



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Proposta de um modelo de análise misto para ranqueamento e classificação de fornecedores

Mayara Scheuer

Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção (PPGE) - Universidade Federal do Paraná - UFPR

Marcos Augusto Mendes Marques

Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção (PPGE) - Universidade Federal do Paraná - UFPR

Fabiano Oscar Drozda

Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção (PPGE) - Universidade Federal do Paraná - UFPR

Resumo: O aumento da geração e utilização de dados é uma realidade das organizações, quando eles são utilizados para geração de conhecimento tornam-se uma vantagem competitiva. A cadeia de suprimentos possui grande impacto nas organizações que têm como objetivo manter-se competitivas, por isso deve-se considerar a escolha de fornecedores como um fator decisório na gestão de seus insumos. Isso pode ser feito por meio de técnicas estatística básicas ou por técnicas estatísticas multivariadas ou multicritérios. Neste cenário, onde é necessário a classificação de fornecedores para obter vantagens competitivas e a utilização de técnicas multivariadas como solução, é que este trabalho está inserido. Objetiva-se, por meio de uma pesquisa quantitativa e aplicada, propor um modelo de análise multicritério combinado com multivariado (modelo misto) para ranqueamento e classificação de fornecedores, para isso foi combinado cinco métodos (Lawshe, AHP, ELECTRE III, K-médias, análise discriminante de Fisher) e obteve-se como resultado um modelo misto para ranqueamento e classificação de fornecedores, desenvolvido no Microsoft Excel.

Palavras-chave: Ranqueamento de fornecedores, Classificação de fornecedores, Análise multivariada, Análise multicritério.

Proposal of a mixed analysis model for ranking and classifying suppliers.

Abstract: The increase in data generation and utilization is a reality for organizations, and when data is used to generate knowledge, it becomes a competitive advantage. The supply chain has a significant impact on organizations aiming to stay competitive, so the choice of suppliers must be considered a critical factor in the management of their inputs. This can be done through basic statistical techniques or multivariate or multicriteria statistical techniques. In this context, where supplier classification is necessary to gain competitive advantages and the use of multivariate techniques is a solution, this study is positioned. The objective is, through quantitative and applied research, to propose a mixed model combining multicriteria and multivariate analysis for supplier ranking and classification. To achieve this, five methods were combined (Lawshe, AHP, ELECTRE III, K-means, Fisher's discriminant analysis), resulting in a mixed model for supplier ranking and classification, developed in Microsoft Excel.

Keywords: Supplier ranking. Supplier classification. Multivariate analysis. Multicriteria analysis.

1. Introdução

Nos últimos anos, notou-se um aumento significativo na geração de dados, isto se deve principalmente pela grande utilização de tecnologias da informação, as quais são responsáveis pelo alto volume e velocidade em que tais dados são gerados através da utilização de softwares, celulares, relógios inteligentes, etc (SARTORELLI et al., 2019). Alguns dados proporcionam conhecimento quando analisados por meio de técnicas estatísticas univariadas. Porém, com o aumento da complexidade e volume da geração de dados, muitas análises precisam de técnicas multivariadas para que se transformem em conhecimento. Quando técnicas estatísticas são aplicadas para geração de conhecimento, isto pode se tornar um auxiliador na tomada de decisão organizacional, tornando as organizações mais competitivas (HAIR et al., 2009).

Segundo Wu et al. (2007), devido à alta complexidade exigida pelo mercado, as organizações buscam focar em sua função de maior excelência e subcontratar atividades que sejam auxiliares ao seu processo por meio de fornecedores estratégicos. De acordo com Yoon et al. (2018), para as empresas que desejam se manter competitivas, a seleção a partir do ranqueamento de fornecedores é um fator decisivo na gestão de suprimentos.

Neste cenário, a busca de iniciativas para melhorar o desempenho global da cadeia de suprimentos, principalmente quando se trata do fornecimento de produtos é algo que as empresas devem considerar em sua estratégia de negócio. Segundo Yoon et al. (2018), para as empresas que desejam se manter competitivas, a seleção de fornecedores é um fator decisivo na gestão de suprimentos. Isto porque a seleção de bons fornecedores impacta diretamente no sucesso da cadeia de fornecimento e consequentemente no desempenho da organização.

Considerando a importância da escolha de bons fornecedores e o auxílio para as empresas nessa tomada de decisão, existem métodos que podem ser utilizados para a escolha de fornecedores os quais trazem benefícios para a organização, podendo ser utilizados individualmente ou em conjunto. No entanto, definir quais métodos e critérios devem ser considerados na escolha de fornecedores depende do pesquisador, da área de estudo e da necessidade do mercado em que se aplica tais métodos. Deste modo, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de análise multicritério combinado com multivariado (modelo misto) para ranqueamento e classificação de fornecedores.

2. Materiais e Métodos

Inicialmente obteve-se a base de dados dos critérios para seleção de fornecedores da Empresa X, com o objetivo de propor um método o mais próximo aos critérios utilizados na realidade do negócio. Após a obtenção da base, efetuou-se a análise comparativa entre os critérios utilizados na seleção de fornecedores da Empresa X com os encontrados a partir da Revisão Sistemática da Literatura, com o objetivo de identificar a existência de relacionamento entre os critérios mais utilizados para o ranqueamento de fornecedores.

A pesquisa adotou o método ProKnow-C do LabMCDA para a seleção do portfólio bibliográfico, o que permitiu uma análise estruturada e reduziu a subjetividade no processo de revisão (Afonso et al., 2012).

A primeira busca por materiais foi realizada combinando no mínimo duas palavras-chave, relacionadas à classificação e ao objeto do estudo, que são os fornecedores. Foram usadas expressões como "classificação fornecedores", "ranqueamento fornecedores" e suas versões em inglês. A busca foi feita no Portal de Periódicos CAPES, que oferece acesso a

uma vasta gama de conteúdos acadêmicos. No entanto, a quantidade de materiais encontrados foi muito grande, totalizando 93.837 resultados, o que indicou a necessidade de refinar a pesquisa para alcançar maior precisão.

Para focar nos métodos e critérios de classificação de fornecedores, foram adicionadas as palavras-chave "multivariada" e "multicritério (MCDA)", utilizando operadores booleanos como "e" e "and" para restringir os resultados. As bases de dados escolhidas foram Scopus e ScienceDirect, pois apresentaram o maior volume de materiais relevantes ao tema.

A partir da primeira amostra de 895 artigos obtidos na etapa anterior, iniciou-se o processo de filtragem para obtenção do portfólio bibliográfico. Para obter uma amostra inicial mais precisa, filtraram-se os artigos que tinham acesso livre, desta forma, obteve-se 578 artigos.

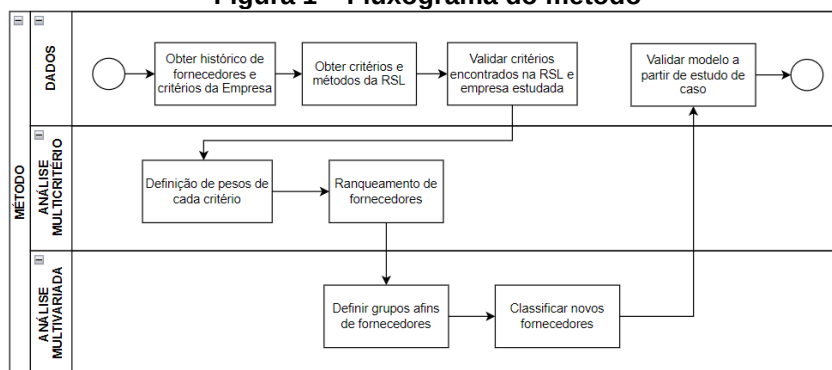
Após identificação dos artigos duplicados, obtiveram-se 538 artigos. Resultando, posteriormente, na leitura dos títulos dos materiais encontrados e na primeira amostra focada no assunto do estudo, resultando em 265 artigos. Após a leitura dos títulos, definiu-se o período de análise após o ano de 2015 para a leitura dos resumos e filtragem dos artigos em que o resumo estivesse alinhado com o objetivo da revisão, com a filtragem de ano resultou uma amostra para a próxima etapa de 141 artigos. Por fim, leu-se os resumos dos artigos para identificar quais possuíam o objetivo alinhado ao tema. Nesta etapa obteve-se a amostra final estudada, totalizando 102 artigos.

A partir dos critérios da RSL relacionados com os da base de dados da empresa, validou-se os mesmos através do método de Lawshe com pesquisa direta à especialistas. Com os critérios selecionados, definiu-se os pesos respectivos pelo método AHP. Depois utilizou-se o método multicritério ELECTRE III para ranqueamento da base de fornecedores.

A partir dos fornecedores ranqueados, aqueles com características afins foram agrupados através do método de agrupamento k-médias, para a definição de grupos de fornecedores comuns. Essa etapa resulta em dois grupos de fornecedores: os que possuem uma classificação adequada para o fornecimento e os que possuem pontos de melhoria.

Com os grupos de fornecedores definidos, é possível classificar um novo fornecedor em algum dos grupos obtidos por meio da análise Discriminante de Fischer.

Figura 1 – Fluxograma do método



Fonte: O autor (2022)

3. Referencial teórico

3.1 Análise multivariada e multicritério

Um conjunto de dados que contenha mais de duas variáveis de interesse é passível de ser considerado multivariado. Portanto, 'a análise multivariada de dados é utilizada nos casos onde os dados, de um ou mais objetos de interesse de uma amostra são mensurados por medidas simultâneas ou por diversas variáveis de interesse' (MARQUES, 2005, p. 20).

Objetivando relacionamentos duradouros, frequentemente, as organizações buscam tomar as decisões baseadas em vários critérios. Os métodos de análise de decisão multicritério foram desenvolvidos para dar suporte ao tomador de decisão, e proporcionam etapas e técnicas para definir uma solução que satisfaz os envolvidos, ou seja, encontrar uma solução de compromisso (ISHIZAKA; NEMERY, 2013).

3.1.2 Método de Lawshe

O método desenvolvido por Lawshe (1975) é utilizado para validar itens existentes de questionários utilizados na literatura. É baseado na aplicação de questionários à especialistas, os quais avaliam os critérios em três categorias: essencial; importante, mas não essencial; não essencial. Segundo SILVA et. al (2018), o método possui 5 etapas:

- a) Definição de critérios: Deve-se definir os critérios utilizados na validação;
- b) Avaliação dos critérios: Avalia-se as preferências a partir da aplicação de um questionário à especialistas, os quais julgam os critérios do conjunto inicial;
- c) Cálculo do CVR (Content Validity Ratio): Após o resultado do questionário, calcula-se o CVR de cada critério.
Segundo Lawshe (1975), tem-se um CVR positivo quando mais de 50% dos especialistas definem o critério analisado como sendo “essencial”. Quando menos de 50% definem o critério como essencial, o CVR é negativo. E quando 50% consideram o critério como essencial, é zero.
- d) Cálculo do CVR Crítico: Segundo Silva et al (2018), o CVR Crítico é baseado na aproximação da distribuição binomial pela normal. Calcula-se então o número mínimo de especialistas que devem considerar o critério como essencial para que ele seja mantido e validado, e depois obtém-se o CRV Crítico.
- e) Comparação e validação dos critérios: Nesta etapa compara-se CVR calculado de cada critério com o limiar de corte, CVR Crítico, obtém-se como resultado da comparação a verificação dos critérios que serão mantidos e os que serão descartados da composição final. Segundo Lawshe (1975) quando os CVR calculados estão menores que o CVR crítico, tais critérios podem ser excluídos, os que estão maiores devem ser mantidos da composição final.

3.1.2 Método das K-médias

O método das k-médias consiste em um algoritmo composto por uma técnica computacional utilizado quando é necessário separar os itens em grupos, definidos como clusters (MACQUEEN, 1967). Esses grupos de dados são definidos por meio de utilização de técnicas de medidas de distância entre os itens. O agrupamento é realizado através da aplicação de uma função objetivo e a otimização da mesma, com o objetivo de encontrar n clusters. O número de clusters é representado pelos centroides (FURLAN, 2014). O objetivo do algoritmo K-médias é obter uma partição que minimiza o erro quadrático (SSE) de um número k de cluster (CANÊDO, 2019).

O autori afirma que o algoritmo k-médias é composto por seis etapas, sendo elas:

- a) Definição preliminar do número de clusters;
- b) Definição dos centroides iniciais;
- c) Cálculo da distância de cada objeto por cada centroide e construção da matriz de distância na iteração 0;
- d) Agrupamento de objetos com alocação por menor distância;
- e) Determinação dos novos centroides a partir da identificação dos componentes de todos os grupos e definição das novas associações;
- f) Comparação do último agrupamento, onde os objetos não possuem alteração nos grupos. Resultando em clusters estáveis e sem necessidade de iteração;

3.1.3 Análise discriminante de Fischer

A Análise Discriminante Linear de Fischer objetiva encontrar funções matemáticas que conseguem classificar um indivíduo ou uma observação X em uma entre várias populações π_i ($i = 1, 2, \dots, g$), baseado em medidas de p características minimizando a probabilidade de má classificação (VARELLA, 2008). Considerando μ_i o vetor de médias e Σ a matriz de covariâncias comum das populações π_i sendo conhecidos, define-se que a função linear do vetor aleatório X que é responsável por maximizar a separação de duas populações.

Para uma observação x_0 o valor da função discriminante pode ser definido por:

$$D(x_0) = [\mu_1 - \mu_2]' \cdot \Sigma^{-1} \cdot x_0$$

A regra de classificação baseada na função discriminante de Fisher consiste em:

Se $D(x_0) = [\mu_1 - \mu_2]' \cdot \Sigma^{-1} \cdot x_0 \geq m$ alocar x_0 em π_1

Se $D(x_0) = [\mu_1 - \mu_2]' \cdot \Sigma^{-1} \cdot x_0 < m$ alocar x_0 em π_2

Substituindo os parâmetros μ_1, μ_2, Σ pelas suas respectivas quantidades amostrais $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ e S_c obtém-se a função discriminante linear amostral de Fisher:

$$D(x) = \hat{L}' \cdot x = [\bar{x}_1 - \bar{x}_2]' \cdot S_c^{-1} \cdot x$$

Onde:

$D(x)$: função discriminante linear amostral de Fisher;

$\hat{L}'$: estimativa do vetor discriminante;

$\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$ média amostral da população π_1 e π_2 , respectivamente;

3.1.4 Analytic Hierarchy Process – AHP

O AHP é utilizado para resolver problemas complexos, a partir da decomposição destes em hierarquias, porém ele pode ser utilizado apenas para a definição dos pesos dos critérios (BLAGOJEVIC et al., 2019). Segundo Colin (2019), a partir deste método pode-se construir hierarquias para entendimentos subjetivos, sendo definidos em quatro etapas:

- a) Representação de hierarquia: Simplificação do problema em níveis hierárquicos;
- b) Comparações de pares: Define-se os pesos dos fatores que impactam o objetivo através da comparação em níveis de relação imediatamente superior na hierarquia. A definição dos pesos é feita a partir da escala numérica de Saaty (Saaty, 2008).

A partir das comparações par a par dos critérios e definição dos pesos, obtém-se a matriz de julgamento e o número de interações necessárias para sua definição. Essa matriz resulta em relações recíprocas, ou seja, para cada comparação e definição do peso do critério na posição linha i e coluna j na matriz de julgamentos, haverá um valor igual a $1/X_{ij}$ na posição recíproca (SAATY, 1991) e possui duas premissas:

- i) $X_{ij} = \frac{1}{X_{ji}}$, ou seja, se $X_{ij} = u$, então $X_{ji} = \frac{1}{u}$ para $X_{ij}u \neq 0$
- ii) Se o critério ou a alternativa for julgada com igual importância com relação a outro (a), então $X_{ij} = X_{ji} = 1$
- c) Método do autovalor: Define-se as prioridades relativas de cada critério. Segundo Colin (2019), partir do conhecimento dos pesos relativos de cada critério de um problema com n elementos, obtém-se uma matriz de julgamentos dos pares. É necessário avaliar se os julgamentos são consistentes quando comparados a grandes amostras de julgamentos aleatórios. Para isso, calcula-se a Razão de Consistência (RC) (LIMA et. al, 2015), seguindo a premissa que: se $RC > 0,1$ (10%), os julgamentos não são confiáveis e recomenda-se que o analista reanalise os julgamentos dos pares da matriz de comparações. Já, se $RC \leq 0,1$ (10%), segue-se com a matriz de comparações, pois ela é confiável.

Para o calcular o RC, calcula-se o maior autovalor da matriz A ($\lambda_{m\acute{a}x}$), quanto mais pr3ximo esse valor estiver do n3mero de fatores, mais consistente ser3 a matriz de julgamentos A. Depois calcula-se o 3ndice de Consist3ncia (IC), sendo n o n3mero de crit3rios: $IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n) / (n - 1)$ (COLIN, 2019).

Por fim, a Raz3o de Consist3ncia (RC) ou Quociente de consist3ncia (QC) como pode ser chamado tamb3m, 3 calculado atrav3s da equa3o: $RC = IC / IR$. Onde IR (3ndice de consist3ncia) indica um elevado n3mero de compara3es em pares.

- d) Agregaa3o das prioridades e escolha final: Constr3i-se o vetor de prioridades das possibilidades a partir da agregaa3o das prioridades definidas pelo m3todo do autovalor. Para isso, calcula-se as prioridades das alternativas considerando os n3veis i e $i + 1$, atrav3s da multiplica3o das matrizes nestes n3veis de prioridade. A melhor alternativa (vetor de prioridades) 3 representada pelo P_c com maior valor, o qual 3 descrito por $P_c = P_{i+1} P_i$ (COLIN, 2019). Sendo que P_i 3 o vetor de prioridades relativas do n3vel i e P_{i+1} 3 a matriz de prioridades do n3vel $i + 1$

3.1.5 Elimination and Choice Expressing Reality – ELECTRE

Segundo Mota (2020), os m3todos da fam3lia ELECTRE s3o baseados no conceito de sobreclassifica3o, baseado na compara3o par a par de alternativas. Eles utilizam o princ3pio da maioria para avaliar se uma a3o tem evid3ncias suficientes que a favoream em rela3o a outra. Para melhor delimitaa3o dos limites das situa3es de prefer3ncia, define-se limites de toler3ncia para a transi3o de uma situa3o de prefer3ncia para outra, estes crit3rios com limites de toler3ncia s3o chamados de pseudocrit3rios e para cada crit3rios s3o definidos limites de indifer3ncia e prefer3ncia. Estes definem as diferenas a serem obtidas para que a rela3o entre as a3es se torne rela3es fundamentais. Outro limite a ser definido 3 o limite de veto, este fixa um valor para a diferenas $g_j(b) - g_j(a)$

Limite de prefer3ncia (p): $aPb \Leftrightarrow g(a) - g(b) > +p$

Limite de indifer3ncia (q): $aIb \Leftrightarrow -q = g(a) - g(b) = +q$

Situa3o de prefer3ncia fraca: $aQb \Leftrightarrow q < g(a) - g(b) < p$

Limite de veto (v): Se $g_j(a) + V_j < g_j(b) \Rightarrow \text{N3o } (aSb)$, para $\forall j$;

Considerando A um conjunto de alternativas e $g_j(a)$ a avalia3o das decis3es conforme um crit3rio i ($i = 1, 2, \dots, n$), pode-se aplicar a rela3o de sobreclassifica3o. Segundo Caixeta-Filho e Martins (2014), o objetivo 3 encontrar rela3o de domin3ncia entre as alternativas, ou seja, aceitar que “a alternativa a 3 pelo menos t3o boa quanto a alternativa b ”. Para isso, pode-se utilizar um conjunto de alternativas e obter a avalia3o dos mesmos a partir de um conjunto de crit3rios. Assim, tem-se que para um conjunto A de decis3es pode-se aplicar a rela3o de sobreclassifica3o, resultando em uma alternativa a pelo menos t3o boa quanto uma alternativa b , (a sobreclassifica b (aSb)). 3 necess3rio esclarecer dois conceitos:

- i) Concord3ncia: situa3o em que um subconjunto dos crit3rios, sendo ele consider3vel, define a alternativa a (fracamente) prefer3vel a b .
- ii) Discord3ncia: Inexist3ncia de crit3rios com maior prefer3ncia da alternativa b em rela3o a a , que ultrapasse o limite aceit3vel.

A fam3lia ELECTRE 3 composta por cinco m3todos, os quais possuem diferentes problem3ticas. O m3todo utilizado neste estudo foi o ELECTRE III, pois ele objetiva a ordenaa3o das alternativas, incluindo na modelagem dois limites de prefer3ncia e indifer3ncia, como tamb3m utiliza a no3o de pseudocrit3rio, que modela situa3es de Prefer3ncia estrita (P), Prefer3ncia fraca (Q) e Indifer3ncia (I) (MOTA, 2020).

- a) Construção das relações de classificação: As alternativas do problema são comparadas par a par e avaliadas conforme limiares definidos pelo decisor. Os métodos ELECTRE utilizam limiares de indiferença e preferência na construção de relações. Ao utilizar o limiar de indiferença (q), definimos o limite em que uma alternativa pode atingir até ser indiferente à outra. O limiar de preferência (p), surge da necessidade do decisor avaliar a relação de indiferença para preferência estrita, ou seja, há a necessidade da introdução de uma zona nebulosa entre indiferença e preferência estrita, como também uma zona intermediária entre preferência e indiferença, tornando-se, uma preferência fraca. Definindo assim que:

$$aPb \text{ (a tem preferência forte a b)} \Leftrightarrow g(a) - g(b) > p$$

$$aQb \text{ (a tem preferência fraca a b)} \Leftrightarrow q < g(a) - g(b) < p$$

$$aIb \text{ (a é indiferente a b, e b é indiferente a a)} \Leftrightarrow |g(a) - g(b)| < q$$

Após definição de preferências, valida-se se aSb , por meio de dois princípios:

- i) Princípio de concordância: É o princípio da maioria e para validá-lo calcula-se o índice de concordância $C(a, b)$ para cada par de alternativas.
 - ii) Princípio de discordância: É o princípio de minorias, onde utiliza-se o limiar de veto (v_j), pois ele admite que aSb seja recusada totalmente por todos os critérios j , ou seja, $g_j(b) > g_j(a) + v_j$. Calcula-se, o índice de discordância $d_j(a, b)$ para cada par de alternativas.
 - iii) Índice de credibilidade: Após definir estes índices, calcula-se o índice de credibilidade ou grau de sobreclassificação, determinando a força de que “ a é pelo menos tão boa quando b ”.
- b) Exploração das relações de classificação: Na segunda fase é feito a destilação ascendente e descendente, essas pré-classificações resultam na classificação final. Constrói-se as pré-ordens de classificações parciais denominadas $Z1$ (destilação ascendente) e $Z2$ (destilação descendente). Para definir $Z1$, escolhe-se a melhor qualificação do conjunto, chamada de primeira destilação $D1$. Se $D1$ tem mais de um membro, repete-se o processo no conjunto $D1$ até que todas as alternativas sejam classificadas, então deve-se continuar com o conjunto original menos $D1$, repetindo até todas as alternativas serem classificadas, o mesmo processo é feito para definir $Z2$, com a diferença que se escolhe-se a pior qualificação do conjunto, chamada de primeira destilação e última posição. Após a definição de $Z1$ e $Z2$, faz-se a intersecção para a classificação final, ou seja, $Z = Z1 \cap Z2$.

4. Aplicação do método proposto e resultados obtidos

4.1 Definição dos critérios a serem considerados

A análise dos 102 artigos identificou 68 métodos diferentes utilizados na classificação, ranqueamento e seleção de fornecedores, com uma preferência por cinco principais. O método mais popular é o TOPSIS (Técnica para preferência de pedido por semelhança com a solução ideal), utilizado por 31% dos autores, seguido pelo AHP (Processo de Hierarquia Analítica) com 28%. Outros métodos recorrentes incluem os da família ELECTRE (Eliminação e Escolha como expressão da realidade), o método de entropia e o VIKOR (Otimização Multicritério e Solução de Compromisso). Além disso, os critérios mais comuns para a aplicação desses métodos são relacionados ao meio ambiente, qualidade, custo, entrega, financeiro, econômico e social, que representam 81,4% dos critérios analisados.

Analisou-se a utilização de subcritérios, sendo que qualidade, meio ambiente, custo e entrega somaram 48,2% dos subcritérios mencionados. Apesar de não haver padronização entre critérios e subcritérios, a análise conjunta permitiu padronizar as informações e uma melhor definição dos atributos mais recorrentes na literatura. No total, os critérios de

qualidade, meio ambiente, custo, entrega, flexibilidade, financeiro, tecnologia e preço foram os mais mencionados, representando cerca de 90% dos critérios encontrados.

Após a análise dos critérios da literatura, mesclou-se em uma análise comparativa os critérios da literatura aplicados na construção civil com os critérios obtidos na base de dados da empresa e mencionados em no mínimo um artigo encontrado na literatura. Obteve-se uma amostra final de 13 critérios, os quais são apresentados na Figura 1.

Após a seleção dos critérios, é realizado a validação deles pelos especialistas por meio do método de Lawshe, com a validação obteve-se os critérios utilizados no método, sendo eles: qualidade, custo, garantia e negociação (Figura 1)

Figura 1 – Resultados obtidos do método Lawshe

ID	CRITÉRIOS	ne (Especialistas que consideraram essencial)	CÁLCULO DO CVR	CVR CRÍTICO	RESULTADO DOS CRITÉRIOS
c1	Meio ambiente	6	0,00	0,57	Excluir
c2	Qualidade	11	0,83	0,57	Manter
c3	Financeiro	5	-0,17	0,57	Excluir
c4	Reputação	7	0,17	0,57	Excluir
c5	Custo	10	0,67	0,57	Manter
c6	Flexibilidade	5	-0,17	0,57	Excluir
c7	Prazo	8	0,33	0,57	Excluir
c8	Relacionamento	6	0,00	0,57	Excluir
c9	Atendimento	5	-0,17	0,57	Excluir
c10	Certificações	6	0,00	0,57	Excluir
c11	Entrega	7	0,17	0,57	Excluir
c12	Garantia	11	0,83	0,57	Manter
c13	Negociação	10	0,67	0,57	Manter

Fonte: O autor (2021)

4.2 Definição dos pesos dos critérios

A segunda etapa é a definição dos pesos pelo método AHP a partir dos critérios definidos pelo método de Lawshe. O AHP foi utilizado apenas para definição dos pesos, por isso a estruturação do problema consiste em dois níveis hierárquicos, sendo: a definição do objetivo e dos critérios, não sendo considerado a seleção de alternativas (FIGURA 13), pois esta etapa foi desenvolvida pelo método ELECTRE III. Após a definição da hierarquia, foi construído a matriz de comparação entre os critérios, a qual o usuário possui responsabilidade na comparação par a par de cada critério, resultando na matriz de julgamentos a partir da importância definida de cada fator. A partir da execução do método, o modelo realiza o cálculo de consistência para determinar se os julgamentos são confiáveis ou não. Portanto, se o resultado for consistente a célula de RC fica verde, caso contrário fica vermelha, alertando o usuário a necessidade de reanálise dos julgamentos.

FIGURA 2 – Desenvolvimento AHP

VALORES DA COMPARAÇÃO PAR A PAR	CRITÉRIOS	MATRIZ DE JULGAMENTOS/COMPARAÇÃO			
		Qualidade	Custo	Garantia	Negociação
	Qualidade	1	3	7	6
	Custo	1/3	1	3	6
	Garantia	1/7	1/3	1	1
	Negociação	1/6	1/6	1	1
	SOMA	1 2/3	4 1/2	12	14

NORMALIZAÇÃO E PRIORIZAÇÃO	CRITÉRIOS	MATRIZ NORMALIZADA				PESO - FATOR DE PRIORIZAÇÃO
		Qualidade	Custo	Garantia	Negociação	
	Qualidade	0,609	0,667	0,583	0,429	57,18%
	Custo	0,203	0,222	0,250	0,429	27,59%
	Garantia	0,087	0,074	0,083	0,071	7,89%
	Negociação	0,101	0,037	0,083	0,071	7,33%
	PESO - FAT. PRIORIZAÇÃO	57,18%	27,59%	7,89%	7,33%	

DEFINIÇÃO DOS PESOS DA COMPARAÇÃO	CRITÉRIOS	MATRIZ NORMALIZADA				SOMA DOS PESOS	FATOR DE PRIORIDADE
		Qualidade	Custo	Garantia	Negociação		
	Qualidade	0,572	0,828	0,553	0,440	2,392	4,183
	Custo	0,191	0,276	0,237	0,440	1,143	4,143
	Garantia	0,082	0,092	0,079	0,073	0,326	4,128
	Negociação	0,095	0,046	0,079	0,073	0,294	4,004

CÁLCULO DE CONSISTÊNCIA	SOMA		LAMBDA MÁX	
	16,4591		4,1148	
	IC		0,0383	
	RC		0,0425	

Fonte: O autor (2022)

4.3 Ranqueamento dos fornecedores por meio do método ELECTRE III

Nesta etapa, desenvolveu-se o método ELECTRE III dentro do modelo, o qual possui o objetivo de ranquear a base de fornecedores. Suas principais entradas provenientes das etapas anteriores consistem na definição dos critérios utilizados e pesos dos mesmos. Para inicialização do método ELECTRE III é necessário também duas informações provenientes do usuário, os limiares para a análise (Figura 3), sendo eles os limites de preferência, indiferença e veto, e a lista dos fornecedores com a nota dos mesmos em cada critério.

Considerando as quatro entradas supracitadas obtidas, os cálculos são ativados a partir da seleção de um botão na aba que o usuário tem acesso. A partir da inicialização pelo usuário o modelo foi desenvolvido para operar na construção de cinco matrizes, inicializando na construção da matriz de concordância parcial e discordância parcial, as quais seguem os princípios de concordância e discordância. Com tais matrizes construídas é definido a matriz de concordância global e posteriormente a matriz de credibilidade a qual oferece suporte para definição da matriz de relações. A partir da matriz de relações é realizado a ordenação pessimista e otimista e com a intersecção destas obtém-se o ranqueamento final dos fornecedores da amostra (Figura 4).

Figura 3 – Limites de preferência, indiferença e veto

CRITÉRIOS	Qualidade	Custo	Garantia	Negociação
PESOS	57,18%	27,59%	7,89%	7,33%
p	1	1	1	1
q	0,5	0,8	0,5	0,5
v	2	2	2	2
p - q	0,5	0,2	0,5	0,5
v - p	1	1	1	1

Fonte: O autor (2022)

Figura 4 – Tabela exemplo de ranqueamento de fornecedores

Fornecedores	CRITÉRIOS				Ranqueamento	Classe
	Qualidade	Custo	Garantia	Negociação		
f1	9	3	9	8	1	2
f2	7	3	9	5	2	1
f3	1	10	4	1	1,5	1
f4	3	4	4	9	1,5	1
f5	10	4	8	7	1	2
f6	4	7	5	5	1,5	1

Fonte: O autor (2022)

4.4 Agrupamento dos grupos afins pelo método das K-médias

Com o ranqueamento já definido, implementou-se no modelo o método das k-médias, o qual utiliza o resultado do ranqueamento realizado pelo ELECTRE III para definir os grupos afins entre os fornecedores da base de dados através da iteração e obtenção dos centroides de cada classe.

As iterações são feitas através de um botão chamado “Agrupamento pelo K-médias”, que realiza as interações do método e fornece a menor distância obtida entre os centroides. Após encontrar a menor distância, o tomador de decisão registra a classificação com a menor distância no modelo/planilha pelo botão “Definir classificação final”.

4.5 Classificação de um novo fornecedor por meio da análise discriminante de Fisher

Na última etapa do modelo, é realizada a classificação de um novo fornecedor. Para isso são necessárias duas entradas principais, sendo elas a classificação final de cada fornecedor e as notas do novo fornecedor em cada critério. Com essas informações, calcula-se as médias de cada classe, suas matrizes de covariância e é realizado a manipulação das mesmas seguindo as etapas do método, obtendo-se como resultado final a função discriminante de Fischer a qual fornece a classificação final do novo fornecedor. Essa manipulação para obtenção do resultado não é apresentada para o usuário, sendo solicitado para que ele insira apenas o novo fornecedor, suas notas e obtenha em qual classe o fornecedor avaliado se encontra, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Acesso a classificação de um novo fornecedor

Classificar novo fornecedor					
Fornecedor	Qualidade	Custo	Garantia	Negociação	Classificação final
Fornecedor H	10	10	10	10	Classe 2

Fonte: O autor (2022)

5. Conclusão

Desenvolveu-se um modelo de análise multicritério combinado com multivariado para ranqueamento e classificação de fornecedores através da combinação de cinco métodos, são eles: Método de Lawshe, Método AHP, Método ELECTRE III, Método de k-médias e

Método de análise discriminante de Fisher: definição da classificação de um novo fornecedor nas categorias definidas com o método de k-médias.

Os métodos foram combinados e desenvolvidos na ferramenta Microsoft Excel. O modelo foi validado por uma empresa através da avaliação de cinco perspectivas com nota de 1 a 10. Considerou-se que, o principal aspecto positivo do modelo é a definição do grau de importância dos critérios que é realizada pelos próprios usuários por meio do AHP, ou seja, o modelo proposto é adaptável e orientado para a necessidade e padrão de cada empresa que o utiliza. Por isso, tornou-se flexível e possível de ser utilizado por diversas empresas da construção civil. A utilização da planilha como uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão para obtenção de uma classificação de fornecedores foi considerada uma vantagem para sua utilização. No entanto, como restrição foi levantado que a utilização de uma ferramenta fora do sistema utilizado atualmente pode ser uma desvantagem. Para mitigar esta restrição uma possível solução seria em um trabalho futuro gerar um modelo em que os critérios e variáveis pudessem ser definidos pelos usuários e especialistas locais.

Referências

AFONSO, M. H. F.; SOUZA, J. V. de; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, 27 fev. 2012. Revista de Gestão Social e Ambiental. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24857/rgsa.v5i2.424>. Acesso em: 1 fev. 2021.

AMORIM, W. P.; PISTORI, H.; Análise Discriminante de Fisher Aplicadas à Detecção de Defeitos em Couro Bovino **III WVC - Workshop de Visão Computacional**, SP, 2007.

CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R.S. **Gestão logística do transporte de cargas**. 1 ed. SP: Atlas, 2014.

CANÊDO, D. R. (2019). Sistema de detecção e classificação de intrusão em redes AD HOC utilizando redes neurais artificiais e algoritmo k-médias. Tese de Doutorado em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e Automação, Publicação PPGEA.TD-141/2019, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, DF, 143p.

COLIN, E.C. **Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2019.

FURLAN, C. P. P. Análise da Rede Social Tocantins Digital, utilizando o Algoritmo k-médias e centralidade de intermediação. Dissertação — Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Goiânia, 2014.

HAIR, J. F. Jr.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. São Paulo: Bokman, 2009.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. Multi-Criteria Decision Analysis. **John Wiley & Sons, Ltd**: [S.L.], 19 jul. 2013. John Wiley & Sons Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118644898>. Acesso em: 5 jun. 2021.

LAWSHE, C.H.A quantitative approach to content validity. **Phrsonnhl Psychoi.Ogy**, 1975

LIMA, T. J. B.; MARTINS, C. B.; VIANNA, D. S.; VIANNA, M.de F. D.; COSTA, S. O. da. **Utilização do método de Análise Hierárquica (AHP) para definição dos pesos de restrições fracas na resolução de problemas de programação de horários para uma**

instituição de ES, Pernambuco, ago. 2015. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2015/pdf/142973.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2021.

MACQUEEN, J. et al. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: OAKLAND, CA, USA. Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability. [S.l.], 1967. v. 1, n. 14, p. 281–297.

MARQUES, M. A. M. **Aplicação da análise multivariada no estudo da infra-estrutura dos serviços de saúde dos municípios parananenses**. 2005. 145 f. Dissertação (mestrado) - UFPR, Setor de Tecnologia e Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. Defesa: Curitiba, 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/6199>. Acesso em: 13 jun. 2021.

MOTA (2020). MÉTODOS ELECTRE com destaque para ELECTRE TRI-C e TRI-B - Parte 1. Realização de Caroline Mota.Insid, 2020. Son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=p6FfUh5VX8w&t=727s>. Acesso em: 01 jun. 2021.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: planning, prioritysetting, resource allocation. New York: McGraw-hill, 1980. 287 p

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 80-100, 2008

SAATY, T.L. The Analytic Hierarchy Process. Tradução e revisão por Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP, Brasil, pp. 278, 1991

SARTORELLI, P. E.; LIMA, M. Z. T. de; IGARASHI, M.O. Um panorama de 20 anos do big data. **Brazilian Technology Symposium**, SP, 2019. Disponível em: <https://www.lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-19/Papers/166.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2022.

SILVA, F. F. da *et al.* Seleção e ponderação de pesos de critérios, Catalão, 2018. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/webby/up/1012/o/SELE%C3%87%C3%83O_E_PONDERA%C3%87%C3%83O_DE_PESOS_DE_CRIT%C3%89RIOS_UMA_APLICA%C3%87%C3%83O_DO_M%C3%89TODO_LAWSHE_PARA_PROBLEMAS_MULTICRITERIAIS.pdf?1536612796. Acesso em: 08 jan. 2022.

VARELLA, C. A. A. Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias–Análise de Componentes Principais. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2008.

WU, T., SHUNK, D., BLACKHURST, J., & APPALLA, R. (2007). **AIDEA: a methodology for supplier evaluation and selection in a supplier-based manufacturing environment**. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 11(2): 174. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJMTM.2007.013190>. Acesso em: 2 mai. 2021

YOON, J.; TALLURI, S.; YILDIZ, H.; HO, W. **Models for supplier selection and risk mitigation: a holistic approach**. Int. J. Prod. Res., 56 (10) (2018), pp. 3636-3666. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403056>. Acesso em: 14 jun. 2021.