



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ADRYELLE SANAE JULIO

**PROPOSIÇÃO DE MODELO DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE
FORNECEDORES UTILIZANDO *FITRADEOFF***

Caruaru

2022

ADRYELLE SANAE JULIO

**PROPOSIÇÃO DE MODELO DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE
FORNECEDORES UTILIZANDO *FITRADEOFF***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Jônatas Araújo de Almeida

Coorientadora: Profa. Dra. Carolina Lino Martins Pompêo de Camargo

Caruaru

2022

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

J94p Julio, Adryelle Sanae.
Proposição de modelo de seleção de portfólio de fornecedores utilizando *FITradeoff*.
/ Adryelle Sanae Julio. – 2022.
86 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Jônatas Araújo de Almeida.
Coorientadora: Carolina Lino Martins Pompêo de Camargo.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em
Engenharia de Produção, 2022.
Inclui Referências.

1. Processo decisório por critério múltiplo. 2. Cooperação. 3. Administração
da produção. 4. Avaliação. I. Almeida, Jônatas Araújo de (Orientador). II.
Camargo, Carolina Lino Martins Pompêo de (Coorientadora). III. Título.

CDD 658.5 (23. ed.) UFPE (CAA 2022-012)

ADRYELLE SANAE JULIO

**PROPOSIÇÃO DE MODELO DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE
FORNECEDORES UTILIZANDO *FITRADEOFF***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Aprovada em: 23/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jônatas Araújo de Almeida (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marcelo Hazin Alencar (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Eduarda Asfora Frej (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que sempre colocou em meu caminho pessoas especiais. Aquele que concede forças para vencer os obstáculos da vida.

A minha Família, em especial aos meus pais, Carlos Roberval e Marcia Tiemi, e minhas irmãs, Louise Mayumi e Brunna Midori, por ter me apoiado nas horas difíceis e a não desistir de buscar sempre meus sonhos, sempre com muito amor, carinho e fé.

Ao meu namorado, Fernando Oenning, que mesmo chegando ao final dessa trajetória fez uma enorme diferença, sempre dando confiança e força para seguir em frente, dia após dia, e por ter sido parceiro e paciente o tempo todo.

Ao meu orientador, Prof^o Dr. Jônatas Araújo de Almeida, e minha co-orientadora, Prof^a Dra. Carolina Lino, pelos incentivos, dedicações, compreensões e presteza no auxílio as atividades, principalmente sobre o andamento desta Dissertação, me dando todo o suporte necessário.

Ao grupo de pesquisa MAPS e todos os integrantes que sempre me apoiaram e incentivaram de maneira direta ou indireta nesses dois anos de mestrado, mas em especial a Carolayne Mota que esteve presente em grande parte dessa minha trajetória e me ajudando em momentos que precisei.

A todos os docentes e aqueles que fazem parte do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste, que participaram e contribuíram de forma fundamental durante esses dois anos de mestrado.

Aos meus colegas de turma, que compartilhamos todas as alegrias e dificuldades durante essa trajetória, mas em especial a minha parceira Cristiane Perla, sou grata pelo apoio, carinho e amizade.

A todos os meus amigos, com quem divido minhas alegrias e angústias, especialmente a Ana Lígia, Annie Vitória, Julia Mioto, Daniel Yuki e Walter Oenning, pelos conselhos, paciência e amizade. Obrigada por sempre acreditarem em mim.

A CAPES pelo apoio financeiro e institucional, contribuindo para a elaboração dos trabalhos.

E a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para o sucesso desta etapa da minha jornada!

“Os sonhos não determinam o lugar onde iremos chegar, mas produzem a força necessária para tirar-nos do lugar em que estamos.” (CURY, 2003, p. 30).

RESUMO

O processo de seleção de fornecedores está ganhando importância, pois as empresas estão identificando que a falta de conhecimento e metodologia para esse problema pode ocasionar uma instabilidade de produção e financeira, além de baixa qualidade dos produtos e aumento nos custos em geral. Nesse sentido, o presente estudo visa propor um modelo de decisão multicritério para auxiliar as empresas a selecionar o melhor portfólio de fornecedores, considerando restrições do sistema de produção e os objetivos da organização, a fim de não prejudicar seu processo produtivo. O modelo proposto gera, primeiramente, todos os cenários de redundâncias possíveis e todas as combinações possíveis de fornecedores de cada componente do produto, considerando a sinergia presente entre eles e um sistema de produção sob encomenda. A partir de todas as combinações possíveis geradas de cada cenário é feito o teste de viabilidade e dominância, de forma que apenas as combinações não dominadas terão seu desempenho, em relação aos critérios custo, qualidade, tempo e credibilidade, calculado. E por fim, somente com o conjunto de combinações não dominadas é aplicado o método *FITradeoff* que irá auxiliar na escolha final de qual o melhor conjunto de fornecedores para o respectivo produto. A fim de validação, o modelo foi aplicado a um problema real, em uma marcenaria de Barra do Bugres, que precisavam selecionar potenciais fornecedores para um armário de cozinha. Ao aplicar o modelo com os dados coletados foi possível obter 130 combinações não dominadas de fornecedores, das mais de 900 mil combinações possíveis. Como resultado, o modelo foi capaz de encontrar e recomendar a combinação mais adequada, além do melhor cenário de redundância em que se deve acrescentar uma unidade para a fita bordo louro freijó (P2) e duas unidades para a dobradiça pistão curva (P4). O portfólio de fornecedores recomendado tem um custo total de 4797,90 reais e uma qualidade de 81,3%, significando que a chance de haver algum problema na produção ou de entregar um produto com falha ao cliente é de menos de 20%. Além disso, a chance de atender o prazo de 25 dias é de 77,96%. Foi feita uma análise de sensibilidade através do intervalo de pesos obtido e pôde-se constatar que pequenas variações fazem com que a recomendação fornecida mude. Por fim, foram identificadas algumas vantagens da utilização do modelo proposto, como redução no esforço computacional, na interação com o decisor e simplificação da análise de sensibilidade, facilitando futuras aplicações.

Palavras-chave: portfólio de fornecedores; sinergia; componentes; sistema de produção sob encomenda; MCDM; *FITradeoff*.

ABSTRACT

The supplier selection process is gaining importance, as companies are identifying that the lack of knowledge and methodology for this problem can cause production and financial instability, as well as low product quality and an increase in costs in general. In this sense, the present study aims to propose a multi-criteria decision model to help companies select the best portfolio of suppliers, considering production system restrictions and the organization's objectives, in order not to harm their production process. The proposed model generates, first, all possible redundancy scenarios and all possible combinations of suppliers of each component of the product, considering the synergy present between them and a production-to-order system. From all the possible combinations generated from each scenario, the feasibility and dominance test is performed, so that only the non-dominated combinations will have their performance, in relation to the cost, quality, time and credibility criteria, calculated. Finally, only with the set of non-dominated combinations the FITradeoff method is applied, which will help in the final choice of which is the best set of suppliers for the respective product. For validation purposes, the model was applied to a real problem, in a carpentry shop in Barra do Bugres, which needed to select potential suppliers for a kitchen cabinet. By applying the model with the data collected, it was possible to obtain 130 non-dominated combinations of suppliers, out of more than 900,000 possible combinations. As a result, the model was able to find and recommend the most suitable combination, in addition to the best redundancy scenario in which one unit for the louro freijó board tape (P2) and two units for the curved piston hinge (P4) must be added. The recommended supplier portfolio has a total cost of 4797.90 reais and a quality of 81.3%, meaning that the chance of having a problem in production or of delivering a failed product to the customer is less than 20%. In addition, the chance of meeting the 25-day deadline is 77.96%. A sensitivity analysis was performed through the range of weights obtained and it could be seen that small variations cause the recommendation provided to change. Finally, some advantages of using the proposed model were identified, such as reduction in computational effort, in the interaction with the decision maker and simplification of the sensitivity analysis, facilitating future applications.

Keywords: supplier portfolio; synergy; componentes; custom production system; MCDM; FITradeoff.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1- | Distribuição de artigos de pesquisa com base na seleção de portfólio fornecedores..... | 37 |
| Tabela 2- | Lista de Materiais..... | 57 |
| Tabela 3- | Tempo de cada fornecedor para cada componente..... | 58 |
| Tabela 4- | Valor do tempo de cada processo..... | 59 |
| Tabela 5- | Informações dos fornecedores..... | 60 |
| Tabela 6- | Cenários de Redundâncias..... | 61 |
| Tabela 7- | Combinações não dominadas..... | 62 |
| Tabela 8- | Ordenação das constantes de escala..... | 66 |
| Tabela 9- | Ciclos e inputs considerados no processo..... | 69 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------------|---|
| AHP | <i>Analytic Hierarchy Process</i> |
| AI | <i>Artificial Intelligence</i> |
| ANP | <i>Analytic Network Process</i> |
| ANN | <i>Artificial Neural Network</i> |
| BOM | <i>Bill of materials</i> |
| BWM | <i>Best Worst Method</i> |
| Capes | <i>Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior</i> |
| DEA | <i>Data Envelopment Analysis</i> |
| ELECTRE | <i>Elimination Et Choix Traduisant la Réalité</i> |
| FGP | <i>Fuzzy Goal Programming</i> |
| FITradeoff | <i>Flexible and Interactive Tradeoff</i> |
| GA | <i>Genetic Algorithm</i> |
| GP | <i>Goal Programming</i> |
| GRA | <i>Grey Relational Analysis</i> |
| HGA | <i>Hybrid Genetic Algorithm</i> |
| MACBETH | <i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i> |
| MCDM | <i>Multicriteria Decision Making</i> |
| MCDA | <i>Multiple criteria decision analysis</i> |
| MINLP | <i>Mixed Integer NonLinear Programming</i> |
| MMDE | <i>Maximum Mean De-Entropy</i> |
| MOMINLP | <i>Multiobjective Mixed Integer NonLinear Programming</i> |
| MOMIQP | <i>Multi-Objective Quadratic Program in Mixed Variables</i> |
| MP | <i>Mathematical Programming</i> |
| NP | <i>Non-linear Programming</i> |
| NSGA-II | <i>Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II</i> |
| PFGP | <i>Preemptive fuzzy goal programming</i> |
| PROMETHEE | <i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i> |
| TOPSIS | <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i> |

| | |
|-------------|---|
| RNN | <i>Ranking Neural Network</i> |
| ROC | <i>Rank Order Centroid</i> |
| SAD | Sistema de Apoio a Decisão |
| SMART | <i>Simple Multi Attribute Ranking Technique</i> |
| SMARTS | <i>SMART using Swings</i> |
| SMARTER | <i>SMART Exploiting Ranks</i> |
| SPS-GMS&DVT | <i>Supplier Portfolio Selection with Green Market Segmentation and Dynamic Value Trends</i> |
| TOPSIS | <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> |
| VIKOR | <i>Visekriterijumska Optimizacija i Kompromisno Resenje</i> |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | | |
|---------------|-------|--|
| x_{gh} | | Desempenho da combinação ou alternativa g no critério h |
| b_i | Um | Quantidade total do componente i |
| C | | Quantidade total de combinações |
| c_i | Um | Quantidade do componente i, necessária para o sistema funcionar |
| DR | % | Credibilidade de entrega |
| DR_i | % | Credibilidade de entrega do fornecedor no componente i |
| f_i | | Fornecedor selecionado para o componente i |
| G | | Alternativa ou combinação |
| H | | Critério |
| I | | Componente |
| ID | | Código de identificação |
| J | | Fornecedor |
| k_h | | Constante de escala do critério h |
| N | Um | Quantidade de componentes no sistema de produção |
| P_i | reais | Preço de compra do componente i |
| Q_i | % | Chance de um componente i não falhar |
| R | % | Qualidade do sistema de produção |
| R_i | % | Qualidade do componente i |
| r_i | Um | Redundância do sistema paralelo |
| s_i | Um | Número de fornecedores candidatos ao componente i |
| T | Dias | Tempo total de entrega do produto acabado |
| TC | reais | Custo total |
| t_{ij} | Dias | Tempo de fornecimento do componente i determinado pelo fornecedor j |
| t'_i | Dias | Soma dos tempos dos processos que sucedem o fornecimento do componente i |
| U | Um | Quantidade de critérios |
| $v_h(x_{gh})$ | | Valor intracritério normalizado |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 | RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO..... | 14 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.2.1 | Objetivo geral..... | 16 |
| 1.2.2 | Objetivo específico..... | 17 |
| 1.3 | ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 17 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA..... | 19 |
| 2.1 | DECISÃO MULTICRITÉRIO..... | 19 |
| 2.1.1 | Métodos compensatórios..... | 20 |
| 2.1.2 | Métodos não compensatórios..... | 22 |
| 2.1.3 | Problemáticas de decisão..... | 24 |
| 2.1.3.1 | Métodos multicritério para a problemática de portfólio..... | 26 |
| 2.1.4 | Modelo de agregação aditivo..... | 28 |
| 2.1.4.1 | Método FITradeoff..... | 29 |
| 2.2 | SELEÇÃO DE FORNECEDORES..... | 33 |
| 2.2.1 | Modelos multicritérios para seleção de fornecedores..... | 33 |
| 2.2.2 | Modelos de seleção de portfólio de fornecedores..... | 35 |
| 3 | MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE FORNECEDORES CONSIDERANDO OS INPUTS PARA UMA LINHA DE PRODUÇÃO..... | 48 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO E MÉTODO DE PESQUISA..... | 48 |
| 3.2 | ETAPAS DO MODELO..... | 48 |
| 4 | APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO..... | 56 |
| 4.1 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 72 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 76 |
| 5.1 | SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 78 |
| | REFERÊNCIAS..... | 79 |
| | ANEXO A – DECLARAÇÃO..... | 86 |

1 INTRODUÇÃO

A competitividade entre as organizações vem se elevando devido à crescente globalização e desenvolvimento da economia. Diante desse cenário, é normal as empresas direcionarem seus esforços empresariais em relação à sua produtividade e eficiência, identificando assim oportunidades para que se mantenham competitivas, seja por inovações nas cadeias produtivas ou até mesmo em desenvolvimento de setores estratégicos (BNDES,2014). Assim, cada vez mais os gestores utilizam ferramentas estratégicas fundamentais para obter vantagens competitiva e garantir a viabilidade da empresa.

Segundo Yousefi et al. (2019), no ambiente de negócios as necessidades dos clientes estão constantemente alterando. Dessa forma, gerentes notaram que os materiais e serviços oriundos dos fornecedores eficientes ocasionam um impacto significativo na capacidade da organização e, conseqüentemente, na satisfação dos requisitos impostos pelo cliente, garantindo a sobrevivência da organização a longo prazo.

Com isso, realizar a seleção dos melhores fornecedores é um fator crítico para o sucesso da organização. Entretanto, devido à complexidade e incerteza ocasionada pela falta de informação presente no ambiente de negócios em um mercado global poder afetar o problema de seleção de fornecedores, faz com que muitas empresas tratem esse tipo de problema de maneira errônea.

Yousefi et al. (2019) afirmam que decisões incorretas em relação à seleção de fornecedores poderão trazer conseqüências negativas para as empresas, como perdas de receita e de participação de mercado. Dessa forma, realizar uma avaliação correta ao selecionar os potenciais fornecedores trazem uma melhoria no desempenho das organizações como estratégia competitiva.

Portanto, o problema de seleção de fornecedores é considerado uma tarefa árdua e difícil devido as incertezas inerentes ao problema, além de se tornar cada vez mais complexo. É considerado, um típico problema de decisão multicritério, pois requer que os indivíduos façam julgamentos e *tradeoffs* entre objetivos conflitantes e recursos limitado (WATT et al., 2009). Gomes et al. (2006) complementam afirmando que a abordagem de Apoio Multicritério a Decisão pretende apoiar o processo decisório através de recomendações ao decisor, e não impor ao tomador de decisão uma verdade única.

Ao analisar a literatura, em relação a essa temática, é possível verificar que existem diversos artigos que utilizam modelo de decisão multicritério para auxiliar na solução do problema de um único fornecedor. Isso é possível constatar, por exemplo, na revisão da

literatura que Ho et al. (2010) realizaram, entre os anos de 2000 e 2008, de artigos que utilizam abordagens individuais ou integradas de métodos multicritério, reunindo um total de 78 artigos.

Contudo, ao fazer uma pesquisa na literatura em relação a artigos que tratavam da problemática de portfólio de fornecedores e não de escolha, pode se perceber uma escassez de artigos. Pôde constatar que a maioria, dos artigos encontrados que utiliza modelo de decisão multicritério utilizam o método de programação multiobjetivo, como é o caso, por exemplo, de Kellner et al. (2018) que utilizam os métodos de programação multiobjetivo com o ANP para selecionar o portfólio ideal de fornecedores.

De acordo com Wagner & Johnson (2004), no ambiente de negócios contemporâneo, é de suma importância considerar uma perspectiva de portfólio ao fazer a gestão de fornecedores devido o portfólio estratégico destes possibilitar que a empresa considere as diversas relações de interdependências entre os relacionamentos com os fornecedores e os riscos inerentes ao comércio, habilidades e outras características, além de facilitar a identificação das prioridades como quais fornecedores necessitam de mais recursos e os que exigem menos. Contudo, para se notar os benefícios do portfólio de fornecedores estratégicos é necessário compreender e desenvolver ferramentas para avaliar, selecionar, devolver e integrar os fornecedores.

Portanto, considerando a importância de realizar a seleção de portfólio de fornecedores para uma organização e pouca a existência de metodologias para esse tipo de problemática. O presente trabalho proporá um modelo de decisão multicritério para selecionar o melhor portfólio de fornecedores, considerando que a empresa pretende selecionar fornecedores para componentes, que possuem sinergia entre si, de um produto sob encomenda.

1.1 RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO

Atualmente, é possível ver que o aumento da competição global oferece aos clientes um alto poder de barganha. Com isso, as empresas têm procurado oferecer alta qualidade nos produtos, ter baixo custo de produção, adquirir uma confiabilidade nos prazos de entrega e uma flexibilidade para atender as expectativas dos clientes. Para isso, as empresas precisam realizar uma gestão de qualidade, identificado assim quais as ferramentas de gestão mais adequadas para o sistema de produção.

Antigamente, as organizações tentavam solucionar esses problemas através de um alto estoque em vários locais ao longo da cadeia de suprimentos. Contudo, devido a dinamicidade do mercado esse tipo de estratégia acabou se tornando pouco visada operacionalmente e

arriscada, podendo não conseguir atender todos os requisitos exigidos pelo cliente. Com isso, a prática de implementação de um sistema de produção puxado se tornou mais atrativo, devido ser impulsionado pela demanda do cliente, atendendo-a com precisão e no tempo desejado (TAKEDA BERGER et al., 2018).

De acordo com Takeda Berger et al. (2018), o sistema de produção puxado controla os fluxos de recursos, fornecendo apenas o que foi encomendo pelo cliente, reduzindo os desperdícios e identificando suas respectivas causas. Com isso, a produção enxuta consiste em um estoque baixo, lotes reduzidos, consumo real e uma boa comunicação com o cliente.

Ao implementar um sistema de produção intermitente sob encomenda, muitas organizações apresentam falhas, devido à falta de conhecimento do produto, diversificação da produção devido a uma demanda incerta, variação repentina no volume de fabricação, altas suspensões de encomendas, alteração frequentes no projeto do produto e incerteza no prazo de entrega dos suprimentos (GONÇALVES FILHO & MARÇOLA, 1996).

Uma das soluções para empresa ter sucesso em seu ambiente de produção sob encomenda, é obter uma boa estrutura dos seus produtos, ou seja, elaborar uma lista de materiais (BOM) que será a base do sistema de informação na gestão de produção e controle de inventário. Além disso, os fabricantes devem coordenar de maneira síncrona a compra de suprimentos, planejamento de produção, alocação de pedidos e entrega de produtos acabados, com a seleção de um conjunto de fornecedores adequados (FANG et al., 2015).

De acordo com Mokhtar et al. (2019), a má seleção de fornecedores de matérias-primas, peças ou componentes pode gerar instabilidade de produção e financeira, qualidade baixa e aumento no custo de abastecimento. Dessa forma, o fabricante pode expandir sua rede de abastecimento e adquirir vários fornecedores ao invés de um único fornecedor, ou seja, obter um portfólio de fornecedores.

É possível encontrar na literatura diferentes conceitos de portfólio de fornecedores. Kellner et al. (2018) tratam portfólio de fornecedores através do conceito da teoria do portfólio de investimento de Markowitz, visando montar um portfólio de fornecedores que reduza o risco de falha de longo prazo, ou seja, a quantidade de fornecedores necessárias para um determinado produto. Já Torres-Ruiz & Ravindran (2018) tratam portfólio de fornecedores sendo representado por uma abordagem de portfólio de suprimentos introduzida por Kraljic (1983). No portfólio de Kraljic (1983), é avaliado decisões de compras e assim classificados em quatro categorias: estratégico, gargalo, alavancagem e tático. Dessa forma, é possível identificar qual seria o melhor fornecedor para um único produto.

Há casos que realizam alocação de pedidos com seleção de fornecedores e considera como portfólio de fornecedores, pois selecionam qual fornecedor deve ser escolhido para cada período do ano, isso ocorre em Yousefi et al. (2019).

E há a definição de portfólio de fornecedores como combinação de fornecedores de componentes de um produto, que se encontram poucos na literatura e será utilizado neste trabalho.

Segundo Burke et al. (2007), quando a empresa possui a dependência de um único fornecedor estará exposta a um maior risco de interrupção de fornecimento e riscos de atrasos. Assim, um fornecimento de diversas fontes acaba oferecendo uma garantia de tempo de entrega e flexibilidade maior, pois existirá uma diversificação dos requisitos totais da empresa, isso em relação a questões operacionais.

Quando analisando de maneira estratégica, nota se que o poder de barganha do fornecedor é enfraquecido quando a empresa faz a divisão dos seus requisitos totais entre várias fontes.

Segundo Harland et al. (2003), portfólio de fornecedores selecionados de maneira ideal, traz uma maior eficiência, custo reduzido e aumento de estabilidade e robustez em toda cadeia de abastecimento de suprimentos.

Zhang et al. (2016) afirmam que existem muitos trabalhos que propõem modelos de abordagem para seleção de fornecedores. Contudo, a maioria deles não conseguiram resolver com qualidade esse tipo de abordagem quando se trata de um portfólio de fornecedores.

Dessa maneira, pode se analisar a importância de uma organização que tem um ambiente de produção sob encomenda, elabora uma boa estrutura de seus produtos e seleciona o portfólio de fornecedores mais adequados, considera todas as exigências do cliente e as necessidades de seu sistema de produção, pois ao selecionar seus fornecedores de maneira equivocada pode impactar seu processo produtivo, como qualidade de produtos, tempo de entrega ao cliente e entre outros fatores, fazendo com que a empresa perca clientes e reduza a seu rendimento. Através de uma metodologia que auxilia no processo de tomada de decisão sobre o melhor conjunto de fornecedores para a empresa, ele poderá otimizar seus resultados e consequentemente melhorar sua produtividade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo é propor um modelo de decisão multicritério para selecionar o melhor portfólio de fornecedores, considerando restrições do sistema de produção e os objetivos da organização.

1.2.2 Objetivos específicos

- Introduzir uma base teórica em relação a decisão multicritério e seleção de fornecedores envolvendo problemáticas de escolha, ordenação e portfólio, mapeando o estudo da arte;
- Definir o método multicritério a ser utilizado no modelo construído;
- Construir um modelo de decisão multicritério para portfólio de fornecedores, identificando as sinergias presentes entre os componentes do produto e as redundâncias para cada componente;
- Avaliar as vantagens e desvantagens da utilização do modelo proposto, avaliando suas contribuições a partir da aplicação deste modelo em um caso real.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado da seguinte maneira:

Na Seção 1, a Introdução apresenta a contextualização do problema de seleção de portfólio de fornecedores, a relevância e contribuição do estudo para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos gerais, que descrevem de maneira geral o objetivo do estudo e os específicos, que explicam por objetivos menores como é possível atender o objetivo geral.

A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica, onde são apresentados os conceitos gerais de decisão multicritério, métodos compensatórios e não compensatórios, além de serem abordadas as problemáticas existentes e dada ênfase, em relação, a problemática de portfólio. Nesta seção ainda é feita uma revisão da literatura e apresentado alguns artigos e contribuições em relação ao problema de seleção de fornecedores envolvendo métodos multicritério, mas enfatizando o uso da problemática de portfólio.

O modelo de decisão de seleção de portfólio proposto é apresentado na Seção 3, portanto nesta seção é mostrado o passo a passo de como é feita a construção do modelo.

Então na Seção 4, é feita a aplicação do modelo proposto na seção anterior, onde é efetuado primeiramente a apresentação da empresa e descrito como foi aplicado cada etapa do modelo e feita a análise de sensibilidade dos dados obtidos com a aplicação. Além disso, é elaborada uma discussão e interpretação do resultando, uma das partes mais relevantes do trabalho, pois explica a contribuição do modelo para o problema do estudo de caso.

Finalmente na Seção 5, a Conclusão, são apresentadas as principais conclusões e contribuições do estudo e conduzidas sugestões para trabalhos futuros a partir do presente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção será apresentado, inicialmente, uma fundamentação teórica em relação a decisão multicritério, dando ênfase ao método multicritério utilizado no modelo proposto na seção seguinte e por fim, é feita uma revisão da literatura em relação ao problema de seleção de fornecedores tratando tanto problemáticas de escolha, ordenação e portfólio.

2.1 DECISÃO MULTICRITÉRIO

A análise e preparo de decisões de todos os tipos surgiram logo após a Segunda Guerra Mundial, sendo que após esse período as empresas e administrações se especializaram melhor na área de Pesquisa Operacional, pois surgiram as necessidades de procurar apoio à decisão que vão além do uso do “bom senso”, experiência ou conhecimento, a fim de resolver problemas como o de produção, de marketing, de gestão de pessoas, financeiro, de pesquisa ou outros problemas complexos (ROY & BOUYSSOU, 1993).

Segundo Roy (1996), uma tomada única de ação com o intuito de uma execução da escolha final é definida como decisão. Assim, a decisão pode ser decomposta em hierarquias de decisões parciais que compõem uma síntese de uma rede interconectada de decisões, ou seja, uma decisão abrangente.

De acordo com Roy & Bouyssou (1993), a decisão é na maioria das vezes vista como um ato de um indivíduo (decisor) escolher entre diversas possibilidades de ação em um determinado tempo de forma livre.

O processo de tomada de decisão decide qual das ações múltiplas passará a ser uma decisão geral. Surgindo assim, a síntese das várias opções tomadas no decorrer do processo e o resultado da escolha envolvem apenas uma pequena parte da tomada de decisão (ROY & BOUYSSOU, 1993).

Na maioria das vezes quando se trata de problemas de tomada de decisão, seja ele envolvendo um único ou vários decisores, associamos a diversos critérios e não apenas a um único, pois é necessário em ambos os casos levar em consideração diversos pontos a serem tratados de acordo com os objetivos desejados, por exemplo, de finanças, recursos humanos, aspectos ambientais, qualidade, segurança e entre outros. Assim, cada um dos critérios utilizados para representar os objetivos desejados são utilizados para avaliar o potencial de qualquer ação seja em uma escala qualitativa ou quantitativa apropriada (GRECO et al., 2016).

O apoio multicritério a decisão se dá por meio da aplicação de um conjunto de técnicas e métodos que irão dar suporte ou apoio a tomada de decisões quando há presença de vários critérios, de modo a orientá-lo e transformá-lo. O MCDA sugere uma metodologia de quatro níveis, onde (ROY & BOUYSSOU, 1993):

- Nível 1: Objetivo da decisão e espírito de recomendação;
- Nível 2: Análise de consequências e desenvolvimento de critérios;
- Nível 3: Modelagem de preferências globais e abordagens operacionais para agregação de desempenho;
- Nível 4: Procedimentos de investigação e preparação da recomendação.

Ao utilizar uma abordagem multicritério em vez de uma monocritério, é possível evitar perigos ao delimitar um amplo aspecto de pontos de vista possíveis de estruturar o processo de decisão aos atores envolvidos, construir, em sentido concreto original, as avaliações correspondentes de cada uma das famílias de critérios e facilitar a determinação do desempenho (por exemplo, peso, veto, nível de aspiração, nível de rejeição) de cada critério (GRECO et al., 2016).

Existem na literatura diversos métodos que foram desenvolvidos para resolver problemas com múltiplos objetivos. Esses métodos são divididos em três grandes grupos ou família de abordagens, de acordo com os princípios de modelagem de preferência, os quais são métodos de critério síntese única, métodos de sobreclassificação e métodos iterativos (ALMEIDA, 2013).

Os métodos multicritério possuem uma característica que pode envolver ou não a existência de compensação entre os critérios. Dessa forma, os métodos podem ser classificados como compensatório ou não compensatórios.

2.1.1 Métodos compensatórios

Nos métodos compensatórios a avaliação das alternativas considera os *trade-offs* entre os critérios, ou seja, um pior desempenho de uma alternativa em um critério pode ser prelevado pelo seu melhor desempenho em outro critério (ALMEIDA, 2013).

Os métodos mais típicos são os de agregação aditivo determinístico, os quais se distinguem entre si em relação ao processo de modelagem de preferência, que envolve a elicitación de preferência juntamente com o tomador de decisão para definir os valores dos parâmetros do modelo. Portanto, a principal diferença encontrada neles é na forma que realizam

o processo de elicitación das constantes de escalas ou na forma que realizam a avaliação intracritério. Segundo Almeida (2013), há métodos que trabalham com informação completa como é o caso do Tradeoff e Swing, e há métodos que trabalham com informação parcial, incompleta ou imprecisa, que tem como objetivo diminuir o espaço entre metodologias teóricas de apoio a decisão e a tomada de decisão na prática, tornando o processo decisório cognitivamente mais fácil para o decisor, como é o caso do *FITradeoff*, MACBETH e ROC. Para um breve entendimento de alguns desses métodos, a seguir terá um breve resumo sobre cada um deles:

- **PROCEDIMENTO DE TRADEOFF:** no procedimento de ordenação dos critérios considera uma comparação entre duas consequências, onde uma se tem o melhor desempenho e a outras o pior, e o decisor deve escolher qual a mais preferível. Essas perguntas são feitas até serem encontrados a ordenação de todos os critérios. A obtenção das constantes de escala é feita também através de comparação de consequências pelo decisor, contudo até ser encontrado uma relação de indiferença entre as consequências. Portanto é um procedimento de Keeney e Raiffa (1976) que exige um maior esforço cognitivo do tomador de decisão, por possuir uma estrutura axiomática mais rigorosa e robusta, o que pode levar a obter mais erros na declaração de preferência do decisor;
- **AHP:** utiliza uma abordagem hierárquica ao definir os critérios e identificar as alternativas. Utiliza um procedimento de comparação par a par para fazer a comparação das alternativas, além de permitir a avaliação de inconsistência no julgamento de valor dado pelo decisor. Portanto, é um procedimento de Saaty (1990) que consiste em um conjunto de etapas, no qual todas as combinações de critérios organizadas em uma matriz são avaliadas em comparações par a par. Os julgamentos podem ser inconsistentes, entretanto, o método permite tanto quantificar essa consistência quanto melhorar tais julgamentos;
- **MACBETH:** necessita de um julgamento de natureza qualitativa sobre diferenças de atratividade, permitindo assim a criação de uma escala numérica.
- **FITRADEOFF** (ALMEIDA et al., 2016) exige um menor esforço cognitivo do decisor, por não exigir uma informação completa. Seu procedimento de elicitación é facilmente alterado e adaptado, pois todo o processo é conduzido baseado em etapas que alternam interação entre o tomador de decisão e a avaliação das alternativas.

- SMARTS: procedimento proposto por Edwards e Barron (1994) que possui 9 etapas, as quais são: a Identificação dos propósitos do problema e do(s) decisor(es) que o represente, Identificação e estruturação do problema e seus atributos, Estabelecimento das alternativas, Construção da matriz de consequências, Eliminação das alternativas dominadas, Construção da matriz de avaliação, Ordenação dos critérios (Parte 1 do Swing), Obtenção dos pesos (Parte 2 do Swing) e Efetuar a agregação aditiva e escolha.
- SMARTER: procedimento similar ao método SMARTS se diferenciando apenas na etapa de obtenção dos pesos, que ao invés de utilizar o swing, utiliza o ROC introduzido por Barron e Barret (1996).

Tanto o SMARTS quanto o SMARTER reduzem as perguntas feitas ao decisor e o estresse intelectual provocado na obtenção dos pesos, em comparação a outros métodos. Assim, conseqüentemente diminuindo, erros na elicitação de pesos. Contudo, ainda há a possibilidade de conter erros na modelagem. Este balanço entre os erros de elicitação e de modelagens são consequência da dificuldade de representar o mundo real (EDWARDS E BARRON, 1994).

2.1.2 Métodos não compensatórios

Nos métodos não compensatórios são considerados o *trade-off* na avaliação das alternativas. Fishburn (1974) e Plott et al. (1975) introduziram independentemente a estrutura de preferência não compensatória, sendo que a ideia de não compensação é definida claramente como (FISHBURN, 1976):

Uma estrutura de preferência $(X, >)$ não compensatória se $\forall x, y, z, w \in X$:

- (1) $[(P(x, y), P(y, x)) = (P(z, w), P(w, z))] \rightarrow (x > y \text{ se e somente se } z > w)$.
- (2) $P(x, y) \neq \emptyset \text{ e } P(y, x) \neq \emptyset$

Onde pode se notar que a preferência global de x em y depende apenas dos subconjuntos de n nos quais há uma preferência parcial de x em y e de y em x, isso ocorre, devido a relação de preferência depender apenas dos critérios.

O método Lexicográfico é um exemplo clássico de método não compensatório, além dos métodos de sobreclassificação. Segundo Cruz & Cova (2007), no método Lexicográfico é realizado a ordenação das alternativas a partir da sua avaliação, começando primeiramente pelo desempenho obtido no critério mais importante, definido pelo tomador de decisão, caso haja empate, essas alternativas serão encaminhadas para o desempate, através da análise do próximo

critério mais importante, assim os critérios menos importantes só serão considerados apenas se houver empate nos critérios mais relevantes.

Um exemplo em que há a utilização deste método é nos Jogos Olímpicos, em que é construído um ranking dos países participantes com base primeiramente na quantidade de medalhas de ouro obtidas e passando apenas para a contagem de medalhas de prata se houver empate no número total de medalhas de ouro e o mesmo ocorre para as medalhas de bronze, sendo contadas apenas se tiver empate na quantidade total de medalhas de pratas.

Já os métodos de sobreclassificação ou *outraking* são baseados em comparação par a par entre as alternativas, onde não há a realização de uma agregação analítica para estabelecer um *score* para cada alternativa, facilitando a comparação completa entre as alternativas. Na avaliação intercritério nesses métodos são demonstrados pelos pesos dos critérios, os quais são a noção do grau de importância. Além disso, na definição dos pesos não há a necessidade de transformação de escala, assim não existindo problema nessa noção para os pesos (ALMEIDA, 2013).

Alguns exemplos de métodos de sobreclassificação são das famílias ELECTRE e PROMETHEE. Segundo Almeida (2013), os métodos da família ELECTRE são constituídos de duas fases. Na primeira fase são construídas as relações de sobreclassificação, com base na avaliação de concordância, considerando que em um subconjunto significativo de critérios uma alternativa é (fracamente) preferível que outra, e na avaliação de discordância, que não existem critérios que comprovem algum tipo de preferência entre as alternativas, ou seja, a discordância exerce um papel de veto. Na segunda fase, são exploradas as relações de sobreclassificação, através de um procedimento ou algoritmo para solucionar o problema.

Há diversos métodos da família ELECTRE, sendo cada um aplicável a uma situação diferente, como podem ser vistos a seguir (ALMEIDA, 2013):

- Método ELECTRE I: Uso de critério verdadeiro em problemática de escolha;
- Método ELECTRE IS: Uso de pseudocritério em problemática de escolha;
- Método ELECTRE II: Uso de critério verdadeiro em problemática de ordenação;
- Método ELECTRE III: Uso de pseudocritério em problemática de ordenação;
- Método ELECTRE IV: Uso de pseudocritério sem pesos para os critérios em problemática de ordenação;
- Método ELECTRE TRI: Uso de pseudocritério em problemática de classificação.

De acordo com Brans et al. (1986), métodos da família PROMETHEE tem como base duas fases, a fase 1 é feita a construção da relação de sobreclassificação, onde o valor da relação de sobreclassificação é determinado a partir da definição do índice de preferência e gráfico de valor de sobreclassificação de cada critério e a fase 2 é explorado as relações de sobreclassificação, ou seja, é considerado para cada ação um fluxo de entrada e saída no gráfico de valor de sobreclassificação. Alguns dos métodos pertencentes a essa família são (ALMEIDA, 2013):

- PROMETHEE I: Construção de uma pré-ordem parcial das ações, considera a relação de incomparabilidade;
- PROMETHEE II: Construção de uma pré-ordem completa das ações;
- PROMETHEE III e IV: utilizado para problemas mais sofisticados que possuem um componente estocástico, além disso o PROMETHEE IV é utilizado quando se tem um conjunto contínuo de ações.
- PROMETHEE V: realiza a avaliação das alternativas conforme o PROMETHEE II, contudo é utilizado para uma problemática de portfólio, onde utiliza otimização inteira 0-1;
- PROMETHEE VI: utilizado quando o decisor não consegue definir os pesos dos critérios com precisão, então é utilizado um intervalo de valores específico possíveis para os pesos.

2.1.3 Problemáticas de decisão

Segundo Roy (1996), a palavra problemática é utilizada para descrever a concepção de um analista, ou seja, como é previsto o auxílio que fornecerá no problema em questão com base em que tipo de resultado imagina, como se encaixa no processo decisório, para que irá fazer a investigação, dentre outros questionamentos.

Para auxiliar a responder essas perguntas, foram definidas quatro tipos de problemáticas, sendo que seu uso está relacionado ao estado de desenvolvimento do processo de decisão. Sendo assim, dado um conjunto A de ações potenciais, o analista deve determinar em que termos ele vai representar o problema. Portanto, foram definidas cada uma das problemáticas, a seguir (ROY, 1996):

- Problemática de escolha ($P.\alpha$) auxilia na escolha da “melhor” ação ou realiza um processo de seleção. Essa problemática tem como resultado indicar qual decisão deve ser tomada ou propor uma metodologia fundamentada em seleção que poderá ser usada várias vezes para encontrar as melhores ações;
- Problemática de classificação ($P.\beta$) contribui a classificar ações conforme as normas ou procedimentos de atribuições construídos. Basicamente, essa problemática orienta a investigação a determinar uma atribuição de ações às categorias com base em normas relacionadas ao valor intrínseco das ações. A problemática de classificação tem dois resultados, ou justifica a aceitação, rejeição das ações e o fornecimento de recomendações mais complexas, de acordo com as categorias, ou propõe uma metodologia conforme a atribuição, a fim de encaixar ações em categorias diversas vezes;
- Problemática de ordenação ($P.\gamma$) auxilia na ordenação decrescente das ações de acordo com as preferências ou monta um procedimento de ordenação. Portanto, a função desta problemática é guiar uma investigação para definir uma ordem, a fim de determinar se tais ações podem ser consideradas “suficientemente satisfatórias” de acordo com o modelo de preferência. Essa problemática tem como resultado uma ordenação parcial ou completa das ações ou uma metodologia conforme um procedimento de pedido. A ordenação proposta deve ser o reflexo do grau de importância ou prioridade do tomador de decisão sobre cada ação;
- Problemática de descrição ($P.\delta$) contribui para a descrição das ações e suas consequências de modo formalizado e sistemático ou apresenta um procedimento cognitivo. Assim, essa problemática direciona a busca em tornar as informações, referentes as potenciais ações, explícitas para auxiliar o tomador de decisão a compreender ou avaliar as ações. Como resultado, nesta problemática, se tem uma descrição sistemática e formal das ações seja em termos qualitativos e/ou quantitativos ou sugere uma metodologia conforme um procedimento cognitivo. A problemática de descrição está presente em cada uma das outras três problemáticas, citadas anteriormente, e é importante saber distingui-las das outras.

A seguir, na Seção 2.1.3.1, será abordado, de maneira detalhada, a problemática de portfólio, mostrando os possíveis problemas que podem surgir ao trabalhar com esse tipo de problemática.

2.1.3.1 Métodos multicritério para a problemática de portfólio

Além das problemáticas citadas na seção anterior, há também a problemática de portfólio que tem como objetivo definir qual o melhor conjunto de ações a serem escolhidas, levando em consideração os objetivos e restrições estabelecidas pelo decisor (ALMEIDA, 2013). Tais ações poderiam ser projetos, investimentos financeiros, produtos etc.

Essa problemática é geralmente aplicada em problemas de investimentos financeiros, mas também há aplicações em problemas de seleção de projetos no setor público, em pesquisa e desenvolvimento, Projetos de Tecnologia e Informação, em introdução de novos produtos e entre outros (DE ALMEIDA et al., 2014). Contudo, deve se tomar cuidado para não confundir portfólio financeiro com portfólio de projetos.

A formulação básica de problemas de portfólio, consiste em um problema de otimização binária através da representação do problema de programação linear inteira, conforme a equação 1, 2 e 3, a seguir:

$$\max \sum_{j \in N} v_j x_j \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{j \in N} p_j x_j \leq B \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (3)$$

A Equação 1 é a função objetivo que determinará se uma determinada alternativa x_j pertencerá ao portfólio ou não, de modo a maximizar o valor total do portfólio, através do somatório do valor da alternativa v_j que entrará no portfólio, considerando as restrições imposta pelo modelo de decisão, como a Equação 2 que é a restrição de capacidade do portfólio (B) e custo da alternativa p_j e a Equação 3 que representa que as alternativas são binárias.

De Almeida et al. (2014) ressaltam que podem aparecer diversos problemas de escala em problemas de seleção de portfólio multicritério, enfatizando assim a existência de três tipos de problemas que podem surgir, os quais são:

- Tamanho do portfólio: quando ocorre a mudança aditiva na utilidade das ações pode criar uma tendência na avaliação do portfólio devido a quantidade de ações pertencentes ao portfólio;

- Básico: é a questão da não inclusão de uma ação no portfólio, não significa necessariamente que ela tenha uma utilidade de zero;
- Consistência de Agregações: pode se obter um resultado diferente, caso a sequência de agregação entre ações e atributos sejam distintas.

Os problemas apresentados são muito parecidos e podem ocasionar impactos na transformação da utilidade aditiva no padrão do modelo de construção de portfólio, ou seja, todos os problemas mencionados têm uma causa comum. Então, se para todas as ações a não inclusão de uma ação no portfólio causa um efeito idêntico ou igual a zero, a solução suficiente para resolver os três problemas apresentados está em realizar uma transformação de escala para o tipo de escala de razão (DE ALMEIDA et al.,2014), pois utilizando escala intervalar há perda de informações no processo de agregação das combinações, já utilizando a escala de razão não, devido a preservação da cardinalidade.

2.1.4 Modelo de agregação aditivo

O modelo de agregação aditivo é um método compensatório e pode ser chamado dessa forma, pois remete ao modelo matemático de agregação dos critérios. É considerado um método típico de agregação de síntese única, o qual agrupa critérios em único, mas complexo composto por informações que não são diretamente relacionadas com as consequências, servindo assim como base para estabelecer o julgamento de preferência relacionados à decisão. Outra forma que este método é chamado é de soma ponderada, mas é considerado informal chamá-lo desta maneira, devido a induzir um erro no estabelecimento das constantes de escala. (ALMEIDA,2013)

De acordo com Almeida (2013), o modelo aditivo é baseado em uma função de agregação aditiva que é dada a partir de uma família de critérios que possuem mutuamente uma independência de preferência. Existir essa independência de preferência é importante, pois sua falta pode ocasionar inconsistência na avaliação das alternativas ao aplicar o modelo aditivo, sendo assim algumas alternativas podem acabar recebendo valores maiores do que a realidade preferencial para o decisor. Dificilmente um tomador de decisão consegue identificar esse tipo de inconsistência, portanto, deve se ter cuidados e conhecimentos na construção de modelos de decisão.

Este modelo de decisão multicritério é bastante utilizado devido à grande parte dos problemas de decisão multicritério terem a ocorrência de uma dependência preferencial.

Keeney(1992) afirma que grande parte das situações em que há dependência preferencial é por falta de algum critério, sendo necessário fazer uma reestruturação do problema de maneira correta. Apesar disso, deve-se prestar atenção ao realizar a avaliação da condição de independência e assim validar o uso do modelo aditivo referente ao mesmo (ALMEIDA,2013).

Os métodos de agregação aditiva utilizam uma função valor definida sobre a consequência, para realizar a avaliação das alternativas por meio das consequências. Essa função valor é representada pela equação 4:

$$v(a) = \sum_{h=1}^u k_h v_h(x_{hg}) . \quad (4)$$

Onde, $v_h(x_{hg})$ representa a função valor para cada critério h de cada consequência de alternativa g no critério h, u representa a quantidade de critérios e k_h representa a constante de escala para cada critério h, sendo normalizado através da equação 5:

$$\left(\sum_{h=1}^u k_h = 1\right) . \quad k_h: \text{constante de escala para o critério } h \quad (5)$$

Após o entendimento básico referente ao modelo aditivo, podemos retratar que existem diversos métodos que utilizam agregação aditiva. Esses métodos se diferenciam no procedimento de elicitación dos pesos, alguns possuem informações completas e outros parciais.

2.1.4.1 Método *FITradeoff*

O método *FITradeoff* utiliza informações parciais sendo conhecido por uma elicitación flexível. Essa flexibilidade significa que o procedimento é de fácil adaptação e alteração para diversas condições e circunstâncias que surgem.

As etapas do *FITradeoff* são escolhidas conforme as diferentes condições que acontecem durante o processo, assim exigindo menos informações do tomador de decisão, isso comparando com outros procedimentos padrão (DE ALMEIDA et al., 2016).

Para o método *FITradeoff* de problemática de escolha foi construída uma proposição, que comprova a necessidade de existir pelo menos um vetor peso, que faça o valor da alternativa potencialmente ótima seja maior que as demais. Dessa forma, a existência desse vetor garante que a alternativa potencialmente ótima não seja dominada. Uma alternativa é considerada

potencialmente ótima quando sua função valor é maior ou igual a de qualquer alternativa, para pelo menos um vetor peso no espaço peso (DE ALMEIDA et al., 2016).

O método *FITradeoff* pode ser aplicado para diferentes tipos de problemáticas. O método *FITradeoff* para a problemática de escolha, proposto por Almeida et al. (2016), cujo intuito é realizar a ordenação das constantes de escalas dos critérios através do procedimento *Tradeoff* e determinar a alternativa potencialmente ótima através da aplicação de um problema de programação linear com o subespaço peso determinado pelo decisor. Essa aplicação é repetida até ser encontrada uma única alternativa potencialmente ótima.

Frej et al. (2019) propõem a segunda problemática, sendo a de ordenação. Na problemática de ordenação também é realizado a ordenação das constantes de escala pelo procedimento *Tradeoff*, mas é alterado o problema de programação linear. O problema de programação linear é feito para cada par de alternativas com o espaço peso atual, e então é construída a matriz de dominância par a par com base na relação de dominância encontrada no problema de programação linear, até encontrar uma Pré-Ordem ou Ordem completa (FREJ et al. 2019).

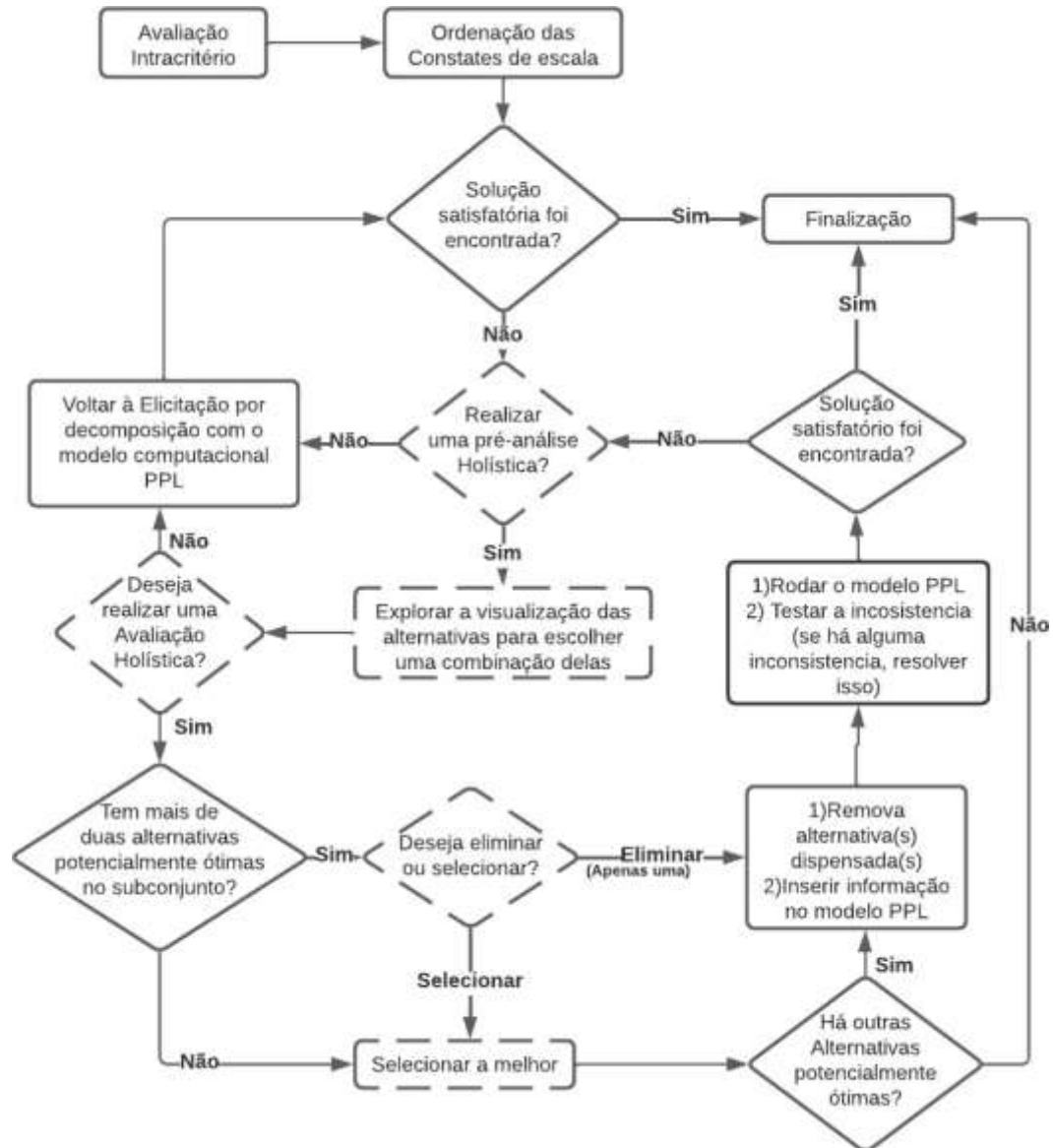
A terceira problemática é a de classificação, proposta por Kang et al. (2020). Nessa problemática, após ser feita a ordenação das constantes de escala é estabelecido dois modelos de programação linear, de maximização e minimização do valor geral da alternativa, e regras de decisão para verificar se uma alternativa pertence ou não a uma única classe. O estabelecimento dos limites de classes, ou seja, do valor global, é definido pelo tomador de decisão (KANG et al., 2020).

Por último, tem-se a abordagem custo-benefício para a problemática de portfólio, em que uma função-valor multiatributo é utilizada para medir o benefício de cada projeto, ordená-los e selecioná-los de acordo com o orçamento disponível, proposto por Frej et al. (2021). Essa problemática, primeiramente, realiza a elicitação das constantes de escala através das preferências fornecidas pelo decisor. Contudo, o decisor não precisa estabelecer todas as relações de preferência para todos os pares de critérios adjacentes. Entretanto, com o espaço peso obtido anteriormente, não é possível calcular o valor exato da diferença de relação custo-benefício. Por tanto, as diferenças máximas entre as relações custo-benefício são calculadas através de um modelo de otimização que visa maximizar o valor da diferença de relações custo-benefício e tem como restrições o espaço peso, a normalização e a não negatividade. Dessa forma, é possível obter a ordenação das alternativas no portfólio considerando o custo-benefício (FREJ et al.,2021).

De Almeida et al. (2021) inclui a associação e integração ou alternância dos paradigmas, que são a elicitación por decomposição e avaliações holísticas, que já eram inclusas antes, mas de forma separada. Essa combinação dos dois paradigmas melhora a eficiência dessa abordagem ao incorporar mais informações de preferências de um paradigma diferente e melhora sua consistência, uma vez que o analista pode dar um melhor suporte ao decisor ao informar qual tipo de informação de preferência é mais adequada para cada etapa de decisão.

Neste trabalho será utilizada a problemática de escolha, uma vez que o modelo proposto neste estudo realiza as agregações dos fornecedores em combinações antes das agregações dos critérios, transformando em um problema de escolha. Além disso, o *FITradeoff* para portfólio em sua versão atual considera apenas uma restrição e não considera sinergia entre alternativas, que ocorre neste trabalho. Dessa maneira, não é possível aplicar a problemática de portfólio, pois haverá perda de informações ao não considerar a sinergia entre as alternativas.

A Figura 1 descreve o processo do *FITradeoff* de escolha.

Fluxograma 1 - Processo do *FI*Tradeoff de escolha

Fonte: A Autora (2022)

Nota: Adaptado de Almeida et al. (2021)

De acordo com a Fluxograma 1, primeiramente é realizado a avaliação intracritério, onde é feita a entrada do desempenho de cada critério para cada alternativa única e a função valor, pode ser aplicada, assim obtendo a função valor para cada critério e então, é feita a

ordenação das constantes de escala, é extraída ordenação das constantes de escala através do *tradeoff*.

Após realizar a ordenação das constates, é analisado se a solução obtida é satisfatória para o decisor, caso seja é finalizado o processo de tomada de decisão, caso contrário, o decisor pode optar por realizar um pré-análise holística. Se o decisor não quiser realizar um pré-análise holística, volta-se a elicitacão por decomposiçã, no qual é feita a avaliação das constantes de escala através da solução do problema de programação linear, tendo como saída um novo conjunto de valores das alternativas hipotéticas. Se o decisor optar em realizar a pré-análise holística vai fazer uma visualização das alternativas para escolher uma combinação entre elas.

Em seguida, é questionado ao decisor se ele quer fazer uma avaliação holística, caso não queira volta para elicitacão por decomposiçã, caso contrário, é verificado se existe mais de duas alternativas potencialmente ótimas no subconjunto. Se haver dentro do subconjunto apenas duas alternativas potencialmente ótimas, o decisor deve selecionar a melhor e finalizar o processo de elicitacão.

Agora se o decisor verificar que existe mais de duas alternativas potencialmente ótima no subconjunto ele tem a opção de eliminar uma alternativa ou selecionar a melhor. Caso ele elimine uma alternativa potencialmente ótima, deve resolver o problema de programação linear com o novo subespaço peso, verificando se não existe nenhuma inconsistência e se o decisor tem a solução desejada, se o decisor ainda não encontrou a solução desejada deve-se voltar pra etapa “Realizar uma pré-análise holística?”, já se encontrou a solução pode finalizar o processo de elicitacão.

No entanto, se o decisor optar por selecionar uma alternativa potencialmente ótima é necessário verificar se não existe outras alternativas potencialmente ótima, se existir deve seguir as mesmas etapas ao escolher eliminar uma alternativa. Entretanto, se não existir outras alternativas pode finalizar.

O problema de programação linear utilizado na elicitacão por decomposiçã, para tentar resolver o problema com o espaço peso atual, é aplicada através das seguintes equações:

$$\text{Max} \sum_{h=1}^u k_h v_h(x_{hg}), \quad g = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{h=1}^u k_h v_h(x_{hg}) \geq \sum_{h=1}^u k_h v_h(x_{hw}), \quad z = 1, 2, \dots, m, w \neq g \quad (7)$$

$$k_{h+1} \leq k_h v_h(x'_h) - \varepsilon \text{ for } h = 1 \text{ to } u - 1 \quad (8)$$

$$k_{h+1} \geq k_h v_h(x''_h) + \varepsilon \text{ for } h = 1 \text{ to } u - 1 \quad (9)$$

$$k_h \geq 0, h = 1, 2, \dots, u \quad (10)$$

$$\sum_{h=1}^u k_h = 1 \quad (5)$$

Onde a Equação 6 é tentativa de maximizar o valor global da alternativa g, tendo como restrições, a Equação 7, que exige que o valor da alternativa g deve ser maior ou igual ao valor de todas as outras alternativas, as Equações 8 e 9 são as inequações dos limites dos pesos, obtidos pela resposta do decisor (subespaço de pesos), a Equação 10, de não negatividade dos pesos e repete a Equação 5 de normalização dos pesos.

2.2 SELEÇÃO DE FORNECEDORES

2.2.1 Modelos multicritérios para seleção de fornecedores

Segundo Chai et al. (2019), a seleção de fornecedores engloba a identificação, filtragem, avaliação, análise e contratação de fornecedores para a empresa, sendo um processo que mexe com finanças e recursos humanos, além de estar envolvido com contexto de gerenciamento de operações, ciência de decisão e economia de produção. A empresa se preocupa em identificar, ao selecionar seus potenciais fornecedores, se os serviços oferecidos são adequados e de qualidade.

De acordo com Li et al. (2020), existem três abordagens envolvendo a seleção de fornecedores, as quais são qualitativas, quantitativas e ambas. Inicialmente eram considerados apenas abordagem quantitativa, visando determinar o tamanho do lote econômico para reduzir custos e facilitar a aplicação. Contudo, notou-se que esse problema é muito mais complexo e existem diversos outros fatores que influenciam essa decisão e considerar apenas a perspectiva em relação um critério, como o custo, muitas vezes não é ideal.

Desta forma Lee & Chien (2013), descrevem as principais razões para a complexidade do problema de seleção de fornecedores. A primeira razão é que os candidatos precisam ser avaliados em mais de um critério, a segunda é que um fornecedor individual pode ter diferentes

desempenhos em diferentes critérios e a última, a decisão envolve restrições políticas e limitações.

Nos últimos tempos, o problema de seleção de fornecedores vem ganhando atenção de vários pesquisadores que propuseram diversos modelos e soluções, e é um típico problema de decisão multicritério, pois engloba critérios como qualidade, flexibilidade, tempo de entrega, custo e entre outros (AWASTHI et al.,2009).

Lima Junior et al. (2013) reforçam que o processo de seleção de fornecedores está cada vez mais presente na literatura e se caracteriza como um problema de decisão com diversos critérios que deverão ser considerados ao julgar as potenciais empresas fornecedoras.

Desta forma, notou-se que a utilização de métodos multicritérios são bem comuns e com isso é possível encontrar diversos artigos que realizam revisão da literatura envolvendo essas metodologias. Ho et al. (2010) realizaram uma revisão da literatura, entre os anos de 2000 e 2008, para o problema de avaliação e seleção de fornecedores através de abordagens individuais ou integradas de tomada de decisão multicritério, onde foram encontrados 78 artigos de periódicos, sendo 46 artigos de abordagens individuais e o restante de integradas. Ao realizar a análise das abordagens individuais notou-se que a abordagem integrada mais popular é o AHP com programação de metas.

Dutta et al. (2021) fazem uma revisão da literatura concentrada na aplicação de várias técnicas de MCDM com DEA em problemas de seleção de fornecedores no gerenciamento de cadeia de suprimentos. Desta forma, reúnem artigos publicados em periódicos de 2000 a 2020, onde notou-se que 72% dos artigos revisados empregaram DEA em combinação com outros métodos, como TOPSIS, AHP, ANP e entre outros.

Lima Junior et al. (2013) ao pesquisar artigos desta temática que utilizam métodos MCDM e técnicas relacionadas deste modelo de decisão até outras informações relevantes foram encontrados 120 artigos, entre os anos de 2002 e 2011. Assim, foram identificadas 61 diferentes combinações dos métodos multicritérios, os mais utilizados ANP, AHP, Programação Multiobjetivo e PROMETHEE.

Chai et al. (2013) fazem uma revisão de 123 artigos de seleção de fornecedores, entre os anos de 2008 e 2012, assim são revisadas 26 técnicas em relação a três perspectivas, as quais são MCDM, MP e AI. Em relação aos métodos multicritérios utilizados os mais identificados foram o AHP e ANP.

Schramm et al. (2020) realizaram uma revisão da literatura, entre os anos de 1990 e 2019 envolvendo o problema de seleção de fornecedores utilizando métodos multicritérios, no

contexto de gestão sustentável, considerando aspectos verde e sociais. Sendo assim, encontrou 82 artigos e constatou que o método multicritério mais utilizado é o TOPSIS seguido do AHP, além de quinze diferentes métodos MCDM, onde a maioria são métodos compensatórios.

Govidan et al. (2015) enfatizam que o processo de seleção de fornecedores começou a integrar várias dimensões ambientais apenas recentemente. Além disso, serão inclusas dimensões mais tangíveis, como risco de abastecimento, continuidade de negócios, impacto social, entre outros. Com isso, foi necessário que houvesse mais cautela ao selecionar qual a abordagem e modelo devem ser utilizados neste problema, visto que adicionando essas dimensões aumenta sua complexidade. Portanto, foi feita uma revisão da literatura considerando essas dimensões e utilização de abordagens de tomada de decisão multicritério, entre os anos 1997 e 2011, sendo encontrados 33 artigos de periódicos. Onde, a maioria utilizava os métodos AHP e ANP, respectivamente.

Ao analisar os artigos que realizam revisão da literatura em relação à temática, pode se notar a predominância do método AHP e sua integração, mostrando que deve haver uma exploração em outros métodos, de maneira que encontre o método que se encaixe melhor conforme à realidade do problema de seleção de fornecedores a ser solucionado (GOVIDAN et al., 2015; CHAI et al., 2013; HO et al., 2010).

Podemos perceber que a seleção de fornecedores irá depender de vários fatores, não existindo um método padrão. Cada seleção de fornecedor diferirá, então o método a ser escolhido a depender dos produtos, expectativas, critérios e da indústria. No mais, os métodos a serem escolhidos são importantes no processo de seleção e assim podem influenciar no resultado, é importante então saber qual o método deve ser utilizado em diferentes situações (TAHERDOOST & BRARD, 2019).

2.2.2 Modelos de seleção de portfólio de fornecedores

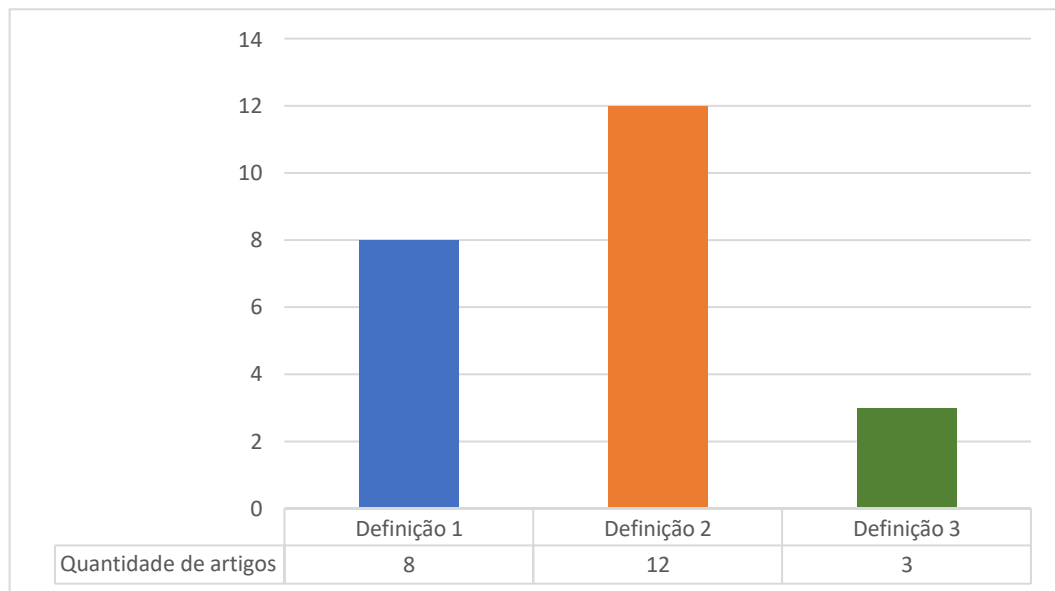
O problema de seleção de portfólio de fornecedores consiste na escolha de um conjunto de fornecedores para um respectivo produto. Contudo, muitas empresas realizam apenas seleção de fornecedores de maneira individual, não considerando a interação entre eles. Zhang et al. (2016) enfatizam que apesar de existirem muitos métodos de abordagem para seleção de fornecedores, dificilmente se consegue resolver problemas de seleção de portfólio de fornecedores de maneira bastante eficaz, devido à dificuldade encontrada em se trabalhar com esse tipo de problemática.

Deste modo, foi feita uma revisão na literatura de trabalhos que fazem abordagem de seleção de fornecedores considerando a problemática de portfólio e então foram listados os principais artigos encontrados, conforme pode ser constatado na Tabela 1.

Foram encontrados diferentes tipos de definições para seleção de portfólio de fornecedores. A primeira definição encontrada é a identificação do conjunto de fornecedores para um único produto com determinadas demandas. Já a segunda definição é selecionar o conjunto de fornecedores para vários produtos, ou seja, para a cadeia de suprimentos de uma empresa. E a terceira é um conjunto de fornecedores para diferentes itens de um único produto, considerando a sinergia presente nos itens para o processo de produção do produto.

De acordo com essas definições encontradas, foi construída a Gráfico 1, que mostra graficamente a quantidade de artigos, da Tabela 1, que utilizam essas definições. No estudo foram identificados oito artigos, que utilizam a primeira definição, doze artigos, a segunda definição e apenas três artigos, a terceira definição. Notando-se uma escassez de artigos que considerem a sinergia dos componentes de um produto.

Gráfico 1 – Quantidade de artigos X Definições para Portfólio



Fonte: A Autora (2022)

Tabela 1- Distribuição de artigos de pesquisa com base na seleção de portfólio fornecedores

| Autores (Ano) | Método | Resultados da pesquisa |
|--|---|---|
| Hosseinasab & Ahmadi (2015) | Teoria do portfólio e otimização multiobjetivo | Trata portfólio de fornecedores como dupla de fornecedores, utilizando teoria do portfólio e, além disso, realiza alocação de pedidos juntamente. No exemplo de aplicação do seu modelo seleciona qual a melhor dupla de fornecedores para cada mês do ano ou período e quantidade de demanda que devem fornecer a empresa. |
| Wong (2019) | PFGP | O artigo propõe um modelo SPS-GMS&DVT, onde são identificados uma lista de candidatos para parceiros de cooperação de longo prazo e então, é feita uma avaliação de desempenho dinâmico dos fornecedores e consenso verde para identificar parceiros e decidir a política de alocação de pedidos. Enfatiza que a importância de trazer múltiplas funções é para evitar o comprometimento excessivo de metas de menor prioridades em algumas situações. Contudo, em seu exemplo de aplicação do modelo, considera apenas dois fornecedores em seu portfólio. |
| Zhang et al. (2016) | RNN | O algoritmo proposto recomenda ao negócio de integração de serviços um portfólio para cada um dos pedidos de clientes. Assim analisando as características do fornecedor, do pedido e do portfólio de pedidos. Trabalha com um número alto de fornecedores, porém sua aplicação não foi em um ambiente real. |
| Fang et al. (2015) | Programação multiobjetivo através do TOPSIS, GRA e Max-min <i>fuzzy</i> . | O artigo propõe um modelo de otimização multicritério cujo objetivo é apoiar seleção de portfólio de fornecedores com alocação de pedidos, considerando riscos operacionais e de interrupção. Além disso, utiliza três métodos diferentes para resolução do problema, porém na aplicação, seu portfólio é constituído apenas por dois fornecedores por cada demanda. |

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| Kellner (2016) | ANP e GP | Realiza seleção de portfólio de fornecedores com alocação de pedidos considerando a sustentabilidade das cadeias produtivas, assim permitindo a consideração simultânea de três dimensões de sustentabilidade. Além disso, considera a integração de critérios qualitativos e a tomada de decisão em grupo. Entretanto, seu modelo serve apenas para selecionar portfólios compostos por apenas dois fornecedores. |
| Liao & Fang (2015) | Programação multiobjetivo através do TOPSIS Fuzzy e GA | Programação multiobjetivo para alocar os pedidos dos clientes conforme os critérios (inclui avaliação do fornecedor, a quantificação do risco de interrupção e do risco operacional) e então é proposto um algoritmo genético para resolver o problema de seleção de portfólio de fornecedores. O modelo proposto não tem restrições de quantidade de fornecedores, mas na aplicação trabalha com cinco fornecedores. |
| Yousefi et al. (2019) | DEA, MOMINLP e jogo de barganha nash. | Propõe um modelo híbrido que considera eficiência e custo para alocar pedidos durante um período de planejamento específico, sendo um ambiente multiperíodo e mono-produto com certa demanda, e selecionar fornecedores eficientes para esses pedidos. Considera para resolução, a programação não linear, o que dificulta a resolução de problemas muito grande. No seu exemplo faz a seleção de cinco fornecedores de dez disponíveis e aloca as respectivas demandas para cada fornecedor. |
| Li et al. (2020) | BWM e modelo matemático multiobjetivo através de três modelos FGP, ANN e MCDA | Este estudo examina a seleção de fornecedores em multiperíodo, multifornecedor e multiproduto e efetua alocação de pedido sob condições dinâmicas de demanda considerando riscos e sustentabilidade. Além disso, realiza comparação entre três modelos para solução da otimização multiobjetivo. Contudo, o modelo proposto não considera o processo de alteração de pedidos sob as condições de um desconto de quantidade e nem a aleatoriedade dos pedidos. |

| | | |
|------------------------------------|---|--|
| Assellaou et al. (2018) | Otimização Multiobjetivo (Soma ponderada + NSGA II) | Utiliza Modelo estocástico multiobjetivo, justificando que a demanda, qualidade e tempo não são determinísticos pela natureza, para realizar alocação de pedidos e seleção de portfólio de fornecedores considerando riscos eminentes. Em seu modelo permite a repetição dos fornecedores para mais de um pedido e quantidade de fornecedores diferentes para um mesmo produto. O problema matemático resultante foi formulado como programação inteira mista sendo resolvido usando dois métodos diferentes que são abordagem de soma ponderada e técnica NSGAIL. |
| Burke et al. (2007) | Otimização multiobjetivo | Analisa os benefícios da diversificação de fornecedores. A seleção de portfólio apenas é feita quando faz a comparação entre ter um único fornecedor e dois fornecedores. Quando avalia ter um único fornecedor e vários fornecedores, só demonstra a quantidade ideal de fornecedores e as respectivas quantidades de demanda que eles devem atender. Enfatiza que o fornecimento único só é ideal quando as capacidades do fornecedor são relativamente grandes comparado com a demanda. |
| Lee & Chien (2013) | MOMIQP | Este estudo propõe um modelo de otimização de portfólio combinado com uma técnica de programação estocástica para seleção de portfólio de fornecedor e alocação de pedido sob entrega incerta. O modelo tem como intuito medir a prioridade e a dissimilaridade dos fornecedores, identificando a alocação de pedidos para os respectivos. Enfatizam que o modelo proposto também pode ser utilizado para resolver problema de escalonamento e distribuição. |
| Fridgen & Müller (2011) | Método de Otimização para maximização do valor presente líquido ajustado considerando | Aloca vários fornecedores a um projeto, assim propõe um número pequeno de fornecedores para um número pequeno de projetos. Caso precise de um número maior sugere o uso de heurística. No exemplo de aplicação considera apenas dois subprojetos e dois fornecedores. A solução encontrada |

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| | riscos (semelhante a Markowitz) | foi bastante robusta em relação a erros de estimativa e conclui que avaliar risco não é de extrema importância ao alocar fornecedores para um projeto (Não usa multicritério). |
| Cao & Wang (2007) | Modelo de Otimização Combinatória (reduzido a um problema da mochila padrão NP-Completa) | Propõe um algoritmo para resolver o problema da mochila para selecionar o portfólio de fornecedores para um projeto. Em seu modelo são respondidas questões de quais devem ser os fornecedores ideais e se vale a pena a empresa realizar a terceirização de seus produtos. A principal contribuição do modelo é a formalização da decisão de selecionar fornecedores como um problema de otimização combinatória, provando que o problema de NP-Completa pode ser reduzido ao problema da mochila padrão. No entanto, em seu modelo assume que o desempenho do fornecedor é medido apenas por um único critério (Não usa multicritério). |
| Keskin et al. (2010) | Otimização Metaheurística com modelo de simulação | O foco do estudo é capturar a relação entre a seleção de fornecedores e decisões de reposições de estoque em uma forma quantitativa. Utiliza o software ARENA para analisar as interações entre os módulos de simulação. Seu modelo permite considerar uma quantidade alta de fornecedores, realizando uma alocação de fornecedores para cada unidade de produção de uma empresa, considerando critérios como custo, interrupções, qualidade, entrega e entre outros (Não usa multicritério). |
| Feng et al. (2005) | Modelo Hierarquico Fuzzy | Considera componentes de um produto para designar o fornecedor para cada um e avalia as interações aos custos. Contudo, trabalha com poucos fornecedores e uma estrutura simples de produto, assim não demonstrando como gera os portfólios. |
| Abdollahia et al. (2015) | Dematel Fuzzy, MMDE, ANP e DEA | Realiza uma estrutura teórica para a seleção de fornecedores com base em fornecedores " enxutos " e " ágeis ". Utiliza o Dematel <i>Fuzzy</i> para determinar as interdependências precisas entres os |

| | | |
|-------------------------------------|---|---|
| | | critérios e através do ANP determina os pesos deles. Por fim, utiliza DEA para fazer a ordenação dos fornecedores e assim, montar o portfólio de fornecedores através de uma matriz, identificado qual o conjunto de fornecedores são “enxutos” e “ágeis”. |
| Sun (2017) | Otimização Combinatória pelo modelo max max | Este artigo propõe um modelo analítico que descreva as sinergias entre os componentes do produto e os critérios de seleção de fornecedores que aumentam a eficácia da seleção de fornecedores, considerando tanto produtos sob encomenda como produtos para estoque. Entretanto, considera o mesmo número de fornecedores para cada componente do produto. |
| Solomon et al. (2021) | Programação linear para otimizar o portfólio, usando o problema da mochila de três estágios | Propõe um modelo de apoio a decisão para auxiliar empresas em compras de varejo, com intuito de determinar o portfólio ideal de fornecedores para atender a demanda por um conjunto de produtos vendidos em lojas de varejo. Modelo desenvolvido para apoiar lojas de varejo. Trabalha com alto número de fornecedores e produtos, e um único fornecedor pode fornecer diferentes produtos. Contudo, não especifica qual fornecedor irá fornecer cada produto e sim o conjunto ideal de fornecedores para fornecer o conjunto de produtos da empresa (Não usa multicritério). |
| Federgruen & Yang (2008) | Algoritmo baseado no teorema do limite central e na técnica de grandes desvios | Propõe modelo de planejamento para cobrir uma demanda incerta por um determinado item adquirindo suprimentos de várias fontes. Em seu modelo considera uma única temporada de demanda, itens com longos prazos de produção ou distribuição e todos os suprimentos precisam ser encomendados antes do início da temporada. O modelo proposto consiste em selecionar o conjunto de fornecedores a serem retidos e a quantidade de pedidos que devem ser solicitados por cada um, de modo a minimizar o custo total de aquisição enquanto garante que a demanda incerta |

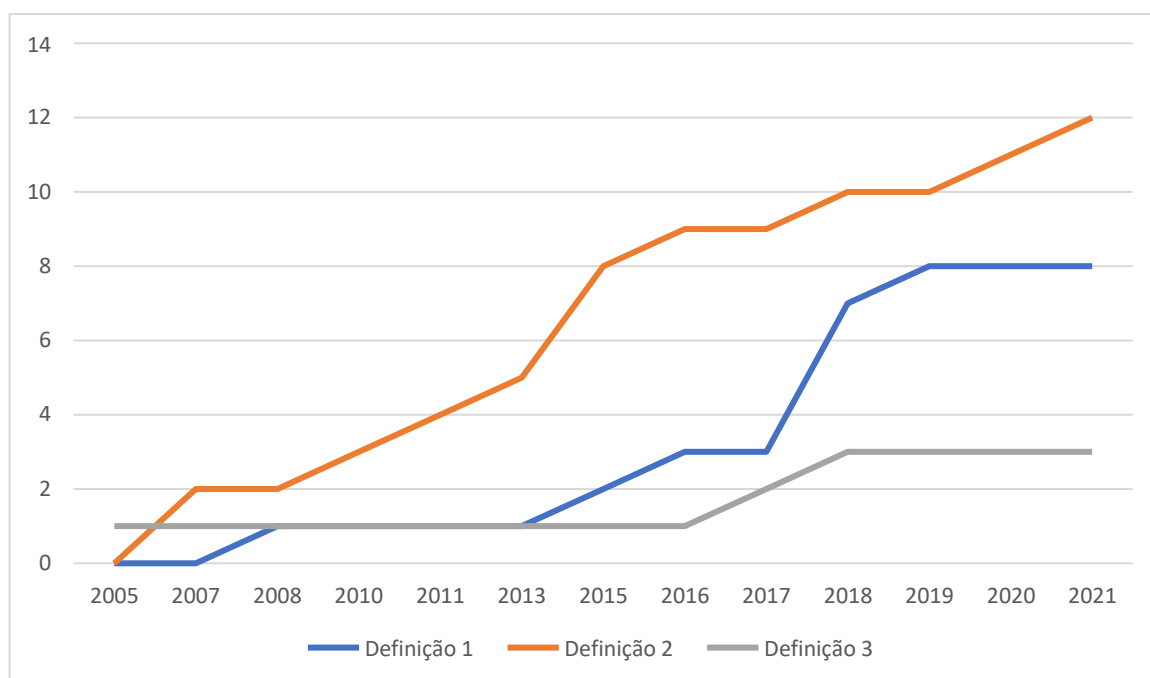
| | | |
|------------------------------|---|---|
| | | seja atendida com uma determinada probabilística. Analisa também casos em que se trabalha com fornecedores idênticos e diferentes (Não utiliza multicritério). |
| Rahimi et al. (2019) | Programação Inteira mista | Propõe um modelo de programação inteira mista para seleção de contratos (Fornecedores), de modo a integrar diferentes grupos de fornecedores e preferências estratégicas de portfólio, minimizando os custos e satisfazendo a demanda em multiperíodo. O modelo proposto seleciona o melhor portfólio de fornecedores para oferecer suprimento para a empresa em diversos períodos, para estoque e antes da produção, identificando a quantidade de demanda necessária através de uma previsão de demanda do ano anterior. Avalia também as estratégias de compras na presença de flexibilização dos contratos (Não utiliza multicritério). |
| Zhou et al. (2018) | VIKOR e HGA | Propõe um modelo híbrido MCDM-MINLP para selecionar o melhor portfólio de fornecedores e melhora a qualidade econômica de veículos através da disponibilização dos produtos peças-chave. Desenvolve o modelo todo em função a um produto específico. Aplica o método VIKOR para identificar quais são as peças-chave do produto para então através da programação inteira 0-1 mista não linear identificar as qualidades estratégicas por meio de compras estratégicas, além de selecionar o portfólio de fornecedores. É ressaltado que se o número de peças-chave e candidatos a fornecedores aumentar, as soluções aumentam exponencialmente, dessa forma o modelo proposto é limitado pela quantidade de peças-chave. Identifica qual fornecedor é de cada peça-chave |
| Kellner et al. (2018) | Combinação programação multiobjetivo, teoria do portfólio (Markowitz) e ANP | Apresenta uma nova abordagem multicritério combinando os métodos de programação multiobjetivo, teoria do portfólio (Markowitz) e ANP para resolver o problema de seleção de portfólio de fornecedores considerando risco de sustentabilidade, permitindo processar diferentes |

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>aspectos de uma configuração de portfólio de fornecedores. O portfólio de Markowitz permite integrar o aspecto risco no modelo de otimização multiobjetivo e montar o portfólio de fornecedores que reduzam o risco de fracasso a longo prazo. O ANP atende requisitos de configuração do portfólio de fornecedores considerando a sustentabilidade. Tem como resultado a análise de chance de um fornecedor pertencer ao portfólio de um único produto e qual a quantidade de pedidos que cada fornecedor deve fornecer, apresentado uma visualização gráfica de todos os tradeoffs.</p> |
| <p>Torres-Ruiz Ravindran (2018)</p> | <p>& Portfólio de Kraljic e AHP</p> | <p>Propõe uma estrutura quantitativa para compras sustentáveis que permite as empresas identifiquem riscos de fornecimentos relacionados a riscos econômicos, ambientais e sociais, ao mesmo tempo, em que avaliam potenciais riscos e práticas de gerenciamento de risco em diferentes segmentos de fornecedor. Considera o desempenho de fornecedores de curto e longo prazo. Trata portfólio como portfólio de Kraljic (1983), que considera decisões de compras classificando como quatro tipos: estratégico, gargalo, alavancagem e tático, categorizando os fornecedores. Dessa forma, o modelo define a estratégia de gestão de portfólio, realiza a validação e seleção de fornecedores.</p> |

Fonte: A Autora (2022)

Além disso, foi construído um gráfico, conforme a Gráfico 2, que mostra a evolução ao longo dos anos dos artigos que utilizaram cada uma dessas definições e pôde constatar que o problema de seleção de portfólio de fornecedores ganha uma maior importância no meio acadêmico a partir de 2015, aumentando a quantidade de proposta de modelos para esse tipo de problemática, mas principalmente se tratando de portfólio de fornecedores para vários produtos de uma empresa.

Gráfico 2 - Evolução dos artigos de seleção de portfólio de fornecedores



Fonte: A Autora (2022)

Notou-se que pouquíssimos dos artigos listados, na Tabela 1, consideram em seu portfólio um número muito alto de fornecedores. A maioria considera apenas dois fornecedores em seu portfólio.

Os poucos trabalhos encontrados que propõem modelos que trabalham com um número muito grande de fornecedores em seu portfólio são, por exemplo, Sun (2017), que considera o mesmo número de fornecedores para cada componente, o que acaba não sendo a realidade das organizações, dificilmente se terá a mesma quantidade para todos os componentes de um produto, o que acaba simplificando o problema de portfólio. Outro são Feng et al. (2005) que consideram diversos fornecedores em seu portfólio, contudo no exemplo aplicado do seu modelo utiliza uma quantidade baixa e não demonstra em seu modelo como são geradas as

combinações de fornecedores, caso trabalhe com uma parcela maior do que o exemplo aplicado. Zhang et al. (2016) também propõem um modelo que trabalha com alto número de fornecedores, mas não apresentam nenhuma aplicação real para enfatizar a aplicabilidade de seu modelo e Lico & Fang (2015) não tem restrição de quantidade de fornecedores, entretanto relacionam o portfólio de fornecedores com alocação de pedidos e em seu exemplo utilizam apenas cinco fornecedores. O modelo proposto neste trabalho sugere aplicar modelo com a quantidade de fornecedores que for necessário para cada componente e demonstra como os portfólio de fornecedores são gerados.

Segundo a Tabela 1, foi possível identificar que a maioria dos trabalhos fazem seleção de portfólio de fornecedores associada a alocação de pedidos, sendo similar a um problema de designação e não de portfólio. Alguns dos artigos que não fazem alocação de pedidos juntamente com a seleção são: Frigden & Muller (2011) e Cao & Wang (2007) que trazem um modelo para alocação de fornecedores para um projeto, Keskin et al. (2010) que propõem modelo para selecionar fornecedores para repor estoque de cada unidade de produção de uma empresa, Feng et al. (2005) que designam fornecedores para componentes de produção de um produto considerando interação com custo, Abdollahia et al. (2015) que realizam seleção de portfólio de fornecedores classificando-os em relação a qual o conjunto de fornecedores são “enxutos” e quais são “ágeis”, para assim a empresa identificar quais fornecedores se encaixariam melhor com seu ambiente operacional e Sun (2017) que seleciona um conjunto de fornecedores de componentes para um determinado produto. Desta forma, dos artigos listados, apenas os citados anteriormente não fazem seleção de portfólio de fornecedores com alocação de pedidos.

Deste modo, percebe-se uma predominância em relação à alocação de pedidos com seleção de fornecedores quando se pesquisa sobre seleção de portfólio de fornecedores. Contudo, o foco deste trabalho não é fazer alocação de pedidos aos fornecedores, mas sim identificar qual melhor conjunto de fornecedores para a produção de um determinado produto.

Alguns desses artigos que não fazem a alocação de pedidos com seleção de fornecedores não utilizam modelo de decisão multicritério, considerando apenas o critério custo. Isso se identifica em Frigden & Muller (2011) e Cao & Wang (2007), no entanto, não pertence à realidade do problema considerar apenas o custo, uma vez que existem diversos outros fatores que influenciam uma empresa a definir seus fornecedores, como qualidade do produto, prazo de entrega e outros fatores consoantes ao cenário em que a empresa pertence.

Também foram encontrados na literatura trabalhos que tratam o portfólio de fornecedores como teoria de portfólio, como é o caso de Hosseininasab & Ahmadi (2015) que desenvolveram um procedimento de duas fases para realizar seleção de fornecedores, sendo que na primeira fase é desenvolvida uma função para calcular o valor de cada fornecedor, sendo possível realizar apenas uma seleção de fornecedores, e na segunda fase é utilizado o modelo de otimização de portfólio para encontrar qual o melhor portfólio de fornecedores, ponderando fornecedores com maior oportunidade de melhorar e desenvolver, e considerando suas relações, incorrendo em menor riscos de fracasso.

Kellner et al. (2018) utilizam teoria do portfólio de Markowitz para avaliar aspectos de risco dos fornecedores e não para selecionar o portfólio de fornecedores. O mesmo foi feito por Torrez-Ruiz & Ravidran (2018) que utilizaram o portfólio de Kraljic apenas para classificar os fornecedores em relação aos quatro tipos de decisão de compras e não para selecionar o portfólio de fornecedores para a empresa.

Wong (2019) analisou a mudança e o desenvolvimento do fornecedor por meio da teoria do portfólio de Markowitz, assim tendo como objetivo descobrir um conjunto de fornecedores que tenham melhores ajustes e menor risco, ou seja, analisa o portfólio através da relação de risco e retorno, o que não se encaixa no modelo de portfólio que iremos trabalhar, no presente trabalho. Quando se trata de portfólio neste trabalho se refere ao conjunto de fornecedores analisando seu desempenho segundo os critérios elencados conforme os objetivos.

Foram encontrados artigos que não trataram o problema de seleção de portfólio de fornecedores como um problema de decisão multicritério, como é o caso de Solomon et al. (2021) que utilizam o problema da mochila em três estágios, Federgruen & Yang (2008) que utiliza um algoritmo com base estatística, Rahimi et al. (2019) que utilizam programação inteira mista, Keskin et al. (2010) que utilizam Meta heurística, Fridgen & Müller (2011) e Cao & Wang (2007) que utilizam otimização combinatória.

Além disso, pode se identificar que a seleção de portfólio de fornecedores muitas vezes é decomposta em vários estágios e seleciona cadeias de fornecedores com base em algumas regras diferentes, consoantes à realidade de cada problema. Por exemplo, Hosseininasab & Ahmadi (2015), Kellner (2016), Yousefi et al. (2019) e Li et al. (2020) que propuseram modelos de seleção de portfólio de fornecedores dois estágios:-

Outra predominância identificada foi que a maioria dos modelos propostos trabalham com otimização multiobjetivo, o que pode trazer um esforço computacional muito elevado em trabalhar com esse tipo de método. O modelo proposto é simplificado ao máximo para que não

ocorra o que foi relatado em muitos dos artigos que quando se trabalha com um número alto de alternativas se torna inviável.

3 MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE FORNECEDORES CONSIDERANDO OS INPUTS PARA UMA LINHA DE PRODUÇÃO

Nesta seção será apresentado o modelo proposto que teve como base o Procedimento para resolução de um problema de decisão apresentado por Almeida (2013), composto por três fases genéricas que auxiliaram na modelagem do problema de decisão multicritério. Na Figura 6, é possível identificar a estrutura do modelo proposto, onde foram feitas algumas adaptações do procedimento para resolução de um problema de decisão.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO E MÉTODO DE PESQUISA

Segundo Gil (1999), as pesquisas são classificadas quanto a natureza, abordagem, objetivo e procedimentos técnicos. Dessa forma, o presente trabalho é classificado quanto ao objetivo, sendo exploratório, pois foi feita descrições precisas da situação e quer descobrir relações existente entre os elementos, tendo um planejamento flexível possibilitando considerar diversos aspectos do problema.

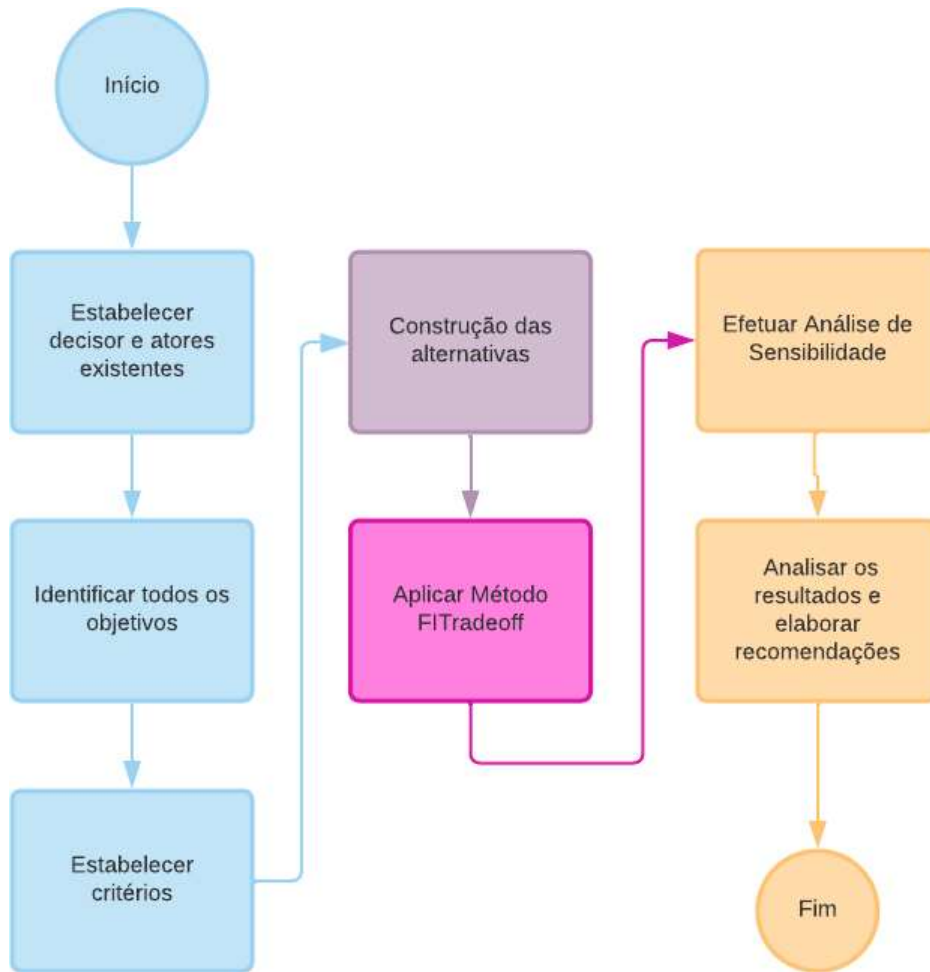
Se trata de um estudo de caso, em relação aos procedimentos, uma vez que trabalha com uma determinada comunidade, que seriam empresas que desejam selecionar um portfólio de fornecedores, as quais possuem um sistema de produção puxado. Quanto à abordagem da pesquisa, é do tipo quali-quantitativa, pois engloba uma análise dos resultados numéricos obtidos a partir de uma estruturação do problema de decisão com elementos também qualitativos, cujos resultados numéricos são obtidos de ideias e experiências individuais. E quanto à natureza da pesquisa, é aplicada, pois procura soluções para problemas concretos (CERVO et al., 2006).

3.2 ETAPAS DO MODELO

A Figura 4 demonstra toda a descrição do modelo. A primeira fase, sinalizada com azul, é a fase preliminar, onde é necessário estabelecer quem serão os tomadores de decisões e se existem possíveis atores para o problema, importante para o entendimento do contexto e, assim estabelecer os objetivos que guiarão na busca por uma solução. Por fim, a partir dos objetivos

estabelecidos elencar os critérios relevantes para auxiliar na tomada de decisão, ou seja, na solução do problema.

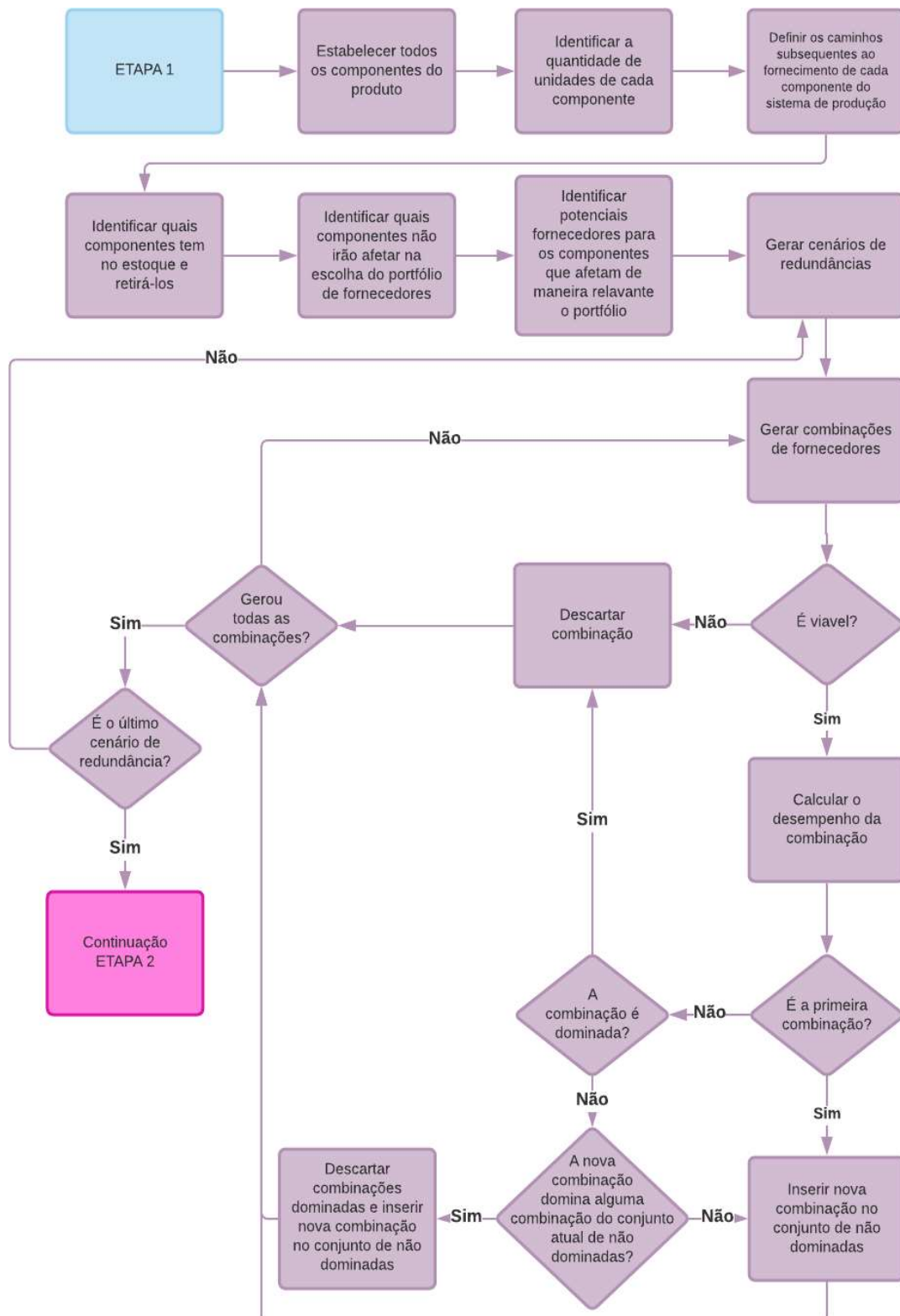
Fluxograma 2 - Fluxograma do modelo



Fonte: Fonte: A Autora (2022)

A fase, sinalizada com roxo na Fluxograma 2, de modelagem e preferência são feitas, primeiramente a construção de alternativas, que tem subetapas representadas na Fluxograma 3, a seguir:

Fluxograma 3 - Fluxograma da construção das alternativas



Fonte: A Autora (2022)

Nota: Adaptado de Julio et al. (2020)

Para a construção das alternativas, ou seja, para a construção do portfólio de fornecedores é necessário, inicialmente, identificar todos os componentes ou itens para a formação do produto final, isto significa que devem ser verificados os pontos do sistema de produção que terão como entradas componentes comprados de outras empresas. Além disso, é preciso determinar a quantidade de unidades necessárias para cada componente, onde o número de unidades revela a proteção para o sistema de produção através de redundância, caso haja falha em alguma delas. Isso tudo pode ser feito através da lista de materiais (BOM), para realizar essas especificações de maneira adequada.

Em seguida, deve ser montada a estrutura do produto através da construção dos caminhos para elaboração do produto, assim identificando quais são os processos, os componentes necessários em cada processo e o tempo de cada processo. Essa definição dos caminhos subsequentes ao fornecimento de cada componente no sistema de produção revela os processos que formam o caminho entre a entrada do componente no sistema até a obtenção do produto a ser entregue ao cliente.

Logo depois, deve se identificar se algum dos componentes necessários para construção do produto já se encontra no estoque ou se esse componente é pouco relevante para a decisão, por não haver variação relevante entre os fornecedores e ser de fácil aquisição, assim definindo apenas os candidatos a fornecedores dos componentes restantes e seus respectivos desempenhos em relação aos critérios estabelecidos na fase preliminar. Desta forma, retirando do processo de seleção de fornecedores os componentes que já têm no estoque ou são poucos relevantes para influenciar na tomada de decisão do portfólio de fornecedores.

Então, é realizado o procedimento de geração do ID da combinação que irá variar de 0 a quantidade total de combinações menos um, essa quantidade total de combinações é calculada através da equação 11:

$$C = \prod_{i=1}^n s_i \quad (11)$$

Onde s_i é a quantidade de fornecedores em cada componente i . Esse ID facilita no processo de geração do portfólio de fornecedores e todo o aspecto computacional, calculado, de acordo com o procedimento a seguir:

Sejam l_i e f_i valores inteiros, definidos de acordo com as equações 12, 13, 14 e 15:

$$l_1 = ID - 1 \quad (12)$$

$$l_i = l_{i+1}s_i - (f_i - 1) \quad i = 1, 2, 3 \dots n - 1 \quad (13)$$

$$f_n = l_n \quad (14)$$

$$1 \leq f_i \leq s_i \quad (15)$$

Onde s_i é o número de fornecedores disponíveis para o componente i e f_i é o fornecedor selecionado para o componente i na combinação ID . Dessa forma, o portfólio de fornecedores de cada combinação ID é gerado através do resto da divisão entre o valor do ID da combinação pela quantidade de fornecedores disponíveis para o componente i .

Esse procedimento de geração do ID faz com que não necessite de uma tabela que registre os fornecedores de cada combinação, simplificando a execução do modelo utilizando menos memória, pois o ID pode recuperar facilmente a informação sobre os fornecedores pertencentes àquela combinação.

O mesmo procedimento pode ser adaptado para gerar todos os cenários possíveis levando em consideração as redundâncias definidas para cada componente, conforme as equações 16, 17 e 18:

$$l_i = l_{i+1}r_i - (z_i - 1) \quad i = 1, 2, 3 \dots m - 1 \quad (16)$$

$$z_m = l_m \quad (17)$$

$$1 \leq z_i \leq r_i \quad (18)$$

Onde r_i é o número de redundâncias consideradas para cada componente i e z_i é a redundância selecionada para o componente i no cenário ID . As redundâncias em cada cenário para cada componente são obtido através do resto da divisão entre o ID da combinação mais um pelo número de redundâncias consideradas para cada componente i .

Após isso, é feita a obtenção das combinações de fornecedores viáveis. Cada possível combinação é gerada, testada a sua viabilidade conforme as restrições estabelecidas e em seguida é verificado se a combinação é dominada por alguma outra combinação previamente encontrada.

A viabilidade de uma combinação no presente modelo é feita através da restrição do tempo de entrega do produto final ao cliente, isto é, se a empresa atenderá o prazo de entrega ao cliente, considerando o portfólio de fornecedores selecionados. O tempo total de entrega do produto ao cliente, será considerado que o produto é feito sob encomenda, portanto restringindo o tempo de fabricação/montagem/entrega a menor ou igual ao tempo acordado com o cliente. Esse tempo do total de entrega do produto acabado é obtido através da equação 19:

$$T = \text{Max}_i(t_{ij} + t'_i) \quad (19)$$

Onde t_{ij} e t'_i são o tempo de fornecimento do componente i determinado pelo fornecedor j e a soma dos tempos dos processos que sucedem o fornecimento do componente i , $j = \{1, 2, \dots, s_i\}$ e s_i o número de fornecedores candidatos para o componente i .

Além disso, é estabelecido como restrição a qualidade do sistema e a credibilidade. Quando a combinação não é viável, ela é descartada. Caso contrário, o modelo calcula o desempenho dela de acordo com critérios pré-estabelecidos. São considerados os seguintes critérios:

- Tempo: Representa o tempo esperado para entregar o produto final ao cliente, o qual foi apresentado anteriormente, na equação 19;
- Qualidade: Representa a chance de conseguir entregar o produto ao cliente com sucesso, considerando a chance de falha de cada componente fornecido. É calculada pela equação 20;
- Custo: Representa o custo total para o fornecimento de todos os componentes, calculado pela equação 24;
- Credibilidade: Representa a chance de entrega no prazo definido pelo critério tempo, onde se considera que pode afetar o planejamento de outras operações da empresa e até mesmo não entregar o produto a tempo para o cliente. É calculado pela equação 25.

Quando a qualidade do produto acabado está relacionada aos componentes, esta qualidade é calculada através do sistema, sendo que há três formas de calcular, quando o sistema é em série, paralelo ou misto. Quando se trata de um sistema em paralelo, no máximo k unidades podem falhar para obter sucesso no sistema. Para sistema em série, difere, todas as unidades devem ter sucesso para que o sistema tenha sucesso. E para um sistema misto, o caso que melhor se encaixa no problema de seleção de fornecedor, por ser um sistema maior, é similar a um sistema em paralelo, mas com redundância, é calculado segundo a equações 20 e 21 (AGHAEI et al., 2016):

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad (20),$$

onde

$$R_i = \sum_{z=0}^{b_i} \frac{b_i!}{z!(b_i-z)!} Q_i^{(b_i-z)} (1 - Q_i)^z. \quad (21)$$

Onde, R é a qualidade do sistema de produção, R_i é a qualidade do componente i , considerando um sistema em paralelo com redundância, Q_i é a qualidade medida em chance de um dos componentes i não falhar, m é a redundância do sistema em paralelo, n é o número de

componentes do sistema de produção, que revela a quantidade de caminhos de processos e b_i é o número total de unidades do componente i , que é calculado conforme a equação 22:

$$b_i = m_i + c_i \quad (22)$$

Onde, c_i é o número de unidades do componente i que são necessárias para o sistema funcionar e m_i é a redundância do sistema em paralelo do componente i .

Quando for considerado que o sistema em paralelo só falhará se todas as unidades falharem, a equação 10 pode ser reduzida para a forma da equação 23.

$$R_i = (1 - [1 - Q_i]^{b_i}) . \quad (23)$$

O custo de todos os fornecedores dos componentes do produto, é dado pela equação 24:

$$TC = \sum_{i=1}^n b_i P_i . \quad (24)$$

Onde TC é o custo total dos fornecedores e P_i é o preço de compra do componente i , considerando uma combinação de fornecedores.

A credibilidade da entrega do produto, por sua vez, é definida através da credibilidade da entrega (DR) do componente i , sendo a probabilidade de entrega dos fornecedores no prazo por eles definidos. A equação 25 demonstra o cálculo dessa credibilidade para o portfólio de fornecedores para o respectivo produto (SUN, 2017):

$$DR = \prod_{i=1}^n DR_i . \quad (25)$$

Onde DR_i é a credibilidade de entrega do fornecedor do componente i .

Após calcular os desempenhos de uma combinação viável em cada critério, o modelo realiza o teste de dominância, ou seja, analisa se a combinação é dominada ou não dominada, através da comparação dos desempenhos de outras combinações não dominadas até o momento. Caso, a combinação seja dominada, ela é descartada, caso não seja, é verificado se ela domina alguma combinação do conjunto atual de não dominadas. Se ela dominar, as combinações dominadas são excluídas do conjunto de não dominadas e a combinação nova é registrada, assim como seus desempenhos são armazenados na matriz consequência. Caso a combinação nova não domine nenhuma antiga, ela entra no conjunto de não-dominadas sem que nenhuma seja excluída. Além disso, cada vez que uma combinação não dominada é identificada, registra-se quantas combinações existem no conjunto de não dominadas.

Vale salientar que até esta parte do modelo não há a necessidade de interação do tomador de decisão. Considerando os métodos compensatórios, os pesos dos critérios são obtidos após a obtenção da escala de desempenho de cada alternativa em cada critério, ou seja, a matriz consequência do conjunto final de combinações não dominadas de fornecedores. Para problemas não compensatórios, a informação preferencial não é afetada pelos desempenhos das

alternativas. Dessa forma, a interação com o tomador de decisão pode ser realizada apenas após a geração de todo o conjunto de não dominadas, independentemente de haver ou não uma racionalidade compensatória.

Ao gerar e testar a última combinação do último cenário de redundância, o conjunto de portfólios não dominados de fornecedores é obtido, ou seja, os portfólios de fornecedores a serem considerados no problema de seleção. Pode-se verificar que agora, o modelo proposto reduziu o problema de seleção de portfólio a um problema de escolha, pela classificação de problemáticas definidas por (Roy, 1996), seguindo-se assim para a avaliação multicritério de portfólio de fornecedores.

Assim, é aplicado o método *FITradeoff*, com o suporte de um Sistema de Apoio a Decisão disponível online em (<http://www.cdsid.org.br/fitradeoff/>), para definir qual a melhor combinação de fornecedores a ser selecionado, conforme descrito na Seção 2.1.4. É nesta fase que há uma interação com o tomador de decisão, que será estabelecida a ordenação dos critérios e assim feito o processo de análise de preferência das consequências.

Por fim, passa-se para última fase, representada de amarelo na Figura 6, ou seja, a fase de finalização, onde temos o resultado de qual o melhor portfólio de fornecedores para o produto acabado desejado.

Nesta fase é feita a análise de sensibilidade, devido à subjetividade da informação preferencial, para verificar a sensibilidade da solução do modelo proposto, através do gráfico de intervalo de pesos gerado pelo Software. Somente nesta fase, fazer a recomendação para o tomador de decisão, de qual o melhor portfólio de fornecedores para aquele respectivo produto.

4 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Para validação do modelo, foi feita uma aplicação em uma empresa de pequeno porte, fabricante de móveis planejados, localizada no município de Barra do Bugres-MT. A empresa apresenta um sistema de produção puxada, o qual atende apenas sob encomenda, e necessita definir qual o melhor portfólio de fornecedores, considerando haver uma sinergia entre os componentes, para executar um projeto de um armário de cozinha para um cliente, que pode ser constatado na Figura 1.

Figura 1- Projeto Armário de Cozinha



Fonte: A Autora (2022)

O tomador de decisão foi o cliente e o marceneiro da empresa atuou como especialista. Ambos tinham como principal objetivo identificar quais seriam os potenciais fornecedores de componentes para a construção do armário de cozinha, da Figura 6. Os critérios relevantes estabelecidos para este problema são os quatro descritos no modelo, na seção anterior.

Na Tabela 2, foram estabelecidos todos os componentes necessários para a construção do armário e suas respectivas quantidades necessárias. A partir da elaboração da estrutura do produto, foi obtida a lista de componentes. A Figura 7 ilustra as entradas dos componentes (P)

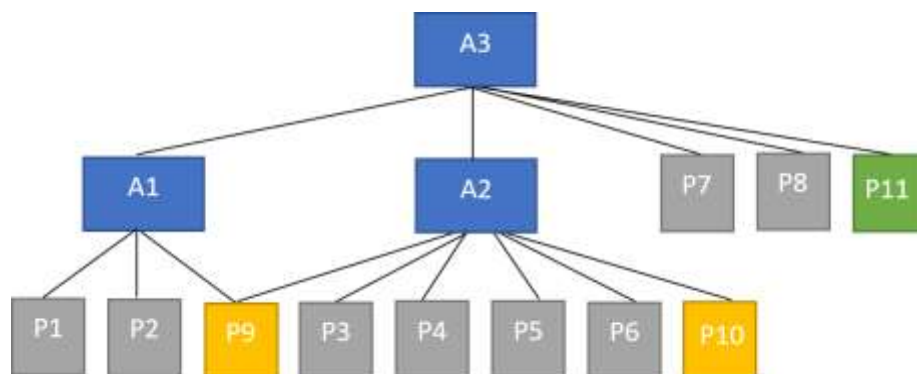
no sistema, que junto aos processos (A), formam os caminhos que serão utilizados para calcular o tempo de produção através de cada caminho.

Tabela 2 - Lista de Materiais

| Código | Produto | Unidades necessárias para o sistema funcionar (c_i) | Redundância (m_i) |
|---------------|--------------------------------|--|------------------------------------|
| P1 | MDF 15mm Louro Freijo | 4 | 1 |
| P2 | Fita borda Louro Freijo 20m | 6 | 1 |
| P3 | MDF 15mm Branco | 3 | 0 |
| P4 | Dobradiça pistão curva | 26 | 3 |
| P5 | Corrediça 500mm | 3 | 0 |
| P6 | Puxador cava de alumínio preto | 3 | 0 |
| P7 | Compensado 15mm | 1 | 0 |
| P8 | MDF 3mm Branco | 2 | 0 |
| P9 | Cola Granulada | 1 | 0 |
| P10 | Fita borda branca 22mm 20m | 1 | 0 |
| P11 | Sapatá Grande | 4 | 0 |

Fonte: A Autora (2022)

Organograma 1 - Estrutura do produto



Fonte: A Autora (2022)

No presente problema foram identificados dois componentes, que a empresa já tinha em seu estoque, que foram a cola granulada (P9) e a fita borda branca (P10), estão representados de cor amarela na estrutura do produto, no Organograma 1. Em relação, a componentes que não tinham relevância para interferir na tomada de decisão, foi identificado apenas a sapatá grande (P11), pois é um componente facilmente encontrado a venda e conseqüentemente tendo um tempo entrega extremamente baixo, além disso, possui um custo muito baixo, sendo que a escolha do fornecedor para esse componente é muito clara, assim afetando de maneira irrelevante a escolha de portfólio de fornecedores para esta linha de produção.

Contudo, os componentes não serão considerados nos cálculos do portfólio de fornecedores, mas vão ser computados no modelo a título de composição, pois são importantes para a construção do produto e sua respectiva qualidade.

Tabela 3 - Tempo de cada fornecedor para cada componente

| Componentes | Candidatos a Fornecedores | Tempo de entrega (T_{ij}) (dias) |
|--------------------|----------------------------------|--|
| P1 | S11 | 10 |
| | S12 | 12 |
| | S13 | 15 |
| P2 | S21 | 9 |
| | S22 | 7 |
| | S23 | 5 |
| | S24 | 8 |
| P3 | S31 | 10 |
| | S32 | 10 |
| | S33 | 8 |
| | S34 | 12 |
| | S35 | 8 |
| P4 | S41 | 5 |
| | S42 | 12 |
| | S43 | 4 |
| P5 | S51 | 10 |
| | S52 | 13 |

| | | |
|----|-----|----|
| | S53 | 6 |
| | S54 | 7 |
| P6 | S61 | 8 |
| | S62 | 7 |
| | S63 | 10 |
| | S64 | 10 |
| P7 | S71 | 10 |
| | S72 | 7 |
| | S73 | 5 |
| | S74 | 8 |
| P8 | S81 | 8 |
| | S82 | 7 |
| | S83 | 10 |
| | S84 | 8 |
| | S85 | 9 |

Fonte: A Autora (2022)

A Tabela 3 apresenta o valor do tempo de processo de cada etapa que sucede cada um dos componentes, os quais serão somados ao tempo de entrega de cada candidato a fornecedor conforme seus respectivos caminhos, representados na Organograma 1 e informados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valor do tempo de cada processo

| | A1 | A2 | A3 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Tempo de processo | 10 | 5 | 3 |

Fonte: A Autora (2022)

A Tabela 5 informa os quatro critérios adotados de cada componente relacionado a seu fornecedor. O tempo de entrega total informado nesta tabela, já é o tempo final do caminho que se inicia com este componente, que seria o tempo de entrega do fornecedor para determinado componente somado do tempo de cada processo que o sucede, (t_{ij} e t'_i) conforme a equação 19.

Tabela 5 - Informações dos fornecedores

| Componentes | Candidatos a Fornecedor | Qualidade (Chance de não falhar - Qi) | Credibilidade (DRi) | Custo(i) (reais) | Tempo Total (dias) |
|--------------------|--------------------------------|--|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| P1 | S11 | 98% | 95% | 393,54 | 23 |
| | S12 | 99% | 98% | 455,84 | 25 |
| | S13 | 98% | 96% | 380 | 28 |
| P2 | S21 | 97% | 95% | 42,61 | 22 |
| | S22 | 97% | 94% | 46,1 | 20 |
| | S23 | 98% | 95% | 74,8 | 18 |
| | S24 | 98% | 96% | 55 | 21 |
| P3 | S31 | 97% | 95% | 373,86 | 18 |
| | S32 | 97% | 96% | 347,88 | 18 |
| | S33 | 99,50% | 98% | 403,69 | 16 |
| | S34 | 98,50% | 98,50% | 368,75 | 20 |
| | S35 | 98% | 96% | 377,89 | 16 |
| P4 | S41 | 98,5% | 98% | 8,75 | 13 |
| | S42 | 95,0% | 94% | 5,49 | 20 |
| | S43 | 99% | 99% | 10,02 | 12 |
| P5 | S51 | 95% | 95% | 26,12 | 18 |
| | S52 | 97% | 97% | 29,93 | 21 |
| | S53 | 98% | 97% | 30,72 | 14 |
| | S54 | 96% | 96% | 29,55 | 15 |
| P6 | S61 | 96% | 96% | 81 | 16 |
| | S62 | 98% | 97% | 89,36 | 15 |
| | S63 | 95% | 94% | 82,44 | 18 |
| | S64 | 99% | 97% | 128 | 18 |
| P7 | S71 | 97% | 97% | 280,29 | 13 |
| | S72 | 96% | 96% | 245,7 | 10 |
| | S73 | 98,50% | 98% | 284,04 | 8 |
| | S74 | 98% | 96% | 264,9 | 11 |

| | | | | | |
|----|-----|-------|--------|--------|----|
| P8 | S81 | 98,0% | 96% | 199,6 | 11 |
| | S82 | 96% | 96% | 122,9 | 10 |
| | S83 | 99% | 96,50% | 284,28 | 13 |
| | S84 | 99% | 97,00% | 230 | 11 |
| | S85 | 99,5% | 98,00% | 285,86 | 12 |

Fonte: A Autora (2022)

Para cada combinação, o tempo de entrega será o maior dentre os fornecedores selecionados, segundo a Tabela 5 e a equação 19. A qualidade, o custo total e a credibilidade são calculadas pelas equações 20, 24 e 25, respectivamente.

Após reunir todos esses dados são geradas todas as combinações possíveis de fornecedores, sendo 57.600 combinações no total para cada cenário de redundâncias (Tabela 6). Para realizar a análise de viabilidade se tem como restrição, um prazo de 26 dias para entregar o produto ao cliente, de forma que qualquer combinação que gere um caminho crítico maior que esse prazo é considerado inviável. Também foi imposto pela empresa como restrição que a qualidade deveria ser maior ou igual a 80% e a credibilidade deveria ser maior ou igual a 75%. Caso a combinação não seja viável, ela será descartada, porém, se for viável será comparada com outras combinações viáveis, passando para o teste de dominância.

Tabela 6 - Cenários de Redundâncias

| | Redundância Componente 1 | Redundância Componente 2 | Redundância Componente 4 | Sistema de Produção Funciona | Quantidade de combinações viáveis/ Não dominadas |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---|
| Cenário 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| Cenário 2 | 0 | 0 | 1 | | |
| Cenário 3 | 0 | 0 | 2 | | |
| Cenário 4 | 0 | 0 | 3 | | |
| Cenário 5 | 0 | 1 | 0 | | |
| Cenário 6 | 0 | 1 | 1 | X | 10/1 |
| Cenário 7 | 0 | 1 | 2 | X | 134/14 |
| Cenário 8 | 0 | 1 | 3 | X | 142/19 |
| Cenário 9 | 1 | 0 | 0 | | |

| | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---------|
| Cenário 10 | 1 | 0 | 1 | | |
| Cenário 11 | 1 | 0 | 2 | | |
| Cenário 12 | 1 | 0 | 3 | | |
| Cenário 13 | 1 | 1 | 0 | | |
| Cenário 14 | 1 | 1 | 1 | X | 277/4 |
| Cenário 15 | 1 | 1 | 2 | X | 1267/42 |
| Cenário 16 | 1 | 1 | 3 | X | 1358/50 |

Fonte: A Autora (2022)

Na Tabela 6, estão presentes todos os cenários possíveis de redundância, segundo os dados da Tabela 2, onde foi possível identificar 16 cenários diferentes e a quantidade de combinações viáveis e não dominadas para cada cenário. Dessa forma, foi possível identificar que aplicar o modelo limitando a alguns cenários específicos de redundância, pode fazer com que a chance de o sistema de produção ser impedido de funcionar seja inaceitável para o tomador de decisão. Logo, é possível verificar a importância, de acordo com a tabela 6, de se considerar redundância para componentes de processos que exigem uma quantidade muito elevada de itens sem defeito.

No presente problema se obteve, portanto, um total de 3.188 combinações viáveis, considerando todos os cenários de redundância, as quais passaram pelo teste de dominância restando apenas 130 combinações viáveis e não dominadas, as quais tiveram seu desempenho calculado em cada critério e assim construído a matriz consequência, conforme pode ser constatado na Tabela 7.

Tabela 7 - Combinações não dominadas

| Combinação | Fornecedores | | | | | | | | Critérios | | | | Cenários de Redundâncias |
|------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-------|---------|---------------|--------------------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | Qualidade | Tempo | Custo | Credibilidade | |
| A1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0,803 | 23 | 4774,27 | 0,763 | 113 |
| A2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0,806 | 23 | 4811,1 | 0,771 | 113 |
| A3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,828 | 23 | 4890,19 | 0,763 | 113 |
| A4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,804 | 23 | 4785,37 | 0,771 | 113 |
| A5 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,831 | 23 | 4927,02 | 0,771 | 113 |
| A6 | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,806 | 23 | 4822,2 | 0,779 | 113 |
| A7 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,82 | 23 | 4835,07 | 0,771 | 113 |
| A8 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,828 | 23 | 4921,8 | 0,779 | 113 |
| A9 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,803 | 23 | 4816,98 | 0,787 | 113 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|----|---------|-------|-----|
| A10 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,823 | 23 | 4871,9 | 0,779 | 113 |
| A11 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,83 | 23 | 4958,63 | 0,787 | 113 |
| A12 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,806 | 23 | 4853,81 | 0,795 | 113 |
| A13 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,845 | 23 | 4950,99 | 0,771 | 113 |
| A14 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,848 | 25 | 5262,49 | 0,796 | 113 |
| A15 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,853 | 23 | 5037,72 | 0,779 | 113 |
| A16 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,856 | 25 | 5349,22 | 0,804 | 113 |
| A17 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,821 | 23 | 4846,17 | 0,779 | 113 |
| A18 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,828 | 23 | 4932,9 | 0,787 | 113 |
| A19 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,848 | 23 | 4987,82 | 0,779 | 113 |
| A20 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,851 | 25 | 5299,32 | 0,804 | 113 |
| A21 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,856 | 23 | 5074,55 | 0,787 | 113 |
| A22 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,858 | 25 | 5386,05 | 0,812 | 113 |
| A23 | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,823 | 23 | 4883 | 0,787 | 113 |
| A24 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,831 | 23 | 4969,73 | 0,795 | 113 |
| A25 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 0,816 | 23 | 4815,93 | 0,756 | 113 |
| A26 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0,841 | 23 | 4931,85 | 0,756 | 113 |
| A27 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0,849 | 23 | 5018,58 | 0,764 | 113 |
| A28 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,829 | 23 | 4946,79 | 0,779 | 113 |
| A29 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,836 | 23 | 5033,52 | 0,787 | 113 |
| A30 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,839 | 25 | 5345,02 | 0,812 | 113 |
| A31 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,804 | 23 | 4841,97 | 0,787 | 113 |
| A32 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,812 | 23 | 4928,7 | 0,796 | 113 |
| A33 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,839 | 23 | 5070,35 | 0,795 | 113 |
| A34 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,841 | 25 | 5381,85 | 0,821 | 113 |
| A35 | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,807 | 23 | 4878,8 | 0,795 | 113 |
| A36 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,814 | 23 | 4965,53 | 0,804 | 113 |
| A37 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,854 | 23 | 5062,71 | 0,779 | 113 |
| A38 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,857 | 25 | 5374,21 | 0,804 | 113 |
| A39 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,862 | 23 | 5149,44 | 0,787 | 113 |
| A40 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,865 | 25 | 5460,94 | 0,812 | 113 |
| A41 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,837 | 23 | 5044,62 | 0,796 | 113 |
| A42 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,839 | 25 | 5356,12 | 0,821 | 113 |
| A43 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,857 | 23 | 5099,54 | 0,787 | 113 |
| A44 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,859 | 25 | 5411,04 | 0,812 | 113 |
| A45 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,865 | 23 | 5186,27 | 0,795 | 113 |
| A46 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,867 | 25 | 5497,77 | 0,821 | 113 |
| A47 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,839 | 23 | 5081,45 | 0,804 | 113 |
| A48 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,842 | 25 | 5392,95 | 0,829 | 113 |
| A49 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 5 | 0,858 | 23 | 5130,3 | 0,771 | 113 |
| A50 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 5 | 0,86 | 25 | 5441,8 | 0,796 | 113 |
| A51 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0,801 | 23 | 4765,52 | 0,763 | 112 |
| A52 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0,805 | 23 | 4801,08 | 0,771 | 112 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|----|---------|-------|-----|
| A53 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,826 | 23 | 4881,44 | 0,763 | 112 |
| A54 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,801 | 23 | 4776,62 | 0,771 | 112 |
| A55 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,83 | 23 | 4917 | 0,771 | 112 |
| A56 | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,805 | 23 | 4812,18 | 0,779 | 112 |
| A57 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,818 | 23 | 4826,32 | 0,771 | 112 |
| A58 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,825 | 23 | 4913,05 | 0,779 | 112 |
| A59 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,801 | 23 | 4808,23 | 0,787 | 112 |
| A60 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,822 | 23 | 4861,88 | 0,779 | 112 |
| A61 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,829 | 23 | 4948,61 | 0,787 | 112 |
| A62 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,805 | 23 | 4843,79 | 0,795 | 112 |
| A63 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,843 | 23 | 4942,24 | 0,771 | 112 |
| A64 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,845 | 25 | 5253,74 | 0,796 | 112 |
| A65 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,851 | 23 | 5028,97 | 0,779 | 112 |
| A66 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,853 | 25 | 5340,47 | 0,804 | 112 |
| A67 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,818 | 23 | 4837,42 | 0,779 | 112 |
| A68 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,826 | 23 | 4924,15 | 0,787 | 112 |
| A69 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,847 | 23 | 4977,8 | 0,779 | 112 |
| A70 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,85 | 25 | 5289,3 | 0,804 | 112 |
| A71 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,855 | 23 | 5064,53 | 0,787 | 112 |
| A72 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,857 | 25 | 5376,03 | 0,812 | 112 |
| A73 | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,822 | 23 | 4872,98 | 0,787 | 112 |
| A74 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,83 | 23 | 4959,71 | 0,795 | 112 |
| A75 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 0,814 | 23 | 4807,18 | 0,756 | 112 |
| A76 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0,839 | 23 | 4923,1 | 0,756 | 112 |
| A77 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0,814 | 23 | 4818,28 | 0,763 | 112 |
| A78 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,834 | 23 | 5024,77 | 0,787 | 112 |
| A79 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,836 | 25 | 5336,27 | 0,812 | 112 |
| A80 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,809 | 23 | 4919,95 | 0,796 | 112 |
| A81 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,838 | 23 | 5060,33 | 0,795 | 112 |
| A82 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,84 | 25 | 5371,83 | 0,821 | 112 |
| A83 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,813 | 23 | 4955,51 | 0,804 | 112 |
| A84 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,816 | 25 | 5267,01 | 0,829 | 112 |
| A85 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,859 | 23 | 5140,69 | 0,787 | 112 |
| A86 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,862 | 25 | 5452,19 | 0,812 | 112 |
| A87 | 1 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,834 | 23 | 5035,87 | 0,796 | 112 |
| A88 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,837 | 25 | 5347,37 | 0,821 | 112 |
| A89 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,864 | 23 | 5176,25 | 0,795 | 112 |
| A90 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,866 | 25 | 5487,75 | 0,821 | 112 |
| A91 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,838 | 23 | 5071,43 | 0,804 | 112 |
| A92 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,841 | 25 | 5382,93 | 0,829 | 112 |
| A93 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,84 | 23 | 5166,23 | 0,795 | 111 |
| A94 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,843 | 25 | 5477,73 | 0,821 | 111 |
| A95 | 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,816 | 23 | 5061,41 | 0,804 | 111 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|----|---------|-------|-----|
| A96 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,818 | 25 | 5372,91 | 0,829 | 111 |
| A97 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,802 | 25 | 4782,68 | 0,795 | 013 |
| A98 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,801 | 25 | 4814,29 | 0,812 | 013 |
| A99 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,816 | 25 | 4806,65 | 0,796 | 013 |
| A100 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,823 | 25 | 4893,38 | 0,804 | 013 |
| A101 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,818 | 25 | 4843,48 | 0,804 | 013 |
| A102 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,826 | 25 | 4930,21 | 0,812 | 013 |
| A103 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0,812 | 25 | 4787,51 | 0,779 | 013 |
| A104 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0,819 | 25 | 4874,24 | 0,788 | 013 |
| A105 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,807 | 25 | 4889,18 | 0,812 | 013 |
| A106 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,802 | 25 | 4839,28 | 0,812 | 013 |
| A107 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,809 | 25 | 4926,01 | 0,821 | 013 |
| A108 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,824 | 25 | 4918,37 | 0,804 | 013 |
| A109 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,832 | 25 | 5005,1 | 0,812 | 013 |
| A110 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,807 | 25 | 4900,28 | 0,821 | 013 |
| A111 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,827 | 25 | 4955,2 | 0,812 | 013 |
| A112 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,8 | 23 | 4792,73 | 0,795 | 013 |
| A113 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,834 | 25 | 5041,93 | 0,821 | 013 |
| A114 | 2 | 1 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,802 | 25 | 4850,38 | 0,82 | 013 |
| A115 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,81 | 25 | 4937,11 | 0,829 | 013 |
| A116 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0,801 | 25 | 4772,66 | 0,795 | 012 |
| A117 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0,8 | 25 | 4804,27 | 0,812 | 012 |
| A118 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,813 | 25 | 4797,9 | 0,796 | 012 |
| A119 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,821 | 25 | 4884,63 | 0,804 | 012 |
| A120 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,817 | 25 | 4833,46 | 0,804 | 012 |
| A121 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,825 | 25 | 4920,19 | 0,812 | 012 |
| A122 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 0,801 | 25 | 4815,37 | 0,821 | 012 |
| A123 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 0,809 | 25 | 4778,76 | 0,779 | 012 |
| A124 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,804 | 25 | 4880,43 | 0,812 | 012 |
| A125 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 0,808 | 25 | 4915,99 | 0,821 | 012 |
| A126 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,829 | 25 | 4996,35 | 0,812 | 012 |
| A127 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,805 | 25 | 4891,53 | 0,821 | 012 |
| A128 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,833 | 25 | 5031,91 | 0,821 | 012 |
| A129 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,809 | 25 | 4927,09 | 0,829 | 012 |
| A130 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 0,811 | 25 | 5021,89 | 0,821 | 011 |

Fonte: A Autora (2022)

Na Tabela 7 é possível identificar todos os portfólios de fornecedores não dominados e seus respectivos cenários de redundância para o móvel planejado e seus respectivos desempenhos em cada critério. Através dessa matriz consequência foi aplicado o método *FITradeoff* através do SAD, ou seja, o método *FITradeoff* foi aplicado apenas para as combinações viáveis e não dominadas.

Figura 2 - Importação dos dados

Input Data:

| Criteria: | Qualidade | Tempo | Custo | Credibilidade |
|--|-----------|-------|---------|---------------|
| 0-Cont Min; 1-Cont Max; 2-Disc Min; 3- Disc Max: | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Type: | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a: | | | | |
| b: | | | | |
| c: number of levels of discrete criteria | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consequence Matrix: | | | | |
| A1 | 0.803 | 23 | 4774.27 | 0.763 |
| A2 | 0.806 | 23 | 4811.1 | 0.771 |
| A3 | 0.828 | 23 | 4890.19 | 0.763 |
| A4 | 0.836 | 23 | 4976.92 | 0.771 |
| A5 | 0.804 | 23 | 4785.37 | 0.771 |
| A6 | 0.811 | 23 | 4872.1 | 0.779 |
| A7 | 0.814 | 25 | 5103.6 | 0.804 |
| A8 | 0.831 | 23 | 4927.02 | 0.771 |
| A9 | 0.838 | 23 | 5013.75 | 0.779 |
| A10 | 0.841 | 25 | 5325.25 | 0.804 |
| A11 | 0.806 | 23 | 4822.2 | 0.779 |

Equivalence threshold:
Maximum difference for the global values of two alternatives, below of which they can be considered indifferent:

Logos: Inct, INSID, CDSIP

Fonte: SAD *FITradeoff* (2022)

Conforme demonstrado na Figura 2, foi importado os dados para o SAD *FITradeoff* e considerado 0,01 a diferença máxima para os valores globais de duas alternativas, abaixo das quais elas podem ser consideradas indiferentes e então, o tomador de decisão realizou a ordenação das constantes de escalas dos critérios através de uma comparação par a par, tendo que responder sua preferência entre duas consequências. Na Tabela 8, na primeira e segunda coluna temos a consequência A e consequência B, respectivamente, que demonstram o melhor desempenho no critério descrito e na última coluna a resposta de preferência do tomador de decisão.

Tabela 8 - Ordenação das constantes de escala

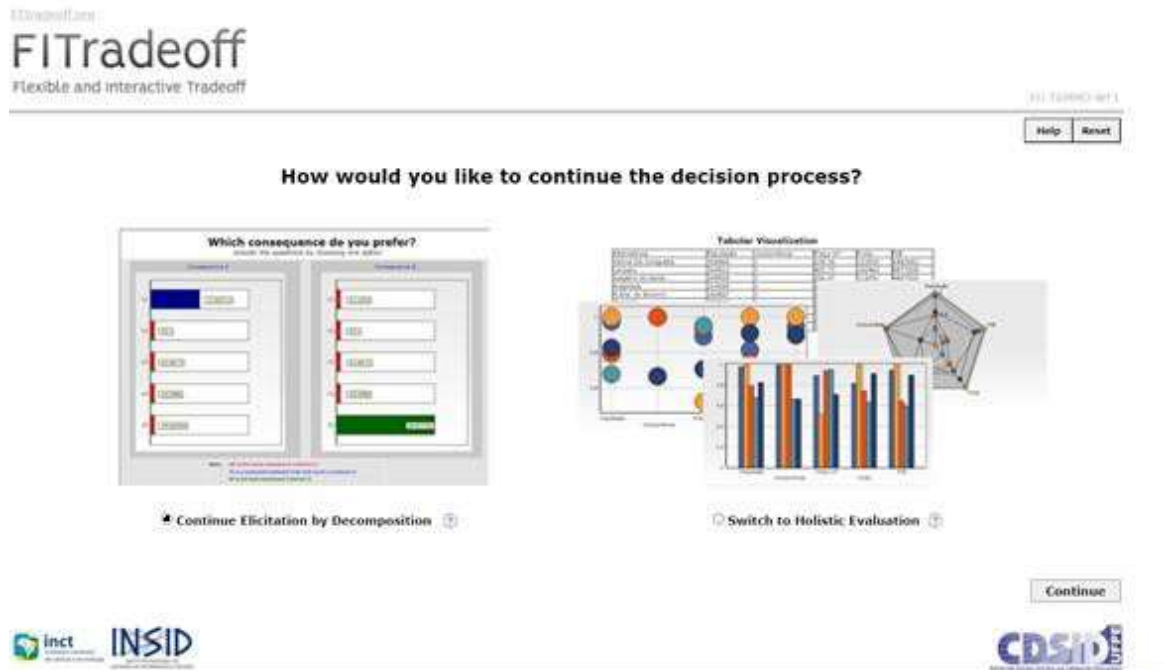
| Consequência A | Consequência B | Resposta |
|----------------|----------------|----------|
| Custo | Qualidade | A |
| Custo | Credibilidade | A |
| Qualidade | Credibilidade | A |
| Qualidade | Tempo | A |
| Credibilidade | Tempo | A |

Fonte: A Autora (2022)

Nota: Software SAD *FITradeoff* (2022)

Após cinco perguntas é possível encontrar a ordenação das constantes de escalas sendo primeiramente o custo mais relevante, seguido de qualidade, credibilidade e por último o tempo.

Figura 3 - Escolha da continuação do processo de decisão



Fonte: SAD *FITradeoff* (2022)

Em seguida, conforme a Figura 3, o software oferece a opção de antes de começar o processo de elicitación, realizar uma avaliação holística, ou seja, o decisor analisa as alternativas potencialmente ótimas e identifica quais ele deseja eliminar e são retiradas do processo de elicitación. Contudo, para a presente aplicação não foi considerada a avaliação holística no início do procedimento de elicitación, devido à dificuldade do decisor em comparar combinações de alternativas. Desta forma, seguiu-se para o procedimento de elicitación por decomposição, apresentando ao tomador de decisão consequências hipotéticas as quais ele teria que efetuar uma comparação e responder qual sua preferência entre elas. A partir de cada ciclo de resposta, conforme demonstrado na Figura 4, é verificado se há solução ótima para os modelos de programação linear relacionados a cada alternativa potencialmente ótima, considerando o subespaço peso atual.

Figura 4 - Elicitação de preferência

The screenshot shows the FITradeoff software interface. The main question is "Which consequence do you prefer?" with the instruction "Answer the questions by choosing one option". There are two panels, "Consequence A" and "Consequence B".

Consequence A:

- C1: Blue bar, value W1:0.1544
- C2: Red bar, value W2:0.21
- C3: Red bar, value W3:0.780
- C4: Red bar, value W4:25

Consequence B:

- C1: Red bar, value W1:0.0737
- C2: Green bar, value W2:0.4
- C3: Red bar, value W3:0.780
- C4: Green bar, value W4:25

Options:

- Consequence A
- Consequence B
- Indifferent
- No Answer

Legend of criteria scaling constants:

- C1 - Custo
- C2 - Qualidade
- C3 - Credibilidade
- C4 - Tempo

Additional information on the right: Questions Answered: 0, Potentially Optimal Alternatives: 25, Show Current Results.

Fonte: SAD FITradeoff (2022)

A Tabela 9 mostra os ciclos e entradas considerados no processo para seleção do portfólio de fornecedores para o móvel planejado. Em cada ciclo, se tem na segunda coluna a Consequência A, que consiste no valor indicado de a'_h e a''_h para o critério de maior peso no par de critérios comparados, e na terceira coluna se tem a Consequência B, mostra o melhor desempenho do critério com menor peso no par de critérios comparados. Na quarta coluna temos a resposta do tomador de decisão, se a resposta for a consequência A, o valor a ser assumido é a''_h , caso contrário será a'_h . Dessa forma, na última coluna é possível identificar os resultados intermediários encontrados durante cada ciclo, os quais seriam os subconjuntos de alternativas potencialmente ótimas.

Tabela 9 - Ciclos e inputs considerados no processo

| Ciclo | Consequência A | Consequência B (melhor) | Resposta | Alternativas Potencialmente ótimas | Avaliação holística realizada? |
|-------|------------------------|-------------------------|-----------|--|--------------------------------|
| 0 | | | Ordenando | A7,A13,A15,A17,A21,A45,A51,A57,A69,A71,A73,A74,A75,A89,A99,A103,A112,A113,A116,A118,A120,A121,A122,A123,A128 | Não |
| 1 | 5131.645 de Custo | Tempo (23) | A | A7,A13,A15,A17,A21,A45,A51,A57,A69,A71,A73,A74,A75,A89,A99,A103,A112,A113,A116,A118,A120,A121,A122,A123,A128 | Não |
| 2 | 5131.645 de Custo | Qualidade (0.867) | A | A7,A13,A17,A51,A57,A69,A73,A75,A99,A103,A112,A116,A118,A120,A122,A123 | Não |
| 3 | 0.834 de Qualidade | Credibilidade (0.829) | A | A7,A13,A17,A51,A57,A69,A75,A99,A103,A112,A116,A118,A123 | Não |
| 4 | 0.793 de Credibilidade | Tempo (23) | A | A13,A17,A51,A57,A69,A99,A103,A112,A116,A118,A123 | Não |
| 5 | 5314.708 de Custo | Qualidade (0.867) | A | A51,A112,A116,A118,A123 | Não |
| 6 | 0.817 de Qualidade | Credibilidade (0.829) | B | A51,A112,A116,A118,A123 | Não |
| 7 | 0.774 de Credibilidade | Tempo (23) | A | A51,A116,A118,A123 | Não |
| 8 | 5406.239 de Custo | Qualidade (0.867) | B | A51,A116,A118,A123 | Não |
| 9 | 0.825 de Qualidade | Credibilidade (0.829) | B | A51,A116,A118 | Sim |

Fonte: A Autora (2022)

Nota: SAD FITradeoff (2022)

Desta forma, nota-se que no primeiro ciclo se tinha vinte e cinco alternativas potencialmente ótimas no subconjunto e pode-se perceber que a partir do ciclo 5, esse subconjunto foi reduzido para cinco alternativas. Após o nono ciclo, em seu subconjunto tinha

três alternativas potencialmente ótimas, o decisor decidiu realizar uma avaliação holística, pois através do teste de equivalência, conforme a Figura 5, pôde verificar que a diferença máxima entre as alternativas potencialmente ótimas era baixa.

Figura 5 - Teste de Equivalência

The screenshot displays the 'Flexible and Interactive Tradeoff' software interface. The main window is titled 'Which consequence do you prefer?' and asks the user to 'Answer the questions by choosing one option'. It is divided into two panels: 'Consequência A' and 'Consequência B'. Each panel contains four sliders for criteria C1, C2, C3, and C4. In Consequência A, C1 is at 0.1548777, C2 is at 0.0208, C3 is at 0.320784, and C4 is at 0.0424. In Consequência B, C1 is at 0.1548777, C2 is at 0.0208, C3 is at 0.320784, and C4 is at 0.0424. The right-hand panel contains 'Options' with radio buttons for 'Consequence A', 'Consequence B', 'Indifferent', 'No Answer', and 'Inconsistency'. Below this is a 'Legend of criteria scaling constants' table and an 'Equivalence Test' table.

| Between | Max. Difference |
|-----------|-----------------|
| A51-A116 | 0.0000 |
| A116-A51 | 0.0000 |
| A51-A118 | 0.0104 |
| A118-A51 | 0.0415 |
| A116-A118 | 0.0098 |
| A118-A116 | 0.0067 |

Fonte: SAD FITradeoff (2022)

Ao solicitar em ver resultados parciais, é possível ver as alternativas pertencentes ao subconjunto e seus desempenhos demonstrados graficamente e em tabulação, solicitando uma opção para continuar o processo de elicitação, segundo a Figura 6. Neste caso, o decisor preferia escolher continuar o processo de elicitação com a avaliação holística.

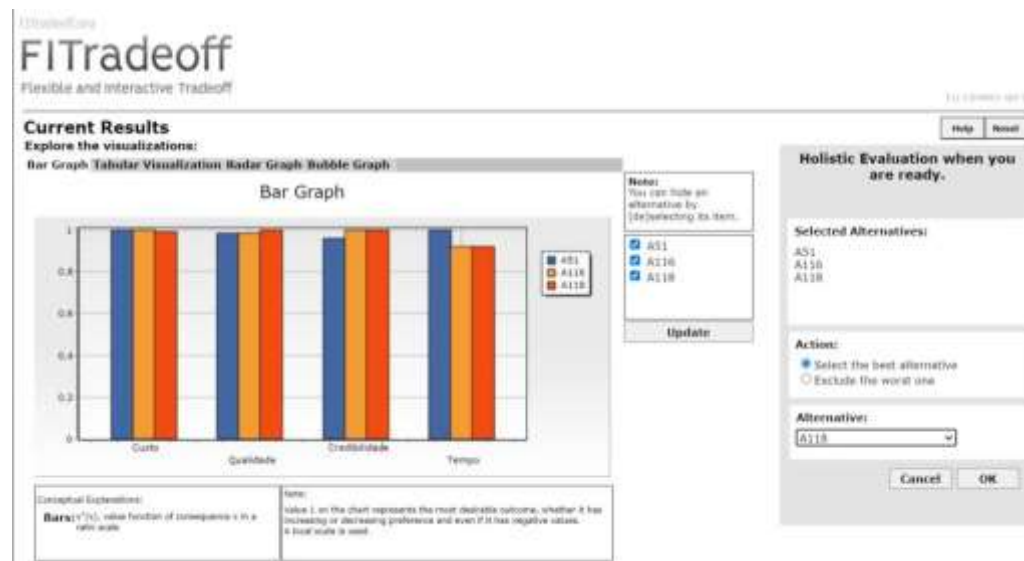
Na avaliação holística foram avaliadas as alternativas A51, A116 e A118, através de uma visualização tabular e gráfica. Dessa forma, o decisor pode verificar as diferenças entre elas e concluir que a melhor alternativa era a A118, pois apesar dela perder no critério custo e tempo para as outras duas alternativas, compensaria para ter uma credibilidade e qualidade maior, além de reduzir o tempo de elicitação. Conforme a Figura 7, o decisor selecionou que a melhor alternativa é A118, finalizando o processo de elicitação de preferência.

Figura 6 - Continuação da elicitação de preferência



Fonte: SAD FITradeoff (2022)

Figura 7 - Decisão da Avaliação Holística



Fonte: SAD FITradeoff (2022)

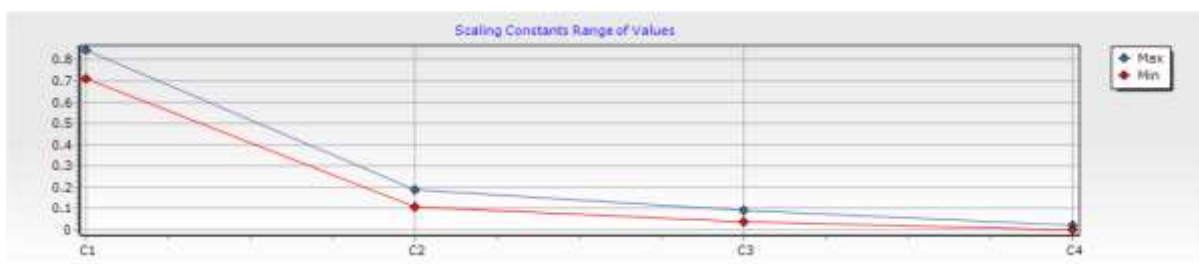
Essa avaliação holística facilitou o processo de elicitação, pois reduziu o conjunto de alternativas potencialmente ótimas a apenas uma, ou seja, a alternativa ótima, reduzindo consequentemente também o tempo de interação do decisor no processo de decisão.

Comparando as alternativas A116 e A118, percebe-se que, apenas se diferenciam nos fornecedores do MDF Branco (Componente 8) e da dobradiça pistão curva (Componente 4), além de ter uma diferença pequena entre seus desempenhos, nos critérios qualidade, custo e

credibilidade. A alternativa A118 perde apenas no critério custo para a A116, tendo um melhor desempenho nos critérios credibilidade e qualidade.

O software também mostra o espaço de peso para a alternativa A118 seja a alternativa ótima, que pode ser observado na Gráfico 3, ou seja, mostra o intervalo de pesos de cada critério para que para a solução única encontrada. Os intervalos de pesos são: custo (0,85–0,71); qualidade (0,19–0,11); credibilidade (0,09–0,4) e Tempo (0,02–0).

Gráfico 3 - Intervalo de pesos



Fonte: SAD FITradeoff (2022)

Nota-se que a faixa de pesos de cada critério é pequena, o que mostra que apesar de ter havido confiança nas respostas do tomador de decisão, pequenas variações nos pesos poderiam mudar a alternativa potencialmente ótima, mostrando que a robustez do modelo está mais associada à confiança do tomador de decisão em responder as questões quando poderia ter escolhido não responder. Além disso, percebe-se que os pesos possuem uma distribuição modal, onde têm-se uma concentração maior nos primeiros critérios ordenados com valores maiores e, em seguida, os valores decaem muito para os outros critérios, portanto, tendo uma proporção de $k_0/k_1 < 0,5$.

4.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao aplicar o modelo multicritério para a seleção de fornecedores em um sistema de produção obteve-se para ser selecionados uma combinação dentre 130 possíveis combinações, conforme pode ser analisada na Tabela 6. Ao comparar as combinações que se mantiveram no subconjunto de alternativas potencialmente ótimas juntamente com a A118, no primeiro ciclo, é possível perceber que as mudanças são muito discretas, se limitando à troca de, no máximo, três fornecedores diferentes para cada componente. Desta forma, analisando os fornecedores

dos componentes de cada combinação potencialmente ótima, do primeiro ciclo, pode se notar que para o componente 5, seu fornecedor é bem definido, pois para todas as combinações potencialmente ótimas o fornecedor 3 permanece. Também é possível identificar para os componentes 2, 3, 4, 6 e 7, há uma variação apenas entre dois fornecedores para todas as combinações. Já quando se trata do componente 8 há variação entre três fornecedores.

Comparando as combinações A116 e A118 que se mantiveram, percebe-se que apenas se diferenciam nos fornecedores dos componentes 4 e 8, tendo uma alteração no critério o custo, qualidade e credibilidade, e mantendo-se igual no critério tempo e o cenário de redundância. A combinação A118 tem uma diferença a mais de 25,24 reais no critério e tendo um aumento na qualidade de 1,3% e um aumento na credibilidade de apenas 0,1%, o que para o tomador de decisão vale a pena pagar esse valor a mais para obter uma chance maior de obter o produto conforme solicitado.

A melhor combinação, revela um portfólio de fornecedores que possui uma qualidade de 0,813, o que significa que conforme a chance de falha dos componentes, a chance de ter problemas na produção ou de entregar um produto com falha ao cliente devido a problemas de fornecedor é de menos de 20%. O prazo esperado de entrega ficou como 25 dias, o que além de atender à exigência do cliente, libera os recursos mais rapidamente para atender outros pedidos. A chance de cumprir o prazo dos 25 dias é de 77,96%, o que aumenta a segurança de planejar atividades de outros pedidos após esse período.

Em relação, aos cenários de redundâncias, o subconjunto de alternativas potencialmente ótimas do oitavo ciclo, tinham que considerar para o componente 6, uma redundância de 2 unidades, e para o componente 2, uma redundância de 1 unidade, para que o sistema de produção pudesse funcionar e atender as necessidades do tomador de decisão. Apenas a combinação A51, considerou uma redundância, para o componente 1, em 1 unidade. Portanto, foi possível identificar a importância de considerar redundância, pelo menos, para os componentes 2 e 6, dessa forma garantindo uma maior chance de o produto ser entregue conforme as exigências feitas do cliente.

O método *FITradeoff* se mostrou bastante satisfatório para o decisor, pois o decisor tem a escolha de visualizar previamente os resultados de cada ciclo, ou seja, durante a elicitação o decisor consegue ter resultados parciais, podendo optar em reduzir a quantidade de alternativa através de uma avaliação holística e, conseqüentemente reduzindo o tempo no processo de elicitação.

Para a presente aplicação, em decorrente do método *FITradeoff* ter a opção de escolher fazer uma avaliação holística, o decisor decidiu avaliar, no nono ciclo, as três alternativas pertencentes ao subconjunto de alternativas potencialmente ótimas. Em decorrência da avaliação do decisor, concluiu que estava disposto a ter um custo a mais de 20 reais, para ter um sistema com maior qualidade e credibilidade, além de reduzir o tempo gasto no processo de elicitação de preferência.

A análise de sensibilidade mostrou que a solução é sensível, principalmente para os critérios qualidade e tempo, consoante a Figura 16 possuem um intervalo de peso menor, pois quando analisa se o desempenho das combinações nesses critérios se percebe poucas variações.

Apesar de o modelo possuir uma desvantagem computacional no que se refere à geração dos portfólios, essa desvantagem não afeta o tomador de decisão, dado que o mesmo só se envolvera no modelo a partir da definição do conjunto de combinações não dominadas. Isso significa que toda a geração de combinações pode ser realizada em momento anterior ao envolvimento do decisor, levando-lhe apenas um problema simples de escolha de fornecedores.

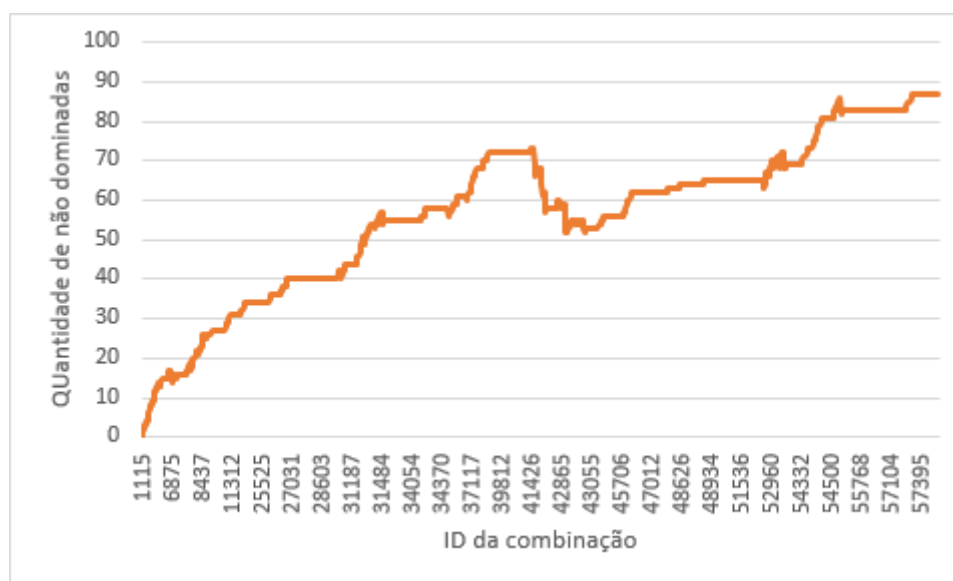
Outro ponto a ser ressaltado é que, diferentemente de um problema tradicional de portfólios, onde o número de combinações possíveis é 2^n , o problema de seleção de portfólio de fornecedores inclui a restrição de que não se pode selecionar dois fornecedores para um mesmo componente, isso reduz o esforço computacional significativamente.

No estudo de caso aplicado existiam um total de 32 candidatos a fornecedores, foram geradas 57.600 combinações possíveis para cada cenário de redundância, enquanto se fosse em um problema tradicional de portfólio, esse número seria mais de quatro milhões, o que tornaria o modelo extremamente exaustivo.

A geração de combinações através do procedimento de transformação dos Ids nas combinações, associados às análises de viabilidade de dominância para todos os 16 cenários de redundância demoraram aproximadamente três minutos e meio em um computador com processador intel i7-1065G7, 8Gb de memória RAM e HD SSD.

Conforme a Gráfico 4, é possível notar que independente do modelo possuir um número alto de candidatos a fornecedor, gerando assim consequentemente um alto número de combinações possíveis, não aumenta em abundância as combinações não dominadas, pois essa quantidade de combinações cresce de maneira rápida no começo, mas com o decorrer das comparações elas vão sendo substituídas por outras, o que nas comparações finais esse aumento reduz drasticamente.

Gráfico 4 - Combinações não dominadas por comparações



Fonte: A Autora (2022)

Também é possível identificar esse aumento, em Julio et al. (2020), em que teve 2.592 combinações possíveis no total e delas se obtiveram 50 não dominadas, comparando com o presente estudo em que o número de combinações possíveis é mais de vinte vezes maior (2000% de aumento), o mesmo não ocorreu com o número de combinações não dominadas que aumentou em apenas 160%.

Portanto, se o número de componentes e candidatos a fornecedores forem altos, o esforço computacional do modelo aumenta em uma proporção bem menor quando comparado com outros problemas de portfólio e esse esforço não é levado ao processo de elicitação com o decisor, pois a quantidade de combinações não dominadas não aumentará na mesma proporção de combinações possíveis.

Outra questão, é que a análise de sensibilidade acaba sendo mais precisa e fácil de ser aplicada, visto que ela será feita apenas com as combinações não dominadas, ou seja, com 130 combinações.

5 CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho foi propor um modelo para resolver problemas de seleção de fornecedores de componentes para um sistema de produção através de uma abordagem de portfólio. A decisão de qual fornecedor selecionar pode afetar objetivos como a qualidade, credibilidade, custos, entre outros, de forma que já é reconhecidamente tratado como um problema de decisão multicritério. No entanto, a maior parte das aplicações de seleção de fornecedores, foca na escolha de um único fornecedor, de maneira que não condiz com a realidade, dado que uma empresa depende de vários fornecedores de componentes diferentes em seu sistema de produção.

Também foi possível identificar na literatura, que alguns modelos que trabalhavam com abordagem de portfólio, não tratavam portfólio com muitos fornecedores, geralmente era de no máximo três fornecedores, ou não abordavam como geravam essas combinações ou se tratava de um problema de alocação de pedidos que não é o foco do modelo proposto no presente trabalho.

O uso de abordagens combinatórias, como a de portfólio, permite analisar não apenas os benefícios do fornecedor de um componente, mas dos fornecedores de todos os componentes de um sistema de produção, incluindo as interações entre eles. Um exemplo disso é o prazo, pois é considerado na maioria dos problemas de decisão de seleção de fornecedores, sendo a capacidade de atender o cliente. Uma variação no prazo pode ser irrelevante se o componente fornecido entra no sistema através de um caminho que não é crítico. De maneira semelhante, pode haver interações entre os desempenhos dos fornecedores de diferentes componentes em outros objetivos, que passa despercebido sem uma abordagem adequada que avalie a combinação ao invés de um único fornecedor.

Considerando todos esses pontos, foi proposto um modelo que analisa os objetivos do problema de seleção de portfólio de fornecedores, para produtos produzidos sob encomenda e que possuem pelos menos três componentes diferentes, sendo que os dados referentes aos objetivos no nível de cada fornecedor isolado e posteriormente gerando as combinações de fornecedores e agregando esses desempenhos para obter os desempenhos correspondentes aos mesmos propósitos para a combinação de fornecedores, considerando todas as interações entre cada fornecedor selecionado.

Adicionalmente, também foi proposto um procedimento para a geração de cenários de redundâncias para os componentes, visando proteger o sistema de paradas devido a peças

defeituosas. O modelo busca associar desta forma a escolha não apenas da melhor combinação de fornecedores, mas também do melhor cenário de redundâncias.

Para cada combinação possível gerada, foi avaliada a viabilidade, conforme as restrições como prazo de entrega, qualidade e credibilidade, e a dominância, visando gerar um conjunto não dominado de portfólios de fornecedores, aplicando assim apenas portfólios desse conjunto de não dominadas ao método *FITradeoff* de escolha, de modo a identificar qual é o melhor portfólio de fornecedores para o produto.

O modelo foi aplicado a uma empresa de móveis planejados, que apresentava dificuldades em realizar a seleção de fornecedores para uma encomenda de um armário de cozinha, onde através da estrutura do produto foram identificados 11 componentes, sendo necessário o fornecimento de 8 deles, pois alguns desses componentes já possuíam em estoque ou seu fornecedor era fácil de ser escolhido assim não afetando na escolha dos fornecedores dos demais componentes. Em cada componente foi definida a quantidade necessária, os cenários de redundâncias e os candidatos a fornecedores. Ao total foram considerados 32 fornecedores, que geraram 57.600 combinações para cada cenário.

Apesar da abordagem de geração exaustiva das combinações exigir um esforço computacional mais alto, percebe-se que o número de combinações possíveis não cresce tão rápido para portfólio de fornecedores, quanto para outros problemas, como portfólio de projetos, por exemplo, que para 32 projetos teriam em torno de quatro milhões de combinações. Isso ocorre porque no problema de combinação de fornecedores permite apenas um fornecedor por componente, o que reduz fortemente o número de possíveis combinações.

Outro aspecto positivo do modelo é que, como a etapa multicritério só é aplicada às combinações, a interação com o decisor é mais rápida que em problemas em que a interação com o decisor é realizada antes ou durante a geração das combinações, de forma que o processamento do modelo nesta etapa é bastante rápido. No problema considerado, apesar de possuir 57.600 combinações para cada um dos 16 cenários de redundância, apenas 130 delas eram não dominadas, de forma que não fazia sentido analisar as outras.

Assim, a recomendação obtida pelo modelo, foi que a empresa deveria contratar os fornecedores 2, 1, 3, 1, 3, 4, 3 e 4, respectivamente de cada um dos oito componentes, tendo assim uma entrega do produto final ao cliente um dia antes do prazo, com menos de 20% de chance de entregar um produto com falha e com confiança no cumprimento dos prazos de todos os fornecedores.

A análise de sensibilidade também é favorecida pelo modelo, pois a avaliação e escolha de uma das 130 combinações é muito mais rápido do que o cálculo da melhor combinação partindo da avaliação dos itens. A análise de sensibilidade foi feita através da análise de intervalo de pesos e notou-se que a variação do peso mínimo e peso máximo de qualquer critério é de pelo menos 20%, o que já representa uma certa robustez, que fica mais evidente diante da confiança do decisor em suas respostas. O modelo pode ser aplicado a qualquer problema de seleção de fornecedores dentro de um contexto de combinação com interdependências em um sistema de produção.

A empresa realizou as recomendações sugeridas neste trabalho, tendo um ótimo resultado. Escolheu de maneira correta os fornecedores para o armário de cozinha, atendendo o produto com qualidade, credibilidade, dentro do prazo e a um custo que estava dentro dos padrões solicitados pelo cliente. Dessa forma, através do modelo, a empresa pode melhorar seu sistema de escolha de fornecedores, de forma a fidelizar seus clientes e aumentar a quantidade de pedidos, podendo fazer um planejamento mais adequado.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação do modelo em contextos nos quais outros critérios sejam considerados, de forma que outras funções de agregação sejam exploradas e estudadas suas influências sobre a avaliação dos portfólios de fornecedores.

REFERÊNCIAS

ABDOLLAHI, M., ARVAN, M., & RAZMI, J. (2015). An integrated approach for supplier portfolio selection: Lean or agile? **Expert Systems with Applications**, 42(1), 679–690.

AGHAEI, M., ZEINAL HAMADANI, A., & ABOUEI ARDAKAN, M. (2016). Redundancy allocation problem for k-out-of-n systems with a choice of redundancy strategies. **Journal of Industrial Engineering International**, 13(1), 81–92.

ALMEIDA, A. T. (2013). **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. São Paulo: Editora Atlas.

ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S.; ALMEIDA-FILHO, A. T.; A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, vol. 250, pp. 179-191, 2016.

ASSELLAOU, H., OUHBI, B., & FRIKH, B. (2018). Multi-Objective Programming for Supplier Selection and Order Allocation Under Disruption Risk and Demand, Quality, and Delay Time Uncertainties. **International Journal of Business Analytics**, 5(2), 30–56.

AWASTHI, A., CHAUHAN, S. S., GOYAL, S. K., & PROTH, J.-M. (2009). Supplier selection problem for a single manufacturing unit under stochastic demand. **International Journal of Production Economics**, 117(1), 229–233.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E. The efficacy of SMARTER – Simple multi-attribute rating technique extended to ranking. **Acta Psychologica**, vol. 93, pp. 23-36, 1996.

BNDES (2014). **Relatório Anual: Competitividade das empresas brasileiras**. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Hotsites/Relatorio_Anual_2014/competitividade.html. Acessado em: 28 de nov. de 2021.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, n. 2, p. 228-238, 1986.

BURKE, G. J., CARRILLO, J. E., & VAKHARIA, A. J. (2007). Single versus multiple supplier sourcing strategies. **European Journal of Operational Research**, 182(1), 95–112.

CAO, Q., & WANG, Q. (2007). Optimizing vendor selection in a two-stage outsourcing process. **Computers & Operations Research**, 34(12), 3757–3768.

CERVO, A.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6ª ed. São Paulo: Pearson, 2006.

CHAI, J., & NGAI, E. W. T. (2019). Decision-Making Techniques in Supplier Selection: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. **Expert Systems with Applications**, 112903.

CHAI, J., LIU, J. N. K., & NGAI, E. W. T. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, 40(10), 3872–3885.

CRUZ, E. P.; COVA, C. J. G. (2007). Teoria das decisões: um estudo do método lexicográfico. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v.1. p. 35-45

CURY, A. J. **Pais brilhantes, professores fascinantes**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.

DE ALMEIDA A.T., VETSCHERA R., DE ALMEIDA J.A. (2014) **Scaling Issues in Additive Multicriteria Portfolio Analysis**. In: Dargam F. et al. (eds) Decision Support Systems III - Impact of Decision Support Systems for Global Environments. EWG-DSS 2013, EWG-DSS 2013. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 184. Springer, Cham.

DE ALMEIDA, A.T., FREJ, E.A. & ROSELLI, L.R.P. Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. **Cent Eur J Oper Res** 29, 7–47 (2021).

DUTTA, P., JAIKUMAR, B., & ARORA, M. S. (2021). Applications of data envelopment analysis in supplier selection between 2000 and 2020: a literature review. **Annals of Operations Research**.

EDWARDS, W.; BARRON, F.H. **SMARTS and SMARTER**: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, vol. 60, pp. 306-325, 1994.

FANG, C., LIAO, X. & MIN XIE, M. (2015). A hybrid risks-informed approach for the selection of supplier portfolio, **International Journal of Production Research**.

FEDERGRUEN, A., & YANG, N. (2008). Selecting a Portfolio of Suppliers Under Demand and Supply Risks. **Operations Research**, 56(4), 916–936.

FENG, D., YAMASHIRO, M., & CHEN, L. (2005). A Novel Approach for Vendor Combination Selection in Supply Chain Management. **Lecture Notes in Computer Science**, 1331–1334

FISHBURN, P. C. (1974). Axioms for Lexicographic Preferences, **The Review of Economic Studies** 42, 415-419.

FISHBURN, P. C. (1976). Noncompensatory Preferences, **Synthese** 33, 393-403.

FREJ, E. A., EKEL, P., & DE ALMEIDA, A. T. (2021) A benefit-to-cost ratio-based approach for portfolio selection under multiple criteria with incomplete preference information. **Information Sciences**, 545, 487-498.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. **Operational Research**, v. 19, p. 1-22, 2019.

FRIDGEN, G. & MÜLLER, H.V. (2011). **An Approach for Portfolio Selection in Multi-Vendor IT Outsourcing**. International Conference on Information Systems 2011, ICIS 2011. 3.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES, L.M.; GOMES, C.F.S. & ALMEIDA, A.T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2006.

GONÇALVES FILHO, E. V., & MARÇOLA, J. A. (1996). Uma proposta de modelagem da lista de materiais. **Gestão & Produção**, 3(2), 156–172.

GOVINDAN, K., RAJENDRAN, S., SARKIS, J., & MURUGESAN, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. **Journal of Cleaner Production**, 98, 66–83.

GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J. R. Multiple Criteria Decision Analysis, **International Series in Operations Research & Management Science** 233. Springer Science e Business Media New York 2016.

HARLAND, C., BRENCHLEY, R., WALKER, H. (2003) Risk in supply networks. **Journal of Purchasing and Supply Management**, 9, 51-62.

HO, W., XU, X., & DEY, P. K. (2010). Multicriteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of Operational Research**, 202(1), 16–24.

HOSSEININASAB, A., & AHMADI, A. (2015). Selecting a supplier portfolio with value, development, and risk consideration. **European Journal of Operational Research**, 245(1), 146–156.

JULIO, A. S., MOTA, C. D. P. F., ALMEIDA, J. A. D. (2020). **Uso de modelo multicritério com abordagem de portfólio seleção de fornecedores**. INSID 2020, December 02 –04, 2020. Recife-PE, Brazil.

KANG, T. H. A., FREJ, E. A., & DE ALMEIDA, A. T. (2020). Flexible and Interactive Tradeoff Elicitation for Multicriteria Sorting Problems. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, 37(05), 2050020.

KEENEY, R. L. (1992) **Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making**. Cambridge, MA: Harvard University Press.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. **Decision analysis with multiple conflicting objectives**. Wiley & Sons, New York, 1976.

KELLNER, C.N.R.L.F. (2016), Integrating sustainability into strategic supplier portfolio selection, **Management Decision**, Vol. 54 Iss 1 pp.

KELLNER, F., LIENLAND, B., & UTZ, S. (2018). An a posteriori decision support methodology for solving the multi-criteria supplier selection problem. **European Journal of Operational Research**.

KESKIN, B. B., MELOUK, S. H., & MEYER, I. L. (2010). A simulation-optimization approach for integrated sourcing and inventory decisions. **Computers & Operations Research**, 37(9), 1648–1661.

KRALJIC, P. Purchasing must become supply management. **Harvard Business Review**, setoct, p. 109-117, 1983.

LEE, C.-Y., & CHIEN, C.-F. (2013). Stochastic programming for vendor portfolio selection and order allocation under delivery uncertainty. **OR Spectrum**, 36(3), 761–797.

LI, F., WU, C.-H., ZHOU, L., XU, G., LIU, Y., & TSAI, S.-B. (2020). A model integrating environmental concerns and supply risks for dynamic sustainable supplier selection and order allocation. **Soft Computing**.

LIAO, X., & FANG, C. (2015). **Selection of supplier portfolio in the presence of operational risk and disruption risk**. 2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM).

LIMA JUNIOR, F. R., OSIRO, L., & CARPINETTI, L. C. R. (2013). Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. **Gestão & Produção**, 20(4), 781–801.

MOKHTAR, S., BAHRI, P. A., MOAYER, S., & JAMES, A. (2019). Supplier portfolio selection based on the monitoring of supply risk indicators. **Simulation Modelling Practice and Theory**, 101955.

PLOTT, C. R., LITTLE, J. T., PARKS, R. P. (1975). Individual Choice When Objects Have “Ordinal” Properties, **The Review of Economic Studies** 32, 403-413.

RAHIMI, A., RÖNNQVIST, M., LEBEL, L., & AUDY, J.-F. (2019). An Optimization Model for Selecting Wood Supply Contracts. **Canadian Journal of Forest Research**.

ROY, B. (1996), **Multicriteria methodology for decision aiding**. Kluwer Academic Publishers.

ROY, B.; BOUYSSOU, D., **Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas**, Economica, Paris, 1993.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, vol. 48, pp. 9-26, 1990.

SCHRAMM, V. B., BARROS CABRAL, L. P., & SCHRAMM, F. (2020). Approaches for Supporting Sustainable Supplier Selection - A Literature Review. **Journal of Cleaner Production**, 123089.

SOLOMON, S., ELLEGOOD, W. A., PANNIRSELVAM, G., & RILEY, J. (2021). A decision support model for supplier portfolio selection in the retail industry. **Journal of Management Analytics**, 8(3), 486–501.

SUN, X. (2017), Supplier Selection by Coupling-Attribute Combinatorial Analysis. **Mathematical Problems in Engineering**.

TAHERDOOST, H., & BRARD, A. (2019). Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods. **Procedia Manufacturing**, 32, 1024–1034.

TAKEDA BERGER, S. L., FRAZZON, E. M., & CARREIRAO DANIELLI, A. M. (2018). **Pull-production system in a lean supply chain: a performance analysis utilizing the simulation-based optimization**. 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON).

TORRES-RUIZ, A., & RAVINDRAN, A. R. (2018). Multiple criteria framework for the sustainability risk assessment of a supplier portfolio. **Journal of Cleaner Production**, 172, 4478–4493.

WAGNER S. M., & JOHNSON, J. L. (2004). Configuring and managing strategic supplier portfolios. *Industrial Marketing Management*, 33(8), 717–730.

WATT, D.J.; KAYIS, B. & WILLEY, K. Identifying key factors in the evaluation of tenders for projects and services. **International Journal of Project Management**. Vol. 27, n.3, p.250–260, 2009.

WONG, J.-T. (2019). Dynamic procurement risk management with supplier portfolio selection and order allocation under green market segmentation. **Journal of Cleaner Production**, 119835.

YOUSEFI, S., JAHANGOSHAI REZAEI, M., & SOLIMANPUR, M. (2019). Supplier selection and order allocation using two-stage hybrid supply chain model and game-based order price. **Operational Research**.

ZHANG R, LI J, WU S, MENG D (2016) Learning to Select Supplier Portfolios for Service Supply Chain. **PLoS ONE** 11(5): e0155672.

ZHOU, F., WANG, X., GOH, M., ZHOU, L., & HE, Y. (2018). Supplier portfolio of key outsourcing parts selection using a two-stage decision making framework for Chinese domestic auto-factory. **Computers & Industrial Engineering**.

ANEXO A - DECLARAÇÃO

DECLARAÇÃO

Declaramos que a estudante, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste, Adryelle Sanae Julio, do CPF 052650201-01, realizou a aplicação da sua dissertação intitulada "PROPOSIÇÃO DE MODELO DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE FORNECEDORES UTILIZANDO FITRADEOFF", na empresa Casa Móveis Planejados, do CNPJ 27.816.927/0001-50, na cidade de Barra do Bugres – MT.

Barra do Bugres – MT, 01 de Abril de 2022.



Empresa Casa Móveis Planejados
CNPJ 27.816.927/0001-50