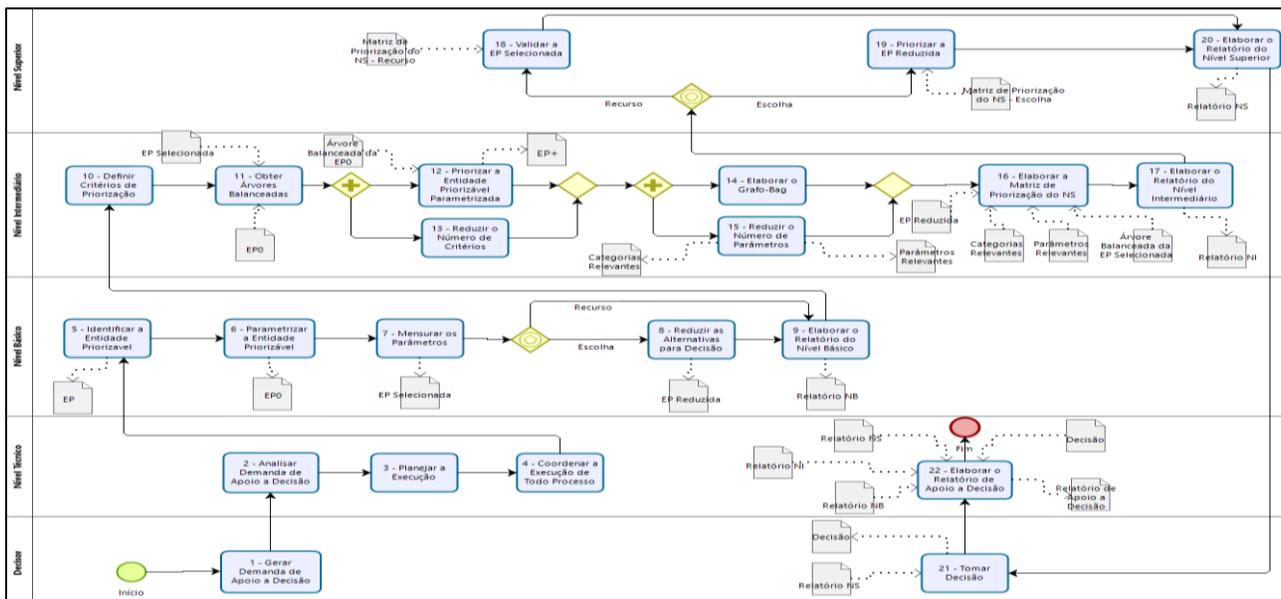


Figura 1: Processo MAB

### 3.1 Decisor e Nível Técnico

O Decisor manifesta sua necessidade de tomar uma decisão por meio de uma Demanda de Apoio à Decisão (DAD), que é apresentada para análise no Nível Técnico (NT), e orienta o planejamento e a coordenação da execução do processo MAB.

Durante todo o processo MAB, a interlocução entre Decisor e NT é feita pelo nível subordinado ao Decisor dentro da hierarquia de governança da organização, por exemplo, uma Diretoria Executiva (DE) ou um CEO (do inglês, *Chief Executive Officer*).

Nas atividades de análise da DAD e no planejamento, os técnicos apresentam à DE os perfis necessários para comporem as equipes da organização que integrarão os Níveis Básico (NB), Intermediário (NI) e Superior (NS), definindo as respectivas agendas para os trabalhos de priorização, e a DE, por sua vez, indica os membros para essas equipes, chamados atores.

Cada equipe é uma amostra representativa de um universo maior de atores chamado papel. Os papéis recebem da DE nomes significativos para a lógica do negócio. A equipe do NT coordena a execução do Processo MAB e, após a decisão do Decisor, finaliza o processo MAB, compilando os relatórios produzidos pelos Níveis Básico, Intermediário e Superior, e elaborando o Relatório de Apoio à Decisão, o qual deve conter, principalmente, toda a rastreabilidade das informações, desde a geração da DAD até a decisão tomada pelo Decisor. Apesar dos trabalhos dos níveis serem interdependentes e seguirem a sequência NB, NI e NS, os níveis que aguardam sua vez para trabalhar e a DE acompanham os trabalhos em andamento para fins de validação.

### 3.2 Nível Básico

Na DAD, o papel do NB identifica um conjunto de elementos para serem priorizados chamado de Entidade Priorizável (EP), por exemplo, o conjunto de projetos de um portfólio, e apresenta ao Decisor uma das seguintes opções para decisão: a) alternativas para uma escolha (**Escolha**); ou b) proposta para alocação de recursos (**Recurso**).

Na sequência, o NB identifica os papéis envolvidos na opção do Decisor, dentro e fora da Organização (também chamados de partes interessadas, do inglês: *stakeholders*), e define com cada um deles um conjunto de parâmetros comuns a todos os elementos da EP, com suas respectivas faixas de aceitação e restrições (desejável/absoluto). Os parâmetros, faixas de aceitação e restrições precisam ser negociados entre esses papéis para harmonizar possíveis conflitos e contradições.

O conjunto de todos os parâmetros definidos pelas partes interessadas é chamado de Entidade Priorizável Parametrizada, e tem como notação EP0. Definir uma única EP0 para todos os elementos da EP permite, por exemplo, que um portfólio tenha elementos de natureza diversa, tais como programas, projetos e processos e, mesmo assim, possam ser priorizados todos juntos pelos mesmos parâmetros.

De posse da EP0, o NB realiza a mensuração dos parâmetros da EP0 para cada um dos elementos da EP. As mensurações dos parâmetros, confrontadas com as respectivas faixas de aceitação e restrições, permitem selecionar os elementos da EP que atendem à DAD, formando um conjunto denominado EP Seleccionada.

Para projetos, por exemplo, poderiam ser considerados parâmetros o tempo de duração e o custo total, com as seguintes restrições e faixas de aceitação: desejável prazo menor que 5 anos; e absoluto valor entre R\$ 6 e 600 milhões. Caso a mensuração de um parâmetro para um elemento da EP fique fora da sua faixa de aceitação, a restrição do tipo desejável não elimina o elemento da seleção, enquanto a restrição do tipo absoluto retira tal elemento da lista de seleção. Um projeto seria selecionado caso tivesse prazo de duração de 6 anos, mas sairia da lista de seleção se custasse R\$ 3 milhões.

Caso a opção demandada pelo Decisor seja **Recurso**, a EP Seleccionada é priorizada pela equipe do NI na Matriz de priorização do NS, que depois deve ser validada pelo NS. Caso a demanda do Decisor seja **Escolha**, a EP Seleccionada deverá ser

reduzida para que seus elementos se tornarem alternativas de escolha no processo decisório, sendo chamada de EP Reduzida (atividade 8 da Figura 1). É boa prática ter a EP Reduzida com apenas três alternativas, para serem priorizadas diretamente pelo NS na Matriz de priorização do NS para Escolha, abordada na Seção 3.3.4.

No processo MAB, os entregáveis do NB ao NI são a EP0, e a EP Seleccionada ou a EP Reduzida. Ao final de suas atividades, o papel do NB elabora o Relatório NB, que contribui para a rastreabilidade das informações da decisão.

### 3.3 Nível Intermediário

A primeira atividade do papel do NI no processo MAB é a definição dos critérios de priorização, e das suas ordens de combinação, expressas por fórmulas, explanados na Seção 3.3.2, que devem ser aprovados pela DE. Os critérios, que podem ser simples ou múltiplos, serão combinados para reduzir o seu número, podendo chegar a apenas um critério múltiplo, denominado de critério Global. A análise da DAD ajuda a definição das combinações de critérios necessárias.

O processo de priorização da EP0, por critério simples, acontece em duas etapas. Na primeira etapa organiza-se uma estrutura com os elementos da EP0 chamada de árvore balanceada e, na etapa seguinte, procede-se à priorização da EP0 propriamente dita, que consiste das atividades de ordenação e de ponderação de seus elementos. Após a priorização de uma EP0 com N elementos, por exemplo, cada elemento terá dois atributos, um chamado ordem, que tem a função precípua de não permitir empates entre os elementos na priorização, e utiliza a escala natural de 1 até N (onde o valor 1 é atribuído ao elemento mais prioritário, e o N ao elemento menos prioritário do conjunto, considerando o critério selecionado), e um segundo atributo chamado peso, de valor numérico, para ser utilizado em cálculos. Quando os elementos da EP0 empatam nos atributos peso, seus atributos ordem desempatam a priorização. A EP0, assim priorizada, é referenciada pela notação EP+. Para o processo de priorização por critério múltiplo, são consideradas que a árvore balanceada da EP0 já foi obtida, e que as EP+, dos seus critérios simples componentes, já estão disponíveis.

Na MAB, a semântica do negócio está nos parâmetros, na forma de frases simples, que são escritas em cartões para serem dispostos todos juntos sobre uma mesa, facilitando aos atores a visão e a manipulação dessa semântica, conforme descrito na Seção 3.3.1. O conjunto de cartões é uma das ferramentas analíticas utilizadas pela MAB. As frases são criadas pelos atores, sem traduções, filtragens ou interpretações por parte do NT.

Na priorização da EP0, a MAB aplica a Lei de Miller para a ordenação, sempre disponibilizando simultaneamente para comparações um número menor ou igual a 9 elementos e, para a ponderação, o Princípio de Pareto, chamado também de regra 80/20, ou seja, 20% dos elementos envolvidos detêm 80% da relevância, ao se considerar determinado critério.

#### 3.3.1 Critérios simples

Para critérios simples, os atores executam a priorização primeiramente manipulando cartões sobre uma mesa, onde haja espaço suficiente para essa atividade. Os cartões representam o papel, as categorias e os elementos da EP0. Nas Figuras de 2a a 6b, os cartões têm cores meramente didáticas para ilustrar como são manipulados para a obtenção da árvore balanceada e para a priorização da EP0. O cartão Papel tem cor branca, os cartões

Categorias têm cores vermelha ou azul, e os cartões dos elementos da EP0 têm cores preta ou amarela.

Apesar de não aparecerem nas figuras, na prática, cada cartão da EP0 é impresso com um número identificador, uma frase simples, explicativa do elemento, e dois espaços pequenos, em branco, reservados para o preenchimento dos valores dos atributos, de ordem e de peso, obtidos no processo de priorização. Os cartões das categorias são nomeados e numerados com sequência própria, conforme as categorias são criadas durante o processo.

#### 3.3.1.1 Obtenção das árvores balanceadas

Na atividade 11 da Figura 1, obtém-se dois tipos de árvore balanceada, a da EP0, sempre obrigatória, e a da EP Seleccionada, apenas quando a demanda do Decisor for **Recurso**.

Para obter uma árvore balanceada, o papel do NT espalha o conjunto de cartões da EP0 ou da EP Seleccionada aleatoriamente sobre uma mesa, e o papel do NI inicia a categorização, que consiste em agrupar os cartões por afinidade, formando partições (categorias), sem necessidade de definir a natureza da afinidade. Podem ser criadas quantas categorias quiserem, e trocar cartões entre as categorias, sempre com aceitação da maioria da equipe.

Criadas as categorias, o NT coloca, no topo de cada uma delas, um cartão rosa para que os atores do NI anotem nomes significativos. Os cartões rosas são numerados sequencialmente, e o primeiro aspecto da árvore é o da Figura 2a.

Para aplicar a Lei de Miller na ordenação, ou seja, sempre com comparações simultâneas entre 9 elementos, no máximo, a MAB prevê o balanceamento da árvore com as tarefas de agrupar e de fragmentar categorias, conforme Figura 2b.

É necessário agrupar categorias se existirem mais de 9 categorias após a categorização inicial (Figura 2a). O critério usado para agrupar categorias também é o de afinidade. A categoria agrupada é chamada de mãe, e recebe um cartão azul para preencher seu nome, e um número identificador na sequência das categorias (Figura 2b). As categorias filhas da categoria mãe mantêm seus cartões rosas e seus respectivos cartões pretos da EP0 ou da EP Seleccionada.

Também é preciso fragmentar todas as categorias de cartões rosas que contiverem mais de 9 cartões pretos da EP0 ou da EP Seleccionada. Essas categorias passam a ser mães, e são fragmentadas em categorias filhas, com um número menor de cartões cada, segundo a melhor afinidade possível entre seus cartões pretos. Não há restrições para a quantidade de filhas, que recebem cartões azuis para serem nomeados e numerados na sequência das categorias, conforme Figura 2b.

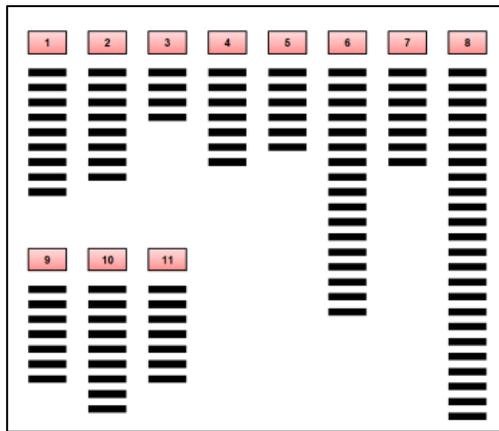


Figura 2a: Cartões da EP0 em 11 categoria

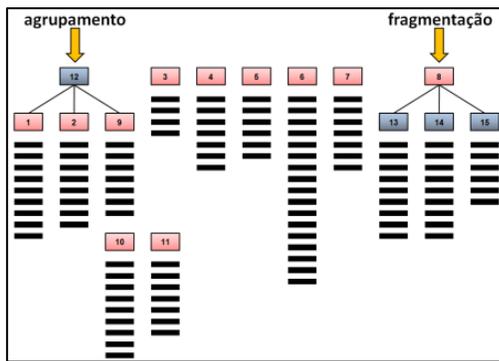


Figura 2b: Categorias grupadas e fragmentadas

Em cada categoria filha ou nas categorias que não têm filhas, dispõem-se seus cartões em uma coluna, por ordem decrescente do critério, ficando o cartão mais prioritário no topo. Na Figura 4a, os cartões de uma categoria filha, destacados em amarelo, estão ordenados deste modo.

O próximo passo é ordenar os cartões entre filhas de mesma mãe, se houverem, sempre por ordem decrescente do critério, comparando os cartões do topo de cada filha (cartões amarelos destacados na Figura 4b), e o cartão mais prioritário entre eles será realocado sob o cartão da mãe. Para essas comparações, os cartões não têm boa visualização na linha que ocupam na árvore. Por isso, pelo princípio manter VISTA, esses cartões são deslocados para uma janela imaginária de votação, conforme Figura 4c.

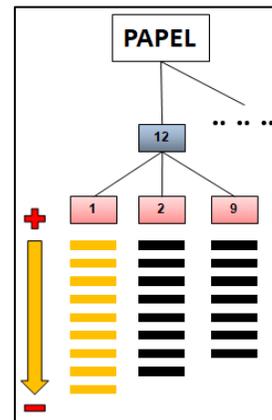


Figura 4a: Ordenação nas filhas

A última atividade desta etapa é colocar sobre a mesa um cartão branco com o nome do papel (parte interessada), acima da estrutura obtida, que é a **árvore balanceada** da EP0 ou da EP Seleccionada, sempre com 9 elementos, no máximo, na sua largura ou na sua profundidade, conforme Figura 3.

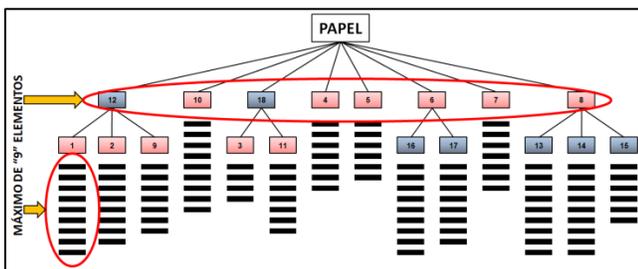


Figura 3: Árvore balanceada

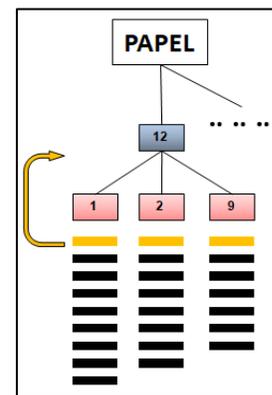


Figura 4b: Ordenação entre filhas

### 3.3.1.2 Priorização da EP0

A equipe do NT disponibiliza, em lugar de fácil visualização para os atores do NI, o nome e a definição do critério simples a ser utilizado. Por exemplo, o critério pode ser escrito em um quadro mural, ou em um cartão colocado sobre a própria mesa.

A ordenação da EP0 é feita por comparações entre os cartões. Devido ao balanceamento da árvore, nunca haverá mais do que nove cartões para serem comparados simultaneamente.

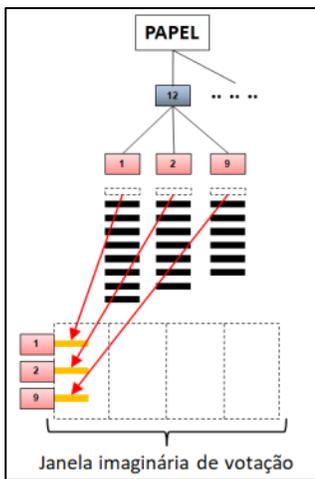


Figura 4c: Uso da janela imaginária

Quando um ator vota, seu cartão sofre um deslocamento na janela imaginária. Na Figura 5a, verifica-se o resultado após a votação de seis atores. O cartão mais votado na janela imaginária vai povoar a coluna da mãe (povoamento), conforme Figura 5b, e o cartão que está no topo da sua categoria de origem é deslocado para o seu lugar na janela imaginária (substituição).

Os cartões da janela imaginária voltam para a posição inicial, começando-se nova votação, conforme Figura 5b. As comparações são feitas, com povoamento e substituições, até esgotar os cartões das filhas.

Por fim, retiram-se da árvore os cartões das categorias filhas (Figura 5b, cartões rosas 1, 2 e 9) e ficam na árvore apenas o cartão azul da categoria mãe, e sob ele os cartões dos elementos da EPO das filhas, conforme Figura 5c.

O último bloco de comparações ocorre na janela imaginária com os cartões de todas as colunas, inicialmente destacados em amarelo na Figura 6a.

Finalmente, são retirados os cartões de categoria (12, 10, 18, 4, 5, 6, 7 e 8), dando lugar a uma coluna única de cartões sob o cartão do Papel, conforme Figura 6b.

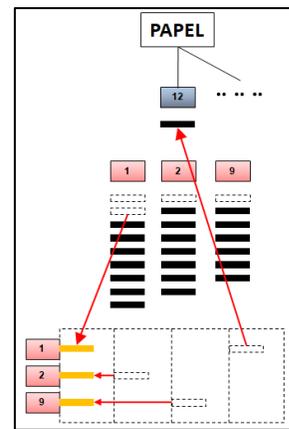


Figura 5b: Cartão povoa a mãe 12

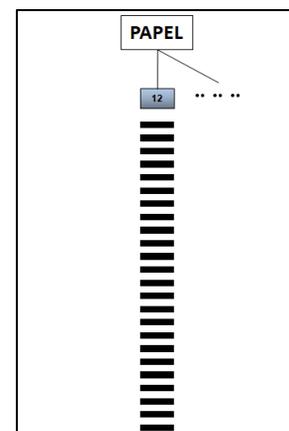


Figura 5c: Mãe totalmente povoada

O lugar que o cartão ocupa na coluna é seu atributo ordem, e esse número deve ser anotado pelo NT no respectivo cartão. O cartão no topo da coluna, por exemplo, tem ordem=1. Essa coluna única de cartões da EPO, ordenada de cima para baixo do mais para o menos, segundo o critério, e com ordem e peso anotados nos cartões, é referenciada pela notação EP+.

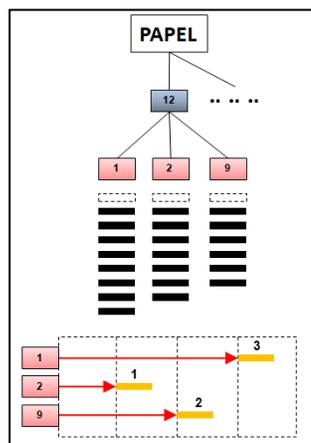


Figura 5a: Votos de 6 atores

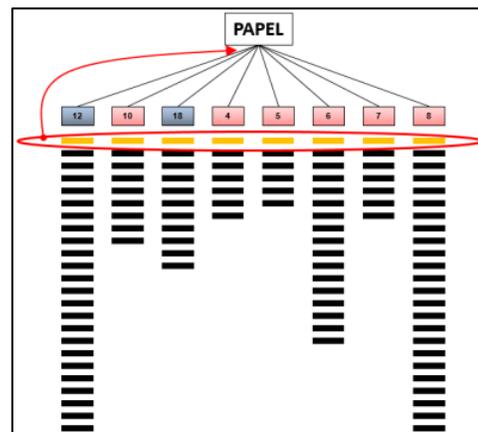


Figura 6a: Últimas comparações

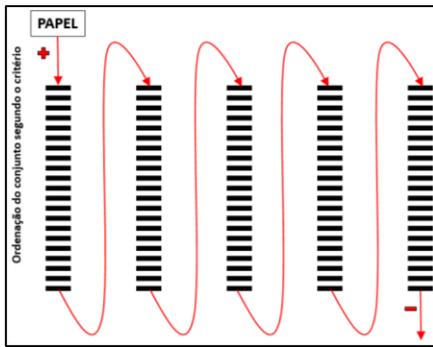


Figura 6b: Coluna única (EP+)

A EP+ tem melhor visualização na estrutura como a da Figura 7, com uma linha chamada **Informações**, com dados da EP+, uma linha **Ordem**, contendo a sequência do atributo ordem dos elementos da EP0, uma linha **Identificador**, com a sequência dos identificadores obtida na coluna única dos elementos da EP0, e uma linha **Peso**, com valores específicos atribuídos em faixas.

A ponderação dos elementos da EP+ é distribuída em três faixas de acordo com a Figura 7: faixa Esquerda (E), na cor vermelha, faixa Central (C), na cor amarela, e faixa Direita (D), na cor verde. As faixas E e D têm o mesmo tamanho (quantidade de elementos na faixa), cada uma com aproximadamente 20% dos elementos da EP+. O tamanho dessas faixas é calculado aplicando-se o princípio de Pareto Linear (PL), sobre o número N de elementos da EP+. O PL é uma função Teto (função que retorna o menor inteiro, maior ou igual ao número obtido dentro dos colchetes), de acordo com a Fórmula (2). Para o exemplo da Figura 7, com N=13 tem-se o seguinte cálculo:  $PL = [0,2.13] = [2,6] = 3$ . As faixas E e D têm 3 elementos cada, respectivamente os três “mais” e os três “menos”, segundo o critério considerado, e a faixa C fica com os 7 elementos restantes.

INFORMAÇÕES	Critério X (nome do critério); EP+ com 13 elementos												
ORDEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
IDENTIFICADOR	5	3	7	1	6	8	13	2	11	12	10	4	9
PESO	1	1	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1

Figura 7: Estrutura que representa a EP+, com três elementos na faixa E e três na faixa D

### 3.3.1.3 Priorização da EP Seleccionada

A árvore balanceada da EP Seleccionada foi obtida na atividade 11 da Figura 1, descrita na Seção 3.3.1.1. No processo MAB, as categorias que foram criadas para esta árvore balanceada são utilizadas apenas para esta priorização. No processo de priorização, algo pode ser encarado como parâmetro, quando for um atributo que precisa ser mensurado para cada elemento de um conjunto, ou como critério, quando for utilizado para comparar entre si os elementos do conjunto. Os critérios utilizados na priorização da EP Seleccionada são as Categorias Relevantes identificadas na atividade 15 da Figura 1, e explanadas na Seção 3.3.3. Para a priorização da EP Seleccionada, as Categorias Relevantes são consideradas critérios simples, e segue-se o descrito na Seção 3.3.1. Cada Categoria Relevante gera uma coluna única tal como a Figura 6b, e uma estrutura como a da Figura 7. Ao final, condensam-se as estruturas obtidas em uma

$$PL = [0,2.N] \quad (2)$$

Os pesos dos elementos serão os mesmos dentro de cada faixa. Os elementos na faixa E têm peso 1; 0,3 na faixa C; e 0,1 na faixa D. Os pesos têm valores decimais, guardando entre si a relação aproximada da exponencial ( $1/3^0$ ,  $1/3^1$  e  $1/3^2$ ), para que, quando forem feitos os cálculos na hierarquia (Seção 3.3.4), garantam distanciamento entre os resultados, e que as multiplicações não gerem números muito grandes, difíceis de serem operados. O pessoal do NT deve anotar esses pesos nos respectivos cartões dos elementos da EP0.

Inevitavelmente, os métodos paritários de priorização geram julgamentos inconsistentes, por exemplo, comparando-se dois a dois (x,y,z), pode-se obter (x>y), (y>z), e (x<z), o que não ocorre na MAB, pois o (x,y,z) na coluna única EP+ só permite (x>y>z).

A EP+ é um diferencial da MAB, pois possibilita alcançar 100% de consistência, com esforço comparativo muito menor que outros métodos paritários.

Conforme cresce o número de requisitos a serem comparados, os métodos paritários de priorização ficam cada vez mais extenuantes, ou até mesmo impraticáveis. Considerando-se um único critério de priorização, para um conjunto com apenas 50 requisitos, necessita-se de, pela Fórmula (1),  $50(50-1)/2$ , resultando 1225 comparações. O número de comparações desses métodos chega a 6125, se for usada a Escala de Saaty [29] nas comparações dois a dois.

Para o mesmo conjunto de 50 requisitos, utilizando-se a configuração mais desfavorável de árvore balanceada (apenas duas categorias iniciais, e árvore final com três níveis), a MAB realiza cerca de 160 comparações. Isto corresponde a  $160/1225 \times 100 \approx 13,1\%$  do esforço empreendido por métodos paritários, e, em particular, a  $160/6125 \times 100 \approx 2,6\%$  do esforço quando se usa a Escala de Saaty.

única estrutura, com linhas **Identificador**, contendo a ordenação da EP Seleccionada para cada critério (Categorias Relevantes), uma linha **Ordem** e uma linha **Peso**, tal como a Figura 14(b), considerando o exemplo da Seção 3.3.4.

### 3.3.2 Critérios Múltiplos

Um critério múltiplo é uma combinação de critérios simples e/ou múltiplos. Na atividade 13 da Figura 1, a combinação é utilizada para reduzir critérios. Para aplicar um critério múltiplo sobre uma EP0, e obter a sua EP+, é preciso que estejam disponíveis para combinação as EP+ dos critérios componentes, e que os atores tenham definido a ordem para combinar esses critérios em uma fórmula. Por exemplo, dados os critérios X, Y e Z, se os atores definirem a seguinte ordem de combinação XYZ, então devem-se combinar as EP+ de X e de Y, e combinar a EP+ resultante com a EP+ de Z. O critério múltiplo W, assim obtido, é representado

pela fórmula de combinação  $W=XYZ$ . Os três critérios X, Y, e Z foram reduzidos a um único critério múltiplo W. As partes interessadas, identificadas pelo NB, serão sempre consideradas critérios e, portanto, é necessário que o NI estabeleça uma fórmula expressando a ordem para combinação de suas EP+.

A combinação de dois critérios,  $R=IP$ , por exemplo, é feita em uma estrutura matricial chamada de Matriz de Combinação de Critérios (MCC), conforme Figura 8, com a EP+ de I direcionada para as linhas, e a EP+ de P para as colunas.

A EP+ de R localiza-se na parte inferior da matriz. Cada combinação de critérios tem uma MCC associada. A combinação de mais de dois critérios é feita com um encadeamento de MCC. A localização dos elementos da EP+ no quadrado da MCC (parte colorida superior da matriz na Figura 8) é feita pelas coordenadas (ordem I; ordem P). No quadrado da MCC, o elemento 12 tem coordenadas (3,5). Para obter a EP+ de R, devem-se buscar os seus elementos no quadrado da MCC, ordenando-os de modo crescente das somas “S”, onde  $S = (\text{ordem I} + \text{ordem P})$  para cada elemento, sendo que, em caso de empates, selecionam-se primeiro os elementos com “menor ordem I”. Como exemplo, no quadrado da matriz da Figura 8, buscaram-se os 5 primeiros elementos da EP+ de R. Os elementos são 3, 9, 12, 11 e 1, pois suas somas S são respectivamente 2, 5, 8, 8, e 13. Houve empate entre as S dos elementos 12, e 11. O elemento 12 vem antes do 11 na EP+ de R, pois tem menor ordem no critério I, ou seja,  $3 < 4$ . Os elementos que forem encontrados em uma mesma diagonal paralela à diagonal secundária do quadrado da MCC têm a mesma soma S e formam um conjunto ótimo de Pareto [5], ou seja, a solução de colocar esses elementos em uma determinada ordem na EP+ de R é tão boa quanto qualquer outra ordem possível. Essas diagonais são chamadas de fronteiras de Pareto. A MAB estabelece então a ordem desses elementos na EP+ de R, selecionando-se primeiro os elementos com menor ordem I, obedecendo a leitura da esquerda para a direita na fórmula  $R = IP$ , conforme exemplo da Figura 8, estabelecida pelos atores do papel do NI.

No quadrado da MCC, as faixas E e D são triângulos idênticos e simétricos, respectivamente as áreas vermelha e verde, vistas na Figura 8, com superfície medindo aproximadamente 20% da superfície do quadrado da MCC. As faixas E, C, e D, chamadas de faixas de matriz, são usadas como escantilhões para enquadrar e selecionar os elementos que comporão as faixas da EP+ de R. Assim, a EP+ de R pode apresentar tamanhos diferentes para suas faixas E e D, pois os seus respectivos escantilhões no quadrado da MCC podem enquadrar quantidades diferentes de elementos.

O tamanho das faixas de matriz é calculado pelo princípio de Pareto de Área (PA) sobre uma função de Piso (função que retorna o maior inteiro, menor ou igual ao número obtido dentro dos colchetes), de acordo com a Fórmula (3). Como exemplo, tomando-se um conjunto com  $N=15$ , tem-se:  $PA = [0,6325.15] = [9,4875] = 9$ .

$$PA = [0,6325.N] \quad (3)$$

Estarão localizados na faixa de matriz E elementos com  $S \leq (PA + 1)$ , e na faixa de matriz D estarão elementos com  $S \geq (2N - PA + 1)$ . Na Figura 8, a faixa de matriz E tem quatro elementos no seu escantilhão  $S \leq 10$  (identificadores 3, 9, 12, e 11), e a faixa de matriz D tem quatro elementos no seu escantilhão  $S \geq 22$  (identificadores 2, 6, 14, e 15).

Nas fórmulas que combinam mais de dois critérios, como em  $W=XYZ$ , o uso de escantilhões e a atribuição de pesos ocorrem apenas na MCC da última combinação. Primeiro faz-se a MCC de

X com Y e, finalmente, o resultado é combinado na MCC com Z, onde se aplicam os escantilhões e atribuem-se os pesos.

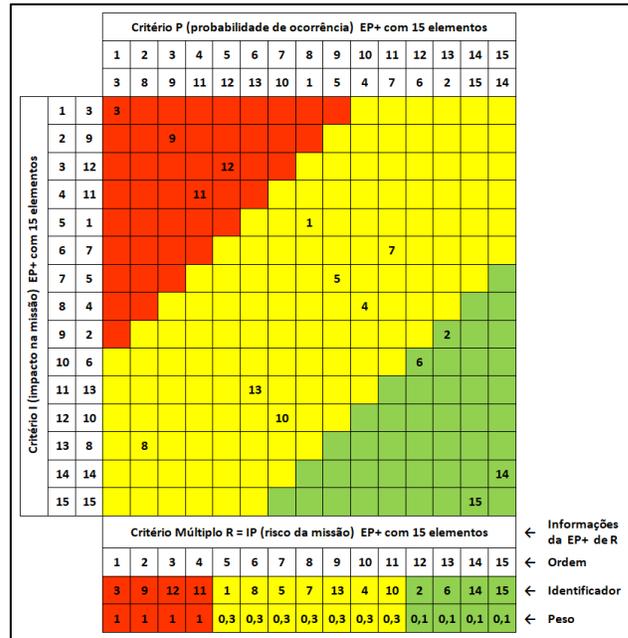


Figura 8: Matriz de Combinação de Critérios

Na MCC, pode ser necessário utilizar uma EP+ com ordem invertida, ou seja, com seus elementos ordenados do menos para o mais. Isso pode ocorrer com o critério custo, por exemplo, quando interessar que os elementos do conjunto, de menor valor de custo, sejam combinados com ordem invertida na MCC. A representação desse conjunto é EP-. Essa situação é representada na fórmula pela letra minúscula do critério. No exemplo  $W=XYZ$ , para indicar o uso de uma EP-, ou seja, a combinação pelo critério Y na ordem invertida, esta fórmula será escrita como  $W=XyZ$ .

### 3.3.3 Geração de Categorias com Grafo-Bag

Uma equipe, representante de um papel, gera uma categorização específica (a árvore balanceada) a partir de um conjunto de parâmetros (os cartões), como na Figura 3. A partir dessa árvore, para cada critério, a equipe gera uma EP+, como na Figura 7. O NT faz a combinação dessas EP+, de todos os critérios, em um só critério múltiplo, gerando uma única EP+, conforme descrita na Seção 3.3.2.

Com certeza, equipes diferentes obterão categorizações e EP+ diferentes. Contudo, a troca dos atores dentro de um mesmo papel também muda as categorizações e as EP+. O reflexo desta constatação é que, trabalhando com várias equipes, não se pode apontar qual delas apresenta o resultado mais confiável.

Para garantir confiabilidade nessa etapa do processo, o papel do NI precisa realizar priorizações com os 6 papéis mais relevantes, encontrados na fórmula de combinação de papéis descrita ao final do primeiro parágrafo da Seção 3.3.2.

De posse das categorizações e das EP+ das equipes do NI, a equipe do NT combinará essas categorizações em uma única categorização, e do mesmo modo procederá com as EP+, resultando em uma única EP+. Os resultados dessas combinações

são mais confiáveis do que os resultados das equipes tomados individualmente.

A MAB utiliza uma extensão da teoria dos conjuntos, denominada teoria das bags, para combinar as categorizações das equipes, e identificar visualmente, em um grafo chamado grafo-bag [30], uma categorização confiável, representativa dos papéis.

Após executar as 6 categorizações, a primeira tarefa é obter as bags (seguir as instruções do Quadro 1), desenhando-as paralelamente no grafo-bag (seguir as instruções do Quadro 2) e, ao final do trabalho, identificar visualmente no grafo-bag as categorias e atribuir nomes (Figura 10).

A Figura 10 apresenta um grafo-bag, onde se encontram 123 parâmetros particionados em 7 categorias, numeradas e nomeadas. Em um grafo-bag, as categorias são identificadas visualmente como agrupamentos de nós com grande conexão de arestas entre si. A quantidade de parâmetros presentes em uma categoria está anotada no seu canto inferior direito. Um nó contendo vários parâmetros anotados dentro dele significa que esses parâmetros estão sempre juntos em alguma categoria, nas 6 categorizações.

Parâmetros anotados em nós diferentes, ligados por uma aresta contínua, significa que esses parâmetros aparecem juntos em uma mesma categoria, em 5 das 6 categorizações. Parâmetros anotados em nós diferentes, ligados por uma aresta tracejada, significa que esses parâmetros aparecem juntos em uma mesma categoria, em 4 das 6 categorizações. Finalmente, um nó sem arestas conectadas significa que os parâmetros nele contidos não foram identificados pela maioria das equipes como pertencentes a uma mesma categoria do grafo-bag, por isso, o papel do NI escolherá a categoria do grafo-bag onde esses parâmetros devem ser incluídos.

A quantidade de 6 categorizações foi escolhida para que as arestas do grafo-bag sempre representem a maioria das equipes, mas sem poluir visualmente a figura do grafo. O grafo-bag vai sendo desenhado a medida em que se obtém as bags. Na figura 9, pode-se seguir a obtenção da Bag 26, e observar o desenho do seu trecho correspondente no grafo-bag. Na obtenção das bags, para cada elemento n da EPO, monta-se a bag n conforme algoritmo do Quadro 1.

**Quadro 1: Algoritmo de obtenção da bag n**

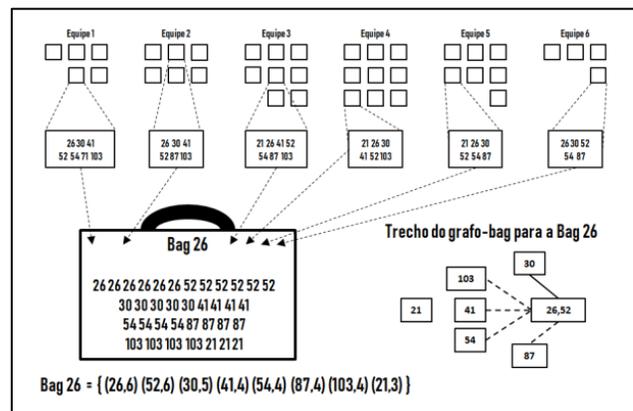
Passo	Instrução
1	Localiza-se, em cada categorização, a categoria que contém o elemento n
2	Juntam-se todos os elementos, das 6 categorias localizadas no passo 1, em um conjunto chamado bag n
3	Conta-se a frequência com que cada elemento aparece na bag n
4	Escreve-se a bag n, discriminando-se os identificadores dos seus elementos seguidos da respectiva frequência (não precisarão ser obtidas as bags dos elementos que figurarem com frequência 6 na bag n, pois gerarão bags idênticas)
5	Desenha-se a respectiva bag n no grafo-bag

Para o desenho da bag n no grafo-bag, procede-se de acordo com o algoritmo do Quadro 2.

**Quadro 2: Algoritmo para o desenho da bag n no grafo-bag**

Passo	Instrução
1	Busca-se no grafo-bag um nó que contenha o identificador n, e escreve-se no nó os identificadores dos elementos que têm frequência 6 (caso não encontre o identificador n no grafo-bag, deve-se criar o nó correspondente)
2	Orbitando esse primeiro nó, constrói-se um nó para cada elemento com frequência 5 na bag, caso o elemento não esteja ainda no grafo-bag, ligando-o ao primeiro nó com uma aresta contínua em qualquer caso (se já existir uma aresta tracejada, deverá ser substituída por uma aresta contínua)
3	Orbitando ainda o primeiro nó, constrói-se um nó para cada elemento com frequência 4 na bag, caso o elemento não esteja no grafo-bag, ligando-se ambos com uma aresta tracejada em qualquer caso
4	Constrói-se nós para os demais elementos da bag, se ainda não existirem no grafo, sem desenhar ligações com arestas e passa-se para a obtenção da próxima bag, até esgotarem-se os parâmetros

O trecho do grafo-bag para a Bag 26, mostrado na Figura 9, aparece na categoria 6 (Instrução e Cooperação) da Figura 10. Obtidas todas as bags necessárias para o desenho do grafo-bag, parâmetros como o 41 e o 103, que nasceram em nós separados na Bag 26, são juntados em um mesmo nó no grafo-bag final.



**Figura 9: Obtenção da Bag 26 e desenho do trecho do grafo-bag correspondente**

Nem todas as categorias identificadas no NI precisam ser utilizadas na hierarquia empregada no NS. As chamadas Categorias Relevantes, identificáveis no grafo-bag, são aquelas que contêm os denominados Parâmetros Relevantes, estes selecionados na faixa E (vermelha) da EP+, do critério Global. Esses Parâmetros Relevantes serão utilizados na priorização no NS. É preciso localizá-los no grafo-bag da Figura 10, e marcá-los em vermelho. O trecho relevante do grafo-bag está na Figura 11.

Os entregáveis do NI para o NS são as Categorias e Parâmetros Relevantes. Ao final das atividades, o papel do NI elabora o Relatório NI, que contribui para a rastreabilidade das informações da decisão.

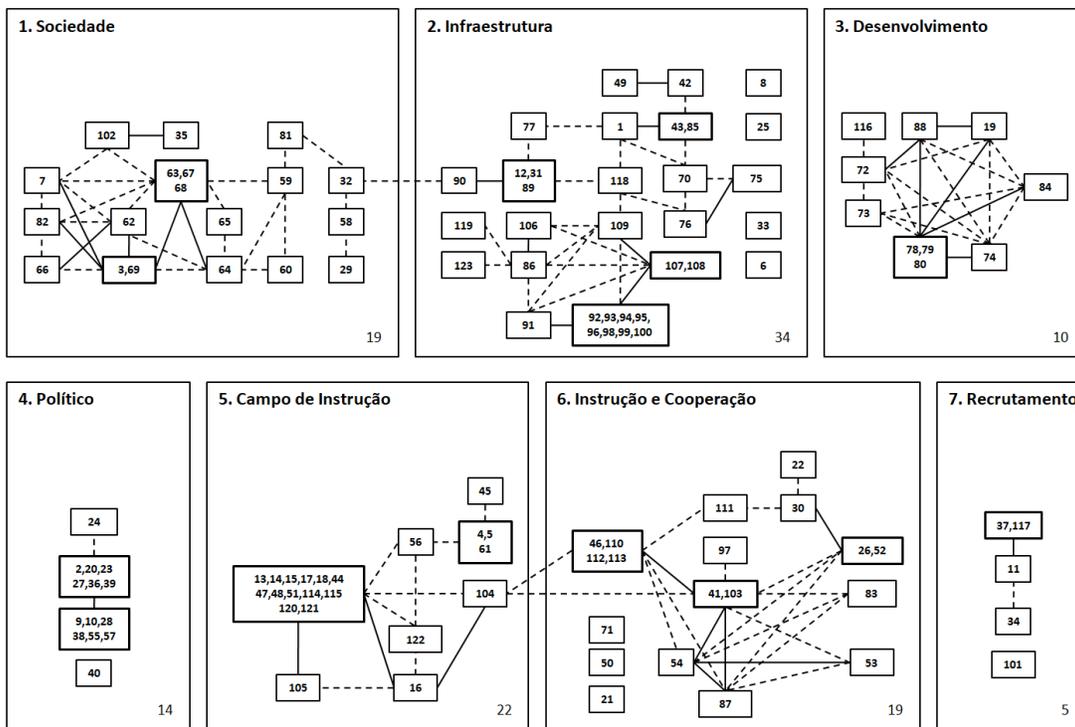


Figura 10: Grafo-bag

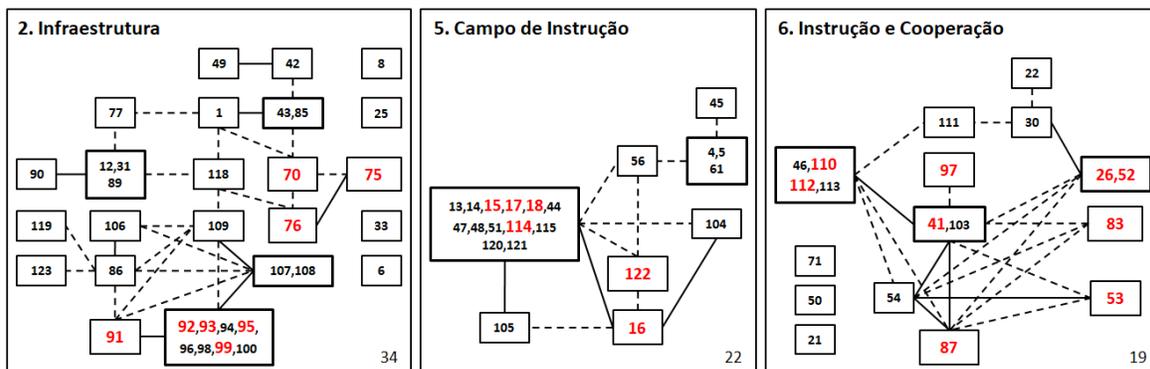


Figura 11: Categorias e Parâmetros Relevantes

### 3.3.4 Matriz de Priorização do NS

Na atividade 16 da Figura 1, a equipe do NT assessora o NI para elaborar a Matriz de priorização do NS para Recurso ou para Escolha, dependendo da demanda do Decisor. Em ambos os casos, serão usados as Categorias e Parâmetros Relevantes. Para a opção Recurso, prioriza-se a EP Seleccionada e elabora-se a Matriz de priorização do NS para Recurso, a Prioridade final do Recurso é calculada pelo NT, e o resultado deve compor o Relatório do NI. Esse resultado deverá ser validado pela equipe do NS, na atividade 18 da Figura 1.

Na opção Escolha, o NT elabora a Matriz de priorização do NS para Escolha, que é incluída sem preenchimento no Relatório do NI. Essa matriz será priorizada diretamente pela equipe do NS na atividade 19 da Figura 1 e, após os cálculos feitos pelo NT, a Prioridade final da Escolha que fará parte do Relatório do NS.

A descrição da atividade 16 da Figura 1 está associada a um exemplo fictício, representado nas Figuras 12, 13 e 14, onde: a EP

Reduzida é representada por A1, A2, e A3; a EP Seleccionada por A1 a A13; as Categorias Relevantes são C1, C2, C3, e C4; e os Parâmetros Relevantes são os P1 a P10. A ferramenta analítica da MAB, chamada de hierarquia, está representada em forma gráfica na Figura 12, no caso, com três níveis (alternativas, categorias e parâmetros), e em forma de matrizes nas Figuras 13 e 14.

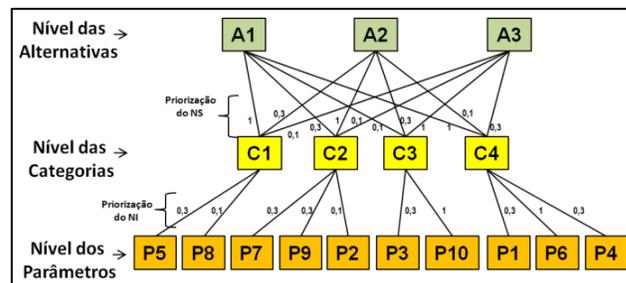


Figura 12: Hierarquia para Escolha (em forma gráfica)

Para elaborar a Matriz de priorização do NS para Escolha, o pessoal do NT recebe do NB a EP Reduzida, e do NI as Categorias e Parâmetros Relevantes. O NT elabora a matriz com a equipe do NI, mas os atores do NS é que preenchem a priorização na Matriz de priorização do NS (atividade 19 da Figura 1), chegando à matriz da Figura 13 (c). Como existem apenas 3 alternativas (EP Reduzida), a ordenação e a ponderação são feitas simultaneamente, atribuindo-se diretamente os pesos, sendo peso 1 para a alternativa mais prioritária, 0,3 para a intermediária, e 0,1 para a menos prioritária.

O NT preenche a Matriz de priorização do NS estendida, Figura 13 (d), onde as linhas com pesos em cada categoria, na Matriz de priorização do NS, são replicadas na matriz estendida como linhas dos seus parâmetros associados. Por exemplo, na Matriz de priorização do NS, Figura 13 (c), a categoria C2 recebeu a linha com pesos (0,3; 1; 0,1) que é repetida para os parâmetros P7, P9, e P2, na Matriz de priorização do NS estendida, Figura 13 (d).

Na sequência, o NT atribui pesos aos parâmetros relevantes, segundo as faixas E, C, e D, descritas na Seção 3.3.1.2, para obter a matriz representada na Figura 13 (a). Essa matriz precisa ser rearranjada para que a sequência de sua linha Parâmetro seja a mesma sequência da coluna Parâmetro da Matriz de priorização do NS estendida, Figura 13 (d), destacada em verde. Esse

rearranjo é apresentado com destaque em verde na Figura 13 (b). Essa exigência visa a permitir as multiplicações de matrizes entre as Figuras 13 (b) e (d), para obter os resultados das prioridades de escolha ilustradas nas Figuras 13 (e) (f) (g) (h) e (i).

Como exemplo, o resultado da Prioridade da Escolha na categoria C2, destacado em amarelo na Figura 13 (f), é obtido pela multiplicação da matriz linha, destacada em amarelo na Figura 13 (b), pela matriz destacada em amarelo na Figura 13 (d). Esse cálculo também pode ser visualizado graficamente na Figura 12, percorrendo os caminhos que partem de P7, P9 e P2, passam por C2, e chegam a A1 ou a A2 ou a A3.

O resultado da Prioridade final da Escolha, Figura 13 (i), é obtido pela multiplicação da matriz formada pela linha Peso da Figura 13 (b) pela matriz completa da Figura 13 (d). Após aprovação dos resultados pela DE, o papel do NS prepara o Relatório NS, que atende à DAD, e é apresentado ao Decisor para a tomada de decisão.

Nessa apresentação, além da Prioridade final da Escolha, também devem ser apresentadas as prioridades da Escolha por Categoria Relevante, de preferência tudo em forma gráfica. Os gráficos são preparados com o conteúdo das matrizes da Figura 13 (e), (f), (g), (h) e (i).

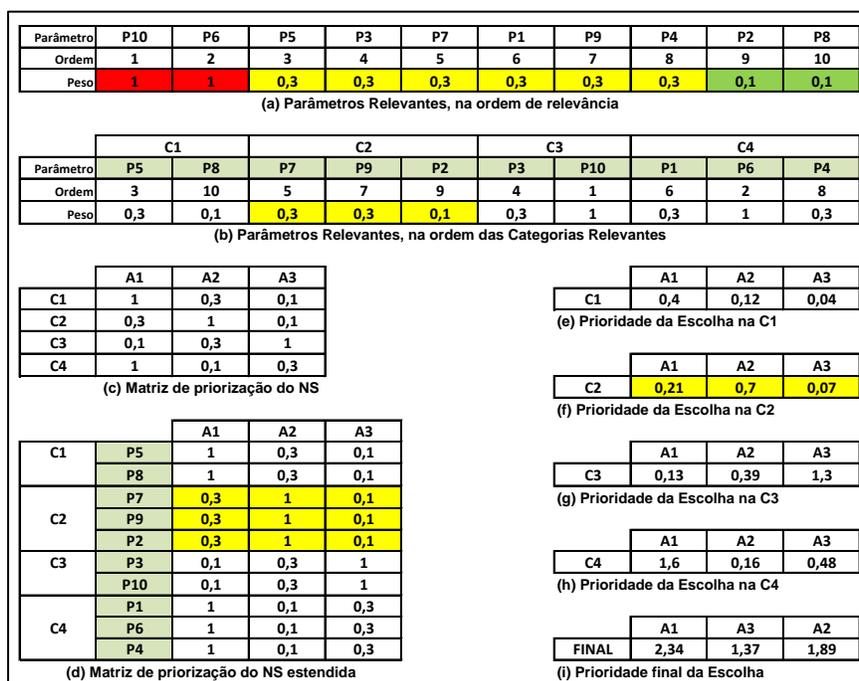


Figura 13: Hierarquia, na forma matricial, para a priorização da EP Reduzida

Para elaborar a Matriz de priorização do NS para Recurso, atividade 16 da Figura 1, o pessoal do NT recebe do NB a EP Seleccionada, e do NI a Árvore Balanceada da EP Seleccionada, e as Categorias e Parâmetros Relevantes. O NT elabora e prioriza essa matriz com a equipe do NI, chegando à matriz da Figura 14 (c), partindo da matriz da Figura 14 (b). Para preencher os pesos dessa matriz, o NT realiza os dois seguintes passos:

a) a matriz da Figura 14 (b) é obtida segundo a Seção 3.3.1.3; e

b) os pesos das linhas C1 a C4 da matriz da Figura 14 (c) são localizados respectivamente nas linhas C1 a C4 da matriz da Figura 14 (b). Exemplo: na Figura 14 (b), o A9 da linha C3 corresponde ao valor 0,3 da linha Peso. Esse 0,3 é colocado na célula (C3, A9) da matriz da Figura 14 (c). E assim, preenchem-se os pesos em todas as células da Matriz de priorização do NS, Figura 14 (c).

A partir desta matriz, o NT preenche a Matriz de priorização do NS estendida, tal como foi descrito para o caso da Figura 13 (d), explicado no quinto parágrafo desta Seção.

O resultado da Prioridade final do Recurso, Figura 14 (d), é obtido pela multiplicação da matriz linha, formada pela linha Peso da Figura 14 (a), pela Matriz de priorização do NS estendida, obtida no parágrafo anterior.

Após aprovação dos resultados pela DE, o NI elabora o Relatório NI.

	C1		C2			C3		C4		
Parâmetro	P5	P8	P7	P9	P2	P3	P10	P1	P6	P4
Ordem	3	10	5	7	9	4	1	6	2	8
Peso	0,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	1	0,3	1	0,3

(a) Parâmetros Relevantes na ordem das Categorias Relevantes

ORDEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CATEGORIAS RELEVANTES	C1	A1	A2	A3	A9	A7	A5	A8	A11	A4	A13	A6	A12
	C2	A2	A1	A3	A13	A12	A6	A4	A7	A11	A5	A8	A10
	C3	A3	A2	A1	A4	A6	A7	A12	A9	A5	A8	A13	A11
	C4	A1	A3	A2	A6	A7	A10	A5	A4	A11	A9	A8	A13
PESO	1	1	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1

(b) Estruturas de priorização da EP Seleccionada pelos critérios Categorias Relevantes

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
C1	1	1	1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3
C2	1	1	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3
C3	1	1	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1
C4	1	1	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1

(c) Matriz de priorização do NS

	A1	A2	A3	A4	A5	A7	A6	A9	A11	A12	A8	A10	A13
4	4	4	4	1,2	1,2	1,2	1,12	1,06	0,94	0,8	0,74	0,72	0,62
FINAL (%)	18,3	18,3	18,3	6	6	6	5	5	4	4	3	3	3

(d) Prioridade final do Recurso

Figura 14: Hierarquia, na forma matricial, para a priorização da EP Seleccionada

### 3.4 Nível Superior

Caso a opção do Decisor tenha sido Escolha, o NT apresenta à equipe do NS a Matriz de priorização do NS para **Escolha** para ser priorizada, na atividade 19 da Figura 1. Caso o Decisor tenha optado por Recurso, o NT apresenta a Matriz de priorização do NS para **Recurso** para que o NS valide a Prioridade final do Recurso, atividade 18 da Figura 1. Finalmente, o NT assessora a elaboração do Relatório NS, atividade 20 da Figura 1, que é apresentado para o Decisor.

## 4. ESTUDO DE CASO

Há alguns anos, o Exército Brasileiro (EB) identificou um problema afeto a uma Organização Militar (OM) que tem uma missão peculiar e de grande impacto para o desempenho da Instituição como um todo. A sua localização geográfica trazia sérios entraves à consecução eficaz de sua missão, e existia a tendência de agravamento ao longo do tempo. O Estado-Maior do Exército (EME) apresentou ao Comandante do Exército as dimensões de tal desafio, e foi gerada uma Demanda de Apoio a Decisão para possibilitar a seleção entre três cidades, dentro do Território Nacional, e iniciar um projeto de implantação da OM na nova região.

O EME determinou a formação de uma equipe técnica para conduzir os trabalhos, que optou por empregar a MAB, passando a ser designada como equipe do Nível Técnico (NT), cujas atividades estão descritas na Seção 3.1. Procedeu-se à análise da Demanda de Apoio à Decisão e o planejamento da execução do processo de priorização. Atendendo ao pedido da equipe do NT, o EME definiu para o Nível Básico (NB) um grupo de trabalho de oficiais para levantar as informações essenciais, para o Nível Intermediário (NI) um grupo de coronéis analistas da 3ª Subchefia do EME para realizar as priorizações iniciais, e para o Nível Superior (NS) um grupo de 13 oficiais gerais, sendo um do Ministério da Defesa, 3 chefes de Departamentos do EB, o Secretário de Economia e Finanças, 7 Comandantes Militares de

Área, e o Comandante Logístico, para realizarem a derradeira priorização.

A equipe do NB, junto ao Departamento de Engenharia e Construção (DEC), levantaram um universo de 16 cidades possíveis para receber a nova OM. Este universo é a EP da MAB. Foi obtida a EP0 (EP parametrizada) com 123 parâmetros, com alguns exemplos disponíveis no Quadro 3. Cada uma das cidades foi avaliada com esses 123 parâmetros e o universo de 16 cidades foi reduzido para 6 alternativas para decisão.

Quadro 3: Exemplos de parâmetros da EP0

Id	Frase Descritiva
1	Aeroporto com voos regulares diversificados próximo à cidade com fácil acesso
75	Localização em área com possibilidade de amplo fornecimento de energia elétrica
76	Localização em área com rede hídrica compatível ao efetivo estacionado
92	Necessidade de ampliação da quantidade de Próprios Nacionais Residenciais
104	Permitir o desenvolvimento de exercícios diferenciados, incluindo tiro de artilharia
123	Vilas militares contíguas à OM

Fonte: Estado-Maior do Exército, 2021

A equipe do NB foi a campo para mensurar os parâmetros dentro do universo de 6 alternativas. A mensuração possibilitou redução do universo de 6 para 3 cidades, como prescrevia a Demanda de Apoio a Decisão do Comandante do Exército. A partir deste ponto, as cidades denominadas A, B e C formaram a EP Reduzida. A equipe do NB gastou 18 meses em suas tarefas e produziu o Relatório NB, com 4 volumes de 150 páginas cada,

contendo informações fundamentais para a rastreabilidade da decisão.

A equipe do NI deu início às atividades descritas na Seção 3.3, definindo categorias de critérios e critérios de priorização, de acordo com o Quadro 4. Foram formadas 6 equipes diferentes de coronéis para particionarem os 123 parâmetros em categorias. As equipes prosseguiram nos trabalhos subsequentes das priorizações por critérios simples, Seção 3.3.1, e por critérios múltiplos, Seção 3.3.2.

Nos critérios múltiplos foram aplicadas 6 MCC sobre os 123 parâmetros, na sequência das fórmulas apresentadas na coluna Critério Múltiplo do Quadro 4, até obter a EP+ sob o critério múltiplo Global G. Nas MCC foram utilizados os EP- de R12 e de C12, por isso, na fórmula de G, esses critérios estão notados com as letras minúsculas (r12 e c12).

**Quadro 4: Categorias de critérios e critérios de priorização**

Categorias de critérios	Critérios de priorização	
	Simples	Múltiplos
Missão	M1 - Missão	M123 = M1M2M3
	M2 - Visão de futuro	
	M3 - Valores	
Risco	R1 - Impacto prejudicial à implantação	R12 = R1R2
	R2 - Probabilidade de ocorrência	
Custo	C1 - Custo de implantação	C12 = C1C2
	C2 - Custeio após implantação	
Global		G = M123r12c12

Fonte: Estado-Maior do Exército, 2021

Com o auxílio da equipe do NT, a equipe do NI elaborou o grafo-bag com os resultados das categorizações das seis equipes de coronéis, como retratado na Figura 11. Na EP+ sob o critério G, os 24 primeiros parâmetros na ordem, que foram retirados do escantilhão vermelho da última MCC, são os chamados Parâmetros Relevantes e, uma vez identificados no grafo-bag da Figura 11, e marcados com cor vermelha, permitem selecionar as Categorias Relevantes, ou seja, selecionar apenas as categorias onde existem Parâmetros Relevantes, representadas no novo grafo-bag da Figura 11.

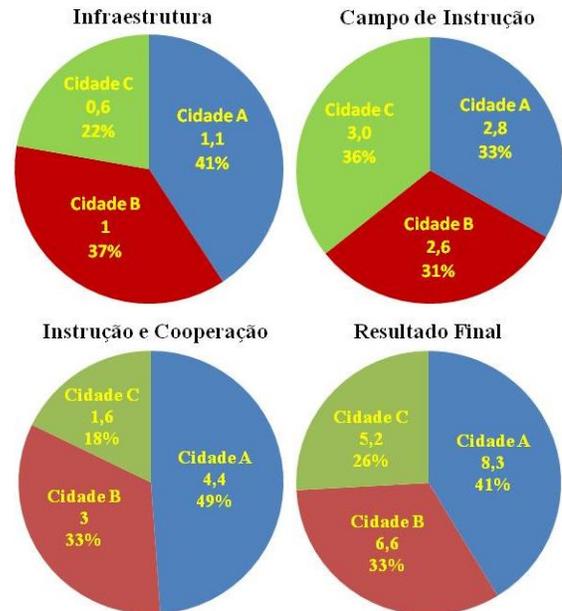
O NI gastou 3 semanas em suas tarefas e produziu o Relatório NI, acrescentando mais informações para a rastreabilidade da decisão. Cada uma das seis equipes do NI priorizou 123 parâmetros por 7 critérios. Executaram 345 comparações para cada critério, totalizando 2415. Pela Fórmula (1), os métodos paritários executariam: a)  $7503$  comparações para cada critério, totalizando  $7 \times 7503 = 52521$ ; e b)  $5 \times 7503 = 37515$  para cada critério com a Escala de Saaty (5 opções), totalizando  $7 \times 37515 = 262605$ .

O esforço comparativo da MAB em relação ao item a) foi de  $2415/52521 \times 100 \approx 4,6\%$ , e em relação ao item b) foi de  $2415/262605 \times 100 \approx 0,9\%$ .

Ao final do trabalho, foi apresentado um relatório ao Comandante do Exército como apoio a sua escolha da cidade.

Cumprindo as atividades descritas na Seção 3.4, a equipe do NT preparou a matriz de priorização do NS, contendo as três cidades A, B, e C, e as três Categorias Relevantes (Infraestrutura; Campo de Instrução; e Instrução e Cooperação), a qual foi priorizada pela equipe do NS (grupo de oficiais gerais).

Efetuosos os cálculos de hierarquia, os resultados compuseram o Relatório NS, apresentado na forma gráfica na Figura 15, que foi apresentado ao Decisor, após a aprovação da DE (Chefe do EME). O Comandante do Exército, por sua vez, decidiu pela Cidade C como sendo a nova sede da OM. Por fim, a equipe do NT elaborou o Relatório de Apoio à Decisão.



**Figura 15: Priorização das alternativas para a decisão**

## 4 CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Este artigo apresentou uma nova metodologia para priorização para decisão por multicritério baseada na combinação da Lei de Miller com o Princípio de Pareto, chamada Metodologia da Árvore Balanceada (MAB).

Esta nova metodologia diminui gradualmente a complexidade da Demanda de Apoio à Decisão. O processo de priorização é realizado em três níveis (NB, NI e NS), reduzindo a quantidade de alternativas para a decisão, os critérios para os julgamentos, e o número de parâmetros a serem usados. Essas reduções facilitam sobremaneira o trabalho dos assessores e do Decisor.

A lógica do negócio é preservada durante todo o processo pelo princípio manter VISTA. A rastreabilidade das informações da decisão é garantida pelos relatórios elaborados. A MAB é inovadora e eficiente para priorizar portfólios com grande quantidade de projetos. A MAB atinge 100% de consistência nos julgamentos. O esforço dispendido nos trabalhos comparativos da MAB fica em torno de 1% do esforço mínimo exigido pelos métodos paritários. Com isso, o tempo gasto nas priorizações é reduzido drasticamente.

Finalmente, como trabalhos futuros, sugerem-se: (i) automatizar o processo MAB para obter maior agilidade e facilidade na sua execução; (ii) realizar Estudos de Caso para comparar metodologias de avaliação de métodos AMD, segundo os critérios

de Complexidade, Confiabilidade, e Conformidade, propostos na Seção 2; e (iii) empregar algoritmos genéticos nas combinações de categorias em substituição do Grafo-Bag.

## 5 REFERÊNCIAS

- [1] M. Aasem, M. Ramzan and A. Jaffar. Analysis and optimization of software requirements prioritization techniques. In *2010 International Conference on Information and Emerging Technologies* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIET.2010.5625687>. 2010.
- [2] A. T. de Almeida. Processo de Decisão nas Organizações: Construindo modelos de decisão multicritério. São Paulo: Atlas, 256p. 2013.
- [3] L. Anojkumar, M. Ilangkumaran and V. Sasirekha. Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry. *Expert systems with applications*, 41(6), 2964-2980. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.028>. 2014.
- [4] J. P. S. Aragão, C. L. de Souza Holanda, J. C. de Castro e M. F. da Costa. Modelo de apoio à decisão para identificação e priorização de ações socioambientais. *Exacta*, 18(4), 842-857. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n4.16035>. 2020.
- [5] S. Ávila. *Otimização Multiobjetivo e Análise de Sensibilidade para Concepção de Dispositivos. Florianópolis*, (Doctoral dissertation, Tese de Doutorado, – UFSC). 2006.
- [6] J. P. Brans, P. Vincke and, B. Mareschal. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, 24(2), 228-238. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5). 1986.
- [7] V. R. Campos. Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. *Doutorado em Economia, Organizações e Gestão do Conhecimento—São Carlos: Universidade de São Paulo*, 25. 2011.
- [8] A. M. D. Costa. *Adoção de método de seleção e priorização de projetos em uma empresa de mídia* (Master's dissertation, Universidade de São Paulo). 2020.
- [9] B. Efe. An integrated fuzzy multi criteria group decision making approach for ERP system selection. *Applied Soft Computing*, 38, 106-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.037>. 2016.
- [10] P. D. Farias, C. M. de Lima, S. B. S. Monteiro e, A. C. B. Reis. Proposta de um Método para Priorização de Projetos de Infraestrutura de TI. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E27), 763-776. 2020.
- [11] F. Ghasemzadeh and, N. P. Archer. Project portfolio selection through decision support. *Decision support systems*, 29(1), 73-88. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(00\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(00)00065-8). 2000.
- [12] L. F. A. M. Gomes. Modelagem do risco no apoio à tomada de decisão. *Revista de Ciência, Tecnologia e Inovação*, 1(1). 2016.
- [13] K. Govindan, M. Kadziński and R. Sivakumar. Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain. *Omega*, 71, 129-145. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.10.004>. 2017.
- [14] T. Gurbuz, S. E. Alptekin and, G. I. Alptekin. A hybrid MCDM methodology for ERP selection problem with interacting criteria. *Decision Support Systems*, 54(1), 206-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.05.006>. 2012.
- [15] R. E. Hodgett. Comparison of multi-criteria decision-making methods for equipment selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), 11451157. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7993-2>. 2016.
- [16] H. Kerzner. *Project Management Best Practices: Achieving Global Excellence*. International Institute for Learning, New York, 4ª ed. 2018.
- [17] H. S. Kilic, S. Zaim and, D. Delen. Selecting “The Best” ERP system for SMEs using a combination of ANP and PROMETHEE methods. *Expert Systems with Applications*, 42(5), 2343-2352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.034>. 2015.
- [18] M. G. C. Macedo. *Indicadores de sustentabilidade ambiental na indústria da mineração: avaliação pelo método Promethee II* (Doctoral dissertation, Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Faculdades Ibmecc). 2008.
- [19] G. A. Miller. The magic number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63, 91-97. 1956.
- [20] G. Montibeller and L. A. Franco. Decision and risk analysis for the evaluation of strategic options. *Supporting strategy: frameworks, methods and models*, 1, 251-284. 2007.
- [21] C. M. D. M. Mota and A. T. D. Almeida. Método multicritério ELECTRE IV-H para priorização de atividades em projetos. *Pesquisa Operacional*, 27(2), 247-269. 2007.
- [22] I. P. Nikolić, I. M. Milošević, N. N. Miličić and, I. N. Mihajlović. Cleaner production and technical effectiveness: Multi-criteria analysis of copper smelting facilities. *Journal of Cleaner Production*, 215, 423-432. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.109>. 2019.
- [23] V. Pareto. *Cours d'économie politique*. Librairie Droz. Genebra, Suíça. 1964.
- [24] A. C. Passos e L. F. A. M. Gomes. Enfoque multicritério à teoria das prospectivas: fundamentos e aplicação. *Revista de Administração Mackenzie (Mackenzie Management Review)*, 6(1). Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/11485/enfoquemulti-criterio-a-teoria-das-prospectivas--fundamentos-e-aplicacao/i/pt-br>. 2005.
- [25] J. D. N. Pergentino. Uma ferramenta multicritérios de priorização de requisitos baseada na técnica Analytic Hierarchy Process. 2020.
- [26] L. D. S. Ribeiro, A. C. Passos e M. G. Teixeira. Seleção de tecnologias de comunicações no exército brasileiro utilizando os métodos multicritério de análise hierárquica, TODIM e software Sapiens. *Production*, 22(1), 132-141. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S010365132011005000063>. 2012.
- [27] G. Roger Neves, A. Cesar Galhardi e W. Cezar Lucato. Aplicação e comparação de métodos de apoio à decisão multicritério: AHP, TODIM e PROMETHEE II. *Exacta*, 20(1). <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.17531>. 2022.
- [28] T. F. S. D. Rosa. Implantação do BPM em instituições de ensino superior: proposição de um método para priorização de processos. 2020.
- [29] T. L. Saaty. *Método de Análise Hierárquica*. Makron Books, São Paulo. 1991.

- [30] J. C. Silva. Metodologia para ouvir, internalizar e medir satisfação de clientes. Tese de mestrado em Engenharia de Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, Instituto Militar de Engenharia. 1995.
- [31] P. Vincke. Multicriteria decision-aid. Bruxelles: Jonh Wiley & Sons. 1992.
- [32] B. C. da S. Sousa, L. A. D. Rangel, C. T. Hernández. Priorização de Projetos de Melhoria de Produtividade Através do Método Multicritério Prométhée II. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento Vol. 10, n. 1, p. 27-40. <https://doi.org/10.4322/PODes.2018.003>. 2018.
- [33] A. C. Da Silva, L. P. A. Nascimento e M. C. N. Belderrain. Método de apoio multicritério à decisão na seleção e priorização de portfólio de projetos. *Anais do 13º XIII ENCITA, ITA, São Paulo, Brazil*. 2007.
- [34] M. Behazadian,, R. B. Kazemadeh,, A. Albadvi and, M. Aghdasi. PROMETHEE: a comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200, 198-215. 2010.
- [35] T. Shimitzu. Decisão nas Organizações–Introdução aos Problemas de Decisão Encontrados nas Organizações e nos Sistemas de Apoio à Decisão. *Atlas, São Paulo*. 200