

# Um Modelo de Decisão Multicritério para Auxílio à Tomada de Decisão na Aquisição de Sistemas Informatizados

Enio Jose Moroni e Leonardo Dagnino Chiwiacowsky

## Resumo

As organizações efetuam, constantemente, atualização ou aquisição de novos sistemas informatizados, onde a realização e uma boa escolha se torna fundamental. A tomada de decisão de compra de um sistema informatizado requer uma análise detalhada de um conjunto amplo de aspectos e, nem sempre, o ser humano é capaz de interpretar todas as variáveis envolvidas. Nos casos em que a decisão não for assertiva, poderão ser gerados custos indesejados e prejuízo para a organização. Este estudo tem como objetivo utilizar metodologias que auxiliam no processo de tomada de decisão por meio da construção de um modelo multicritério de apoio à tomada de decisão, fundamentado no uso combinado dos métodos AHP e PROMETHEE, que permite a identificação das melhores alternativas na seleção de sistemas informatizados adquiridos dos fabricantes de software. O modelo de decisão construído foi avaliado por meio do emprego de um protótipo computacional desenvolvido e aplicado na identificação da melhor opção de compra de um sistema informatizado de uso específico, levando em consideração quatro alternativas. O modelo desenvolvido se mostrou adequado, tendo identificado a solução mais aderente, representada pelo sistema informatizado D, com 33,83% de preferência de escolha. Na sequência, o sistema informatizado A, com 30,46%, seguido pelos sistemas informatizados B e C, respectivamente com 25,99% e 9,72% de preferência.

## Palavras-chave

Tomada de Decisão, Análise de Decisão Multicritério, Sistemas Informatizados, Indústria 4.0

# A Multicriteria Decision Model for Support in the Acquisition of Computerized Systems

## Abstract

Organizations, constantly, update or acquire new computerized systems, where making a good choice becomes fundamental. The decision making of buying a computerized system requires a detailed analysis of a broad set of aspects in which, not always, humans are able to interpret all the variables involved. In cases where the decision is not assertive, unwanted costs and losses to the organization may be generated. This study aims to use methodologies that help in the decision-making process by building a multicriteria decision support model, based on the combined use of AHP and PROMETHEE methods, which allow the identification of the best alternatives in the selection process of buying computerized systems from software manufacturers. The formulated decision model was evaluated by employing a computational prototype developed and applied for the identification of best purchase option of a specific-use computer system, considering four alternatives. The developed model proved to be adequate, having identified the most adherent solution, represented by the computerized system D, with 33.83% of choice preference. Subsequently, computerized system A, with 30.46%, followed by computerized systems B and C, respectively with 25.99% and 9.72% of preference.

## Keywords

Decision Making, Multicriteria Decision Analysis, Computerized Systems, Industry 4.0

## I. INTRODUÇÃO

No mundo moderno, o aumento da competitividade e o crescimento desenfreado da tecnologia da informação tornaram-se uma realidade, desafiando as organizações a buscarem novas formas para se manterem competitivas [1]. Neste contexto, os avanços da ciência e da tecnologia vêm contribuindo para a ampliação dos processos industriais [2], atualmente impulsionados pelas tecnologias da informação e da comunicação no delineamento da Indústria 4.0.

O surgimento dos recursos da Indústria 4.0 fortalece a

competitividade por meio da convergência entre a produção industrial e as tecnologias da informação e comunicação [3], impactando positivamente em inovações no campo da automação, controle e tecnologia da informação, aplicados aos processos de manufatura [4].

Consoante a isso, o leque de tecnologias empregadas no contexto da Indústria 4.0 como, por exemplo, computação em nuvem, internet das coisas, big data e inteligência artificial, estão permeando a indústria de manufatura e possibilitam a fusão dos mundos virtual e físico através de sistemas Ciberfísicos (CPS) [8]. Estas ferramentas atendem praticamente

Pós-Graduação em Engenharia 4.0 - Universidade de Caxias do Sul (UCS)

E-mail: [ejmoroni@ucs.br](mailto:ejmoroni@ucs.br), [ldchiwiacowsky@ucs.br](mailto:ldchiwiacowsky@ucs.br)

Data de envio: 01/09/2019

Data de aceite: 26/11/2019

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v7iss2p135>

todas as áreas de uma organização, existindo registros de aplicação dessas tecnologias nos setores de engenharia, marketing, qualidade, logística, produção [7] e na área de tecnologia da informação [11]. O fato relevante é que estas ferramentas trazem vantagens significativas tanto nos processos de produção, como nos processos de serviço das empresas [10].

Nesta perspectiva, a Indústria 4.0 também se utiliza de mecanismos e técnicas de tomada de decisão [5], que por sua vez se caracterizam por diferentes abordagens que podem ser aplicadas em diversas situações, dependendo do contexto [6]. Um exemplo de aplicação dos métodos de auxílio à tomada de decisão é na seleção de sistemas de informação, de forma a garantir a escolha da alternativa que atenda de forma satisfatória as necessidades dos usuários e, conseqüentemente, das organizações [11].

Geralmente, o processo decisório envolve um conjunto de pessoas que possuem seu próprio ponto de vista e, muitas vezes, conflitante com o dos demais agentes envolvidos neste processo. Para alinhar estes pontos conflitantes, podem ser utilizados métodos científicos que apoiem os envolvidos na identificação da melhor decisão [12].

Este trabalho apresenta um modelo de decisão multicritério para auxílio à tomada de decisão na aquisição de sistemas informatizados, utilizando os métodos AHP e PROMETHEE de maneira combinada. O método AHP é empregado para determinação do grau de importância dos critérios definidos no estudo [21], enquanto o método PROMETHEE possibilita ao decisor a identificação da ordenação das alternativas, considerando seu grau de preferência [28].

Para aplicação destes métodos, foi empregada a técnica da matriz de desempenho, que avalia como cada alternativa se comporta frente a cada um dos critérios elencados.

O modelo foi construído com base em pesquisas bibliográficas e questionário respondido pelos envolvidos no processo decisório. Por meio da pesquisa e do questionário, foi possível identificar o conjunto de critérios relevantes para construção do modelo de decisão.

## II. REFERENCIAL TEÓRICO

### A. Indústria 4.0

Por iniciativa do governo da Alemanha junto às indústrias e instituições acadêmicas, nasceu o termo Indústria 4.0. A Indústria 4.0, composta pela adoção de tecnologias informatizadas e máquinas que trabalham de forma integrada, elevou a competitividade das empresas [1]. Esta integração entre tecnologias e máquinas proporcionou a flexibilização da produção, possibilitando às organizações atenderem requisitos dos clientes, aperfeiçoando o processo de tomada de decisão, aumentando a produção das fábricas e, conseqüentemente, elevando a lucratividade [15]. Neste contexto, existe o entendimento de que os limites da indústria tradicional irão desaparecer devido à reorganização dos processos de criação de valor e mudanças dentro e entre as organizações [5].

A tendência é que empresas de todos os portes busquem a adoção dos conceitos da Indústria 4.0 e, inevitavelmente, necessitarão compartilhar seus dados, visto que os sistemas devem ser interconectados e as aplicações irão cada vez mais trabalhar em conjunto, empregando informações industriais [17].

Consoante a isto, é inevitável os rápidos avanços na industrialização, que estimularão um grande progresso no desenvolvimento de novas tecnologias de sistemas informatizados, que são cruciais para viabilizar e implementar a Indústria 4.0 [16].

Um destes desafios é a análise de dados que, realizada de forma adequada, pode fornecer a base para a tomada de decisão [18]. Por sua vez, a tomada de decisão também pode ser utilizada para a seleção de sistemas informatizados [11], visto que há fatores conflitantes que dependem da avaliação humana [6], sendo indicado o uso de técnicas e metodologias científicas para que auxiliem na identificação da opção mais assertiva [14].

### B. Tomada de Decisão

A tomada de decisão inspirou a reflexão de muitos pensadores como Aristóteles, Platão e Tomás de Aquino, que desde os tempos antigos discutiram a capacidade dos humanos de decidir, tendo destacado que essa possibilidade é um dos aspectos que distinguem os seres humanos dos animais [25].

Em um processo decisório, a escolha dos fatores que são importantes para a identificação da melhor decisão é uma das tarefas mais importantes de todo o processo [22]. A dificuldade em se tomar decisões reside no estabelecimento das prioridades dos referidos fatores e a respectiva avaliação das alternativas consideradas [21].

A *Multi-criteria Decision Analysis* (MCDA), em português Análise de Decisão Multicritério, está intimamente relacionada com a forma como os seres humanos tomam suas decisões. Apesar da diversidade das abordagens, os métodos e os componentes básicos da MCDA são muito simples [23].

A MCDA fornece uma metodologia sistemática que combina informações das partes interessadas para classificar, selecionar ou ordenar as alternativas. Também se utiliza de inúmeras abordagens para descobrir e quantificar julgamentos e juízos de valor de tomadores de decisão e partes interessadas, sobre diversos fatores relevantes no processo decisório [19]. As abordagens MCDA, normalmente, exigem como entradas as pontuações em várias dimensões associadas a diferentes aspectos relevantes no processo decisório, e os respectivos níveis de importância relacionados a essas dimensões. Outra etapa importante é o cálculo da preferência global de uma alternativa através da sua avaliação em relação a vários critérios [20].

#### B1. Estudo de Análise de Decisão Multicritério

Um processo de tomada de decisão estruturado é composto por um conjunto de etapas, assim definidas:

##### B.1.1 Identificação do contexto da tomada de decisão

Nesta etapa, ocorre o reconhecimento do contexto de decisão, compreendendo a finalidade da análise e os agentes envolvidos no processo decisório, isto é, os tomadores de decisão, as partes interessadas e os principais envolvidos. Nesta perspectiva, uma boa tomada de decisão exige objetivos claros e estes devem ser específicos, mensuráveis, consensuais, realísticos e dependentes do tempo [6].

Algumas vezes, é útil classificar os objetivos em finais e imediatos. Os objetivos finais geralmente são colocados em termos de variáveis estratégicas ou de alto nível. Já os objetivos imediatos são aqueles relacionados diretamente com os resultados de uma ação, que contribuirão com a

concretização dos objetivos finais [26].

### B.1.2 Identificação das Alternativas

Uma vez discriminado o objetivo do problema de decisão, deve-se definir o conjunto de alternativas a serem avaliadas. As alternativas devem oferecer diferentes abordagens de mudança do estado ou condição inicial para a condição desejada. As alternativas possuem um caráter amplo e, geralmente, a sua identificação é afetada pela avaliação das etapas seguintes [6].

### B.1.3 Definição dos critérios

Na definição dos critérios, ocorre a avaliação de como as diferentes alternativas podem contribuir para que os objetivos definidos sejam alcançados. A definição dos critérios deve atender os seguintes princípios [6]:

- A exaustividade, de modo que sejam levados em consideração todos os pontos de vista;
- A não-redundância, de modo que não seja considerado o mesmo ponto de vista mais de uma vez, direta ou indiretamente.

### B.1.4 Análise das alternativas

Para realização da análise das alternativas identificadas em cada um dos critérios elencados, é necessário organizar os respectivos dados de avaliação em uma matriz de desempenho, também denominada matriz de decisão. Com base na matriz de desempenho, e por meio da adoção de um método de análise de decisão multicritério, a elucidação das alternativas é realizada de forma estruturada, combinando os desempenhos individuais, ponderados pela relevância de cada um dos critérios definidos na construção do modelo decisório [41].

### B.1.5 Tomada de decisão

Esta etapa deve ser vista como um estágio separado da aplicação do método de análise multicritério, visto que o final do processo de tomada de decisão, que representa a escolha, de fato, de uma alternativa, será resultante das crenças e do juízo de valor do tomador de decisão. Nenhuma das técnicas disponíveis é capaz de incorporar na avaliação formal, de forma integral, os aspectos subjetivos do julgamento. Aqui, também pode ocorrer uma reavaliação do conjunto de alternativas ou critérios, tornando-se necessária a realização de uma nova análise [6].

### B.1.6 Reavaliação

Esta etapa ocorre de forma contínua ao longo do estudo de análise multicritério, reavaliando as escolhas feitas no passado, permitindo que os tomadores de decisão possam aprender com seus erros. Entretanto, é importante que as lições sejam aprendidas de maneira formal e sistemática [6].

## B2. Métodos de Análise Multicritério

Os métodos de análise multicritério podem ser classificados em duas categorias: métodos da escola americana e métodos da escola francesa [24]. Os métodos da escola americana agregam os valores de desempenho das alternativas sobre cada critério em uma única medida de síntese, excluindo a possibilidade de incomparabilidade entre as alternativas [9]. Por sua vez, os métodos da escola francesa avaliam as alternativas aos pares, estabelecendo relações de classificação

ou dominância entre elas e assumindo a possibilidade de incomparabilidade.

Entre os métodos da escola americana mais utilizados, destacam-se o AHP e o ANP, enquanto os mais utilizados da escola francesa são o PROMETHEE e o ELECTRE [13].

Consoante a isso, um método MCDA também pode ser categorizado de acordo com o grau de compensação empregado na avaliação das alternativas [39]:

- Compensatório: considera que a compensação é absoluta entre as diferentes avaliações que podem existir. Neste método, um mau desempenho em um critério pode facilmente ser compensado por um bom desempenho em outro critério;
- Não compensatório: não é aceita qualquer compensação entre as diferentes dimensões de avaliação. Todas as dimensões são importantes o suficiente para recusar qualquer tipo de compensação ou substituição.

### B.2.1. Método AHP

O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) tem como intuito promover uma abordagem para lidar com os aspectos intuitivos e racionais de um processo de decisão, refletindo o que parece ser um método natural de funcionamento da mente humana. A técnica AHP, caracterizada como um método compensatório e da escola americana, emprega comparações pareadas dos critérios em relação ao objetivo do estudo, e das alternativas em relação a cada critério, de modo a aprimorar a objetividade e reduzir os aspectos subjetivos do processo decisório [23]. É uma metodologia que ajuda a obter um conjunto de ponderações de importância, necessitando para isso de um conjunto de critérios de seleção desejáveis e apropriados.

O processo hierárquico analítico (AHP) fornece a alternativa de compromisso, sendo composto por quatro etapas [22].

- Estruturação do problema;
- Cálculo de prioridades (ou pesos);
- Avaliação de consistência;
- Análise de sensibilidade.

A primeira etapa corresponde à representação estruturada do problema, permitindo o desmembramento do problema original complexo em subproblemas, geralmente mais fáceis de serem resolvidos. A representação estruturada pode ser visualizada em uma forma hierárquica, que se apresenta como um arranjo estratificado para representar as relações de influência, sendo útil para decompor um problema complexo numa pesquisa de explicações causa-efeito [21]. Os componentes que formam uma cadeia linear se apresentam em três ou mais níveis de hierarquia, conforme representado na Figura 1.

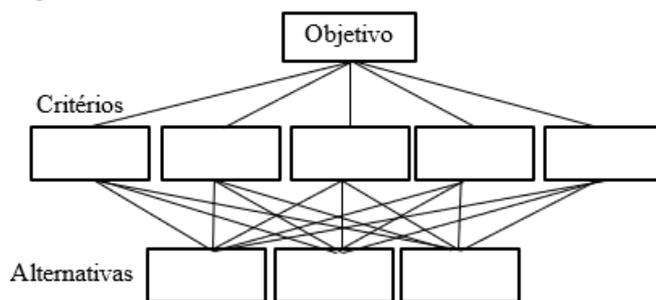


Figura 1 – Estruturação Hierárquica do problema [21]

A segunda etapa está relacionada ao cálculo de prioridades, que serão interpretadas como os pesos empregados para ordenar a importância das alternativas e critérios de decisão. Seguindo a fase de estruturação do problema, três tipos de prioridades são calculados:

- a) Prioridade dos critérios;
- b) Prioridades locais das alternativas;
- c) Prioridade global das alternativas.

Para se obter o cálculo de prioridades, é necessária a transformação da escala verbal para a escala numérica, conforme escala fundamental definida por Saaty [21] e apresentada na Tabela 1.

Escala Numérica	Escala Conceitual	Descrição
1	Igual	Os dois elementos comparados contribuem igualmente para o objetivo.
2	Moderada	O elemento comparado é ligeiramente importante ao outro.
5	Forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente o elemento em relação ao outro.
7	Muito Forte	O elemento comparado é muito mais forte em relação ao outro, e tal importância pode ser observada na prática.
9	Absoluta	O elemento comparado apresenta o mais alto nível de evidência possível a seu favor.
2,4,6,8	Valores Intermediários entre dois julgamentos, utilizados quanto o decisor sentir dificuldade ao escolher entre dois graus de importância adjacentes.	

Tabela 1 – Escala Fundamental de Saaty [21]

Com o mapeamento da escala verbal para uma numérica, obtém-se a matriz de comparação, caracterizada como recíproca, pois os valores na parte triangular superior são o recíproco (inverso) dos valores da parte triangular inferior [22].

Para o cálculo de prioridades, pode ser utilizado o método aproximado que se baseia nos seguintes passos [22]:

- a) Soma dos elementos de uma coluna  $j$ :

$$s_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

- b) Normalização dos valores de comparação:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{s_j}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

- c) Cálculo do vetor prioridade pela média da linha  $i$ :

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}}{n}, \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

O cálculo do vetor de prioridades  $\mathbf{p}$  pode ser obtido a partir da solução do problema de autovalores e autovetores representado pela equação  $\mathbf{A}\mathbf{p} = \lambda\mathbf{p}$ , conforme indicado por Saaty [6]. Qualquer valor  $\lambda$  satisfazendo esta equação é chamado de autovalor e  $\mathbf{p}$  é o autovetor associado. O valor de  $\lambda$  será igual a  $n$  quando a matriz for perfeitamente consistente, o que geralmente não ocorre [22].

Embora não seja obrigatória, é fortemente recomendável a avaliação de consistência [22] das comparações pareadas que

comporão as matrizes de comparação, a fim de detectar possíveis contradições nos seus valores. Quando várias comparações pareadas são efetuadas, elas podem contradizer uma a outra. Entre os motivos para a existência de contradições, citam-se:

- a) Definição vaga do problema;
- b) Falta de informação;
- c) Incerteza de informações;
- d) Falta de concentração no momento da comparação.

Entretanto, quando utilizado o método de linearização para preenchimento automático da matriz de comparação, não há necessidade de avaliação da consistência da matriz de comparação, visto que basta o decisor realizar as comparações apenas da primeira linha da matriz de comparação que os demais valores são preenchidos automaticamente. Desta forma, fica garantida a consistência de todas as comparações que compõem a matriz de comparação [40]. A Figura 2 apresenta a forma de construção da matriz de comparação a partir do emprego desta técnica.

	C1	C2	C3	C4	...	Cn
C1	C <sub>C1/C1</sub>	C <sub>C1/C2</sub>	C <sub>C1/C3</sub>	C <sub>C1/C4</sub>	...	C <sub>C1/Cn</sub>
C2	$\frac{C_{C1/C1}}{C_{C1/C2}}$	C <sub>C2/C2</sub>	$\frac{C_{C1/C3}}{C_{C1/C2}}$	$\frac{C_{C1/C4}}{C_{C1/C2}}$	...	$\frac{C_{C1/Cn}}{C_{C1/C2}}$
C3	$\frac{C_{C1/C1}}{C_{C1/C3}}$	$\frac{C_{C1/C2}}{C_{C1/C3}}$	C <sub>C3/C3</sub>	$\frac{C_{C1/C4}}{C_{C1/C3}}$	...	$\frac{C_{C1/Cn}}{C_{C1/C3}}$
C4	$\frac{C_{C1/C1}}{C_{C1/C4}}$	$\frac{C_{C1/C2}}{C_{C1/C4}}$	$\frac{C_{C1/C3}}{C_{C1/C4}}$	C <sub>C4/C4</sub>	...	$\frac{C_{C1/Cn}}{C_{C1/C4}}$
...	...	...	...	...	...	
Cn	$\frac{C_{C1/C1}}{C_{C1/Cn}}$	$\frac{C_{C1/C2}}{C_{C1/Cn}}$	$\frac{C_{C1/C3}}{C_{C1/Cn}}$	$\frac{C_{C1/C4}}{C_{C1/Cn}}$	...	C <sub>Cn/Cn</sub>

Figura 2- Matriz Preenchida pelo Procedimento de Linearização do Processo de Comparação

A última etapa, representada pela análise de sensibilidade, também não é obrigatória [22]. Nesta etapa, os dados de entrada, comumente o peso dos critérios, são ligeiramente modificados a fim de verificar o impacto sobre os resultados. Quando os dados forem modificados e a ordenação não mudar, ou mudar minimamente, significa que os resultados originais são robustos, caso contrário são ditos sensíveis a mudança.

### B.2.2. Método PROMETHEE

A sigla PROMETHEE vem da expressão *Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation* e fornece ao decisor uma ordenação de alternativas baseada em grau de preferência [28]. O PROMETHEE é um método da escola francesa também conhecido como um método de avaliação de dominância (*outranking method*) para um conjunto finito de alternativas a serem ordenadas com base em critérios, que muitas vezes são conflitantes [29].

O Método PROMETHEE é dividido em três etapas [22], sendo elas:

- a) Cálculo dos graus de preferência para todo o par ordenado de alternativas em relação a cada critério;
- b) Cálculo dos fluxos unicritério;
- c) Cálculo dos fluxos globais.

Um grau de preferência é uma pontuação entre zero e um, que expressa o quanto uma alternativa é preferível em relação à outra, do ponto de vista do tomador de decisão. Quando o valor é igual a um, o grau de preferência terá uma significância

forte ou total para uma das alternativas em relação ao critério considerado, e se não há preferência, então o seu grau de preferência é zero. Se há alguma preferência, mas não uma preferência total, a intensidade desta medida será um valor entre zero e um, definido por uma função de preferência [22].

A avaliação do quanto uma alternativa é mais preferível em relação à outra é feita baseado nas funções de preferência dos critérios e nos limiares de indiferença ( $q$ ) e preferência ( $p$ ) [30].

O método PROMETHEE compara as alternativas usando as funções definidas com base nos valores de diferença de desempenho ( $d$ ) e nos limiares de indiferença e preferência, usualmente empregando uma das seis funções [29] [42]:

- a) Critério usual: quando não se emprega os limiares.

$$H(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d = 0 \\ 1, & \text{se } d \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

- b) Quase-Critério: quando se define apenas o parâmetro  $q$  (limiar de indiferença).

$$H(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } -q \leq d \leq q \\ 1, & \text{se } d < -q \text{ ou } d > q \end{cases} \quad (5)$$

- c) Critério de Preferência Linear: quando se define apenas o parâmetro  $p$  (limiar de preferência).

$$H(d) = \begin{cases} \frac{d}{p}, & \text{se } -q \leq d \leq q \\ 1, & \text{se } d < -q \text{ ou } d > q \end{cases} \quad (6)$$

- d) Critério de Nível: quando se definem os parâmetros  $q$  e  $p$  e os graus de preferência se limitam a três diferentes valores.

$$H(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } |d| \leq q \\ 1/2, & \text{se } q < |d| \leq p \\ 1, & \text{se } p < |d| \end{cases} \quad (7)$$

- e) Critério de Preferência linear com zona de Indiferença: quando se definem os parâmetros  $q$  e  $p$  e os graus de preferência assumem valores contínuos no intervalo definido pelos limiares.

$$H(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } |d| \leq q \\ \frac{|d| - q}{p - q}, & \text{se } q < |d| \leq p \\ 1, & \text{se } p < |d| \end{cases} \quad (8)$$

- f) Critério gaussiano: quando o desvio-padrão deve ser definido.

$$H(d) = 1 - \exp\{-d^2/2\sigma^2\} \quad (9)$$

Os graus de preferência obtidos pela comparação das alternativas aos pares, em relação a cada um dos  $k = 1, \dots, m$  critérios, são utilizados para o cálculo dos fluxos unicritério definidos abaixo:

- a) Fluxos positivos, ou de saída:

$$\phi_k^+(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}^k}{n-1} \quad (10)$$

- b) Fluxos negativos, ou de entrada:

$$\phi_k^-(a_i) = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ji}^k}{n-1} \quad (11)$$

- c) Fluxos líquidos:

$$\phi_k(a_i) = \phi_k^+(a_i) - \phi_k^-(a_i) \text{ para } k = 1, \dots, m \quad (12)$$

Os fluxos positivos indicam o quanto uma alternativa é preferível comparada às demais. Por sua vez, os fluxos negativos medem o quanto as demais alternativas são preferíveis a uma alternativa específica [27]. Já os fluxos líquidos levam em conta tanto os aspectos positivos quanto os aspectos negativos, sendo obtida pela diferença dos fluxos positivos e negativos [22].

Os fluxos globais são obtidos pelo uso da ponderação de cada critério, especificados pelo decisor, permitindo que todos os fluxos unicritério (positivo, negativo e líquido) sejam agregados em medidas globais. Estas medidas globais são denominadas, respectivamente, fluxos positivos globais, fluxos negativos globais e fluxos líquidos globais [22].

- a) Fluxo global positivo.

$$\phi^+(a_i) = \sum_{k=1}^m w_k \cdot \phi_k^+(a_i) \quad (13)$$

- c) Fluxo global negativo.

$$\phi^-(a_i) = \sum_{k=1}^m w_k \cdot \phi_k^-(a_i) \quad (14)$$

- c) Fluxo global líquido.

$$\phi(a_i) = \phi^+(a_i) - \phi^-(a_i) \quad (15)$$

### C. Critérios Relevantes na Compra de Sistemas Informatizados

Na literatura, foram propostas diferentes abordagens para auxiliar no processo de aquisição de sistemas informatizados [11], [31], [32]. Na sua maioria, estes trabalhos utilizam múltiplos critérios e avaliações qualitativas no processo de atribuição de pesos a estes critérios. Para situações em que os critérios não estão bem definidos, pode ocorrer a escolha incorreta dos sistemas informatizados [11]. Neste sentido, é necessária a avaliação de critérios pertinentes e consistentes de qualidade e fabricantes de software.

De acordo com McCall, Richards e Walters [43], o primeiro protótipo de modelo de qualidade de software possuía 11 critérios. Estes critérios se apresentavam subdivididos em três categorias:

- a) Uso do produto (características operacionais): corretude, confiabilidade, eficiência, integridade e usabilidade;
- b) Alteração do produto (facilidade para ser alterado): manutenção, flexibilidade, testabilidade;
- c) Transição do produto (adaptabilidade a novos ambientes): portabilidade, reusabilidade,

interoperabilidade.

Com a evolução do modelo de qualidade de software, foi publicada a norma ISO 9126, que padronizou os modelos e os utilizou para produzir um pequeno conjunto de seis características consistentes, que dão cobertura aos principais aspectos de qualidade de software [34]. As características definidas na norma são apresentadas na Figura 3.

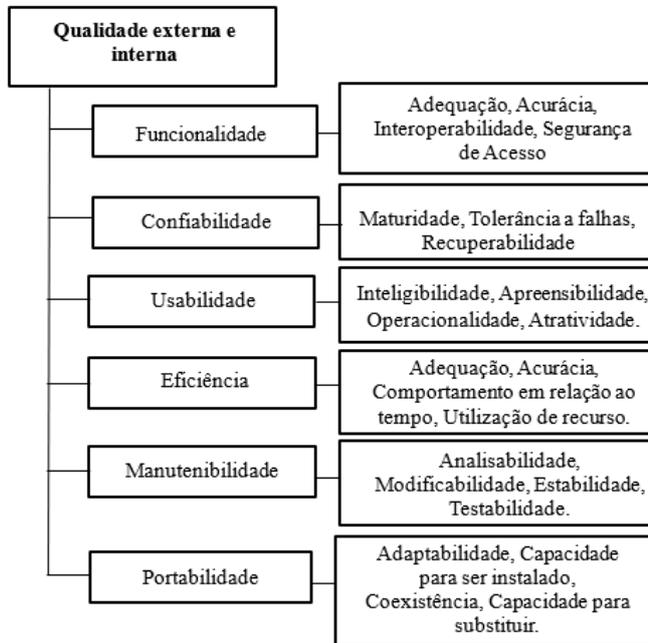


Figura 3 – Critérios de Qualidade de Software [34]

Em outro estudo [35], sugere-se que os fatores de decisão de compra de um sistema informatizado estejam divididos em qualidade do suporte técnico, preço do sistema, experiência do fabricante de software, facilidade de implantação e qualidade técnica do sistema.

Consoante a isto, outros critérios de seleção de um sistema informatizado podem ser destacados, conforme apresentado em [36]:

- a) Melhoria sobre o sistema atual;
- b) Customização;
- c) Interfaces do usuário;
- d) Exigência de desempenho;
- e) Compatibilidade do sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) existente na organização com a proposta de solução;
- f) Integração da solução proposta à arquitetura de hardware já existente;
- g) Arquitetura da solução proposta;
- h) Capacidade (mínima e máxima) da solução proposta;
- i) Escalabilidade do sistema;
- j) Treinamento (interno ou externo à organização);
- k) Performance;
- l) Recursos de segurança;
- m) Implementação de melhorias.

Além dos critérios relacionados ao sistema informatizado, também é importante avaliar alguns critérios relacionados ao fornecedor/fabricante de software, conforme destacados a seguir [36]:

- a) Capacidade de auxiliar a empresa com a implantação;

- b) Disponibilidade de fabricante/fornecedor terceirizado;
- c) Visão (planos futuros e tendências em relação à direção da tecnologia e/ou posicionamento estratégico);
- d) Poderio financeiro;
- e) Participação no Mercado (volume de vendas, tamanho);
- f) Taxa de crescimento anual;
- g) Suporte ao cliente;
- h) Reconhecimento do produto pelo mercado;
- i) Variedade de produtos;
- j) Capacidade de atender necessidades futuras;
- k) Capacidade de fornecer referências;
- l) Reputação;
- m) Visão e/ou posicionamento estratégico do fabricante/fornecedor de software;
- n) Longevidade do fabricante/fornecedor;
- o) Qualificações, experiência e sucesso na entrega de soluções para organizações de porte semelhante, complexidade e local de abrangência;
- p) Qualidade da proposta comercial do fabricante/fornecedor de software;
- q) Comprovação na compreensão dos requisitos, restrições e preocupações;
- r) Plano de implantação que posicione adequadamente a solução proposta para assegurar o nível máximo de benefícios de negócio;
- s) Serviços de instalação;
- t) Estratégia de implantação;
- u) Serviços de suporte.

Em outro trabalho [37], foram tabuladas 1008 avaliações respondidas por gerentes de 126 organizações diferentes, resultando em cinco atributos significativos para recomendar a compra de um sistema informatizado adquirido de diferentes fabricantes de software, também chamados de softwares empacotados. Os atributos significativos recomendados foram os seguintes:

- a) Funcionalidade;
- b) Confiabilidade;
- c) Custo;
- d) Facilidade de personalização;
- e) Facilidade de uso.

Em outra pesquisa, também foram elencados atributos importantes para a avaliação de sistemas informatizados comprados, que estão prontos para uso [38]. Estes critérios foram assim listados:

- a) Qualidade;
- b) Disponibilidade/Robustez;
- c) Segurança;
- d) Desempenho do produto;
- e) Compreensibilidade;
- f) Facilidade de uso;
- g) Compatibilidade de versão;
- h) Compatibilidade entre componentes;
- i) Flexibilidade;
- j) Facilidade de Instalação/Atualização;
- k) Portabilidade;
- l) Funcionalidade;
- m) Preço;
- n) Maturidade;
- o) Suporte a Fornecedores;

p) Treinamento.

Esta seção apresentou diferentes critérios indetificados na literatura e que podem ser utilizados para auxiliar na tarefa de seleção de um sistema informatizado para aquisição por empresas de diferentes ramos de atuação. O conjunto de critérios identificados foi utilizado como uma base teórica para a definição dos critérios empregados no modelo de decisão desenvolvido no presente estudo.

### III. MATERIAL E MÉTODOS

Para condução da proposta deste trabalho, que corresponde ao desenvolvimento de um modelo de decisão multicritério para auxílio à tomada de decisão na aquisição de sistemas informatizados, foi utilizado como base o modelo de processo apresentado na Seção B1 do Referencial Teórico e detalhado nesta seção.

Geralmente, a compra de um sistema informatizado no âmbito das organizações exige um investimento financeiro considerável, de forma que a tomada de decisão conduzida pelos gestores necessita ser efetiva, com a identificação da melhor alternativa. Diante deste fato, primeiramente é necessário elencar as alterantivas, representadas neste estudo pelos fabricantes ou pelos próprios sistemas a serem avaliados para compra. O modelo aqui proposto possui um caráter genérico, destinado a auxiliar o processo de decisão sobre a aquisição de sistemas informatizados de qualquer tipo.

No desenvolvimento do modelo de decisão, o passo seguinte à especificação do conjunto de alternativas é representado pela seleção dos critérios que deverão suportar os pontos relevantes para a melhor decisão de compra. Estes critérios foram definidos com base no resultado obtido da aplicação de uma consulta técnica junto a especialistas da área de Tecnologia da Informação.

A partir da pesquisa bibliográfica descrita na Seção C do Referencial Teórico, os critérios foram separados de acordo com as características do sistema informatizado e do fabricante de software. No total, foram identificados 65 critérios, sendo 44 critérios relacionados ao sistema informatizado e 21 critérios relacionados ao fabricante de software.

Para determinação da lista de critérios a serem inseridos no questionário, foram consultados trabalhos relacionados à qualidade de software (NBR ISO/IEC 9126) e às etapas do processo de compra de sistemas, dentre os quais, sistemas *Enterprise Resource Planning* (ERP).

De posse dos critérios identificados, foram retirados os duplicados, restando um total de 32 critérios distintos. Com a identificação dos critérios relevantes, foi elaborado um formulário de pesquisa com duas questões:

a) Questão 1: Com caráter fechado, esta pergunta solicita ao respondente indicar, por ordem de importância, quais critérios ele considera relevante, sendo composta pelos critérios de sistema informatizado e fabricante. O critério de sistema informatizado contendo 13 subcritérios e o critério do fabricante contendo 19 subcritérios, totalizando 32 subcritérios.

b) Questão 2: Com caráter aberto, esta questão solicita ao respondente indicar outros critérios, também em ordem de importância, que ele entende como relevantes na decisão sobre a aquisição de um sistema informatizado, informando separadamente por sistema informatizado e fabricante. O

Anexo A apresenta o formulário de pesquisa desenvolvido.

O formulário de pesquisa elaborado foi submetido aos cargos de gerentes, supervisores e líderes administrativos da área de TI da empresa em estudo, onde existe a prática de aquisição de sistemas informatizados de diferente natureza.

A pesquisa possibilitou a identificação dos aspectos relevantes a serem levados em consideração no modelo de decisão. Os atributos inseridos no modelo foram definidos com base nos critérios que foram designados por mais de 50% dos respondentes. Aplicando esta regra, foi definido um total de 21 critérios identificados como fundamentais para uma decisão adequada acerca da compra de um sistema informatizado. Além do primeiro conjunto de critérios identificado, outros dois critérios foram acrescidos mediante análise das respostas trazidas para a segunda questão, totalizando 23 critérios que comporão o modelo de decisão.

Com a aplicação desta pesquisa, foi possível identificar os subcritérios de caráter genérico que podem, de acordo com o contexto, serem utilizados na tarefa de tomada de decisão para compra de sistemas informatizados. Os dois critérios com seus subcritérios são assim divididos:

#### Critérios do Sistema Informatizado:

- a) Funcionalidade;
- b) Confiabilidade;
- c) Usabilidade;
- d) Eficiência;
- e) Manutenibilidade;
- f) Portabilidade;
- g) O sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) existente na organização é compatível com a proposta de solução;
- h) Treinamento (interno ou externo à organização);
- i) Custo;
- j) Robustez do sistema;
- k) Compatibilidade de versão;
- l) Facilidade de atualização;
- m) Motivação da equipe em relação ao software.

#### Critérios do Fabricante:

- n) Capacidade de auxiliar com a implantação;
- o) Visão (planos futuros e tendências em relação à direção da tecnologia e ou posicionamento estratégico);
- p) Participação no Mercado (volume de vendas, tamanho);
- q) Suporte ao cliente;
- r) Reconhecimento do produto pelo mercado;
- s) Capacidade de fornecer referências;
- t) Reputação;
- u) Qualificações, experiência e sucesso na entrega de soluções para organizações, complexidade e alcance geográfico semelhantes;
- v) Facilidade de implantação;
- w) Experiência do consultor de implantação.

Em relação à escolha do método, utilizado para avaliar de forma adequada as alternativas no conjunto de atributos relevantes para tomada de decisão, foi utilizada uma abordagem baseada em métodos de análise multicritério, visto

que demonstram eficiência na avaliação conjunta e abrangente dos aspectos relevantes de um processo de seleção de sistemas de informação. Para este tipo de análise de decisão, há relatos da utilização do método AHP [11] e do método PROMETHEE [30]. Também há evidências da utilização dos dois métodos de maneira conjunta na seleção de equipamentos [31], que é a abordagem adotada no presente estudo.

Para o emprego adequado dos métodos de análise multicritério, comumente, os desempenhos das alternativas em cada um dos critérios definidos no modelo são reunidos em uma estrutura denominada matriz de decisão ou matriz de desempenho [41]. Com o objetivo de auxiliar nesta etapa e observar as particularidades das metodologias AHP e PROMETHEE, adotadas neste trabalho, foi desenvolvida uma ferramenta sistêmica para auxílio na aplicação do método para tomada de decisão.

A. Ferramenta Sistêmica para Tomada de Decisão

Com base nas informações reunidas neste estudo e elucidadas anteriormente, foi desenvolvida uma ferramenta flexível de fácil utilização e baixo custo. Este desenvolvimento foi baseado no referencial teórico indicando a utilização das metodologias AHP e PROMETHEE.

O sistema considera as informações do método AHP de forma dinâmica e poderá tratar até 25 subcritérios. Este método foi empregado de forma parcial, sendo utilizado apenas para definição das ponderações dos critérios e subcritérios do modelo de decisão. O método se baseia na construção de matrizes de comparação de pares de critérios e subcritérios, por meio da definição dos graus de importância com base na escala fundamental. Para a conversão da escala verbal para a escala numérica de comparação par-a-par, foi utilizada a escala de 1 a 9 conforme Tabela 1.

Para evitar que a matriz preenchida pelos responsáveis apresente avaliações inconsistentes, foi utilizado o método de linearização de preenchimento automático da matriz de comparação, conforme descrito na Seção B.2.1. Com o uso desta técnica, não há a necessidade de utilização do cálculo da consistência e o decisor precisa definir apenas as comparações da primeira linha da matriz de comparação dos critérios e da matriz de comparação dos subcritérios de Sistema Informatizado e Fabricante. Uma vez fornecidos estes valores, os demais valores da matriz de comparação são preenchidos automaticamente, conforme definido na Figura 2.

A matriz de comparação dos critérios, relacionados ao Sistema Informatizado e ao Fabricante, conforme apresentado na Figura 4, permitirá a determinação dos pesos destes dois critérios.

	Sistema Informatizado C1	Fabricante C2
Sistema Informatizado		
Fabricante		

Figura 4 – Matriz de Comparação dos Critérios

Outras duas matrizes de comparação serão utilizadas, uma para avaliar os 13 subcritérios do critério de Sistema Informatizado e outra para avaliar os 10 subcritérios do critério Fabricante. A estrutura hierárquica do problema de decisão em estudo é apresentada na Figura 5.

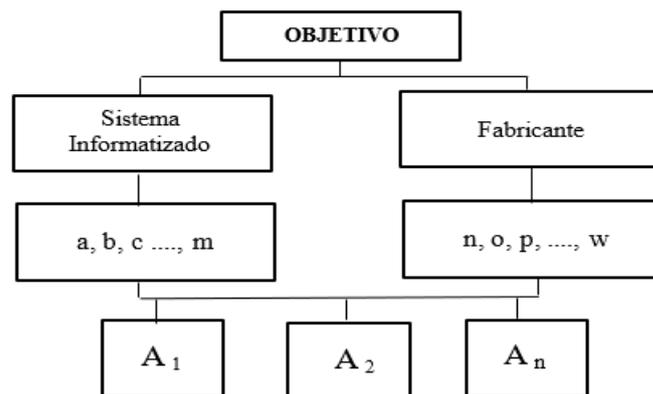


Figura 5 – Estrutura Hierárquica do Problema de Decisão

Para o cálculo da priorização dos critérios e subcritérios, é empregado o método aproximado definido pelas equações (1) a (3), apresentadas na Seção B.2.1.

Em função da utilização conjunta dos métodos AHP e PROMETHEE, o nível da estrutura hierárquica correspondente às alternativas será avaliado conforme metodologia do método PROMETHEE.

Após a etapa de definição das ponderações dos critérios e subcritérios, a metodologia tem seu prosseguimento com o emprego do método PROMETHEE para a avaliação das alternativas. As informações necessárias para a realização desta etapa deverão ser fornecidas e reunidas conforme apresentado na Figura 6. Nesta tela, são visualizadas as informações exigidas pelo método PROMETHEE, isto é, as informações de desempenho das alternativas em cada um dos critérios, os melhores e piores desempenho, bem como os respectivos limiares de preferência (p) e indiferença (q).

	Critério 1	Critério 2	Critério 3	...	Critério 23
Alternativa 1					
Alternativa 2					
Alternativa 3					
Alternativa 4					
...					
Alternativa n					
Pior Desempenho					
Melhor Desempenho					
Limiar q					
Limiar p					

Figura 6 – Cadastro de Desempenhos das alternativas × critérios

Para avaliação dos graus de preferência entre os pares de alternativas, o método PROMETHEE emprega as funções de preferência definidas com base nos limiares p e q. Dentre as funções apresentadas na Seção B.2.2, na ferramenta desenvolvida, foi utilizada a função de preferência linear com zona de indiferença, conforme apresentado na Figura 7 e cujo equacionamento é definido na Seção B.2.2, item (e). A escolha desta função justifica-se pelo seu caráter mais abrangente e por permitir ao tomador de decisão considerar a variação do grau de preferência de forma linear.

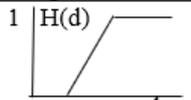
Tipo de Critério	Representação	Parâmetros
Critérios de Preferência com zona de Indiferença		q, p

Figura 7 - Preferência Linear com zona de indiferença [29]

Uma vez definidos os parâmetros necessários para aplicação do método, o sistema efetuará automaticamente os cálculos dos fluxos positivos, que representam o quanto uma alternativa é mais preferível comparada às demais, e os fluxos negativos, que representam o quanto as demais alternativas são preferíveis a uma alternativa específica. Os fluxos líquidos serão obtidos pela diferença entre os fluxos positivos e negativos.

Na sequência, são computados os fluxos globais, por meio da agregação de todos os fluxos unicritério (positivo, negativo e líquido), em medidas globais, pelo emprego das ponderações dos critérios e subcritérios, obtidas anteriormente pelo emprego do método AHP.

Por fim, o sistema apresentará uma tela conforme representada na Figura 8, com o resultado da melhor alternativa e a ordem crescente numérica da melhor para a pior alternativa.

Consulta Resultados	
Ordem	Sistema / Alternativa

Figura 8 – Resultado da Melhor Alternativa

#### IV. RESULTADOS

O modelo de apoio à tomada de decisão foi desenvolvido como o objetivo de auxiliar na identificação da melhor alternativa em um processo decisório de aquisição de um sistema informatizado. A fim de ilustrar a sua aplicabilidade, as etapas finais do processo completo de um estudo decisório, conforme apresentado na Figura 9, são apresentadas nesta seção em detalhes.

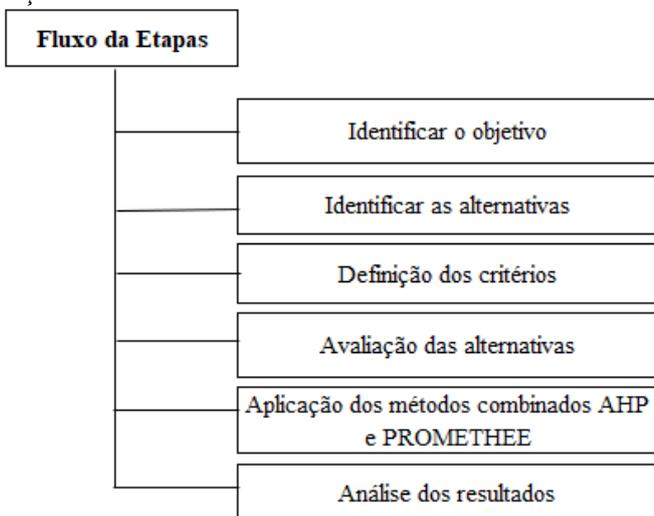


Figura 9: Fluxo das Etapas do Processo Decisório

Para tanto, foi desenvolvido o protótipo de um sistema computacional que é empregado em um caso real de uma empresa que atua no segmento da indústria. Nesta empresa, a área de tecnologia da informação recebe as solicitações de mudança de sistemas das áreas de negócio e, quando estas mudanças exigem um alto investimento de horas de desenvolvimento interno, em conjunto com a área demandante da solicitação de mudança de sistemas, define-se pela compra de uma solução informatizada pronta de mercado.

Neste caso real, foi aplicado o modelo de auxílio à tomada de decisão para a aquisição de um novo sistema de *procurement*, que engloba as etapas e tarefas referentes à administração de toda a cadeia logística de uma empresa.

É importante observar que o estudo decisório aqui exemplificado, compreendendo o uso do modelo de decisão desenvolvido em conjunto com os métodos de análise multicritério, por meio do protótipo computacional construído, é apenas uma possibilidade das várias às quais o modelo se aplica.

Para aplicar o modelo de decisão, utilizou-se a ferramenta sistêmica para tomada de decisão desenvolvida. A primeira tela da ferramenta é apresentada na Figura 10, correspondendo à tela principal e utilizada para acessar as demais telas e as instruções de uso da solução sistêmica.

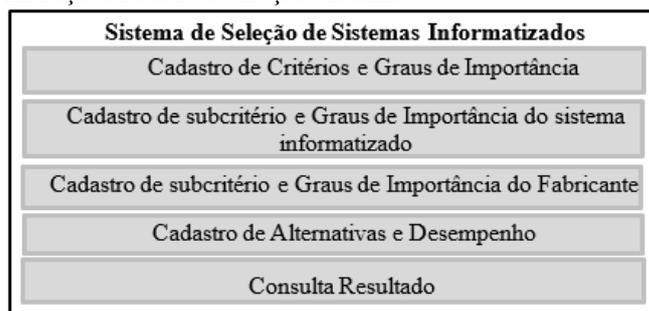


Figura 10 – Tela Inicial do Sistema.

Para acessar a tela de definição da ponderação dos critérios e subcritérios pelo método AHP, utilizou-se três botões apresentados da seguinte forma:

a) Cadastro dos Critérios e Graus de Importância: o usuário é direcionado para a tela que permitirá o cadastro de até dois critérios e a definição dos respectivos graus de importância. Esta tela é apresentada na Figura 12. No caso real avaliado, o critério do Sistema Informatizado apresentou uma importância de 66,67% no processo decisório, enquanto a importância do critério Fabricante foi de 33,33%.

b) Cadastro dos Subcritérios e Graus de Preferência do Sistema Informatizado: esta tela possibilita o cadastrado dos subcritérios do sistema informatizado e a definição dos respectivos graus de importância. O sistema permite receber até 15 subcritérios, mas neste caso real, conforme apresentado na Seção Material e Métodos, foram utilizados 13 subcritérios. Os subcritérios são apresentados no sistema no mesmo formato que os critérios apresentados na Figura 12. Dentre os subcritérios avaliados no estudo, aquele que apresentou maior relevância foi a Facilidade de Atualização com 37,2% de importância.

c) Cadastro dos Subcritérios e Graus de Preferência do Fabricante: esta tela possibilita o cadastrado dos subcritérios do fabricante e a definição dos respectivos graus de importância. O sistema permite receber até 10 subcritérios,

conforme apresentado na Seção Material e Métodos. Os subcritérios são apresentados no sistema no mesmo formato que os critérios apresentados na Figura 11. Dentre os subcritérios avaliados no estudo, aqueles que apresentaram maior relevância para o processo decisório foram Capacidade de auxiliar com a implantação; Suporte ao cliente; Reconhecimento do produto pelo mercado; Capacidade de fornecer referências e Reputação, cada um com 15,0% de importância na avaliação das alternativas.

Os valores dos graus de preferência do primeiro subcritério em relação aos demais, para ambos os critérios Sistema Informatizado e Fabricante, são apresentados no anexo B. Conforme apresentado na Figura 2, basta a definição da primeira linha da respectiva matriz de comparação para que a matriz seja conhecida de forma integral, por conta da determinação automática dos demais valores de comparação.

Retorna tela Principal			Cadastro de Critérios e Graus de Importância		
Critérios de Avaliação	Sistema Informatizado	Fabricante de Software			
	Grau de Importância	Grau de Importância			
Sistema Informatizado	1,00	2,00			
Fabricante de Software	0,50	1,00			
4,50	1,50	3,00			
	0,6666667	0,3333333			

Figura 11: Cadastro dos Critérios e Graus de Importância

As informações do método PROMETHEE foram atribuídas na tela de Cadastro das Alternativas e Desempenhos, conforme apresentado de forma resumida na Figura 12 e apresentada em sua totalidade no Anexo C. Esta tela é dinâmica e poderá receber até 10 alternativas, 15 subcritérios de sistema informatizado e 10 subcritérios do fabricante. Conforme apresentado na Seção III, neste caso real foram utilizadas 4 alternativas, 13 subcritérios de sistema informatizado e 10 subcritérios do fabricante.

Retorna tela Principal			Cadastro das Alternativas e Desempenho		
Tipo de Critério	Subcritérios do sistema Informatizado	Subcritérios do Fabricante			
	Max	Max			
	Facilidade de Utilização	Experiência do Consultor de Implantação			
Sistema Informatizado A	7	6			
Sistema Informatizado B	6	6			
Sistema Informatizado C	4	6			
Sistema Informatizado D	8	6			
Limiar q	1	0			
Limiar p	3	0			
Peso do Subcritério	0,3719	0,0500			

Figura 12 – Tela de Cadastro de Alternativas e Desempenho

Durante a construção do sistema, identificou-se a ausência de validações que garantissem a entrada de informações no formato correto. Desta forma, utilizou-se funções avançadas denominadas de *Visual Basic for Applications* (VBA), em alguns pontos do sistema:

- Todas as alternativas devem possuir o desempenho dos critérios informados;
- Os limiares *p* e *q* devem ser fornecidos para todos os

critérios;

Após o preenchimento das informações necessárias, o sistema desenvolvido apresentou uma ordenação das alternativas do sistema de *procurement* avaliadas, conforme apresentado na Figura 13. Esta tela, além de exibir a ordenação das alternativas através do uso de um sequencial numérico crescente (1, 2, 3, ...), também apresenta as respectivas pontuações, possibilitando ao tomador de decisão a escolha da alternativa que se entende mais adequada.

Retorna tela Principal		Consulta Resultados			
	Ordem	Sistemas	Fluxo Positivo	Fluxo Negativo	Fluxo Líquido
✘	2	Sistema Informatizado A	0,2126	0,0166	0,2180
✘	3	Sistema Informatizado B	0,1739	0,9790	0,0398
✘	4	Sistema Informatizado C	0,0028	0,6248	-0,6111
✔	1	Sistema Informatizado D	0,3313	0,0000	0,3533

Figura 13 – Tela de Resultados

Para o caso avaliado como exemplo de aplicação, a solução de *Procurement* mais aderente é representada pelo sistema informatizado D, com 33,83 % de preferência de escolha. Na sequência, o sistema informatizado A, com 30,46%, seguido pelos sistemas informatizados B e C, respectivamente com 25,99% e 9,72% de preferência.

## V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou as etapas de construção de um modelo de decisão multicritério para auxílio à tomada de decisão referente à aquisição de sistemas informatizados em contextos genéricos.

A metodologia para auxílio à tomada de decisão foi baseada no Referencial Teórico descrito na Seção B. Na Seção C do Referencial Teórico, foram apontados os critérios de qualidade para aquisição de um sistema informatizado. Com base nos critérios apresentados, aplicou-se uma pesquisa conforme Anexo A, que permitiu identificar os critérios genéricos mais relevantes a serem empregados em um processo decisório de compra de um sistema informatizado.

O emprego dos métodos AHP e PROMETHEE de forma combinada, juntamente com a identificação dos critérios apropriados, possibilitou o desenvolvimento do sistema informatizado de auxílio à tomada de decisão, conforme descrito na Seção de Material e Métodos.

A ferramenta sistêmica para tomada de decisão foi empregada no cenário real de uma empresa do segmento da indústria com o objetivo de decidir sobre a aquisição de um sistema informatizado de *procurement*.

Com relação à experiência dos usuários com o sistema, o mesmo apresentou facilidade de parametrização e uso, mas exige atenção para que a entrada de dados seja feita corretamente para gerar um resultado válido. Diante dos métodos utilizados, o sistema oferece uma visão clara para o tomador de decisão sobre o melhor sistema informatizado a ser comprado, bem como, obter subsídios necessários para avaliar não somente a melhor opção, mas também a segunda melhor opção de sistema informatizado, caso durante o processo de negociação com o fabricante de software ocorra

algum imprevisto.

Desta forma, conclui-se que, assim como outros estudos já realizados [11], [31], [32], é viável utilizar os métodos aplicados neste trabalho, pois serve de apoio para uma melhor tomada de decisão, principalmente quando considerada uma série de alternativas e critérios conflitantes.

Embora o embasamento utilizado no desenvolvimento deste trabalho, uma oportunidade de trabalho futuro é a inclusão de um recurso que permita a análise de sensibilidade ou até mesmo a utilização de outras metodologias não consideradas neste trabalho, para avaliar o comportamento das decisões na aquisição de sistemas informatizados.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Felipe Baena et al., “Learning Factory: The Path to Industry 4.0,” *Procedia Manufacturing*, vol 9, pp. 73-80, 2017.
- [2] Belvedere, Valeria, Alberto Grando, and Paola Bielli. “A Quantitative Investigation of the Role of Information and Communication Technologies in the Implementation of a Product-service System,” *International Journal of Production Research*, 51 (2): 410 – 426, 2013.
- [3] H. Kagermann, J. Helbig, A. Hellinger, and W. Wahlster, “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0,” *Securing the future of German manufacturing industry*, 2013.
- [4] Yongxin Liao, Fernando Deschamps, Eduardo de Freitas Rocha Loures & Luiz Felipe Pierin Ramos. “Past, present and future of Industry 4.0- a systematic literature review and research agenda proposal,” *International Journal of Production Research*, 2017.
- [5] Hofmann, Erik; Ruesch, Marco, “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics,” *Computers in industry*, 2017.
- [6] Alessio Ishizaka, Philippe Nemery, “Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software,” *Ed. Wiley*, 2013.
- [7] Michael Rüßmann et al., “Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries,” *Boston Consulting Group*, vol. 9, 2015.
- [8] Zheng, Pai; Wang, Honghui; Sang, Zhiqian; et al. “Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives,” *Frontiers of Mechanical of Engineering*, Volume: 13 Edição: 2 Páginas: 137-150, Jun 2018.
- [9] Guendler, Vivian; Duarte, Marina Dantas de Oliveira e Almeida, Adiel Teixeira de., “Sistema de apoio à decisão multicritério para seleção de projetos.” *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2009.
- [10] Sevinc, Ali; Gur, Seyda; Eren, Tamer, “Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 Applications by Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process,” *Process* Volume: 6 Edição: 12 Número do artigo: 264, Dec 2018.
- [11] Mirian Picinini Méxas Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas Helder Gomes Costa, “Multicritério Aplicado à Seleção de Sistemas de Informação: Uma Revisão Bibliográfica,” *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão*, 6 pp 366-383, 2011.
- [12] Ivy B. Huang a, Jeffrey Keisler b, Igor Linkov c, “Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends,” *Science of the Total Environment*, 409(19), pp.3578-3594, 2011.
- [13] De Sá, K. V.B. Metodologias Multicriteriais e as Decisões sobre Investimentos Geridos pela Área de Novos Negócios das Empresas IN: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 32, Rio Grande do Sul: ENEGEP, 2012.
- [14] Durbach, I.N., Stewart, T.J., “Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis,” *European Journal of Operational Research*, 2012.
- [15] Henning Kagerman; Wolfgang Wahlster; Johannes Helbig, “Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group,” *Forschungsunion, Acatech*, vol. 8, 2013.
- [16] Xu, Li Da; Xu, Eric L.; Li, Ling, Industry 4.0: “Industry 4.0 state of the art and Future Trends,” *International Journal of Production Research*, 2018.
- [17] Xu, Li Da; Xu, Eric L.; Li, Ling, at al. Xu 2015, 2016 “Industry 4.0: State of the art and Future Trends,” *International Journal of Production Research*, 2018.
- [18] Baotong Chen1, Jiafu Wan 1, (Member, IEEE), Lei Shu2,3, (Senior Member, IEEE), Peng Li4, Mithun Mukherjee5, (Member, IEEE), And Boxing Ying6, “Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges,” in *IEEE Access*, March 9, 2018.
- [19] Alessio Ishizaka, Philippe Nemery et al. Linkov et al. (2004, 2006). “Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software,” *Ed. Wiley*, 2013.
- [20] Keeney RL. Value focused thinking. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1992, at al. Figueira J., Greco, S,Ehrgott , “Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys,” 2005.
- [21] Cheung, SO; Lam, TI; Wan, YW; et al. (HMSO 1985; Franks 1990; Love et al. 1998). “Improving objectivity in procurement selection,” *Journal Of management in Engineering*,” 2001.
- [22] Saaty, Thomas L. “How to make a decision: The analytic hierarchy process.” *European Journal of Operational Research*, Volume 48, Issue 1, pp. 09-26, 1990.
- [23] Cheung, SO; Lam, TI; Wan, YW; et al. (Saaty1988). “Improving objectivity in procurement selection,” *Journal Of management in Engineering*, 2001.
- [24] De Sá, K. V.B. Metodologias Multicriteriais e as Decisões sobre Investimentos Geridos pela Área de Novos Negócios das Empresas IN: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 32, Rio Grande do Sul: ENEGEP, 2012.
- [25] Cheung, SO; Lam, TI; Wan, YW; et al. (Saaty1988) et al. (1491-1556) e Benjamin Franklin (1706-1790). “Improving objectivity in procurement selection,” *Journal Of management in Engineering*, 2001.
- [26] Almeida, Adiel Teixeira de. “Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério”. Ed. Atlas, 2013.
- [27] Behzadiana, Majid; (Brans et al., 1986). et al. Promethee: “A comprehensive literature review on methodologies and applications.” *European Journal of Operational Research*, Volume 200, Issue 1, Pages 198-215, 2010.
- [28] Brans JP., Mareschal B. Promethee Methods. In: “Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys.” *International Series in Operations Research & Management Science*, vol 78. Springer, New York, NY, 2005.
- [29] Bras, J.P.; Vincke, Ph.; Mareschal, B. “How to select and how to rank projects: The Promethee method.” *European Journal of Operational Research*. Volume 24, Issue 2, Pages 228-238, 1986.
- [30] Guendler , Vivian; Duarte, Marina Dantas de Oliveira e Almeida, Adiel Teixeira de. “Sistema de apoio à decisão multicritério para seleção de projetos.” *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2009.
- [31] Dağdeviren, M., “Decision making in equipment selection: An integrated approach with AHP and PROMETHEE,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2008.
- [32] Shing-Ko Lian, Chi-Tai Lien, “Selecting the Optimal ERP Software by Combining the ISO 9126 Standard and Fuzzy AHP Approach.”

*Contemporary Management Research*, Pages 23-44, Vol.3, No.1 2007.

- [33] Shing-Ko Lian, Chi-Tai Lien, "Selecting the Optimal ERP Software by Combining the ISO 9126 Standard and Fuzzy AHP Approach." *Contemporary Management Research*, Pages 23-44, Vol.3, No.1, 2007.
- [34] Comissão de Estudo de Qualidade de Software, "NBR ISO/IEC 9126-1 -ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas," 2003.
- [35] Nôga Simões, "Matriz de decisão para contratação de software," e-commercebrasil, 2017.
- [36] Verville, J; Haltingen, A, "A six-stage model of the buying process for ERP software," *Industrial Marketing Management*, Volume:32 Edição:7 Páginas: 585-594, 2003.
- [37] Keil, M; Tiwana, A. "Relative importance of evaluation criteria for enterprise systems: a conjoint study," *Information Systems Journal*, Volume: 16 Edição: 3 Páginas: 237-262, 2006.
- [38] Wybo, Michael; Robert, Jacques; Leger, Pierre-Majorique, "Using search theory to determine an applications selection strategy," *Information & Management*, Volume: 46 Edição: 5 Páginas: 285-293, 2009.
- [39] Adel Guitoun, Jean-Marc Martel at el. G. Colson, C. De Bruyn, "Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method," *European Journal of Operational Research*, 1998.
- [40] Vasconcelos, G.R.M.; Mota, C.M.M. "Modelo Multicritério de Comparação Par a Par Baseado no AHP: Proposta de Linearização do Processo de Comparação" XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2014.
- [41] Govindan, Kannan; Kadzinski, Milosz; Sivakumar, R., "Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain." *Omega-International Journal of Management Science*, Volume: 71 Páginas: 129-145 Publicado: SEP 2017.
- [42] Adiel Teixeira de Almeida; Ana Paula Cabral Seixas Costa, "Modelo de Decisão Multicritério para Priorização de Sistemas de Informação com Base no Método PROMETHEE," *Gestão da Produção*, v.9, n.2, p.201-214, ago. 2002
- [43] J. McCall, P. Richards, G. Walters, (1977). Factors in software quality, NTIS AD-A049-014,-15, 055, 1997.

## ANEXO A - PESQUISA

Olá, meu nome é Enio José Moroni, trabalho na área de Tecnologia da Informação e estou concluindo o curso de Pós-Graduação em Engenharia 4.0. Dessa forma, gostaria de contar com sua colaboração para o preenchimento desta pesquisa, que servirá como base de estudo para o trabalho de conclusão do curso, o qual tem como objetivo identificar quais critérios devem ser avaliados para a aquisição de sistemas informatizados de fabricante de software.

O tempo de resposta é estimado em 10 minutos.

1-Quais critérios você entende como necessários de serem avaliados para a aquisição de sistemas informatizados do fabricante do software? *Se possível numerar os critérios de maneira sequencial crescente (1,2,3...), do mais importante para o menos importante do campo "[ ]". Aqueles que entende não serem necessários, mantenha em branco).*

1.2 Critérios do Sistema Informatizado a ser adquirido:

### [ ] Funcionalidade:

Adequação - Capacidade do produto de software de prover um conjunto apropriado de funções para tarefas e objetivos do usuário especificados.  
Acurácia - Capacidade do produto de software de prover, com o grau de precisão necessário, resultados ou efeitos corretos ou conforme acordados.

Interoperabilidade - Capacidade do produto de software de interagir com um ou mais sistemas especificados.

Segurança de acesso - Capacidade do produto de software de proteger informações e dados, de forma que pessoas ou sistemas não autorizados não possam lê-los nem modificá-los e que não seja negado o acesso às pessoas ou sistemas autorizados.

### [ ] Confiabilidade:

Maturidade - Capacidade do produto de software de evitar falhas decorrentes de defeitos no software.

Tolerância a falhas - Capacidade do produto de software de manter um nível de desempenho especificado em casos de defeitos no software ou de violação de sua interface especificada.

Recuperabilidade - Capacidade do produto de software de restabelecer seu nível de desempenho especificado e recuperar os dados diretamente afetados no caso de uma falha.

### [ ] Usabilidade:

Inteligibilidade - Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário compreender se o software é apropriado e como ele pode ser usado para tarefas e condições de uso específicas.

Aprendibilidade - Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário aprender sua aplicação.

Operacionalidade - Capacidade do produto de software de possibilitar ao usuário operá-lo e controlá-lo.

Atratividade - Capacidade do produto de software de ser atraente ao usuário.

### [ ] Eficiência:

Comportamento de performance - Capacidade do produto de software de fornecer tempos de resposta e de processamento, além de taxas de transferência, apropriados, quando o software executa suas funções, sob condições estabelecidas.

Utilização de Recursos - Capacidade do produto de software de usar tipos e quantidades apropriados de recursos, quando o software executa suas funções sob condições estabelecidas.

### [ ] Manutenibilidade:

Analisabilidade - Capacidade do produto de software de permitir o diagnóstico de deficiências ou causas de falhas no software, ou a identificação de partes a serem modificadas.

Modificabilidade - Capacidade do produto de software de permitir que uma modificação especificada seja implementada.

Estabilidade - Capacidade do produto de software de evitar efeitos inesperados decorrentes de modificações no software.

Testabilidade - Capacidade do produto de software de permitir que o software, quando modificado, seja validado.

### [ ] Portabilidade:

Adaptabilidade - Capacidade do produto de software de ser adaptado para diferentes ambientes especificados, sem necessidade de aplicação de outras ações ou meios além daqueles fornecidos para essa finalidade pelo software considerado.

Capacidade de ser instalado - Capacidade do produto de software para ser instalado em um ambiente especificado.

Coexistência - Capacidade do produto de software de coexistir com outros produtos de software independentes, em um ambiente comum, compartilhando recursos comuns.

Capacidade de substituir - Capacidade do produto de software de ser usado em substituição a outro produto de software especificado, com o mesmo propósito e no mesmo ambiente.

### 1.2 Critérios do Sistema informatizado Gerais:

[ ] Compatibilidade do sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) existente na organização com a proposta

de solução.

- Treinamento (interno ou externo à organização).
- Custo.
- Robustez do sistema.
- Compatibilidade de versão.
- Facilidade de atualização.
- Motivação da equipe em relação ao software.

1.3. Critérios do Fabricante de Software:

- Capacidade de auxiliar a empresa com a implantação.
- Visão (planos futuros e tendências em relação à direção da tecnologia e/ou posicionamento estratégico
- Poderio Financeiro.
- Participação no Mercado (volume de vendas, tamanho).
- Taxa de crescimento anual.
- Suporte ao cliente.
- Reconhecimento do produto pelo mercado.
- Variedade de produtos.
- Capacidade de atender necessidades futuras.
- Capacidade de fornecer referências.
- Reputação.
- Visão e / ou posicionamento estratégico do fabricante de software.
- Longevidade do Fabricante/Fornecedor.
- Qualificações, experiência e sucesso na entrega de soluções para organizações de porte semelhante, complexidade e local de abrangência.
- Qualidade da proposta comercial do fabricante/fornecedor de software.
- Comprovação na compreensão dos requisitos, restrições e preocupações.
- Plano de implementação que posicione adequadamente a solução proposta para assegurar o nível máximo de benefícios de negócio.
- Serviços de implantação.
- Estratégia de implantação.

2- Na sua visão, existem outros critérios a serem acrescentados além dos acima relacionados? *(Se possível informar os critérios na ordem sequencial, do mais importante para o menos importante).*

2.1 Critérios do Sistema informatizado a ser adquirido:

---



---



---

2.2 Critérios do Fabricante de Software:

---



---



---

ANEXO B – GRAUS DE IMPORTÂNCIA

Graus de Importância do Sistema Informatizado												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	3,00	0,33	1,00

Figura 14 - Graus de Importância dos Subcritérios do Sistema Informatizado

Graus de Importância do Fabricante									
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1,00	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00

Figura 15 - Graus de Importância dos Subcritérios do Fabricante

ANEXO C – SUBCRITÉRIOS

Subcritérios do Sistema Informatizado													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Sistema Informatizado A	7	6	6	6	5	7	7	7	1.256.000,00	7	7	7	8
Sistema Informatizado B	8	8	7	7	5	7	5	7	1.509.540,00	7	7	6	5
Sistema Informatizado C	5	4	3	5	2	3	3	5	2.230.000,00	5	2	4	7
Sistema Informatizado D	8	9	7	7	5	8	8	7	1.119.270,00	8	8	8	8
Limiar p	2	3	2	2	1	1	2	1	80.000	1	1	1	1
Limiar q	2	4	3	2	3	4	4	2	100.000	3	5	3	3

Figura 16 - Subcritérios do Sistema Informatizado

Subcritérios do Fabricante										
	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Sistema Informatizado A	6	8	7	6	6	8	6	6	8	7
Sistema Informatizado B	6	7	5	8	5	7	6	7	7	7
Sistema Informatizado C	6	8	5	6	5	3	3	4	6	6
Sistema Informatizado D	6	8	8	8	6	9	7	8	8	7
Limiar p	0	1	1	1	1	2	1	2	1	0
Limiar q	0	1	3	2	1	5	4	4	2	1

Figura 17 - Subcritérios do Fabricante