

**APOIO À DECISÃO DE COMPRA NA INDÚSTRIA DE CIMENTOS E DERIVADOS***SUPPORT PURCHASE DECISION IN CEMENT INDUSTRY AND DERIVATIVES**Renan Felinto de Farias Aires\**

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGA/UFRN)

Natal, RN, Brasil

E-mail: [renanffa@hotmail.com](mailto:renanffa@hotmail.com)*Leonardo Gevezier Braga*

Mestre em Administração pelo Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGA/UFRN)

Natal, RN, Brasil

E-mail: [leogbraga@hotmail.com](mailto:leogbraga@hotmail.com)*José Camelo Silveira Neto*

Mestre em Administração pelo Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGA/UFRN)

Natal, RN, Brasil

E-mail: [jcsneto20@hotmail.com](mailto:jcsneto20@hotmail.com)*Afrânio Galdino de Araújo*

Professor do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGA/UFRN)

Natal, RN, Brasil

E-mail: [afranioga@gmail.com](mailto:afranioga@gmail.com)**RESUMO**

O setor da construção civil é um dos mais dinâmicos setores da economia brasileira, impactando toda a complexa cadeia de atividades ligadas à construção, como, por exemplo, a produção de cimento. Assim, todas as indústrias ligadas à produção desse material necessitam tomar decisões da melhor maneira de forma a competirem no acirrado mercado brasileiro de cimento - quarto maior produtor do mundo. Por conta disso, o objetivo deste estudo é desenvolver um modelo multicritério para apoiar a compra de uma linha de ensacamento e paletização de pós para uma indústria de cimentos e derivados. Para isso, este estudo de caso exploratório empregou o método ELECTRE II ao problema a partir de quatro critérios. O resultado é apresentado por meio de um ranking das alternativas estudadas e as implicações deste. Concluiu-se que os resultados apresentados foram satisfatórios devido à robustez e a implicação prática dos mesmos.

**Palavras-chave:** Construção Civil. Indústria de Cimento e Derivados. Compras. Multicritério. ELECTRE II.

Data de submissão: 23 de dezembro de 2015.

**ABSTRACT**

*The civil construction sector is one of the most dynamic sectors of the Brazilian economy, impacting the entire complex chain of activities related to construction, like, for example, cement production. So, all industries involved in the production of this material need to make decisions in the best way in order to compete in the competitive Brazilian cement market - fourth largest producer in the world. Because of this, the aim of this is to develop a multi-criteria model to support buying a line of powders bagging and palletizing for a cement and derivatives industry. For this, this exploratory case study, used the ELECTRE II method to the problem based on four criteria. The result is showed by means of a ranking of the studied alternatives and the implications of this. It was concluded that these results were satisfactory due to the robustness and the practical implication thereof.*

**Keywords:** Civil Construction. Industry of Cement and Derivatives. Purchases. Multi-criteria. ELECTRE II.

Data de aprovação: 3 de agosto de 2016.

### INTRODUÇÃO

O setor de construção civil, nos últimos anos, passou por muitas mudanças que foram intensificadas graças ao crescimento da economia e a consequente retomada de investimentos públicos, a criação de diversas leis que facilitam a retomada de imóveis em caso de inadimplência, a captação de recursos em bolsas e os esforços do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade – PBQP H (MELLO; AMORIM, 2009).

Assim, estimulado pela expansão da renda e do crédito imobiliário, pelos programas habitacionais voltados para a população de média e baixa renda, bem como pelas obras de infraestrutura do Programa de Aceleração do Crescimento, este setor retomou a trajetória de crescimento iniciada em 2004, aumentando 11,6% em 2010 (SNIC, 2010). Logo, de forma geral, tem-se que o setor de construção civil no Brasil apresentou, nos últimos 10 anos (2002-2012), crescimento médio de 10% ao ano, taxa superior ao crescimento do produto interno bruto (PIB) nacional, de 2,5% em igual período (SANTOS, 2015).

Após esse período de crescimento, a construção civil brasileira teve, em 2013, desempenho pior do que a economia como um todo, apresentando um crescimento de 1,6%, de acordo com último relatório anual do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2013). Apesar disso, sendo um dos mais dinâmicos setores da economia brasileira, a cadeia produtiva da construção civil impacta a economia de forma bastante ampla e seu macro setor inclui toda a complexa cadeia de atividades ligadas à construção, seja como fornecedora de insumos industriais ou como prestadora de serviços ao setor (FREJ; ALENCAR, 2010).

Neste cenário, o material diretamente ligado ao desenvolvimento da construção civil é o cimento, que, entre outras finalidades, é o componente principal do concreto, insumo essencial para o desenvolvimento da infraestrutura do país, sendo utilizado para a construção de estradas, pontes, sistemas de abastecimento de água, tratamento de esgoto, escolas, hospitais e habitação (CNI; ABCP, 2012). Logo, além de se tratar de um material essencial para o desenvolvimento econômico de um país (OGGIONI; RICCARDI; TONINELLI, 2011), sabe-se que o Brasil é o quarto maior produtor de cimento, com uma taxa 1,8% de tudo que é produzido no mundo (SU *et al.*, 2013).

Dessa forma, todas aquelas empresas ligadas direta ou indiretamente a este setor se veem na necessidade de melhoria imposta por esse mercado, tendo, por necessidade de sobrevivência, que integrar todos os setores que a compõe, de forma a otimizar cada vez mais a execução de suas atividades. Dentre esses setores, o setor de compras é um dos mais importantes, tendo em vista que para o caso do setor industrial, por exemplo, o montante gasto nas compras de insumos para a produção, de bens ou serviços, chega a 57% (LAMBERT *et al.*, 1997).

Neste sentido, a busca da eficácia na gestão de compras, por meio de ferramentas que auxiliem os processos de planejamento e controle, pode ser um caminho a ser utilizado por gestores da área. Sobre isso, partindo do princípio de que a problemática de compras envolve múltiplos critérios e múltiplas alternativas, características de problemas multicriteriais, o Apoio Multicritério a Decisão - AMD é indicado para estudos desse tipo.

Normalmente, os estudos com a utilização de métodos AMD relacionados a compras são voltados para o apoio à seleção de fornecedores (HO; XU; DEY, 2010; CHAI; LIU; NGAI, 2013; IGOULALENE; BENYOUCEF; TIWARI, 2015; MEMON; LEE; MARI, 2015), alguns inclusive na área de construção civil

(BAYAZIT; KARPAK; YAGCI, 2006; SAFA *et al.*, 2014; GOVINDAN; SHANKAR; KANNAN, 2016), mas, percebe-se que ainda há uma escassez em relação à seleção nesse setor para contextos diferenciados, como para situações específicas de aquisição de equipamentos e maquinários industriais.

Portanto, este estudo se propõe a responder a seguinte questão problema: de que forma um modelo multicritério pode apoiar a compra de uma linha de ensacamento e paletização de pós? Para tanto, o objetivo deste estudo é desenvolver um modelo multicritério para apoiar a compra de uma linha de ensacamento e paletização de pós para uma indústria de cimentos e derivados. O restante do artigo está estruturado da seguinte forma: em primeiro lugar tece breves considerações sobre o Apoio Multicritério a Decisão (AMD), abordando os grupos de métodos de forma ampla; posteriormente, aborda os métodos da família ELECTRE de forma mais específica, esmiuçando seus principais métodos; em seguida apresenta os aspectos metodológicos do estudo; depois, são apresentadas, a análise dos resultados e a análise de sensibilidade realizada; e, finalmente, tece a conclusão do estudo, sintetizando as principais inferências.

## **APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO (AMD)**

A existência de mais de um ponto de vista a ser considerado para a comparação entre um grupo de alternativas ou a determinação da superioridade de uma sobre a outra pode ser uma tarefa bastante complexa, que demanda o uso de ferramentas capazes de resolver este tipo de questão (CHAVES *et al.*, 2010). Neste sentido, o Apoio Multicritério à Decisão (AMD), que tem como princípio buscar o estabelecimento de uma relação de preferências entre as alternativas face a vários critérios no processo de decisão (GUARNIERI *et al.*, 2015), pode ser uma solução viável para a resolução deste tipo de problemática.

O AMD consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões, sob a influência de uma multiplicidade de critérios (ALMEIDA, 2011; DOUMPOS; ZOPOUNIDIS; GALARIOTIS, 2014). Neste tipo de análise, são considerados diversos pontos de vista para avaliar o desempenho de cada alternativa com relação a cada um dos objetivos estabelecidos (CHAVES *et al.*, 2010), visando fornecer uma estrutura para ajudar um agente de decisão na obtenção de elementos de resposta às questões no decorrer de um processo complexo (DEHE; BAMFORD, 2015).

Além disso, como coloca Capilla, Carrión e Alameda-Hernandez (2016), o AMD é uma metodologia que pode combinar as diferentes dimensões, objetivos, agentes e escalas que estão envolvidos no processo de tomada de decisão, sem sacrificar a qualidade, confiabilidade e consenso nos resultados.

Para a escolha do método multicritério a ser utilizado deve-se realizar uma análise relacionada a aspectos como: problema analisado, contexto considerado, informações disponíveis e seu grau de precisão, racionalidade requerida, estrutura axiomática de preferências do decisor e tipo de problemática (ALMEIDA, 2011). Além disso, um importante fator a ser considerado nesta escolha é a característica de compensação que pode existir entre os critérios da situação problemática estudada. Dessa forma, os métodos multicritérios tradicionalmente são classificados quanto a sua característica de compensação em dois grupos: os métodos compensatórios e os não-compensatórios.

No grupo dos métodos compensatórios, conhecido também como grupo da Escola Americana, tem-se uma ideia de compensar um menor desempenho de uma alternativa em um dado critério por meio de um melhor desempenho em outro critério (ALMEIDA, 2011), ou seja, podem favorecer alternativas não

balanceadas, ótimas em algum critério, mas sofrível em outros, já que buscam a compensação (GOMES, 2007). Neste grupo, os métodos mais conhecidos e utilizados são o AHP e o TOPSIS.

Sobre o AHP, um dos primeiros métodos surgidos e que é hoje talvez o mais extensivamente usado em todo o mundo (GOMES; GOMES, 2014), tem-se que se baseia na análise de problemas a partir de comparações em pares (KUŁAKOWSKI, 2015), sendo aplicado para decisões individuais e/ou de grupo (BERNASCONI; CHOIRAT; SERI, 2014), sejam estas, qualitativas ou quantitativas (LOLLI; ISHIZAKA; GAMBERINI, 2014). Assim, o AHP, com base em prioridades explicitamente declaradas pelos decisores em todos os critérios, constrói um ranking das alternativas no que diz respeito ao objetivo e indica o grau em que cada alternativa é melhor (ou pior) do que cada um dos outros (BENTES *et al.*, 2012).

Já o TOPSIS, desenvolvido por Hwang e Yoon (1981), baseia-se na ideia de que a alternativa escolhida deverá ter a distância mais curta entre a solução ideal positiva e a maior distância da solução ideal negativa (JOSHI; KUMAR, 2016), em que a solução ideal positiva minimiza os critérios de custo e maximiza os critérios de benefício simultaneamente, enquanto que a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício simultaneamente (HU *et al.*, 2016). Este método é caracterizado por sua fácil utilização e robustez de resultados, o que resultou em sua vasta utilização, seja de forma individual ou conjunta com outros métodos, como aponta o estudo de Behzadian *et al.* (2012).

Finalmente, ainda sobre os métodos compensatórios, cabe destacar que existe uma gama de métodos disponíveis que vão desde o uso de médias ponderadas até o uso da Teoria da Utilidade Multiatributo. Já o grupo dos métodos não-compensatórios, conhecido também como grupo da Escola Francesa ou Europeia, requer uma informação intercritério correspondente à importância relativa entre os critérios, evitando o favorecimento de ações que possuem um excelente desempenho em um critério, mas que sejam muito ruins nos demais (INFANTE; MENDONÇA; VALLE, 2014). Logo, este grupo considera a incomparabilidade entre alternativas, sendo os métodos das famílias PROMETHEE e ELECTRE os mais utilizados.

Sobre os métodos da família PROMETHEE (BRANS; VINCKE, 1985), tem-se que é uma família de métodos baseados na construção de relações de sobreclassificação (*outranking*) entre as alternativas (VINCKE, 1992; CORRENTE; FIGUEIRA; GRECO, 2014), em que os decisores fornecem algumas informações de preferência sobre os parâmetros envolvidos (função preferência, pesos de critérios e limites) (BEHZADIAN *et al.*, 2010). Em síntese, tem-se que o número de profissionais que estão aplicando estes métodos para problemas multicriterias aumenta de ano para ano, sendo inclusive amplamente utilizado em diferentes contextos, como, por exemplo, na área de transportes, de gerenciamento de energia e da medicina (JĘDRKIEWICZ *et al.*, 2016).

Sobre o ELECTRE, método utilizado neste estudo, foi elaborada a seção “métodos da família ELECTRE” em que são apresentadas algumas considerações acerca dos seus principais métodos, com um foco no método ELECTRE II, desenvolvido por Roy e Bertier (1971, 1973), e que foi o método utilizado no presente estudo.

## Métodos da Família ELECTRE

A família ELECTRE propõe um procedimento para redução do conjunto de alternativas explorando o conceito de dominância, baseando-se em relações de superação (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005). Os métodos ELECTRE, também denominados métodos de subordinação – do termo em inglês *outranking* – (MIRANDA; ALMEIDA, 2004), introduziram um novo conceito do modelo de preferências, que pretende ser uma representação mais realista que o utilizado na teoria de decisão (PINTO JUNIOR; SOARES DE MELLO, 2013).

Figueira *et al.* (2013) aponta alguns pontos fortes dos métodos da família ELECTRE, destacando, principalmente, dois: (i) são métodos capazes captar informações de natureza qualitativa de certos critérios, permitindo a coleta direta dos dados originais, sem a necessidade de fazer transformações em escalas numéricas artificiais; e (ii) são capazes de lidar com escalas de critérios heterogêneos, preservando as partituras originais das alternativas em cada critério, sem a necessidade de técnicas de normalização ou a estimativa de uma função de valor.

Diferentes versões do ELECTRE já foram desenvolvidas, sendo os métodos ELECTRE I e II, propostos por Roy (1968) e Roy e Bertier (1971, 1973) respectivamente, os primeiros. Além desses, outras variações incluem os ELECTRE III (ROY, 1978), ELECTRE IV (ROY; HUGONNARD, 1982), ELECTRE TRI (YU, 1992), ELECTRE IS (ROY; SKALKA, 1985) e ELECTRE SS (EL HANANDEH; EL-ZEIN, 2007). Apesar da grande variedade, todos estes métodos são baseados nos mesmos conceitos fundamentais, diferenciando-se apenas em termos operacionais e de acordo com o tipo de problema de decisão de cada caso (MARZOUK, 2011). Sobre o primeiro desses métodos, o ELECTRE I, pode-se dizer que este foi projetado para problemas de seleção (MARZOUK, 2011; MIRANDA; ALMEIDA, 2004), sendo usado para construir uma priorização parcial para a escolha de uma dentro de um conjunto de alternativas (HATAMI-MARBINI; TAVANA, 2011; BOUYSSOU; MARCHANT, 2015). Assim, o ELECTRE I revela a alternativa ideal, com o máximo de vantagens e o mínimo de inconvenientes em função de vários critérios (ONDRUS; BUI; PIGNEUR, 2015).

Já o ELECTRE II, método utilizado no presente estudo, pode ser considerado uma extensão do método ELECTRE I, uma vez que necessita dos dois grafos produzidos pelo ELECTRE I como dados de entrada, representando uma estrutura de preferência forte e outra fraca (CHAVES *et al.*, 2010; PINTO JUNIOR; SOARES DE MELLO, 2013; CHEN; XU, 2015). Este método busca ordenar um conjunto de alternativas da melhor para pior, sendo desenvolvido para resolver problemas de ordenação (MIRANDA; ALMEIDA, 2004), resultando num ranking das alternativas não-dominadas, de forma a escolher aqueles sistemas que são preferidos pela maioria dos critérios e que não ultrapassem um determinado nível de desconforto ou descontentamento aceito pelo decisor, para nenhum dos critérios considerados (CHAVES *et al.*, 2010; PINTO JUNIOR; SOARES DE MELLO, 2013).

Para isso, são utilizados os conceitos de matriz de concordância e de discordância para ordenar o conjunto de alternativas, em que o primeiro mede a vantagem relativa de cada alternativa sobre todas as outras e o segundo mede a relativa desvantagem. Para que seja feita a análise dessas matrizes, são definidos valores de referência  $p$  e  $q$ , pertencentes ao intervalo de variação entre 0 e 1, em que os valores de concordância desejada deverão ser superiores ou iguais a  $p$  e que  $q$  definirá a máxima discordância tolerável.

A partir das matrizes obtidas, é realizado o procedimento de ordenação, composto por dois estágios de pré-ordenação, geralmente chamados de sobreclassificação forte e fraca. A partir destas duas pré-ordenações obtidas, cabe ao agente de decisão à escolha entre realizar uma média entre elas, que resultará na ordenação final, ou caso contrário, redefinir o problema e reaplicar o método (MIRANDA; ALMEIDA, 2004; CHAVES *et al.*, 2010; PINTO JUNIOR; SOARES DE MELLO, 2013).

Semelhante ao ELECTRE II tem-se outras duas variações, os ELECTRE III e IV. Como no ELECTRE II, estes métodos também são utilizados para problemas de classificação (MARZOUK, 2011), porém o ELECTRE III diferencia-se por envolver pseudocritérios, ou seja, são inseridos limiares de preferência e indiferença (MIRANDA; ALMEIDA, 2004) e o ELECTRE IV, por sua vez, não necessita de ponderação relativa ou importância dos critérios subjacentes à escolha (ESPITIA-ESCUER; GARCÍA-CEBRIÁN; MUÑOZ-PORCAR, 2014). Da mesma forma que estes dois últimos métodos citados se assemelham ao ELECTRE II, tem-se também o ELECTRE IS, que é uma variação do ELECTRE I. Neste caso, o ELECTRE IS diferencia-se do ELECTRE I por utilizar pseudocritérios nas modelagens de preferência, o que acrescenta a possibilidade de hesitação ou incerteza de um avaliador ao afirmar que uma alternativa é, de fato, pelo menos tão boa quanto outra (COSTA *et al.*, 2007).

As duas últimas variações são o ELECTRE TRI e o ELECTRE-SS. O primeiro, que usa o conceito de pseudocritério para estabelecer as relações de subordinação, busca resolver problemas de classificação ordenada, objetivando classificar as alternativas presentes no conjunto de alternativas viáveis em classes que mantêm uma relação de preferência entre si (COSTA *et al.*, 2007). O segundo, recentemente desenvolvido, é uma variação do ELECTRE III, em que é modificada a fase de exploração deste, através de uma nova definição da pré-ordem e da introdução de um índice de classificação, acomodando casos em que há preferência incompleta ou incerta dos dados (EL HANANDEH; EL-ZEIN, 2010).

Finalmente, para maiores detalhes, podem-se ser citados alguns estudos que utilizam estas variações da Família ELECTRE, como o caso dos estudos que envolvem o ELECTRE I: Pang, Zhang e Chen (2011) e Hatami-Marbini e Tavana (2011); ELECTRE II: Rutman, Inard, Bailly e Allard, (2005) e Pinto Junior e Soares de Mello (2013); ELECTRE III: Giannoulis e Ishizaka (2010) e Montazer, Saremi e Ramezani (2009); ELECTRE IV: Shanian e Savadogo (2006) e Espitia-Escuer, García-Cebrián e Muñoz-Porcar (2014); ELECTRE TRI: Sánchez-Lozano, García-Cascales e Lamata (2014) e Angilella e Mazzù (2015); ELECTRE IS: Barberis e Ródenas (2002) e Haurant, Oberti and Muselli (2011); e ELECTRE SS: El Hanandeh e El-Zein (2009, 2010).

### ASPECTOS METODOLÓGICOS

Em termos de enquadramento metodológico, a presente pesquisa tem caráter exploratório, pois teve como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema em questão (GIL, 2010), e seu delineamento é o de estudo de caso, por se tratar de uma investigação empírica que pode ser utilizada para descrever uma situação no seu contexto (YIN, 2005).

A fonte dos dados foi de origem primária, sendo estes obtidos junto às próprias empresas fornecedoras do maquinário, por intermédio dos gestores da indústria analisada. Esta indústria, localizada na região Nordeste do Brasil e fundada nos anos 90, é pioneira no ramo de derivados de cimento e similares em

seu estado, fabricando produtos que vão desde argamassas colantes, perpassando por rejuntas, rebocos e cimento branco, até produtos de assentamento estrutural e de remoção de resíduos. Esse estudo, motivado pelo desejo da própria empresa em expandir sua capacidade produtiva, objetivou apoiar a aquisição de uma linha de ensacamento e paletização de pós, que é um dos requisitos essenciais para essa expansão.

Uma linha de ensacamento e paletização de pós é composta por maquinários que, como o próprio nome já sugere, são responsáveis pelo ensacamento dos pós e, sequencialmente, pela colocação destes em paletes (paletização). Para o caso específico da empresa estudada, é necessário que tal linha seja composta por duas ensacadeiras, de 1 a 4 bicos, e por um paletizador, com capacidade suficiente para atender a demanda de ensacamento das duas ensacadeiras. A compra desse maquinário representa um percentual de aproximadamente 25% dos custos totais da organização para a expansão de sua fábrica, o que demonstra a importância da adequada escolha de compra.

Por conta disto, a utilização de um método multicriterial que possa contribuir para a melhoria do processo de tomada de decisão é de capital importância. De grande importância também é a escolha adequada do método AMD a ser utilizado. Para o caso deste estudo, o método utilizado foi o ELECTRE II por dois motivos principais:

- a) Trata-se de um método não-compensatório, fator requerido pelos gestores, visto que estes informaram que todos os critérios ligados à compra da linha são relevantes, na medida em que cada um deles pode afetar a cronograma da produção de alguma maneira, não havendo a possibilidade de que um critério ótimo compense outro ruim. Dessa forma, como nenhuma interação entre os critérios é permitida, não pode haver compensação, o que ratifica a escolha por um procedimento não-compensatório;
- b) Requisição dos decisores e informações disponíveis, pois a finalidade dos decisores era de que o resultado fosse apresentado através de um *ranking* e que nesta análise fossem levadas em conta informações reais, passadas diretamente pelas empresas fornecedoras.

Finalmente, para a construção do modelo multicritério, foram utilizados os procedimentos comumente utilizados nos estudos relevantes da área de aplicação do método ELECTRE II, como, por exemplo, os estudos de Pinto Junior e Soares de Mello (2013) e de Chaves *et al.* (2010). Logo, partindo deste princípio, optou-se por apresentar o passo a passo do método conjuntamente com a apresentação dos resultados, trazendo dinamicidade ao estudo. Para melhor compreensão, os procedimentos utilizados foram os seguintes:

- a) Definição dos critérios, de suas métricas e de seus pesos: são descritos os critérios, as métricas (Quadro 1), e os pesos (Tabela 1) utilizados no estudo;
- b) Levantamento e delimitação das alternativas do estudo: são descritas as alternativas utilizadas no estudo (Tabela 2)

- c) Conversão dos valores das alternativas: são descritas as fórmulas de maximização (Fórmula 1) e de minimização (Fórmula 2) utilizadas para a padronização da matriz de decisão (Tabela 3).
- d) Normalização dos dados de entrada: são descritos os dados normalizados (Tabela 4) e como estes foram normalizados (Fórmula 3);
- e) Definição dos índices de concordância e da matriz de concordância: mostram-se como são calculados, respectivamente, os índices de concordância (Tabela 5) e a matriz de concordância (Tabela 6);
- f) Definição dos índices de discordância e da matriz de discordância: apresentam-se como são calculados (Fórmula 4), respectivamente, os índices de discordância (Tabela 7) e a matriz de discordância (Tabela 8);
- g) Definição dos limiares de sobreclassificação forte e fraca: são apresentados os limiares de sobreclassificação (Tabela 9) utilizados no estudo;
- h) Grafo e Apresentação do *ranking* final das alternativas: apresentam-se o grafo das matrizes de sobreclassificação forte e fraca (Figura 1) e *ranking* final (Tabela 12) obtido no trabalho por meio do *ranking* de concordância (Tabela 10) e discordância pura (Tabela 11).

A partir dos procedimentos supracitados, os resultados obtidos no presente estudo são apresentados no capítulo de análise dos resultados.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como já exposto, o objetivo deste estudo é desenvolver um modelo multicritério para apoiar a compra de uma linha de ensacamento e paletização de pós para uma indústria de cimentos e derivados. Para isso, primeiramente, foram definidos os critérios de avaliação de acordo com os objetivos do problema e, principalmente, com os interesses dos tomadores de decisão, que, neste caso, foram representados por três diretores: O Diretor Presidente, o Diretor de Finanças e o Diretor de Qualidade. A importância da visão dos decisores também é ressaltada por Safa *et al.* (2014). Dessa forma, os três decisores da organização listaram como relevantes os quatro critérios que se encontram listados no Quadro 1.

**Quadro 1 - Critérios Utilizados**

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>	<b>Métrica</b>
<b>C1 - Eficiência Produtiva</b>	Critério quantitativo que busca avaliar as performances de cada linha estudada.	Ensacamentos por hora
<b>C2 - Custo de Aquisição</b>	Critério quantitativo que utiliza os custos de aquisição de cada linha. Vale salientar, que a linha específica da empresa estudada é composta por duas ensacadeiras e um paletizador.	Custo de Aquisição por Linha (R\$)
<b>C3 – Assistência Técnica</b>	Critério quantitativo que leva em consideração o tempo de resposta entre o pedido de assistência até a chegada do técnico para a realização do serviço.	Tempo de resposta entre o pedido de assistência até a chegada do técnico para a realização do serviço (em dias)
<b>C4 – Mão de Obra</b>	Critério quantitativo que leva em consideração a necessidade de mão de obra para operacionalização da linha.	Mão de obra necessária para operacionalização da linha (por quantidade de pessoas)

**Fonte:** Dados da pesquisa

Em seguida, foram definidos os pesos dos critérios, através de entrevistas com os três diretores já citados, com o propósito de melhor traduzir as visões destes. Dessa forma, os pesos adotados para cada um dos critérios foram obtidos a partir da média aritmética dos valores indicados pelos decisores, como demonstrado na Tabela 1. Sobre esta definição, pode-se dizer que, de acordo com a estrutura de preferência dos decisores, a assistência técnica possui um peso maior, tendo em vista o “prejuízo” que uma paralisação da produção da empresa representaria. Como alternativas do processo decisório em questão, foram consultadas seis empresas fornecedoras de linhas de ensacamento e paletização de pós, em que se solicitaram as informações dos critérios já citados. Dentre as fornecedoras consultadas, três responderam, sendo estas as alternativas utilizadas neste estudo. Para fins de confidencialidade, estas alternativas serão nomeadas como: A1, A2 e A3, sendo as empresas A1 e A2 nacionais e a A3 estrangeira.

**Tabela 1 - Peso dos Critérios**

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>	<b>Peso</b>
C1	Eficiência Produtiva	0,2
C2	Custo de Aquisição	0,3
C3	Assistência Técnica	0,4
C4	Mão de Obra	0,1

**Fonte:** Dados da pesquisa

Com base em todo o exposto, a Tabela 2 apresenta os valores de cada alternativa para cada um dos critérios. Tendo em vista que o único critério de maximização é o C1 – Eficiência Produtiva, foi realizada uma conversão de maximização para os outros três critérios (C2 – Custo de Aquisição; C3 – Assistência Técnica; C4 – Mão de Obra), utilizando-se da Fórmula 1. Além disso, para a padronização dos dados, foi utilizada a

Fórmula 2, de minimização, no critério C1 supracitado. Dessa forma, os resultados dessas conversões são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 2 - Valores das Alternativas**

Alternativa	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
A1	1080	740.000,00	7	5
A2	1320	1.020.000,00	3	4
A3	2000	2.350.000,00	10	2

**Fonte:** Dados da pesquisa

$$\frac{(a_{ij}-Máx)}{(Máx-Min)} \quad (1) \qquad \frac{(a_{ij}-Min)}{(Máx-Min)} \quad (2)$$

**Tabela 3 – Valores Convertidos**

Alternativa	Critérios							
	C1		C2		C3		C4	
	Original	Convertido	Original	Convertido	Original	Convertido	Original	Convertido
A1	1080	0,0	740.000,00	1,0	7	0,429	5	0,0
A2	1320	0,261	1.020.000,00	0,826	3	1,0	4	0,333
A3	2000	1,0	2.350.000,00	0,0	10	0,0	2	1,0

**Fonte:** Dados da pesquisa

Em seguida, a partir dos valores da Tabela 3, foi realizada a normalização dos mesmos, utilizando-se, para isso, a divisão do valor de cada alternativa em cada critério pela soma de cada alternativa em cada critério, conforme Fórmula 3 da escala de transformação linear (CHAKRABORTY; YEH, 2007).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, i = 1,2, \dots, n \quad j = 1,2, \dots, m \quad (3)$$

Os valores normalizados são apresentados na Tabela 4. Após a normalização, é realizada, em primeiro lugar, uma análise de superação das alternativas duas a duas, somando os valores de pesos dos critérios quando a primeira alternativa supera a segunda e não somando os valores em caso contrário (Tabela 5). A partir da Tabela 5 é apresentada a matriz de concordância (Tabela 6). Em seguida, os índices de discordância são calculados a partir da Fórmula 4.

**Tabela 4 - Valores Normalizados**

Alternativa	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
A1	0,0	0,548	0,3	0,0
A2	0,207	0,452	0,7	0,25
A3	0,793	0,0	0,0	0,75

Fonte: Dados da pesquisa

**Tabela 5 - Índice de Concordância entre as Alternativas**

	C1	C2	C3	C4	Somatório
A 1,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3
A 1,3	0,0	0,3	0,4	0,0	0,7
A 2,1	0,2	0,0	0,4	0,1	0,7
A 2,3	0,0	0,3	0,4	0,0	0,7
A 3,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3
A 3,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3

Fonte: Dados da pesquisa

**Tabela 6 - Matriz de Concordância**

	A1	A2	A3
A1	-	0,3	0,7
A2	0,7	-	0,7
A3	0,3	0,3	-

Fonte: Dados da pesquisa

$$d_{i,k} = \left(\frac{1}{d}\right)_{j \in D(x_j, x_k)} \text{Máx.} [u_j(x_i) - u_j(x_k)] \quad (4)$$

Onde:  $d = \text{máx.} j (c_i, x_k) \in A \text{ máx.} [u_j(x_k) - u_j(x_i)], \text{ para } j = 1, \dots, n.$

Com os índices de discordância calculados (Tabela 7), é realizada a matriz de discordância (Tabela 8). Tendo em vista os limiares definidos e apresentados na Tabela 9, para que ocorra uma sobreclassificação forte, os índices de concordância par a par devem ser maiores ou iguais ao índice C1 e os índices de discordância par a par devem ser inferiores ou iguais ao índice D1; e para a sobreclassificação fraca, os índices de concordância par a par devem ser maiores ou iguais ao índice C2 e os índices de discordância par

a par inferiores ou iguais ao índice D2. Com a realização dessas análises, são gerados os grafos das matrizes de sobreclassificação forte e fraca, que neste caso, é representado pela mesma figura (Figura 1).

**Tabela 7 - Índice de Discordância entre as Alternativas**

	C1	C2	C3	C4	Valor Máximo	Valor Máximo/D
Máximo	0,793	0,548	0,7	0,75	0,793	
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0		
Máx Min (D)	0,793	0,5	0,7	0,75		
A 1,2	0,207	-0,096	0,4	0,25	0,4	0,504
A 1,3	0,793	-0,548	-0,3	0,75	0,793	1,0
A 2,1	-0,207	0,096	-0,4	-0,25	0,096	0,121
A 2,3	0,586	-0,452	-0,7	0,5	0,586	0,739
A 3,1	-0,793	0,548	0,3	-0,75	0,548	0,691
A 3,2	-0,586	0,452	0,7	-0,5	0,7	0,833

**Fonte:** Dados da pesquisa

**Tabela 8 - Matriz de Discordância**

	A1	A2	A3
A1		0,504	1,0
A2	0,121		0,739
A3	0,691	0,833	

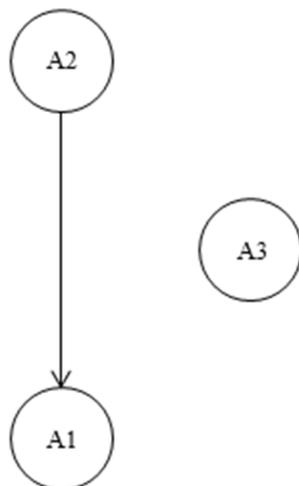
**Fonte:** Dados da pesquisa

**Tabela 9 - Limiares de Concordância e Discordância**

Limiares de Concordância		Limiares de Discordância	
C1	C2	D1	D2
0,7	0,6	0,3	0,4

**Fonte:** Dados da pesquisa

Figura 1 - Grafo de Sobreclassificação Forte e Fraca



Fonte: Dados da pesquisa

Finalmente, para a definição do *ranking* final das empresas fornecedoras de linhas de ensacamento e paletização de pós estudadas, foi realizado o método de concordância e discordância pura, proposto por Chatterjee, Mondal e Chakraborty (2014). Este método gera dois *rankings*, calculados a partir das Fórmulas 5 e 6. O primeiro calcula a diferença entre a soma da linha de uma alternativa menos a soma da coluna da mesma alternativa a partir da matriz de concordância, fazendo o mesmo procedimento para as demais alternativas, gerando o primeiro *ranking*, em que a ordenação é do valor maior para o menor (Tabela 10). O segundo calcula a diferença entre a soma da linha de uma alternativa menos a soma da coluna da mesma alternativa a partir da matriz de discordância, fazendo o mesmo procedimento para as demais alternativas, gerando o segundo *ranking*, em que a ordenação é feita do valor menor para o maior (Tabela 11). Por fim, gera-se o *ranking* final (Tabela 12) a partir da soma dos valores encontrados em cada alternativa nos dois *rankings* criados a partir das matrizes de concordância e discordância.

$$(C_j) = \sum_{k=1}^n c(j, k) - \sum_{j=1}^n c(k, j) \quad (j \neq k) \quad (5)$$

$$(D_j) = \sum_{k=1}^n d(j, k) - \sum_{j=1}^n d(k, j) \quad (j \neq k) \quad (6)$$

Tabela 10 - *Ranking* de Concordância Pura

Alternativa	Valor	Ranking
A1	0,0	2
A2	0,8	1
A3	-0,8	3

Fonte: Dados da pesquisa

**Tabela 11 - *Ranking* de Discordância Pura**

Alternativa	Valor	Ranking
A1	0,692	3
A2	-0,477	1
A3	-0,215	2

**Fonte:** Dados da pesquisa

**Tabela 12 - *Ranking* Final de Concordância e Discordância Pura**

Alternativa	Ranking Final
A1	2,5
A2	1
A3	2,5

**Fonte:** Dados da pesquisa

Com isso, chega-se ao seguinte resultado: a Alternativa 2 supera as demais alternativas, superando fortemente a Alternativa 1. Por sua vez, as Alternativas 1 e 3 obtiveram a mesma classificação no *ranking* final. Logo, pode-se inferir que existe incomparabilidade entre estas alternativas. Dito isto, conclui-se que a empresa A2 é a melhor fornecedora da linha de ensacamento e paletização de pós para o caso específico deste estudo.

Nesse ponto cabe um esclarecimento sobre a incomparabilidade. Aponta-se a existência da incomparabilidade quando não há indiferença, preferência estrita e/ou preferência fraca entre as alternativas, ou seja, não existem razões claras para o decisor que justificam a equivalência entre dois elementos ou uma preferência significativa em favor de um (bem identificado) dos dois elementos, por exemplo.

Tais situações são comuns em estudos com a utilização de métodos multicritério, como os casos dos estudos de Mota e Almeida (2007), sobre a priorização de atividades em projetos, o de Milani, Shanian e El-Lahham (2006), sobre planejamento estratégico, o de Gomes e Costa (2015), sobre a avaliação de tecnologias de pagamento eletrônico mais comumente utilizadas no Brasil, e de Araujo e Amaral (2016), sobre a seleção de projetos de uma empresa de desenvolvimento de software livre.

Além disso, em contextos mais próximos ao do presente estudo, têm-se os trabalhos de Yurdakul (2004), Ayag e Ozdemir (2006) e Dağdeviren (2008). Os dois primeiros se dedicam a seleção e avaliação de máquinas/equipamentos no contexto fabril, apontando e destacando a relevância de seleções deste tipo. O estudo de Dağdeviren (2008), em especial, além de aplicar um método multicritério para seleção de equipamentos, ainda apresenta, como resultados, alternativas que tiveram incomparabilidade, caso semelhante ao do presente estudo. Logo, os resultados aqui se mostram robustos e seguem os principais desenvolvidos na área.

Portanto, diante deste cenário, fica clara a escolha mais racional a se fazer para que a empresa, levando em consideração as suas ambições, possa realizar sua expansão de forma segura e respaldada cientificamente. Finalmente, pode-se considerar que o modelo apresentado neste trabalho se mostrou

robusto, de acordo com a validação realizada junto aos decisores da empresa e, como apresentado na seção a seguir, conforme análise de sensibilidade realizada.

### **Análise de Sensibilidade**

No método ELECTRE II é recomendável variar os limiares de concordância e discordância para verificar o comportamento do modelo quanto a tais variações. Por conta disso, foram realizadas duas análises: Análise 1 e Análise 2. Na primeira análise foi feita uma diminuição do limiar de concordância forte de 0,7 para 0,6 e o limiar de concordância fraco de 0,6 para 0,5, o que equivale a menor exigência para o índice de concordância, e aumentando-se o limiar de discordância forte de 0,3 para 0,4, o que também equivale a menor exigência para o índice de discordância. Com esta primeira análise não foi obtida nenhuma variação na ordenação já apresentada das alternativas, assim como também não houve mudanças em relação a incomparabilidade entre as alternativas A1 e A2.

Na segunda análise, fez-se uma redução ainda maior dos limiares de concordância. Logo, o limiar de concordância forte foi reduzido de 0,7 para 0,5 e o limiar de concordância fraco de 0,6 para 0,4. Novamente, apesar das mudanças, os resultados não se alteraram, o que demonstra que os limiares *c* e *d* não são críticos para o modelo em análise. Finalmente, outra possível maneira de analisar a identificação da melhor opção de compra de uma linha de ensacamento e paletização de pós seria a inclusão de alternativas na análise, de forma a ter um leque maior de opções. Nesse caso, não foi possível realizar essa análise porque das seis empresas contatadas, três não responderam o contato.

### **CONCLUSÃO**

Este estudo teve como objetivo desenvolver um modelo multicritério para apoiar a compra de uma linha de ensacamento e paletização de pós para uma indústria de cimentos e derivados. Neste sentido, este artigo demonstrou que o método multicritério ELECTRE II pode ser uma excelente ferramenta na identificação da melhor opção de compra de uma linha de ensacamento e paletização de pós para uma indústria do setor de produtos de cimento e derivados. A partir deste método, indicado para a problemática de ordenação, foi possível obter um *ranking* das alternativas de solução, permitindo uma análise de forma mais criteriosa do processo de escolha da melhor empresa fornecedora de tais linhas, contribuindo para a melhoria de tomada de decisão pelos gestores.

Dessa forma, os resultados mostraram que a empresa A2 foi considerada a melhor fornecedora da linha de ensacamento e paletização de pós, levando em consideração os quatro critérios utilizados no estudo. Além disso, foi possível perceber que há uma incomparabilidade entre as outras duas alternativas estudadas, visto que nenhuma das duas possui uma sobreclassificação forte ou fraca sobre a outra.

Vale destacar a contribuição do artigo para o meio acadêmico e para sociedade em geral. Assim, o estudo inova ao objetivar apoiar o processo de compra de uma linha de ensacamento e paletização de pós, maquinário extremamente importante para a indústria, assim como explora um contexto que ainda carece de investigação por parte da academia. Já em termos de contribuição a sociedade, este estudo contribui na medida em que uma seleção desse gênero é determinante para qualquer sistema de produção eficiente, uma

vez que a seleção de equipamentos inadequados pode causar problemas que afetam diretamente a produtividade, precisão, flexibilidade e qualidade dos produtos de forma negativa.

Portanto, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios e a análise de sensibilidade realizada ratificou sua robustez. Além disso, observa-se que esses resultados possuem aplicação prática, já que os decisores da organização estudada decidiram pela alternativa que foi apresentada como superior às outras. Finalmente, a continuidade deste trabalho inclui o aprimoramento do estudo para que se possa tratar um número maior de alternativas e de critérios, assim como realizar tal análise em outros setores, segmentos de mercado ou países.

### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. T. **O Conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**. 2. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2011.
- ANGILELLA, S.; MAZZÙ, S. The financing of innovative SMEs: A multicriteria credit rating model. **European Journal of Operational Research**, v. 244, p. 540–554, 2015.
- ARAUJO, J. J.; AMARAL, T. M. Aplicação do método ELECTRE I para problemas de seleção envolvendo projetos de desenvolvimento de software livre. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 11, n. 2, p. 121-137, 2016.
- AYAG, Z.; OZDEMIR, R.G. A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 17, n. 2, p. 179-190, 2006.
- BARBERIS, G. F.; RÓDENAS, M. C. E. Utilización del método ELECTRE IS de ayuda a la decisión multicriterio en la valoración y selección de alternativas de inversión. **Rect@**, v. Actas\_10, n. 1, p. 37-50, 2002.
- BAYAZIT, O.; KARPAK, B.; YAGCI, A. A purchasing decision: Selecting a supplier for a construction company. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 15, n. 2, p. 217-231, 2006.
- BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, v. 200, n. 1, p. 198-215, 2010.
- BEHZADIAN, M.; OTAGHSARA, S. K.; YAZDANI, M.; IGNATIUS, J. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 17, p. 13051-13069, 2012.
- BENTES, A. V.; CARNEIRO, J.; SILVA, J. F.; KIMURA, H. Multidimensional assessment of organizational performance: Integrating BSC and AHP. **Journal of Business Research**, v. 65, n. 12, p. 1790-1799, 2012.
- BERNASCONI, M.; CHOIRAT, C.; SERI, R. Empirical properties of group preference aggregation methods employed in AHP: Theory and evidence. **European Journal of Operational Research**, v. 232, n. 3, p. 584-592, 2014.
- BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T. On the relations between ELECTRE TRI-B and ELECTRE TRI-C and on a new variant of ELECTRE TRI-B. **European Journal of Operational Research**, v. 242, n. 1, p. 201-211, 2015.
- BRANS, J. P.; VINCKE, P. H. A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM. **Management Science**, v. 31, p. 647-656, 1985.
- CAPILLA, J. A. J.; CARRIÓN, J. A.; ALAMEDA-HERNANDEZ, E. Optimal site selection for upper reservoirs in pump-back systems, using geographical information systems and multicriteria analysis. **Renewable Energy**, v. 86, p. 429-440, 2016.
- CHAI, J.; LIU, J. N.K.; NGAI, E. W.T. Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 10, p. 3872-3885, 2013.
- CHAKRABORTY, S.; YE, C-H. A Simulation Based Comparative Study of Normalization Procedures in Multiattribute Decision Making. In: Proceedings of the International conference on artificial intelligence, knowledge engineering and data bases, 6, 2007, Corfu Island. **Anais....Greece: WSEAS**, 2007.
- CHATTERJEE, P.; MONDAL, S.; CHAKRABORTY, S. A comprehensive solution to automated inspection device selection problems using Electre methods. **International Journal of Technology**, v. 2, p. 193-208, 2014.

CHAVES, M. C. C.; GOMES JÚNIOR, S. F.; PEREIRA, E. R.; MELLO, J. C. C. B. S. Utilização do método ELECTRE II para avaliação de pilotos no campeonato de Fórmula 1. **Production**, v. 20, n. 1, p. 102-113, 2010.

CHEN, N.; XU, Z. Hesitant fuzzy ELECTRE II approach: A new way to handle multi-criteria decision making problems. **Information Sciences**, v. 292, p. 175-197, 2015.

CNI - Confederação Nacional da Indústria; ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Indústria brasileira de cimento: Base para a construção do desenvolvimento**. Brasília: CNI, 2012. Disponível em: <[http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_24/2012/09/03/189/20121122172811763174i.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/03/189/20121122172811763174i.pdf)>. Acesso em: 11 dez. 2012

CORRENTE, S.; FIGUEIRA, J. R.; GRECO, S. The SMAA-PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 239, n. 2, p. 514-522, 2014.

COSTA, H. G.; MANSUR, A. F. U.; FREITAS, A. L. P.; CARVALHO, R. A. ELECTRE TRI aplicado a avaliação da satisfação de consumidores. **Production**, v. 17, n. 2, p. 230-245, 2007.

DAĞDEVIREN, M. Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 19, n. 4, p. 397-406, 2008.

DEHE, B.; BAMFORD, D. Development, test and comparison of two Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) models: A case of healthcare infrastructure location. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 19, p. 6717-6727, 2015.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C.; GALARIOTIS, E. Inferring robust decision models in multicriteria classification problems: An experimental analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 236, n. 2, p. 601-611, 2014.

EL HANANDEH, A.; EL-ZEIN, A. A New Multi-Criteria Decision Analysis Tool Based on ELECTRE III Method. **ANZSEE**, Noosaville, Australia, 2007.

EL HANANDEH, A.; EL-ZEIN, A. Strategies for the municipal waste management system to take advantage of carbon trading under competing policies: The role of energy from waste in Sydney. **Waste Management**, v. 29, n.7, p. 2188–2194, 2009.

EL HANANDEH, A.; EL-ZEIN, A. The development and application of multi-criteria decision-making tool with consideration of uncertainty: The selection of a management strategy for the bio-degradable fraction in the municipal solid waste. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 2, p. 555–561, 2010.

ESPITIA-ESCUER, M.; GARCÍA-CEBRIÁN, L. I.; MUÑOZ-PORCAR, A. Location as a competitive advantage for entrepreneurship an empirical application in the Region of Aragon (Spain). **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 11, n. 1, p. 133–148, 2014.

FIGUEIRA, J. R.; GRECO, S.; ROY, B.; SLOWINSKI, R. An overview of ELECTRE methods and their recent extensions. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 20, p. 61–85, 2013.

FREJ, T. A.; ALENCAR, L. H. Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife. **Production**, v. 20, n. 3, p. 322-334, 2010.

GIANNOULIS, C.; ISHIZAKA, A. A Web-based decision support system with ELECTRE III for a personalised ranking of British universities. **Decision Support Systems**, v. 48, n. 3, p. 488–497, 2010.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da Decisão**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

GOMES, C. F. S.; COSTA, H. G. Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito. **Production**, v. 25, n. 1, p. 54-68, 2015.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2014.

GOVINDAN, K.; SHANKAR, K. M.; KANNAN, D. Sustainable material selection for construction industry – A hybrid multi criteria decision making approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 1274-1288, 2016.

GUARNIERI, P.; SOBREIRO, V. A.; NAGANO, M. S.; SERRANO, A. L. M. The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: a Brazilian case. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 209-219, 2015.

HATAMI-MARBINI, A.; TAVANA, M. An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment. **Omega**, v. 39, n. 4, p. 373–386, 2011.

- HAURANT, P.; OBERTI, P.; MUSELLI, M. Multicriteria selection aiding related to photovoltaic plants on farming fields on Corsica island: A real case study using the ELECTRE outranking framework. **Energy Policy**, v. 39, p. 676–688, 2011.
- HO, W.; XU, X.; DEY, P. K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 16–24, 2010.
- HU, J.; DU, Y.; MO, H.; WEI, D.; DENG, Y. A modified weighted TOPSIS to identify influential nodes in complex networks. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 444, p. 73-85, 2016.
- HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple attributes decision-making methods and applications**. Heideberg: Springer, 1981.
- IGOULALENE, I.; BENYOUCEF, L.; TIWARI, M. K. Novel fuzzy hybrid multi-criteria group decision making approaches for the strategic supplier selection problem. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 7, p. 3342-3356, 2015.
- INFANTE, C. E. D. C.; MENDONCA, F. M.; VALLE, R. A. B. Análise de robustez com o método Electre III: o caso da região de Campo das Vertentes em Minas Gerais. **Gestão e Produção**, v. 21, n. 2, p. 245-255, 2014.
- JĘDRKIEWICZ, R.; ORŁOWSKI, A.; NAMIEŚNIK, J.; TOBISZEWSKI, M. Green analytical chemistry introduction to chloropropanols determination at no economic and analytical performance costs?. **Talanta**, v. 147, p. 282-288, 2016.
- JOSHI, D.; KUMAR, S. Interval-valued intuitionistic hesitant fuzzy Choquet integral based TOPSIS method for multi-criteria group decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 1, p. 183-191, 2016.
- KUŁAKOWSKI, K. Notes on order preservation and consistency in AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 245, n. 1, p. 333-337, 2015.
- LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R.; ELLRAM, L. M. **Fundamentals of logistics management**. New York: McGraw-Hill, 1997.
- LOLLI, F.; ISHIZAKA, A.; GAMBERINI, R. New AHP-based approaches for multi-criteria inventory classification. **International Journal of Production Economics**, v. 156, p. 62-74, 2014.
- MARZOUK, M. M. ELECTRE III model for value engineering applications. **Automation in Construction**, v. 20, n. 5, p. 596–600, 2011.
- MELLO, L. C. B. B.; AMORIM, S. R. L. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Production**, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009.
- MEMON, M. S.; LEE, Y. H.; MARI, S. I. Group multi-criteria supplier selection using combined grey systems theory and uncertainty theory. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 21, p. 7951-7959, 2015.
- MILANI, S.; SHANIAN, A.; EL-LAHHAM, C. Using different ELECTRE methods in strategic planning in the presence of human behavioral resistance. **Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences**, v. 2006, 2006.
- MIRANDA, C. M. G.; ALMEIDA, A. T. Visão multicritério da avaliação de Programas de Pós-Graduação pela CAPES: O caso da área Engenharia III baseado nos métodos Electre II e MAUT. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 51-64, 2004.
- MONTAZER, G. A.; SAREMI, H. Q.; RAMEZANI, M. Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 8, p. 10837–10847, 2009.
- MOTA, C. M. M.; ALMEIDA, A. T. Método multicritério ELECTRE IV-H para priorização de atividades em projetos. **Pesquisa Operacional**, v. 27, n. 2, p. 247-269, 2007.
- OGGIONI, G.; RICCARDI, R.; TONINELLI, R.. Eco-efficiency of the world cement industry: A data envelopment analysis. **Energy Policy**, v. 39, n. 5, p. 2842-2854, 2011.
- ONDRUS, J.; BUI, T.; PIGNEUR, Y. A Foresight Support System Using MCDM Methods. **Group Decision and Negotiation**, v. 24, n. 2, p. 333-358, 2015.
- PANG, J.; ZHANG, G.; CHEN, G. ELECTRE I Decision Model of Reliability Design Scheme for Computer Numerical Control Machine. **Journal of Software**, v. 6, n. 5, p. 894-900, 2011.
- PINTO JUNIOR, R. P. S.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Identificação da melhor escolha de funcionário para realização de inspeção em estatais do setor elétrico. **Production**, v. 23, n. 1, p. 135-143, 2013.

ROY, B. **Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)**. Lausanne Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1968.

ROY, B. ELECTRE III: Un algorithme de methode de classements fonde sur une representation floue des préférences en presence de critères multiples. **Cahiers de CERO**, v. 20, n. 1, p. 3-24, 1978.

ROY, B.; BERTIER, P. M. **La méthode ELECTRE II: Une méthode de classement en présence de critères multiples**. Paris: SEMA (Metra International), 1971.

ROY, B.; BERTIER, P. M. **La méthode ELECTRE II: Une application au media-planning**. In: OR'72 [edited by M. Ross], North Holland Publishing Company, p. 291-302, 1973.

ROY, B.; HUGONNARD, J. C. Ranking of suburban line Extension projects on the paris metro system by a multicriteria method. **Transportation Research**, v. 16A, p. 301-3012, 1982.

ROY, B. M.; SKALKA, J. **ELECTRE IS: Aspécts methodologiques et guide d'utilisation**. Cahier du LAMSADE. Université de Paris–Dauphine, 1985.

RUTMAN, E.; INARD, C.; BAILLY, A.; ALLARD, F. A global approach of indoor environment in an air-conditioned office room. **Building and Environment**, v. 40, n. 1, p. 29–37, 2005.

SAFA, M.; SHAHI, A.; HAAS, C. T.; HIPEL, K. W. Supplier selection process in an integrated construction materials management model. **Automation in Construction**, v. 48, p. 64 -73, 2014.

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T. Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of Murcia, Spain. **Energy**, v. 73, p. 311–324, 2014.

SANTOS, D. F. L. Modelo de Gestão Financeira Aplicada em Empresa do Setor de Construção Civil. **Tecnologias de Administração e Contabilidade – TAC**, v. 5, n. 2, p. 119-135, 2015.

SHANIAN, A.; SAVADOGO, O. A non-compensatory compromised solution for material selection of bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) using ELECTRE IV. **Electrochimica Acta**, v. 51, n. 25, p. 5307–5315, 2006.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. **Relatório Anual 2010**. Disponível em: <[http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2010-11\\_web.pdf](http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2010-11_web.pdf)>. Acesso em: 11 dez. 2012.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. **Relatório Anual 2013**. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2015.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; GOMES, L. F. A. M.; BIONDI NETO, L.; MEZA, L. A. Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de superação. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 313-330, 2005.

SU, T-L.; CHAN, D. H-L.; HUNG, C-Y.; HONG, G-B. The status of energy conservation in Taiwan's cement industry. **Energy Policy**, v. 60, p. 481-486, 2013.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. John Wiley & Sons, 1992

YU, W. **ELECTRE TRI - Aspects methodologiques et guide d'utilisation**. Paris: Université de Paris–Dauphine, 1992.

YURDAKUL, M. AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 146, n. 3, p. 365-376, 2004.