

## **APLICAÇÃO DE MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DE FORNECEDORES BASEADO NO FITRADEOFF: O CASO DE UMA CONSTRUTORA**

**Gabriel Freire de Almeida Vitorino**

MAPS – Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy  
Universidade Federal de Pernambuco. Caixa Postal: 95, CEP: 55002-970, Caruaru-PE, Brasil.  
gabriel0591@hotmail.com

**Jônatas Araújo de Almeida**

MAPS – Modelling and Alignment of Portfolio and Strategy  
Universidade Federal de Pernambuco. Caixa Postal: 95, CEP: 55002-970, Caruaru-PE, Brasil.  
jonatasaa@yahoo.com.br

### **RESUMO**

Este trabalho propõe um modelo multicritério de apoio à decisão como forma de apoiar os gestores de uma empresa da construção civil no processo de avaliação de fornecedores de insumos críticos do processo produtivo. Inicialmente, o modelo considera os desempenhos dos fornecedores de insumos críticos nas principais restrições estratégicas de projeto, para então, construir os perfis de fornecedores baseando-se em métricas únicas de cada restrição. Em seguida, o modelo trata analítica e formalmente da decisão de classificação dos perfis de fornecedores através do método FITradeoff para problemática de classificação. Verificou-se a robustez dos resultados proporcionados pelo modelo devido à certeza do decisor nas respostas dadas e eficiência metodológica inerente ao método. Por fim, constatou-se que o modelo proposto poderia contribuir para que gestores dispensem menos tempo analisando fornecedores que pouco influenciam para o alcance dos objetivos preestabelecidos.

**PALAVRAS CHAVE. Decisão Multicritério, Avaliação de Fornecedores, FITradeoff.**

**ADM - Apoio à Decisão Multicritério, OA - Outras aplicações em PO.**

### **ABSTRACT**

This paper proposes a multicriteria model for decision support as a way to support the managers of a construction company in the process of evaluating suppliers of critical inputs in the production process. Initially, the model considers the supplier performance of critical inputs in the main strategic constraints of the project, and then builds supplier profiles based on unique metrics for each constraint. After, the model deals analytically and formally with the decision to sort supplier profiles using the FITradeoff method for sorting problematic. The robustness of the results provided by the model was verified due to the decision maker's certainty in the answers given and the methodological efficiency inherent to the method. Finally, it was found that the proposed model could contribute so that managers spend less time analyzing suppliers that have little influence on the achievement of pre-established objectives.

**KEYWORDS. Multicriteria Decision, Supplier Evaluation, FITradeoff.**

**ADM - Multicriteria Decision Support, OA - Other applications in OR**

## 1. Introdução

O setor de construção civil desempenha um papel vital em todas as fases do desenvolvimento econômico de uma nação [Xue e Zhang 2018]. Em 2016, a indústria da construção representou aproximadamente 6% do produto interno bruto (PIB) global, com receita anual total de 13 trilhões de dólares [Gerbert et al. 2016]. No Brasil, o ramo da construção civil é um dos colaboradores mais significativos da economia, alcançando uma representatividade de 6,2% do PIB em 2016 [Fibra 2017]. Assim, esse ramo industrial promove o crescimento, acumula formação de capital, contribui como fonte de emprego e fornece vínculos críticos em todos os elos da economia [Chia et al. 2014].

Neste contexto, o processo de avaliação de fornecedores tem atraído a atenção de inúmeros pesquisadores devido sua influência concreta na competitividade das empresas e nos seus custos diretos, como matéria-prima. Ho et al. [2010] afirmam que decisões incorretas acerca deste processo podem ocasionar interrupções no abastecimento de bens/serviços e, conseqüentemente, impactos negativos nas operações organizacionais.

A complexidade da decisão pelo fato da quantidade e natureza dos critérios considerados na avaliação tem aumentado substancialmente as imposições de um processo decisório formal e estruturado. A capacidade das organizações em atender às necessidades de seus clientes contribui também para a dificuldade e importância da decisão, pois a qualidade dos produtos e serviços entregue pelos fornecedores está diretamente ligada ao atendimento destas necessidades [Chen et al. 2006]. Neste sentido, Kahraman et al. [2003] destacam o processo decisório restrito que as organizações abordam, focando em fornecedores com excelência e aptos a apoiar as estratégias organizacionais. Tais restrições são convertidas em critérios de avaliação, utilizados para a comparação entre os diferentes fornecedores.

Uma maneira específica de lidar com o problema de avaliação de fornecedores consiste em tratar a decisão de classificação dos perfis de fornecedores considerando atributos significativamente relevantes para o planejamento estratégico das empresas. Ou seja, considerando o cenário da indústria de construção civil, critérios críticos para projetos podem ser apontados e metodologias de classificação empregadas com o intuito de alocar os perfis dos fornecedores em categorias ou classes, apoiando assim, um processo essencial da gestão de suprimentos.

Diante das características expostas, observa-se que o processo decisório envolve vários objetivos e, muitas vezes, é necessário comprometer-se entre os possíveis critérios conflitantes. Assim, modelos baseados nos métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM) são considerados uma abordagem eficaz para resolver problemas de avaliação de fornecedores [De boer et al. 2001]. Um ponto crucial destes problemas consiste na obtenção das constantes de escala dos critérios, por envolver, geralmente, informações preferenciais completas e exatas de alto custo cognitivo por parte do decisor, levando a inconsistências no processo elicitatório. Deste modo, o método FITradeoff para problemática de classificação [Kang et al. 2020] é caracterizada como uma boa alternativa de resolução do problema em questão.

Sendo assim, o presente trabalho trata da aplicação de um modelo multicritério de apoio à decisão com o objetivo de apoiar os gestores de uma empresa do setor de construção civil no processo de avaliação dos fornecedores. Mais especificamente, o modelo atua na decisão de classificação dos perfis de fornecedores com base no método FITradeoff para problemática de classificação. O modelo considera, inicialmente, os principais critérios críticos para projetos, segundo o *Project Management Institute* (PMI), para então, lidar de maneira analítica e formal com o problema de classificação por meio do método FITradeoff e se baseando nos desempenhos dos fornecedores para os critérios críticos do PMI.

Na seção 2, o método FITradeoff para problemática de classificação será mais detalhadamente descrito. Em seguida, na seção 3, o modelo multicritério proposto será abordado. Na seção 4, o estudo de caso e as discussões dos resultados serão apresentados e, por fim, na seção 5 serão apresentadas as considerações finais.

## 2. FITradeoff para problemática de classificação

Problemas de decisão são muitas vezes modelados de modo que as alternativas não são comparadas entre si, mas com relação a normas preestabelecidas. Em outras palavras, as alternativas são avaliadas relativamente aos valores correspondentes das classes definidas. Posto isso, a problemática de classificação visa auxiliar o decisor por meio da alocação de alternativas em categorias anteriormente estabelecidas [Roy 1996].

Analiticamente, essa problemática lida com a designação de um conjunto finito  $A$  composto por  $m$  alternativas em  $k$  classes predefinidas  $C_1, \dots, C_k$ . Neste trabalho, é utilizada a classificação ordinal, em que uma ordem de preferências caracteriza as categorias, ou seja, existem categorias que contém as alternativas mais desejáveis e aquelas que incluem as menos desejáveis. Portanto, a seguinte relação  $C_1 < C_2 < \dots < C_{k-1} < C_k$  é estabelecida de forma que cada alternativa deve ser alocada a uma única classe, possuindo esta, limites específicos que a diferencie das outras [Doumpos e Zopounidis 2004].

Um método desenvolvido com o intuito de lidar com problemas desta natureza é o FITradeoff para problemática de classificação [Kang et al. 2020]. As características de interatividade, flexibilidade e uso de informação parcial inerentes ao FITradeoff de escolha [De Almeida et al. 2016] foram, portanto, estendidas para a problemática de classificação.

Uma característica comum na maioria das abordagens existentes que lidam com essa problemática consiste em classificar as alternativas mediante sua comparação com alguns perfis de referência, isto é, alternativas fictícias que definem os limites das categorias, o que nem sempre pode ser realizado de forma clara [Doumpos e Zopounidis 2004]. Por outro lado, de acordo com Kang e De Almeida [2017], no FITradeoff de classificação as categorias são definidas por valores extremos  $q_r$  estabelecidos pelo decisor, onde  $q_r$  varia no intervalo  $[0,1]$ . Estes valores limites representam *scores* de avaliação global, de acordo com a agregação aditiva (1).

$$v(a_j) = \sum_{i=1}^n (k_i \times v_i(a_j)) \quad (1)$$

Onde  $k_i$  e  $v_i(a_j)$  são, respectivamente, a constante de escala do critério  $i$  e a função intracritério da alternativa  $a_j$  no critério  $i$ . A tabela 1 ilustra as relações entre as definições das categorias e os valores  $q_r$ , em que  $q_0 < q_1 < \dots < q_{k-1} < q_k$ ,  $q_0 = 0$  e  $q_k = 1$ . Logo, se uma alternativa  $j$  do conjunto  $A$  possui valor global  $v(a_j)$  pertencente ao intervalo  $[q_{r-1}, q_r]$ , ela é designada para a categoria  $C_r$  [Kang e De Almeida 2017].

Categoria	Definição
$C_k$	$q_{k-1} < v(a_j) \leq q_k$
$C_{k-1}$	$q_{k-2} < v(a_j) \leq q_{k-1}$
$\vdots$	$\vdots$
$C_r$	$q_{r-1} < v(a_j) \leq q_r$
$\vdots$	$\vdots$
$C_1$	$q_0 \leq v(a_j) \leq q_1$

Tabela 1 - Categorias e definições de acordo com os valores  $q_r$   
Fonte: Adaptado de Kang e De Almeida [2017]

Acerca dos problemas de programação linear que compõem o FITradeoff de escolha, estes são alterados para lidar com a problemática de classificação. Assim sendo, o objetivo não mais consiste em reduzir o subconjunto de alternativas potencialmente ótimas, mas verificar se, considerando o atual subespaço de pesos, uma alternativa pode ser classificada em uma única categoria previamente estabelecida através dos valores  $q_r$ . Por fim, a decisão de atribuição ou não de uma alternativa a uma categoria é conduzida pela regra de classificação que considera a possibilidade, para o atual subespaço de pesos, do seu valor global assumir valores referentes somente com a categoria em questão. O processo de elicitação é finalizado no momento que todas as alternativas são classificadas ou quando o decisor não está apto ou não está mais disposto a prosseguir [Kang e De Almeida 2017].

### 3. Descrição do modelo

O modelo proposto no presente trabalho tem o objetivo central de propor uma recomendação estruturada de classificação dos perfis dos fornecedores de uma organização em processo de aprimoramento gerencial da área da construção civil. A estruturação do modelo proposto consiste de 5 etapas principais ilustradas na figura 1.

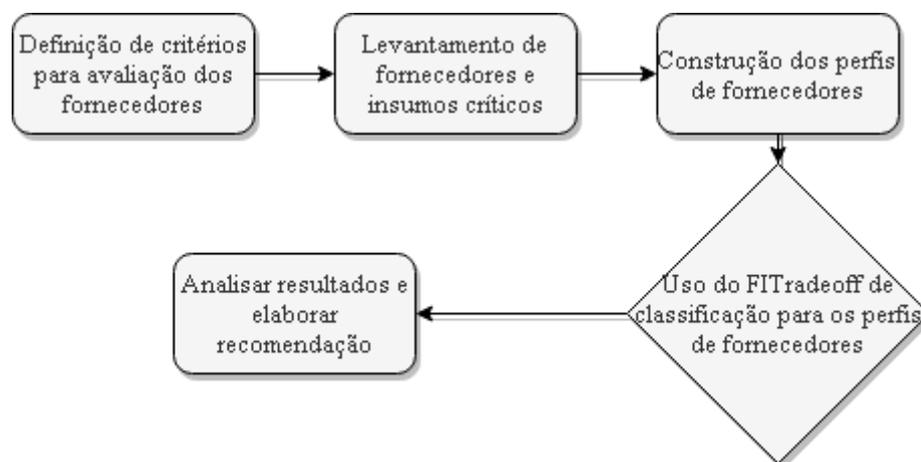


Figura 1– Modelo proposto  
Fonte: Os autores (2020)

Inicialmente, documentos serão colhidos e entrevistas realizadas com o decisor de modo que informações de entrada essenciais para o tratamento do problema sejam levantadas. A definição de critérios para avaliação dos fornecedores será conduzida de maneira que a empresa deve elencar critérios que julgam potencialmente relevantes para a tomada de decisão. Neste caso, considerando a empresa objeto de estudo e as restrições de projeto definidas pelo PMI, os critérios de avaliação abordados serão custo, qualidade e impacto no cronograma.

Em seguida, os fornecedores e insumos críticos da organização são levantados. Especificamente, a organização será solicitada a estabelecer um conjunto de insumos que, de acordo com seu processo produtivo, mais significativamente influencia em cada uma destas restrições de projeto. Como consequência, os fornecedores de tais materiais serão enumerados e avaliados em cada uma das restrições de projeto. Por exemplo, se X fornecedores oferecem um insumo relacionado à restrição de custo, ou seja, impacta grandemente os custos de projeto, estes serão avaliados em termos do preço médio do item. Para um insumo inerente à restrição de qualidade, os fornecedores serão investigados com relação a uma escala verbal que reflete o padrão de qualidade do item em questão. E, por fim, os fornecedores dos materiais relacionados à restrição de cronograma serão avaliados pelo histórico de pedidos entregues em atraso.

Para construir os perfis de fornecedores, estes serão avaliados com relação a critérios importantes referentes aos materiais essenciais do processo produtivo. Esse perfil poderia refletir, em termos globais, que certo fornecedor possui um perfil melhor que outro em termos do nível de impacto para atendimento às restrições de projeto da organização. Essa etapa é de extrema importância por lidar diretamente com uma questão que influencia fortemente a competitividade da empresa objeto de estudo.

Alguns materiais podem requerer um melhor desempenho em prazo de entrega e preço, outros podem requerer qualidade e confiabilidade de cumprimento de prazos, assim por diante. Em outras palavras, os materiais da parte A da curva ABC podem ser considerados, e os fornecedores destes avaliados segundo os critérios importantes para esses materiais. Por outro lado, insumos fora de tal região também podem ser observados caso possam impactar fortemente nos cronogramas dos projetos ou na qualidade dos resultados.

Assim, dado o objeto de estudo, a abordagem é desenvolvida para tratar de três principais restrições de projeto de acordo com o PMI. O custo será tratado por insumos relacionados à parte A da curva ABC, sendo avaliado quantitativamente em termos monetários. A qualidade será tratada

por materiais que impactam fortemente na qualidade dos resultados, considerando uma escala verbal para avaliação. E o cronograma será tratado por insumos que atuam concretamente nos cronogramas dos projetos, sendo avaliado numericamente em dias.

Neste sentido, os fornecedores dos insumos primordiais serão classificados em três categorias relacionadas às restrições de projeto citadas. Com isso, cada categoria será composta pelos fornecedores de insumos que impactam significativamente a restrição de projeto referente aquela categoria. Assim sendo, é possível quantificar numericamente, por meio de um perfil de fornecedores, cada alternativa no que diz respeito a obtenção de materiais relacionadas fundamentalmente às restrições de projeto. Ou seja, esse perfil reflete o nível de impacto dos fornecedores para atendimento às restrições de projeto da organização.

Para cada restrição de projeto, os desempenhos dos fornecedores em relação aos insumos críticos serão convertidos em uma métrica única de avaliação, definindo então, os perfis de fornecedores. Ou seja, um índice para cada restrição de projeto será calculado para se ter uma métrica única referente à cada restrição e, conseqüentemente, os perfis de fornecedores. Posteriormente, uma matriz contendo estes perfis é construída para utilização na etapa seguinte.

O procedimento de cálculo dos perfis de fornecedores com relação à restrição de custo inicia com o estabelecimento de um fornecedor hipotético em que o desempenho, ou preço médio, para cada item crítico será o menor considerando todos os fornecedores, conforme fórmula (2). Assim, tem-se um fornecedor hipotético ideal em termos do preço médio dos itens inerentes à restrição de custo. Depois, de acordo com a equação (3), serão registrados os aumentos percentuais do preço médio de cada fornecedor em relação ao fornecedor hipotético, para cada item crítico. Ou seja, considerando cada fornecedor, a magnitude percentual de aumento do preço médio de cada item crítico em comparação com o fornecedor hipotético. A partir da participação de cada item crítico no orçamento do projeto, será realizada, como na fórmula (4), a soma produto desta participação com o aumento percentual calculado anteriormente do respectivo item, obtendo assim, uma avaliação única para cada fornecedor que significa o aumento global sobre o orçamento de projeto comparativamente ao fornecedor hipotético.

$$FH_i = \min\{P_i(a_j)\} \quad (2)$$

$$AP_i(a_j) = \frac{(P_i(a_j) - FH_i) \times 100}{FH_i} \quad (3)$$

$$PC(a_j) = \sum_{i=1}^n (W_i \times AP_i(a_j)) \quad (4)$$

Onde  $P_i(a_j)$  é o preço médio do item crítico  $i$  do fornecedor  $a_j$ ,  $FH_i$  é o desempenho do fornecedor hipotético para o item  $i$ ,  $AP_i(a_j)$  é o aumento percentual do preço médio do item  $i$  do fornecedor  $a_j$  em relação ao fornecedor hipotético,  $W_i$  é a participação do item  $i$  no orçamento de projeto,  $n$  é o número de insumos críticos e, por último,  $PC(a_j)$  é o aumento percentual do fornecedor  $a_j$  sobre o orçamento de projeto em relação ao fornecedor hipotético. Vale destacar que esse orçamento se refere a um orçamento médio considerado pela empresa de acordo com os projetos que ela executa ou que irá executar. E este orçamento médio não se baseia no valor médio monetário, mas sim na média da participação de cada insumo no orçamento.

Com relação à restrição de qualidade, será estabelecida uma média aritmética para cada fornecedor considerando o desempenho em qualidade de cada item. A avaliação de cada fornecedor para cada item se dará através de uma escala qualitativa de cinco pontos em que, 1=Muito ruim; 2=Ruim; 3=Regular; 4=Bom; 5=Muito bom. Posto isto, tem-se uma avaliação única para cada fornecedor que significa o padrão médio de qualidade dos itens críticos desta restrição.

Acerca da restrição de cronograma, dado o histórico de pedidos entregues em atraso de cada fornecedor em relação aos itens críticos desta restrição, o atraso médio será diretamente considerado como métrica única para qualquer fornecedor. Deste modo, uma matriz contendo os perfis de todos os fornecedores é construída para então ser utilizada na etapa seguinte de classificação por meio do FITradeoff [Kang et al. 2020].

Em seguida, ocorre a utilização do FITradeoff de classificação a fim de designar os perfis de fornecedores construídos na etapa anterior em categorias que seguem uma ordem de preferências, ou seja, categorias que receberão desde as alternativas mais desejáveis até as menos

desejáveis. Com isso, torna-se possível analisar os perfis de fornecedores em classes, identificando assim, os perfis mais estrategicamente alinhados à organização e possibilitando a tomada de medidas mais eficazes de gerenciamento.

Por fim, na última etapa, os resultados serão analisados e um relatório de recomendações elaborado em um nível de detalhamento sobre o processo decisório.

#### 4. Estudo de Caso

O presente modelo de apoio à decisão foi aplicado em uma organização da indústria da construção civil. A empresa é sediada na cidade de Santa Cruz do Capibaribe, região agreste de Pernambuco (PE), e classificada como pequena empresa, empregando um total de 50 colaboradores diretos e indiretos. Seu processo produtivo foca predominantemente na construção de edificações populares com preços acessíveis e qualidade diferenciada. Com a empresa em processo de aperfeiçoamento do gerenciamento da cadeia de suprimentos, o modelo proposto visa auxiliar os gestores da empresa na decisão de classificação dos perfis de fornecedores de insumos críticos para o processo produtivo da empresa em categorias predefinidas e que respeitam uma ordem de preferência. Para obtenção dos dados, documentos foram colhidos e entrevistas realizadas com o engenheiro-chefe da empresa. Com isso, informações de entrada do modelo referentes aos insumos críticos para as restrições de projeto e dados de fornecedores foram definidas.

O levantamento de dados para construção do perfil de fornecedores ocorreu por meio da avaliação dos fornecedores em relação à critérios inerentes às restrições de projeto. Estes critérios foram o preço médio dos insumos referentes à restrição de custo, o padrão de qualidade dos materiais relacionados à restrição de qualidade e, por fim, dado o histórico de pedidos, o tempo médio de atraso em dias para o fornecimento dos insumos relativos à restrição de cronograma.

A respeito dos insumos críticos às restrições de projeto, a organização elencou um conjunto de cinco itens para cada categoria relacionada. Os itens que mais significativamente atuam nos custos de projeto são blocos, concreto, telhas, gesso e janelas. Para as restrições de qualidade e cronograma, a empresa especificou os mesmos materiais que mais consideravelmente impactam estes fatores, são eles, blocos, areia, cimento, cal e madeiras. As tabelas seguintes ilustram, para o fornecedor 1, a avaliação em relação às restrições de projeto.

Restrição de Custo					
	Bloco (un)	Concreto (m3)	Telha (un)	Gesso (kg)	Janela (un)
Fornecedor 1	R\$ 2,61	R\$ 334,96	R\$ 1,40	R\$ 0,70	R\$ 303,66

Tabela 2 – Avaliação de desempenho do fornecedor 1 referente à restrição de custo

Fonte: Os autores (2020)

Restrição de Qualidade					
	Bloco	Areia	Cimento	Cal	Madeiras
Fornecedor 1	4	4	3	4	3

Tabela 3 – Avaliação de desempenho do fornecedor 1 referente à restrição de qualidade

Fonte: Os autores (2020)

Restrição de Cronograma	
Atraso médio em dias	
Fornecedor 1	1,84

Tabela 4 – Avaliação de desempenho do fornecedor 1 referente à restrição de cronograma

Fonte: Os autores (2020)

Devido ao volume excessivo de dados desta etapa, apenas serão expostas as informações das tabelas 2, 3 e 4 referentes ao fornecedor 1, como forma de exemplificar os tipos de dados que serão empregados no procedimento de cálculo dos perfis de fornecedores das alternativas. Com relação à quantidade de fornecedores, a organização levantou um total de 30 fornecedores a serem

avaliados acerca das restrições de projeto. Desta maneira, a construção quantitativa dos perfis que refletem o nível de impacto dos fornecedores no atendimento às restrições de projeto da organização foi conduzida e o resultado pode ser visualizado na tabela 5.

<b>Perfis de Fornecedores</b>	<b>Restrição de Custo</b>	<b>Restrição de Qualidade</b>	<b>Restrição de Cronograma</b>
<b>Fornecedor 1</b>	5,39%	3,6	1,84
<b>Fornecedor 2</b>	4,67%	3,2	3,84
<b>Fornecedor 3</b>	5,76%	3,6	2
<b>Fornecedor 4</b>	7,38%	3,4	2,5
<b>Fornecedor 5</b>	5,64%	4	2
<b>Fornecedor 6</b>	4,49%	3,8	3,3
<b>Fornecedor 7</b>	7,36%	3	0,3
<b>Fornecedor 8</b>	5,19%	3,6	1,12
<b>Fornecedor 9</b>	6,80%	3,6	2,1
<b>Fornecedor 10</b>	6,47%	3,2	3
<b>Fornecedor 11</b>	7,07%	3,4	2,85
<b>Fornecedor 12</b>	9,31%	3,4	0,4
<b>Fornecedor 13</b>	5,90%	3,6	3,35
<b>Fornecedor 14</b>	10,28%	4,4	4
<b>Fornecedor 15</b>	7,68%	3,4	2,32
<b>Fornecedor 16</b>	8,13%	2,6	0
<b>Fornecedor 17</b>	8,27%	3,4	1,13
<b>Fornecedor 18</b>	3,47%	3,6	3,61
<b>Fornecedor 19</b>	3,88%	3,6	2,68
<b>Fornecedor 20</b>	4,60%	3,4	0,62
<b>Fornecedor 21</b>	2,35%	3,6	2,87
<b>Fornecedor 22</b>	7,14%	3,2	4,37
<b>Fornecedor 23</b>	2,99%	3,8	1,58
<b>Fornecedor 24</b>	4,64%	2,8	3,56
<b>Fornecedor 25</b>	8,99%	4,2	0,96
<b>Fornecedor 26</b>	7,14%	3,8	0,78
<b>Fornecedor 27</b>	6,85%	4,2	1,2
<b>Fornecedor 28</b>	5,17%	3,8	2,1
<b>Fornecedor 29</b>	5,54%	3,6	1,25
<b>Fornecedor 30</b>	5,21%	4	4,38

Tabela 5 – Matriz dos perfis dos fornecedores  
Fonte: Os autores (2020)

Segundo os resultados, o perfil do fornecedor 20, por exemplo, estabelece um aumento percentual de 4,6% sobre o orçamento médio de projeto da empresa na restrição de custo quando comparado com o fornecedor ideal hipotético, possui um padrão médio de qualidade de 3,4 dos materiais críticos da restrição de qualidade e, finalmente, realiza suas entregas atrasadas com, em média, 0,62 dia de atraso na restrição de cronograma. Com estas informações, a aplicação do FITradeoff de classificação é efetuada.

O software do FITradeoff de classificação exige, antes de carregar a matriz de consequências caracterizada pela tabela 5, a especificação do tipo de critério a ser utilizado pelo o decisor. Os tipos considerados no software são: Contínuo de minimização, contínuo de maximização, discreto de minimização e discreto de maximização. No presente trabalho, os tipos de critério empregados foram de natureza contínuo de minimização para as restrições de custo e cronograma e contínuo de maximização para a restrição de qualidade.

O software exige, também, que o decisor especifique os valores extremos  $q_r$  tais que seja possível definir e diferenciar as categorias nas quais as alternativas serão classificadas, como mostrado na tabela 1. Para este trabalho, cinco categorias foram consideradas, de modo que  $C_5$  representa a categoria de alternativas que muito fortemente atende às restrições de projeto estratégicas para a empresa e  $C_1$  descreve alternativas que muito fracamente atende às restrições de projeto. Ademais, os valores extremos  $q_r$  foram divididos igualmente, ou seja,  $q_1 = 0,2$ ,  $q_2 = 0,4$ ,  $q_3 = 0,6$  e  $q_4 = 0,8$ , onde, por definição,  $q_0 = 0$  e  $q_5 = 1$ .

Antes de iniciar o processo de elicitação de preferências, o software do FITradeoff de classificação interage com o decisor para ordenar os critérios referentes às restrições de projeto. Considerando uma consequência com o pior desempenho em cada critério, é perguntado ao decisor acerca da escolha de um único critério para melhorar sua performance ao máximo, podendo também ser declarada indiferença entre dois ou mais critérios. As perguntas desta etapa param quando o software consegue estabelecer uma ordenação entre os critérios, mesmo que hajam empates.

Neste estudo de caso, visto que a estratégia global da empresa consiste na construção de edificações populares financeiramente acessíveis e de boa qualidade, o decisor declarou no software a ordenação  $k_1 > k_2 > k_3$ . Assim, a constante de escala do critério referente à restrição de custo é maior que a relativa à restrição de qualidade, e esta é maior que a do critério relacionado à restrição de cronograma. De posse desta informação, a etapa de elicitação flexível e interativa é executada a fim de verificar se, para o atual espaço de pesos, uma alternativa pode ser classificada em uma única categoria predefinida pelos valores extremos  $q_r$ .

O decisor adotou a estratégia de encerrar o procedimento de elicitação a depender do grau de definição das categorias 4 e 5. Isto foi considerado de modo a reduzir o tempo e esforço cognitivo empregado na elicitação flexível, dando importância apenas para a classificação de perfis de fornecedores relevantes em termos estratégicos e gerenciais. Neste sentido, um total de 6 questionamentos foram feitos pelo software quando o decisor opta por finalizar a etapa de elicitação flexível. A figura 2 ilustra uma destas perguntas que visa extrair informações parciais do decisor para, então, calcular os valores globais para cada alternativa no espaço de pesos atual.

Um cenário de maximização e um de minimização do valor global de cada alternativa são considerados, para o atual espaço de pesos, de modo que ela é classificada no caso destes valores globais atenderem às definições de determinada categoria conforme tabela 1. Deve-se destacar que se os valores globais de ambos os cenários de uma alternativa  $a_j$  não estiverem limitados de acordo com a definição de uma única categoria não será possível classificar a alternativa com o atual nível de informação, sendo apresentadas as categorias viáveis para  $a_j$ .

Os critérios comparados em cada pergunta, as respostas do decisor e o número de alternativas classificadas nas categorias 4 e 5 podem ser conferidos na tabela 6. Como pode ser visto, ao fim da sexta resposta, 10 perfis haviam sido classificados nas categorias 4 e 5, sendo 9 na categoria de perfis que fortemente atendem às restrições estratégicas de projeto e 1 na categoria que muito fortemente atendem estas restrições. Pode-se perceber também que, após a terceira resposta do decisor, praticamente todas as classificações destacadas já haviam sido realizadas, com exceção de uma alternativa alocada na categoria 4 e que será melhor discutida a posteriori.

Com a finalização imposta pelo decisor da etapa de elicitação flexível, foi possível obter a classificação de 26 das 30 alternativas em uma única categoria. Os resultados parciais fornecidos pelo software podem ser visualizados na tabela 7 e figura 3. No FITradeoff de classificação, os valores exatos das constantes de escala dos critérios não são conhecidos, e, portanto, não é possível calcular o valor global exato de cada alternativa pelo modelo aditivo. Assim, qualquer combinação de valores dentro do subespaço de pesos mostrado na figura 3 reflete nas classificações

representadas na tabela 7. Numericamente, as constantes de escala referentes às restrições de custo, qualidade e cronograma variam, respectivamente, entre [0,432; 0,516], [0,298; 0,352], [0,161; 0,243].

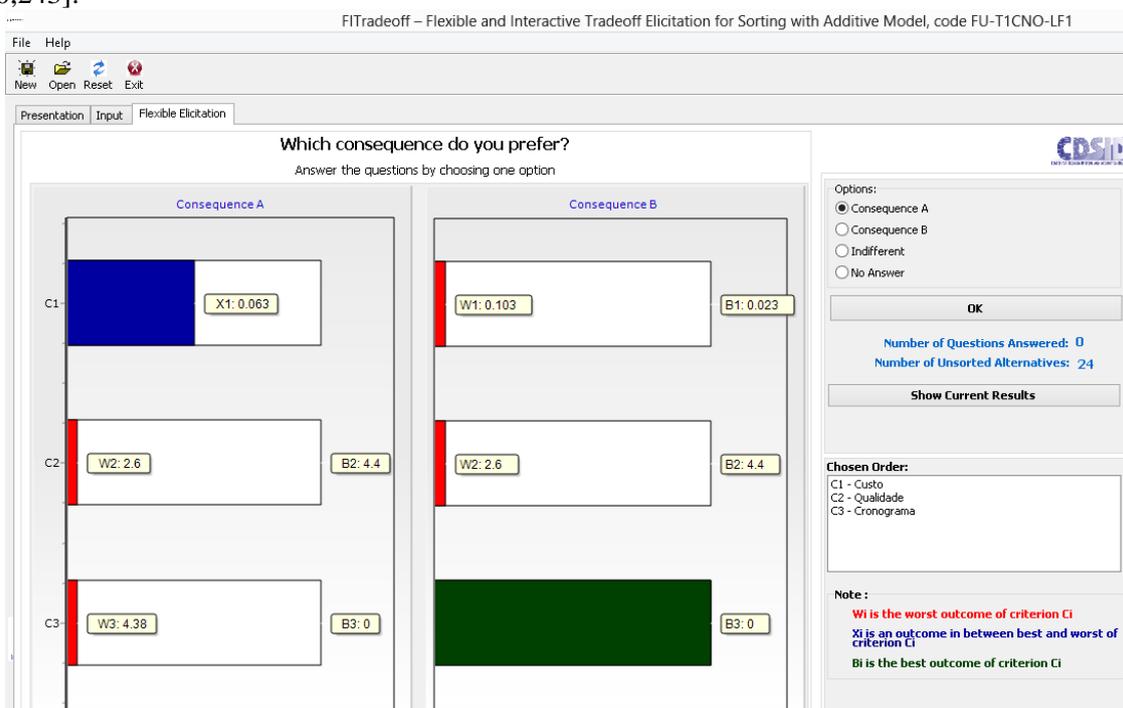


Figura 2: Etapa de elicitação flexível  
Fonte: Software FITradeoff de classificação [Kang et al. 2020]

Consequência A	Consequência B	Escolha do Decisor	Nº de alternativas classificadas na categoria 4 e 5
Custo (6,3%)	Cronograma (0)	Consequência A	(1,0)
Custo (6,3%)	Qualidade (4,4)	Consequência B	(4,0)
Qualidade (3,5)	Cronograma (0)	Consequência B	(8,1)
Custo (4,33%)	Qualidade (4,4)	Consequência A	(8,1)
Qualidade (3,95)	Cronograma (0)	Consequência A	(8,1)
Custo (5,32%)	Qualidade (4,4)	Consequência B	(9,1)

Tabela 6: Respostas de preferência do decisor  
Fonte: Software FITradeoff de classificação [Kang et al. 2020]

Alternative	Category	Min GV	Max GV	Alternative	Category	Min GV	Max GV
A1	3	0,5883	0,5912	A16	2	0,2584	0,2963
A2	3	0,4528	0,4924	A17	2	0,3296	0,3373
A3	3	0,5590	0,5608	A18	4	0,6060	0,6509
A4	3	0,4009	0,4057	A19	4	0,6299	0,6582
A5	4	0,6333	0,6458	A20	4	0,6454	0,6670
A6	3, 4	0,5992	0,6319	A21	5	0,8431	0,8673
A7	3	0,4119	0,4532	A22	2	0,2854	0,3118
A8	4	0,6291	0,6387	A23	4	0,7727	0,7925
A9	3	0,4898	0,4960	A24	2, 3	0,3947	0,4331

A10	2, 3	0,3945	0,4061	A25	3	0,4961	0,5417
A11	3	0,4040	0,4088	A26	3	0,5518	0,5807
A12	2, 3	0,3529	0,4043	A27	4	0,6272	0,6500
A13	3	0,4799	0,5020	A28	4	0,6226	0,6316
A14	2	0,3179	0,3683	A29	4	0,6031	0,6119
A15	2	0,3882	0,3981	A30	3	0,5344	0,5810

Tabela 7: Resultado da classificação das alternativas  
Fonte: Software FITradeoff de classificação [Kang et al. 2020]

Com relação às classificações resultantes, 9 perfis foram classificados para a categoria 4, como descrito anteriormente. Destes, o perfil de fornecedor 23 foi o que melhor desempenhou ficando com um valor global minimizado de 0,7727 (inferior em 3,41% com relação a  $q_4 = 0,8$ ) e maximizado de 0,7925. Esta alternativa é justamente a última a ser classificada nesta categoria após o sexto ciclo de elicitação, ficando anteriormente com possibilidade de classificação nas categorias 4 ou 5. A definição da categoria de A23 fez com que o decisor se desse por satisfeito com os resultados parciais obtidos e finalizasse a elicitação. Logo, foi preciso a execução de três ciclos após a terceira pergunta (quando as duas categorias mais relevantes estavam praticamente concluídas) para a obtenção da classificação de A23. Além do mais, a alternativa A6 tinha a possibilidade de alocação nesta categoria nos ciclos seguintes, mas devido seu valor global máximo ser 0,6319, o decisor não demonstrou interesse em prosseguir com o processo elicatório.

Acerca da categoria 5, constatou-se que apenas o perfil de fornecedor 21 foi designado para esta, significando ser o único perfil que muito fortemente atende às restrições estratégicas de projeto da empresa em estudo. Tal perfil obteve valor global minimizado de 0,8431 e maximizado de 0,8673, ou seja, dentro dos limiares da categoria mais importante na ordenação do decisor. Esta designação se deu essencialmente pelo fato de A21 possuir, coincidentemente, o melhor desempenho no primeiro critério da ordenação dentre todas as alternativas, que é o critério referente à restrição de custo.



Figura 3: Constantes de escala para cada critério  
Fonte: Software FITradeoff de classificação [Kang et al. 2020]

Resumidamente, não se levou em conta a alternativa A6, que no que concerne sua possível classificação na categoria 4, o custo-benefício de se obter tal designação demonstrou-se insatisfatório. A categoria 4 é praticamente finalizada após a 3ª pergunta, estando completamente concluída após a 6ª com a classificação da alternativa A23, sendo a que mais se destacou em termos globais nesta categoria. E, finalmente, a categoria 5 é totalmente finalizada também após a 6ª pergunta (com a definição de A23 na categoria 4), sendo composta apenas pela alternativa A21, representando assim, o único perfil de fornecedor com forte grau de impacto no atendimento às restrições de projeto da organização.

Nesta conjuntura, verifica-se a robustez dos resultados proporcionados pelo método em consequência da certeza do decisor nas respostas dadas em questões que requerem baixo custo cognitivo. Assim, com um modelo baseado no FITradeoff de classificação que preza por uma

execução eficiente do procedimento de elicitação de preferências e avaliação de fornecedores considerando critérios estratégicos do contexto organizacional, foi possível contribuir para que gestores dispendam menos tempo analisando fornecedores que pouco influenciam para o alcance dos objetivos preestabelecidos e destinem mais esforços na avaliação dos perfis que realmente impactam estes objetivos.

## 5. Considerações Finais

Neste trabalho, um modelo multicritério baseado no FITradeoff para problemática de ordenação foi aplicado no problema de classificação de fornecedores de uma organização da indústria da construção civil. Neste caso, foram consideradas restrições específicas essenciais para projetos elencadas pelo PMI para, então, construir o perfil de cada potencial fornecedor da empresa que reflete o nível de impacto destes para atendimento às restrições impostas.

Para isto, métricas únicas para cada restrição de projeto foram elaboradas tendo em vista insumos críticos do processo produtivo e, conseqüentemente, estas informações foram agregadas a fim de compor os perfis de fornecedores. A classificação destes perfis em categorias ordenadamente preferíveis para o decisor foi realizada pelo método FITradeoff de classificação, que utiliza informação parcial para lidar com o problema, fazendo uso de um protocolo bem definido para elicitação.

Este protocolo é fundamentado em questões acerca das preferências estritas do decisor, o que possui um grau cognitivo mais simples do que exigir a definição de valores exatos de indiferença para encontrar uma solução. Por meio da combinação de problemas de PL e regras de decisão, o método verifica em que categoria cada alternativa pode ser designada, e visa classificar todas elas o mais rápido possível e com o mínimo de informação do decisor.

O modelo foi aplicado em uma organização da indústria da construção civil voltada fundamentalmente para a construção de edificações populares com preços acessíveis e qualidade diferenciada. Como resultado, por meio de seis ciclos executados via software, apenas um perfil de fornecedor foi classificado na categoria 5 mais preferível para o decisor, enquanto 9 perfis compuseram a categoria 4 que representa alternativas que fortemente atendem às restrições impostas.

A abordagem de classificação permitiu ao decisor obter um conjunto de fornecedores que atendem fortemente às necessidades dos projetos em que a organização atua. Como consequência, a escolha de fornecedores e aquisição de insumos necessários às operações dos projetos pode se tornar muito mais simplificada devido ao tratamento prévio da informação. O uso das restrições críticas para os projetos e a consideração dos insumos que mais afetam cada restrição considerando o perfil de projetos que a empresa desenvolve ou irá desenvolver, permite ao modelo uma representação mais aderente aos impactos que os fornecedores causarão no andamento de cada projeto, contribuindo para aumentar a sua chance de sucesso.

Os resultados obtidos demonstraram que a abordagem utilizada consegue retratar bem o problema, levando em consideração aspectos de fornecedores que podem afetar as principais restrições de um projeto. A importância de um modelo que formalize a decisão de quais fornecedores podem ser selecionados torna-se ainda mais crítica na construção civil quando se considera a sua forte participação no PIB da indústria global. Com este intuito, ferramentas multicritério para tomada de decisão podem ser mais eficazes. Por fim, através dos procedimentos e métodos empregados no modelo, foi possível desenvolver uma avaliação multicritério que incentiva a formalização e estruturação do processo decisório explorado, que é crítico para a gestão de suprimentos.

Para trabalhos futuros, sugerimos a exploração do modelo no contexto de outros setores econômicos, onde aspectos diferentes podem levar à necessidade de levantamento e estruturação de novos critérios.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio institucional e ao Centro de Desenvolvimento em Sistemas de

Informação e Decisão (CDSID) pela disponibilização do software FITradeoff para problemática de classificação.

## Referências

Chen, C. T., Lin, C. T. e Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2): 289-301.

Chia, F. C., Skitmore, M., Runeson, G. e Bridge, A. (2014). Economic development and construction productivity in Malaysia. *Construction Management and Economics*, 32(9): 874-887.

De Almeida, A. T., Almeida, J. A., Costa, A. P. C. S. e Almeida-Filho, A. T. (2016). A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible And Interactive Tradeoff. *European Journal of Operational Research*, 250(1): 179-191.

De Boer, L., Labro, E. e Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2): 75-89.

Dixit, S. e Sharma K. (2020). An Empirical Study of Major Factors Affecting Productivity of Construction Projects. In: Babu K., Rao H., Amarnath Y. (eds) *Emerging Trends in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 61. Springer, Singapore.

Doumpos, M. e Zopounidis, C. (2004). A multicriteria classification approach based on pairwise comparisons. *European Journal of Operational Research*, 158: 378–389.

Fibra. (2017). Web page. <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil.html>. Acessado: 29-03-2020.

Gerbert, P., Castagnino, S., Rothballer, C. e Renz, A. (2016). Shaping the future of construction a breakthrough in mindset and technology. In *World Economic Forum*, p. 1–64, Cologny, Switzerland.

Ho, W., Xu, X. e Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision-making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of operational research*, 202(1), 16-24.

Kahraman, C., Cebeci, U. e Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 16(6): 382-394.

Kang, T. H. A. e De Almeida, A. T. (2017). Método FITradeoff para problemática de classificação. In *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Blumenau.

Kang, T. H. A., Frej, E. A. e De Almeida, A. T. (2020). Flexible and Interactive Tradeoff Elicitation for Multicriteria Sorting Problems. *Asia Pacific Journal of Operational Research*. p. 1-27.

Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Norwell.

Xue, H. e Zhang, S. J. (2018). Relationships between engineering construction standards and economic growth in the construction industry: The case of China's construction industry. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(5): 1606–1613.