

Conflitos e Incertezas na Tomada de Decisão Gerencial de Custos: um Novo Olhar Sobre a Ampliação dos Limites da Racionalidade

José Roberto Frega (PUCPR) - jose.frega@gmail.com

Alceu Souza (PUCPR) - alceu.souza@pucpr.br

Iomara Scandelari Lemos (PUCPR) - iomara.lemos@gmail.com

Resumo:

A análise do custo, bem como dos demais processos de gestão, nos últimos anos tem se beneficiado dos avanços na área da Análise de Decisão Multicritério. Este trabalho demonstra os efeitos da racionalidade limitada e dos aspectos subjetivos envolvidos no processo de tomada de decisão sobre os resultados apresentados na escolha de alternativas baseada em critérios predefinidos. É verificado como alternativas conflitantes podem ser trabalhadas em conjunto e mapeadas em um espaço geométrico de fácil representação, e o método é utilizado para revisar um problema explicitado por Clericuzi e Silva (2007) e resolvido por esses autores utilizando o método Electre. No presente estudo, aborda-se o problema utilizando-se em primeiro lugar o método Promethee e depois introduzindo uma nova abordagem, de forma estocástica, e submetendo o problema de decisão a múltiplas configurações estruturais. Demonstra-se que o kernel de soluções varia bastante de acordo com o método utilizado, o que alerta os tomadores de decisão a sempre tomarem os devidos cuidados para compreender os fundamentos metodológicos utilizados, de forma a chegar na solução que seja mais adequada para o seu problema, dentro do contexto da Gestão Estratégica de Custos.

Palavras-chave: *Gestão Estratégica de Custos. Multicritério. Decisão.*

Área temática: *Aplicação de Modelos Quantitativos na Gestão de Custos*

Conflitos e Incertezas na Tomada de Decisão Gerencial de Custos: um Novo Olhar Sobre a Ampliação dos Limites da Racionalidade

Resumo

A análise do custo, bem como dos demais processos de gestão, nos últimos anos tem se beneficiado dos avanços na área da Análise de Decisão Multicritério. Este trabalho demonstra os efeitos da racionalidade limitada e dos aspectos subjetivos envolvidos no processo de tomada de decisão sobre os resultados apresentados na escolha de alternativas baseada em critérios predefinidos. É verificado como alternativas conflitantes podem ser trabalhadas em conjunto e mapeadas em um espaço geométrico de fácil representação, e o método é utilizado para revisitar um problema explicitado por Clericuzi e Silva (2007) e resolvido por esses autores utilizando o método Eléctre. No presente estudo, aborda-se o problema utilizando-se em primeiro lugar o método Promethee e depois introduzindo uma nova abordagem, de forma estocástica, e submetendo o problema de decisão a múltiplas configurações estruturais. Demonstra-se que o *kernel* de soluções varia bastante de acordo com o método utilizado, o que alerta os tomadores de decisão a sempre tomarem os devidos cuidados para compreender os fundamentos metodológicos utilizados, de forma a chegar na solução que seja mais adequada para o seu problema, dentro do contexto da Gestão Estratégica de Custos.

Palavras-chave: Gestão Estratégica de Custos. Multicritério. Decisão.

Área Temática: Aplicação de Modelos Quantitativos na Gestão de Custos.

1 Introdução

Viver é decidir. A vida humana é um processo teleológico, baseado em metas e objetivos. Ganhar um melhor salário, almoçar fora, ir ao teatro, comprar um carro novo, casar-se, ter filhos, educá-los, cursar uma pós-graduação, tudo isso faz parte de um arcabouço de objetivos que, uma vez definidos, exigem uma série de ações a serem concebidas e implementadas de forma articulada para que se possa atingi-los. Por vezes, este é um planejamento complicado, e envolve a própria essência do pensamento estratégico, arquitetando os meios necessários para o atingimento de metas de longo prazo, engendrando planos para que esses meios sejam conseguidos e envidando esforços para que se consiga disponibilizar os recursos a tempo e de forma a maximizar o seu *output*.

Como observam Gomes, Araya e Carignano (2004), verifica-se que o processo de tomada de decisão adquire um grau ainda maior de complexidade quando a decisão é formada por um juízo coletivo, quando o processo requer uma solução de consenso que, todavia, é gerada a partir da reunião e do confronto de perspectivas por vezes radicalmente diversas.

O presente trabalho investiga a tomada de decisão em situações de incerteza, sob a ótica da racionalidade limitada e de outras teorias decorrentes da inadequação do conceito de *homo economicus* dotado de completa racionalidade para o estudo dos problemas decisórios. São apresentados os conceitos que fundamentam a teoria da decisão, bem como uma revisão abrangente da literatura e dos métodos de análise multicritério aplicados à tomada de decisão.

Conforme Raiffa (2002),

Eu acredito firmemente que a tomada de decisão — tanto individual quando coletiva; descritiva, normativa ou prescritiva — é uma habilidade importante na vida e que pode e deve ser ensinada amplamente em nossa sociedade. [...] O departamento de ciências

da decisão deve estabelecer fortes laços com as escolas profissionais (especialmente administração, políticas públicas, saúde pública, medicina), até a escola de engenharia, o departamento de economia, psicologia, governo, matemática, estatística, filosofia e, especialmente, com a escola de educação. (RAIFFA, 2002)

2 Fundamentação Teórico-Empírica

Já no século XX, remontando aos trabalhos pioneiros de Keynes e Knight, começaram a ser tratados os aspectos subjetivos da probabilidade, em contraponto ao pensamento dominante na época, que era o caráter positivista e puramente racional desse tipo de estudo. Keynes e Knight — aliás, ambos aproximadamente na mesma época e gerando a costumeira rivalidade que surge no campo científico — em 1921 lançaram duas obras que são referências clássicas no assunto das probabilidades subjetivas (KEYNES, 2007; KNIGHT, 1921).

Paralelamente ao desenvolvimento do ramo das distribuições subjetivas de probabilidades, no período pós-guerra que sucedeu à Segunda Guerra Mundial (WWII — Este é um acrônimo muito utilizado na literatura, advindo de *World War II*, ou Segunda Guerra Mundial) Von Neumann e Morgenstern estudaram e desenvolveram o ramo da teoria da decisão que viria a ser conhecido como teoria dos jogos (os dois autores desenvolveram a teoria dos jogos colaborativos, ou cooperativos; essa idéia foi depois ampliada por John Nash, que estabeleceu bases fundamentais na análise dos jogos não-cooperativos). Em 1954 surgiu um dos trabalhos mais conceituados e referenciados na área das probabilidades, que é o estudo de Savage (1972), ampliando os conceitos e noções de probabilidades subjetivas e o seu estudo dentro de um completo formalismo matemático. Nessa obra, Savage enunciou uma série de postulados que são utilizados e servem de base para uma série de trabalhos subsequentes na área de probabilidades e de violações do princípio da utilidade racional.

Na década de 1960, Herbert Simon publicou uma série de trabalhos sobre seus estudos referentes à racionalidade limitada, postulando que a capacidade de entendimento e de decisão da mente humana é limitada por sua cognição, e que o seu modelo mental não pode ser ampliado indefinidamente. Esta teoria tem um papel crucial na determinação de que os problemas de decisão multicriteriais, ou de multiobjetivo, não encontram na realidade uma solução ótima, mas sim uma solução satisfatória com respeito ao atendimento de um conjunto de critérios.

2.1 A Teoria da Decisão

Simon (1963) considera o processo de tomada de decisão como sinônimo de administração. Para ele, a decisão compreende três fases: a primeira é descobrir as ocasiões em que deve ser tomada, a segunda é a identificação dos possíveis cursos de ação e a terceira e última é decidir-se por um deles.

Cabe observar que, segundo Brännback e Spronk (1997), o foco da administração estratégica (AE) está mudando, estabelecendo o fato de que as abordagens anteriores da AE concentravam-se no uso (ou na falta de uso) de processos decisórios analíticos e racionais. Também, os mesmos autores estabelecem que o conceito de escolha racional está intimamente ligado ao de administração inteligente, ou seja, “a especificação de objetivos bem definidos e perseguição desses objetivos por meio da coleta de informação para o estabelecimento de alternativas em termos de suas possíveis consequências futuras e escolhendo as ações que se espera venham a preencher os objetivos almejados”. (BRÄNNBACK; SPRONK, 1997)

2.2 Herbert Simon e a Racionalidade Limitada

Simon (1970) estabeleceu a clara diferença entre o Homem econômico e o Homem administrativo. Para o Homem administrativo, o mundo percebido é um modelo drasticamente simplificado do mundo real e ele percebe o que é importante, descartando o que não é fundamental para a sua análise. A consequência disto é que surge a noção do conflito existente entre modelo ótimo e modelo sub-ótimo. A racionalidade limitada, por desconhecer a totalidade do problema, escolhe uma solução aceitável em detrimento da solução ótima. “É, por exemplo, revistar um palheiro em busca da agulha mais pontuda que nele se encontre e revistar o palheiro para encontrar uma agulha bastante pontuda para costurar” (MARCH; SIMON, 1970, p.198).

O principal mérito da análise foi a constatação que a ferramenta denominada Programação Linear, diga-se de passagem, uma das mais tradicionais e utilizadas ferramentas da Pesquisa Operacional, sofre com o impacto dos limites cognitivos da racionalidade do ser humano. Tal fato explica-se pela falta de conhecimento total das variáveis envolvidas no processo decisório, bem como ao desconhecimento das consequências futuras das alternativas de decisão fornecidas pelos modelos de Programação Linear. Tal fato aplica-se, inclusive, a otimização fornecida pela ferramenta. (SIMONETTO; LÖBLER, 2003)

Bazerman (2004, p. 6) expressa o pensamento de Simon em outras palavras, dizendo que o julgamento individual fica limitado pela racionalidade do decisor, e que o processo decisório poderia ser mais bem explicado e descrito ao compreender melhor os processos de decisão reais e não-normativos, ou, aquilo que o senso comum dita como o que deve ser feito. Da mesma forma,

Embora a estrutura restringida pela racionalidade considere que os indivíduos tentam tomar decisões racionais, ela reconhece que muitas vezes faltam aos tomadores de decisões informações importantes referentes à resolução do problema, critérios relevantes, e assim por diante. Restrições de tempo e de custo limitam a quantidade e a qualidade das informações disponíveis. [...] Tomadores de decisões sacrificam a melhor solução em detrimento de outra que seja aceitável ou razoável. Em vez de examinar todas as alternativas possíveis, eles simplesmente procuram até achar uma solução que satisfaça um nível aceitável de desempenho. (BAZERMAN, 2004, p. 6)

2.3 O que é Decisão Multicritério?

O Apoio Multicritério à Decisão é, segundo Gomes, Araya e Carignano (2004), a atividade daquele que, quando confrontado com modelos claramente apresentados, mas nem sempre devidamente formalizados, ajuda na obtenção de respostas que auxiliem um agente ou tomador de decisão ao longo de um processo decisório. Esses elementos de apoio necessariamente irão contribuir para a ampliação dos limites da racionalidade — vide Simon (1970) — e normalmente obedecem a uma sequência de etapas: 1) Recopilação ou coleta da informação; 2) Modelagem do problema; 3) Seleção das alternativas adequadas; 4) Revisão da decisão tomada.

2.4 Estatística Multivariada *versus* Decisão Multicritério

Uma das formas mais consistentes e tradicionais de abordagem quantitativa para a solução de problemas tem sido a Estatística Multivariada; todavia, esta abordagem exige o atendimento a uma série de pressupostos (HAIR JR. et al., 1998; STEVENS, 2002; KASHIGAN, 1991; FREUND; SIMON, 2000; MAROCO, 2003):

- grande número de observações, que podem estar em uma série histórica, ou em um corte transversal ou, ainda, na forma de dados em painel, onde as duas situações se conjugam.

- hipótese da normalidade, que pressupõe normalidade multivariada das variáveis envolvidas, ou seja, que elas sigam uma distribuição de probabilidades que não se afaste significativamente da distribuição normal
- estabilidade das matrizes (incluindo invertibilidade - exigência de que as matrizes sejam positivo-definidas), o que garante que os algoritmos matemáticos que produzem os resultados não terão problemas numéricos que resultem em erros de cálculo que tornem a solução de pouca utilidade.

Por outro lado, a abordagem multicritério prescinde dessas premissas, sendo aplicável a problemas com qualquer número de critérios analisando qualquer número de alternativas (sendo que o mais habitual é ter um elevado número de critérios para analisar algumas poucas alternativas, que é exatamente o caso onde a estatística multivariada é incapaz de apresentar resultados) e, por último e não menos importante, não exige a normalidade dos dados (ítem este, aliás, por vezes convenientemente omitido em análises que são encontradas na literatura).

2.5 Abordagem Multicritério

Bouysou (apud GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004) define que as fundações conceituais para a decisão multicritério são:

- A possibilidade de constituição de uma base comum para o diálogo entre os interventores e decisores (visão compartilhada)
- Incorporação de incertezas aos dados segundo diferentes pontos de vista (racionalidades limitadas)
- Adoção de uma solução de compromisso entre pontos de vista em conflito (solução sub-ótima) para cada solução encontrada para o problema (cabe lembrar que as soluções encontradas por meio da análise multicritério discreta normalmente são sub-ótimas, no sentido de que é exigido o atendimento aos critérios estabelecidos e não a maximização da utilidade de cada critério, o que envolveria um problema de otimização vetorial (vide seção 2.6).

Ainda, cabe elencar os elementos usuais de avaliação de um problema multicritério. Um conjunto mínimo necessário de definições pode ser: 1) Critérios: são os parâmetros pelos quais as escolhas serão avaliadas 2) Alternativas: cada uma das soluções dos problemas que atendam aos critérios 3) Pesos: os pesos com que serão avaliados os critérios 4) Decisor: o indivíduo racional que definiu os critérios e os pesos

Segundo Gomes, Araya e Carignano (2004), os critérios são, no mínimo, dois que conflitam entre si. Tanto critérios quanto alternativas não estão claramente definidos, pois a solução depende de um conjunto de pessoas, com diferentes visões de mundo e também a quantificação dos critérios é difícil, assim como a definição das escalas.

Belton e Stewart (2002) estipulam que os fatores chave que formam a base da avaliação são referidos como: valores, objetivos fundamentais, critérios ou pontos de vista fundamentais. Esses autores estabelecem que a natureza de elaboração desses fatores chave (ou critérios) depende da metodologia (ou “escolas”) da MCDA, citando que, por exemplo, a programação multiobjetivo se concentra em poucos critérios estritamente quantificáveis, enquanto os métodos de superação podem se concentrar em um número maior de critérios, podendo ser estes subjetivos e pouco quantificáveis.

Segundo Belton e Stewart (2002, p. 52), o foco essencial da MCDA é a avaliação (ou exploração) de alternativas. O seu número é variável, desde algumas poucas, como a avaliação

de proponentes para um grande contrato, até um número muito grande, como a melhor alocação de recursos disponíveis frente a necessidades conflitantes. Um ponto interessante levantado pelos autores é que, apesar do foco explícito da MCDA ser a avaliação de alternativas dadas (ou apresentadas como parte integrante do problema), uma ênfase igual deveria ser dada ao potencial de criação de novas alternativas (aquelas que possam emergir da construção e análise do problema, não como um *a priori* estabelecido).

De certa forma isto redefine o paradigma da análise multicritério ainda além, em termos de racionalidade, da simples busca da solução sub-ótima e que atenda aos critérios especificados, estabelecendo que a busca deva ser por soluções robustas sobre uma gama extensa de futuros prováveis.

2.6 Métodos de Análise Multicritério

Segundo (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004), há dois ramos para a abordagem multicritério da solução de problemas: 1) Ramo contínuo ou Programação Multiobjetivo ou Otimização Vetorial, nos quais as alternativas podem adquirir um número infinito de valores e; 2) Ramo discreto ou Decisão Multicritério Discreta, onde as alternativas tem um número finito e geralmente pequeno.

No presente trabalho, será adotado o segundo ramo, o da Decisão Multicritério Discreta, e doravante quando se fizer referência à MCDA, implicitamente será considerado este ramo específico.

Os métodos de decisão multicritério podem ser enquadrados em dois grandes grupos, a saber:

- **A Escola Americana, ou da Utilidade:** obedece aos princípios do *homo economicus*, ou seja, é uma escola onde domina a racionalidade e o mundo é visto como algo com um grau de compreensibilidade elevado.
- **A Escola Francesa, ou Construcionista:** prega o conceito mais amplo de que a realidade não está “lá fora”, não é um elemento externo ao decisor, mas sim que este é uma parte integrante da realidade a ser compreendida.

2.7 Os tipos de problema de análise multicritério discreta

Conforme Gomes, Araya e Carignano (2004), os tipos de problemas de DMD (decisão multicritério discreta) podem ser:

- Tipo $\alpha(P\alpha)$: selecionar a “melhor” alternativa (cabe ao leitor atentar para o fato de que a palavra “melhor” encontra-se entre aspas porque essa qualidade é baseada em critérios que podem ser exclusivamente subjetivos, ou seja, o que é melhor para alguém pode não o ser para outra pessoa) (vide figura 1).
- Tipo $\beta(P\beta)$: classificar as alternativas, estabelecendo uma pré-ordem incompleta, ou seja, simplesmente distinguir as alternativas “boas” das alternativas “ruins” (vale aqui a mesma observação anterior, sobre a subjetividade dos critérios) (vide figura 2).
- Tipo $\gamma(P\gamma)$: gerar uma pré-ordem completa (vide figura 3).
- Tipo $\delta(P\delta)$: elaborar uma descrição das alternativas.

Na figura 3 é estabelecida uma ordem completa, ou seja, cada elemento da lista é preferível ao seu sucessor e é superado pelo seu antecessor. Por outro lado, na figura 2 é mostrada

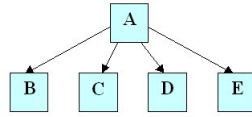


Figura 1: A melhor solução

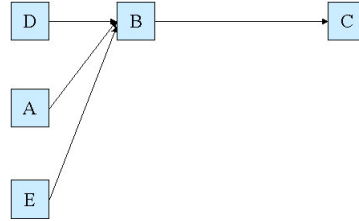


Figura 2: O problema de classificação

uma ordenação parcial, onde alguns elementos não carregam entre si relações de preferência (no caso, as alternativas *D*, *A* e *E* são equivalentes).

A diferença básica do problema $\alpha(P\alpha)$ para o problema $\gamma(P\gamma)$ é que o primeiro se preocupa apenas com a “melhor” alternativa, e não determina relações de dominância entre as alternativas restantes, ao contrário do segundo.

2.8 Os Tipos de Critérios

Conforme Gomes, Araya e Carignano (2004, p. 12), outro ponto importante e comum aos procedimentos de análise multicritério é o estabelecimento da maneira pela qual cada um dos critérios vai ser encarado e analisado no decorrer do processo. Sejam u_{ik} a utilidade percebida da alternativa *i* segundo o critério *k*, u_{jk} a utilidade percebida da alternativa *j* segundo o critério *k* e *p* e *q* denotando, respectivamente, os limiares de preferência declarada e de indiferença, da forma como segue.

$$(u_{ik} - u_{jk}) > p \rightarrow \text{alternativa } i \text{ é preferível à alternativa } j \quad (2.1a)$$

$$p > (u_{ik} - u_{jk}) > q \rightarrow \text{alternativa } i \text{ é fracamente preferível à alternativa } j \quad (2.1b)$$

$$q > (u_{ik} - u_{jk}) \rightarrow \text{alternativa } i \text{ é indiferente à alternativa } j \quad (2.1c)$$

ou, escrevendo de outra forma,

$$(u_{ik} - u_{jk}) > p \rightarrow a_i \succ a_j \quad (2.2a)$$

$$p > (u_{ik} - u_{jk}) > q \rightarrow a_i \succeq a_j \quad (2.2b)$$

$$q > (u_{ik} - u_{jk}) \rightarrow a_i \simeq a_j \quad (2.2c)$$

2.9 O Juízo em Grupo

O estabelecimento do juízo em grupo, dentro da escola da utilidade, obedece a princípios econômicos estritos que buscam a manifestação da perfeita racionalidade, seguindo o conceito do *homo economicus*. A preferência de cada um dos decisores é calculada com base em funções de utilidade, normalmente calculadas como médias ponderadas, sejam elas geométricas

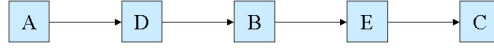


Figura 3: O problema de ordenação completa

(equação 2.3) ou aritméticas (equação 2.4).

$$\bar{w}_f(C_i) = \sqrt[s]{\prod_{k=1}^s \bar{w}(C_{ik})} \quad i = 1, \dots, m \quad (2.3)$$

$$\bar{f}(A_j) = \sum_{i=1}^m (C_i) \times \bar{v}_i(A_j) \quad i = 1, \dots, n \quad (2.4)$$

É comum, na análise multicritério, a adoção de modelos compensatórios quando há dificuldade para a obtenção de consenso ou de verificação de utilidade em um dos atributos ou critérios; normalmente, isso envolve a diminuição do peso associado ao critério que é prejudicial e a conseqüente elevação dos pesos de um ou mais critérios escolhidos à guisa de compensação.

Mesmo quando o problema envolve um único decisor, complexos mecanismos cognitivos são necessários para que uma decisão seja tomada após a avaliação de múltiplos critérios. Ao serem envolvidos mais decisores, cada qual com o seu próprio quadro de referência mental, a complexidade do problema aumenta por haver, além de tudo, uma dissonância na ponderação dos juízos de cada critério, à luz das alternativas apresentadas e do consenso que necessita ser gerado a partir do trabalho em grupo.

2.10 A família PROMETHÉE

O acrônimo Promethée é oriundo de *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*, sendo uma de suas primeiras referências públicas o artigo seminal de Brans, Mareschal e Vincke (1984). Pode-se verificar nas equações que seguem as características básicas do método Promethée, que são comuns a todas as variantes. (GOMES; ARAYA; CARRIGNANO, 2004, p.126). Monta-se todos os pares ordenados de alternativas que compõem o problema, determinando como se situam as alternativas de cada par em relação a cada um dos critérios e, em seguida, ao conjunto deles:

$$\delta_{ik} = |u_j(x_i) - u_j(x_k)| \quad (2.5)$$

$$P_j(x_i, x_k) = P_j(|u_j(x_i) - u_j(x_k)|) = P_j(\delta_{ik}) \quad (2.6)$$

$$s_{ik} = \left(\frac{\sum_j w_j P_j(x_i, x_k)}{\sum_j w_j} \right) = \left(\frac{\sum_j w_j P_j(\delta_{ik})}{\sum_j w_j} \right) \quad (2.7)$$

Na equação 2.5 é determinado o valor da diferença entre as utilidades marginais de cada alternativa, na 2.6 é determinado um valor de preferência baseado no δ obtido e na 2.7 é estabelecido um fluxo de preferências determinado a partir de uma ponderação de todos os critérios observados.

2.11 A análise multicritério e a gestão de custos

Segundo Clericuzi e Silva (2007),

A análise do custo tem evoluído nos últimos anos, os novos sistemas de gerenciamentos também tem utilizado modelos multicritério de apoio a decisão que levam em consideração o estilo de preferência do tomador de decisão. Essas ferramentas analisam os custos sob um contexto mais amplo, visando desenvolver vantagens competitivas, podendo vislumbrar estratégias mais coerentes e eficazes para a competitividade da empresa.

A análise objetiva de custos, por meio de métodos quantitativos e de funções de utilidade racional, ao modo da escola americana de análise multicritério, é completamente aderente ao método tradicional de análise, com programação linear e outros métodos matemáticos de solução do problema.

Por outro lado, ao abordar critérios de custo com valores subjetivos como “alto” ou “baixo”, torna-se difícil estabelecer uma função utilidade que seja plenamente e racionalmente aceita por um conjunto de decisores, de forma unívoca. Ainda, o estabelecimento dos pesos para os critérios é algo profundamente subjetivo, também, e que suscita as mesmas dúvidas e discussões a respeito de sua validade em detrimento de algum outro conjunto de pesos.

A escola francesa de análise multicritério, de caráter construcionista, aborda este problema de forma direta, criando valores de preferência por meio da análise das alternativas par a par, sob a ótica de cada critério. Este artigo apresenta uma variação do método Promethee (BRANS; MARESCHAL; VINCKE, 1984) que incorpora a incerteza na definição dos pesos dos critérios por meio da utilização de métodos estocásticos e da criação de um mapeamento perceptual que melhora a visualização, por parte do decisor, da configuração das alternativas.

3 Metodologia

Neste capítulo é proposto um modelo inovador de metodologia de suporte à decisão, baseado em métodos de análise multicritério em conjunto com métodos estocásticos e de simulação.

3.1 O Método Promethée Modificado

O método Promethée modificado consiste na utilização do método de Monte Carlo para gerar um cenário composto de diversos avaliadores virtuais, cada qual com o seu próprio conjunto de valores que o leva a definir um sistema intrínseco de pesos para os critérios de decisão que serão apresentados ao método Promethée para que avalie a classificação das alternativas.

3.1.1 A Solução Adotada

O aspecto sub-ótimo da tomada de decisão (SIMON, 1970) coloca o decisor na situação de permanente dúvida sobre a adequação da solução por ele encontrada e adotada. É fato que, ao tomar uma decisão, uma série de cenários “e se – então” povoa a mente do decisor, tornando-o carente de alguma técnica ou ferramenta que torne explícita a estrutura de preferências, ou o espaço de alternativas viáveis, de tal sorte que ele possa promover reajustes em seu processo cognitivo retroalimentando-o e propiciando maior qualidade no processo de tomada de decisão.

A aplicação da simulação de Monte Carlo à pesquisa permite: 1) definição aleatória de pesos, de forma a definir as alternativas que sejam mais “resistentes” a diferentes conjuntos de avaliadores e; 2) definição aleatória de funções de classificação para a definição de “resistência” a mudanças de funções de classificação.

A partir daí, os resultados são apresentados na forma de um conjunto ordenado por “potencial de atendimento” aos critérios.

A cada passo da simulação, é gerado um conjunto de classificação — problema $\gamma(P\gamma)$ — que é armazenado em uma matriz de contagens. Ao longo das simulações é estabelecido um *score* de pontuações que determina quantas vezes cada alternativa ocupou qual posição (*ranking*) na classificação global. Após um número grande de simulações, é formado um mapa de classificação onde, no lugar de estabelecer que uma determinada alternativa foi a primeira classificada, é determinado que ela ocupou tantas vezes o primeiro lugar da classificação, mais outras tantas o segundo lugar e assim por diante. Assim, sendo N o número total de simulações, m o número total de alternativas e n_{ki} o número de vezes que a alternativa k ocupou a posição i , tem-se que

$$\sum_{i=1}^m n_{ik} = N \quad (3.1)$$

3.2 A Implementação

A implementação do método Promethee modificado foi feita na linguagem de programação Delphi 5, que é uma linguagem visual para a plataforma Windows, codificada em Object Pascal. Ela apresenta elevado desempenho, é orientada a objetos e prestou-se bastante bem à empreitada de elaborar uma ferramenta prática de aplicação do método de simulação, denominado *WALK*®.

3.2.1 Os arquivos de entrada de dados

O programa lê dois arquivos de entrada, com campos definidos e separados pelo caracter de tabulação (“tab”): 1) Critérios: arquivo onde, em cada linha — uma linha para cada critério a ser observado na análise —, são informados os parâmetros dos critérios e; 2) Alternativas: arquivo onde, em cada linha, é apresentada uma alternativa contendo as características de cada alternativa com respeito aos critérios dados.

3.2.2 O Processo de Cálculo

Como primeiro passo, à medida em que os dados vão sendo lidos, o programa vai montando as matrizes pertinentes e efetuando a geração dos pesos manifestados pelo decisor. Como, na entrada de dados, os pesos podem ser apresentados com qualquer magnitude, o programa irá ponderá-los pelo somatório de suas magnitudes, de tal forma que a soma dos pesos ponderados seja igual a 1, conforme a equação 3.2:

$$\begin{cases} W = \sum_{i=1}^m wnp_i \\ w_j = \frac{wnp_j}{W} \quad j = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (3.2)$$

onde **wnp** é o vetor dos wnp_i pesos não-ponderados e **w** é o vetor dos w_i pesos ponderados.

Após a ponderação e a leitura dos critérios, o sistema prepara as funções de preferência $P(a, b)$, com seus respectivos limites p e q . Na corrente implementação, existem os seguintes tipos de função de preferência (todas elas, naturalmente, entregando um valor de 0 a 1):

- 1) Verdadeiro Critério; 2) Verdadeiro Critério com limite de indiferença; 3) Quase-critério; 4) Preferência linear; 5) Preferência Gaussiana.

Uma vez estabelecidas as funções de preferência, calcula-se o índice de preferência s_{ij} da alternativa i em relação à alternativa j , varrendo os m critérios conforme a equação 3.3.

$$s_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m w_k P_k(i, j)}{\sum_{k=1}^m w_k} \quad (3.3)$$

A partir dos resultados obtidos em 3.3, pode-se calcular os fluxos de superação para cada alternativa i varrendo-se todos os s_{ij} para as n alternativas, conforme 3.4:

$$\begin{cases} \Phi_i^+ = \sum_{j=1}^n s_{ij} \\ \Phi_i^- = \sum_{j=1}^n s_{ji} \end{cases} \quad (3.4)$$

$$[S] = \begin{array}{c|ccccc|cc} & 1 & 2 & 3 & \cdots & n & & \\ \hline 1 & s_{1,1} & s_{1,2} & s_{1,3} & \cdots & s_{1,n} & \Sigma & \rightarrow \Phi_1^+ \\ 2 & s_{2,1} & s_{2,2} & s_{2,3} & \cdots & s_{2,n} & \Sigma & \rightarrow \Phi_2^+ \\ 3 & s_{3,1} & s_{3,2} & s_{3,3} & \cdots & s_{3,n} & \Sigma & \rightarrow \Phi_3^+ \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n & s_{n,1} & s_{n,2} & s_{n,3} & \cdots & s_{n,n} & \Sigma & \rightarrow \Phi_n^+ \\ \hline & \Sigma & \Sigma & \Sigma & \cdots & \Sigma & & \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \cdots & \downarrow & & \\ & \Phi_1^- & \Phi_2^- & \Phi_3^- & \cdots & \Phi_n^- & & \end{array} \quad (3.5)$$

Resumidamente, as operações são mostradas na equação 3.5, onde pode-se perceber mais claramente a natureza da origem dos fluxos positivos e negativos de superação.

O sistema efetua as operações necessárias a partir dos critérios lidos e dos valores de cada critério para cada uma das alternativas apresentadas e monta a matriz de preferências, resultando, para cada alternativa, no seu fluxo positivo (Φ^+), no seu fluxo negativo (Φ^-) e no seu fluxo líquido representado como

$$\Phi^{\text{líqu}} = \Phi^+ - \Phi^- \quad (3.6)$$

Adotando-se o paradigma da classificação, duas alternativas i e j são equivalentes se

$$\left(\Phi_i^+ > \Phi_j^+ \quad \wedge \quad \Phi_i^- > \Phi_j^- \right) \quad \text{ou} \quad \left(\Phi_i^+ < \Phi_j^+ \quad \wedge \quad \Phi_i^- < \Phi_j^- \right) \quad (3.7)$$

ou seja, quando o fluxo positivo de i excede o de j , o negativo de i também excede o de j , o que estabelece o critério de equivalência entre as alternativas. Como a escolha de i e j é arbitrária, pode-se trocar i por j e verificar que, da mesma forma, quando o fluxo positivo de j superar o de i e o fluxo negativo de j superar o de i as alternativas serão consideradas equivalentes.

Por outro lado, o paradigma da ordenação é estabelecido sobre os fluxos líquidos, de tal sorte que a alternativa que apresente o maior fluxo líquido é preferível a uma que apresente um fluxo líquido menor. Como é virtualmente impossível que duas alternativas diferentes apresentem fluxos líquidos iguais, é comum dizer que o fluxo líquido promove um critério de ordenação completa.

3.2.3 A Representação da Simulação de Monte Carlo

A ordenação completa pelos fluxos líquidos (equação 3.6) é dependente de vários fatores, além do desempenho intrínseco de cada alternativa. Cada alternativa é analisada segundo uma ótica própria do tomador de decisão, que a situa em um quadro de referência que leva em conta todo o conjunto de valores associado à racionalidade do decisor. Um dos produtos desse encaixe no quadro de referência é o conjunto de pesos que é adotado para a análise do problema, e do qual depende, fundamentalmente, a ordenação das alternativas segundo os critérios de preferência.

Sabendo-se que a ordenação das alternativas muda conforme muda o conjunto de pesos associados aos critérios, ao rodar um número muito grande de simulações de diferentes pesos é esperado que cada alternativa faça um passeio pelo espaço de soluções do problema de classificação, sendo registradas a cada passo as diferentes classificações obtidas no processo. Ao final, é gerada uma matriz $n \times n$, onde n é o número de alternativas; cada linha representa uma das alternativas, e cada coluna representa a j -ésima posição na classificação completa. Postula-se assim que a alternativa i que, consistentemente, ocupar mais vezes ao longo da simulação uma posição superior à alternativa j , será considerada como preferível, ou mais “resistente” quando avaliada sob diversos pesos para os critérios.

Um trabalho adicional foi feito para que as alternativas e suas capacidades de “resistência” fossem mapeadas em uma representação gráfica que fosse, ao mesmo tempo, simples de compreender e rica em informações para auxiliar na compreensão do problema. Desta forma, a matriz de resultado da simulação foi transformada numa representação bidimensional, também $n \times n$ como a matriz (um mapeamento conforme), onde cada célula a_{ij} da matriz recebe uma intensidade de cor proporcional ao número de vezes que a alternativa i ocupou a classificação j , o que gera um mapa perceptual que pode ser bastante útil na compreensão do problema.

3.2.4 O Plano GAIA

Uma outra forma gráfica de representação é o Plano Gaia. A matriz de fluxos $\bar{S}$ é quadrada de dimensão n e demonstra-se que ela é positiva definida, o que permite que se calculem os seus autovetores, que formam uma base ortonormal. Essa base ortonormal forma a estrutura de componentes principais, onde se faz uma projeção dos vetores dos critérios e das alternativas.

Ao tomar os autovetores associados aos maiores autovalores, forma-se uma base bidimensional que capta a maior porcentagem de variância do sistema critérios-indicadores. Uma vez definida essa base ortonormal, pode-se projetar os pontos referentes às coordenadas das alternativas e dos critérios, podendo-se observar de que forma cada alternativa se alinha com quais critérios, quais critérios são conflitantes com outros e assim por diante.

4 Análise dos dados

Tomando-se o problema proposto por Clericuzi e Silva (2007, p. 7), explicitado pelos quadros 1 e 2, pode-se defini-lo como sendo “determinar a classificação das alternativas que

atendam da melhor forma aos critérios de minimização de custos c_1, c_2, c_3 e c_4 , onde os custos do critério c_1 são mensurados de forma objetiva e os custos c_2, c_3 e c_4 seguem uma escala onde 1=baixo, 2=médio e 3=alto. Considerar que o juízo coletivo de decisão é difuso e os pesos dos critérios podem ser mudados a critério de cada decisor”.

Critério	Peso	Tipo	p	q	Alvo
c1	34	vc	100	0	min
c2	26	vc	0	0	min
c3	20	vc	0	0	min
c4	20	vc	0	0	min

Quadro 1: Quadro descritivo dos critérios

Alternativa	Apelido	c1	c2	c3	c4
Alt 1	a1	300	1	1	1
Alt 2	a2	250	1	2	1
Alt 3	a3	250	2	1	1
Alt 4	a4	200	2	1	2
Alt 5	a5	200	2	2	1
Alt 6	a6	200	3	1	1
Alt 7	a7	100	3	2	2

Quadro 2: Valores das alternativas para os critérios

Clericuzi e Silva (2007) definiram que o *kernel* (ou núcleo) predominante de alternativas é formado pelas alternativas a_2 e a_6 , utilizando para tal o método Electre. Utilizando o método Promethee, no presente trabalho chega-se ao resultado evidenciado na figura 4 (usando os mesmos pesos do problema original), onde o núcleo predominante é composto pelas alternativas a_1, a_4 e a_6 . Cumprir notar que esse núcleo, ou mesmo a ordenação das alternativas é fortemente dependente dos pesos adotados para os critérios, o que se torna, em consequência, dependente dos juízos subjetivos de valor de cada um dos decisores envolvidos.

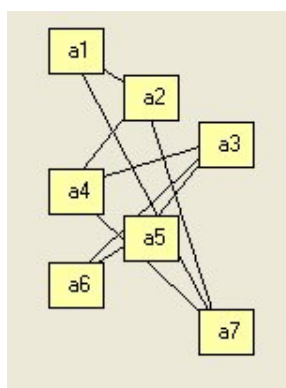


Figura 4: Classificação das alternativas pelo método Promethee

Ao usar uma simulação com variação estocástica dos pesos dos critérios, e anotando-se as posições de cada alternativa em cada uma das rodadas de simulação, chega-se ao resumo de classificação mostrado na tabela 1, onde o número constante em cada célula é o número de vezes que a alternativa i ocupou a posição j ao longo das n rodadas de simulação (no caso, cem mil rodadas).

A representação GAIA do problema é mostrada na figura 5, onde é notável a dominância da alternativa a_1 , que possui a maior magnitude na direção dos critérios c_2, c_3 e c_4 , e como

Tabela 1: Resumo das posições das alternativas

Alternativa	Posições						
	1	2	3	4	5	6	7
a1	45534	12063	13222	10630	5965	6704	5883
a2	6838	18706	12480	12810	18563	17749	12855
a3	0	30002	31002	19209	12664	4749	2375
a4	10986	13895	10462	20033	12896	29530	2199
a5	8627	11323	12590	19622	26917	20922	0
a6	26408	12463	15297	14117	18294	12109	1313
a7	1608	1549	4948	3580	4702	8238	75376

a alternativa a_7 é a que mais se afasta desses critérios, apesar de estar mais alinhada com o critério c_1 . Note-se que o critério c_4 é antagônico aos demais, caracterizando que a alternativa que melhor o atender será, ao mesmo tempo, pior nos demais (o que explica a última posição da alternativa a_7).

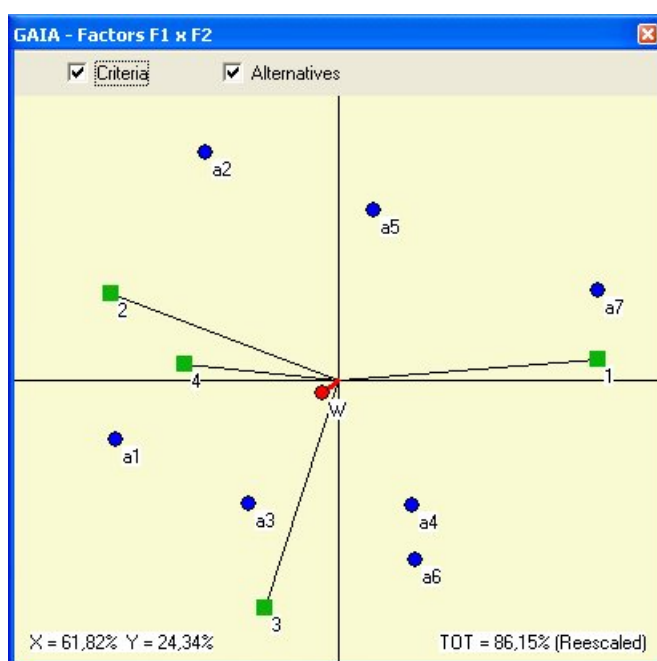


Figura 5: Plano Gaia para os critérios e alternativas do problema

O mapa perceptual gerado a partir da tabela 1 é encontrado na figura 6, mostrando claramente que, ao final das cem mil simulações, a alternativa a_1 é a mais bem classificada e a alternativa a_7 é a pior dentre todas. Note-se a similaridade entre as alternativas a_4 , a_5 e a_2 , no setor inferior da escala, assim como entre as alternativas a_6 e a_3 , no setor superior da escala.

5 Conclusões

Ao usar o passeio aleatório pelo conjunto de pesos e efetuar o registro das classificações das alternativas ao longo de um número muito grande de simulações (no caso exemplo, foram utilizadas 100 mil simulações), obtém-se uma situação como a verificada na tabela 1, onde em cada célula é registrado o número de vezes que cada alternativa ocupou cada classificação. É fácil perceber que a alternativa é consistentemente melhor em relação ao conjunto de critérios adotado quanto mais vezes ela ocupar as primeiras posições.

Ainda assim, a forma tabular para a verificação dos dados é pouco adequada para a visualização por parte de seres humanos, então adotou-se uma representação por meio de um mapa

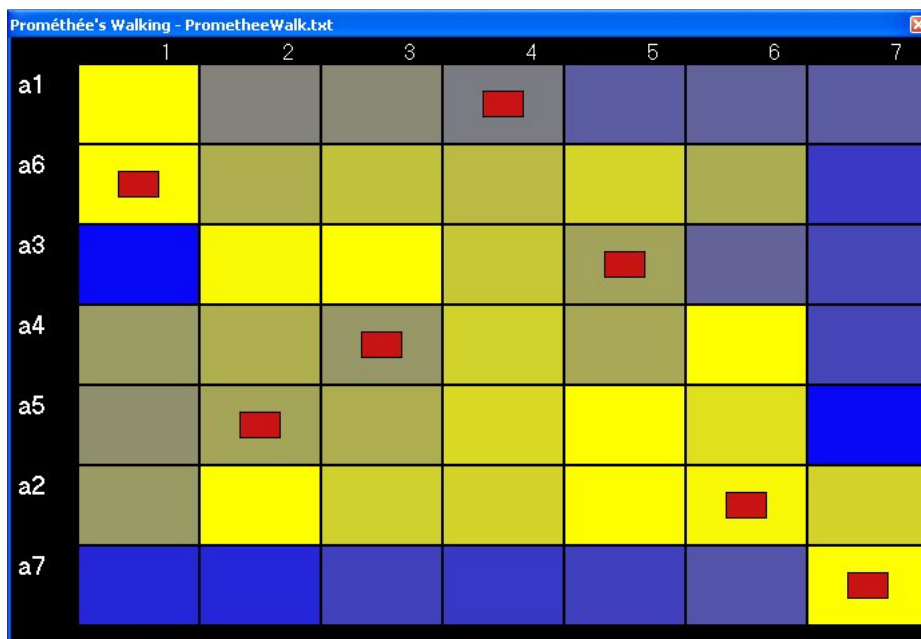


Figura 6: Mapa perceptual do problema

perceptual onde a intensidade de cor é proporcional à quantidade de vezes que cada alternativa ocupou dentro do espaço de classificações. Tal resultado é apresentado na figura 6. Note-se que, no mapa, cada alternativa é representada numa linha e cada posição no *ranking* é representada em uma coluna. A célula referente ao cruzamento da alternativa i com a posição j no ranking é colorida conforme o número de vezes que a alternativa ocupou aquela posição ao longo das rodadas de simulação, ficando mais amarela quanto maior for a taxa de ocupação. Note-se, portanto, que a alternativa a_1 ocupa freqüentemente a primeira posição e a alternativa a_7 ocupa consistentemente a última.

A aparente contradição entre os resultados aqui apresentados e os elencados por Clericuzi e Silva (2007) decorre exatamente do aspecto sub-ótimo que é intrínseco aos aspectos da decisão sob condições de racionalidade limitada. Cabe ao decisor exercitar a prudência e não acreditar de forma cega nos resultados apresentados por um ou por outro método e, conhecendo as tipicidades, problemas e virtudes de cada um, usar os resultados das análises para embasar a sua decisão.

O mapa perceptual revela-se uma ferramenta poderosa e intuitiva para auxiliar o decisor no processo de definição das alternativas que mais sejam adequadas ao atendimento de um dado conjunto de critérios. Ao transformar o conjunto de soluções, representado na matriz de estados da tabela 1, numa representação gráfica, o método permite que outras áreas cognitivas do cérebro participem do processo mental de representação das soluções, fugindo do padrão estereotípico que uma classificação gerada por um problema $\gamma(P\gamma)$ fornece ao tomador de decisão, ou seja uma ordenação completa (notando-se, ainda, que esta ordenação pode ser alterada de forma radical conforme a estrutura dos pesos relativos dos critérios mude).

6 Referências

BAZERMAN, M. **Processo Decisório**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2004.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Massachussets: Kluwer Academic Publishers, 2002.

BRÄNNBACK, M.; SPRONK, J. A multidimensional framework for strategic decisions. In: FANDEL, G.; GAL, T.; HANNE, T. (Ed.). **Multiple Criteria Decision Making**. Berlin: Springer, 1997.

BRANS, J.; MARESCHAL, B.; VINCKE, P. PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. In: BRANS, J. (Ed.). **Operational Research, IFORS 84**. North Holland, Amsterdam: Elsevier Publishers, B. V., 1984. p. 477–490.

CLERICUZI, A. Z.; SILVA, L. de O. Apoio a gestão de custos utilizando a abordagem multicritério. In: **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Custos**. João Pessoa: XIV Congresso Brasileiro de Custos, 2007.

FREUND, J. E.; SIMON, G. A. **Estatística Aplicada**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2004.

HAIR JR., J. F. et al. **Multivariate Data Analysis**. 5. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

KASHIGAN, S. K. **Multivariate Statistical Analysis: A conceptual introduction**. 2. ed. New York: Radius Press, 1991.

KEYNES, J. M. **A Treatise on Probability**. United States: Watchmaker Publishing, 2007.

KNIGHT, F. H. **Risk, Uncertainty, and Profit**. Library of Economics and Liberty, 1921. Disponível em: <<http://www.econlib.org/library/Knight/knRUP1.html>>. Acesso em: 16 jul 2008.

MARCH, J. G.; SIMON, H. A. **Teoria das Organizações**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1970.

MAROCO, J. **Análise Estatística Com Utilização do SPSS**. 1. ed. Lisboa: Sílabo, 2003.

RAIFFA, H. Decision analysis: A personal account of how it got started and evolved. **Operations Research**, v. 50, n. 1, p. 179–245, Jan/Feb 2002.

SAVAGE, L. J. **The Foundations of Statistics**. New York: Dover Publications Inc., 1972.

SIMON, H. A. **A Capacidade de Decisão e de Liderança**. Rio de Janeiro: USAID, 1963.

_____. **Comportamento Administrativo: Estudo dos Processos Decisórios nas Organizações Administrativas**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1970.

SIMONETTO, E. de O.; LÖBLER, M. L. Os modelos de programação linear sob a ótica da racionalidade limitada. **REVISTA DO CCEI - Centro de Ciências da Economia e Informática**, v. 7, n. 11, p. 7–14, março 2003.

STEVENS, J. P. **Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences**. 4. ed. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.