



Exacta

ISSN: 1678-5428

exacta@uninove.br

Universidade Nove de Julho

Brasil

Durães Arcanjo, Carlos Firmino; Magalhães Amaral, Thiago; Pereira de Sá, Gabriella
Luiza

Aplicação e comparação dos métodos Electre II e Promethee II como ferramentas de
auxílio à tomada de decisões hospitalares

Exacta, vol. 13, núm. 2, 2015, pp. 177-186

Universidade Nove de Julho

São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81043159004>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Aplicação e comparação dos métodos Electre II e Promethee II como ferramentas de auxílio à tomada de decisões hospitalares

Application of Promethee II and Electre II methods as a support to hospital decision-making

Carlos Firmino Durães Arcanjo

Graduando em Engenharia de Produção na Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univaf. Juazeiro, BA [Brasil]
carlos.duraes.arcanjo@hotmail.com

Thiago Magalhães Amaral

Professor Doutor em Engenharia de Produção com ênfase em Pesquisa Operacional lotado no Colegiado de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univaf. Juazeiro, BA [Brasil]
prof.thiago.magalhaes@gmail.com

Gabriella Luiza Pereira de Sá

Pós-Graduanda em Gestão Pública na Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univaf e Graduada em Engenharia de Produção na Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univaf. Juazeiro, BA [Brasil]
gabriella.eng@outlook.com

Resumo

Vários métodos utilizados pela Pesquisa Operacional (PO) vêm ganhando notoriedade tanto no setor industrial como no de serviços, principalmente no que tange aos serviços hospitalares. Neste artigo, objetivou-se comparar dois métodos de sobreclassificação: o Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) II e o Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE) II aplicados em um hospital de emergência e urgência a fim de mostrar as vantagens e desvantagens de cada método. A comparação entre os *rankings* obtidos pelos métodos mostra claramente a distinção entre a ordem obtida, apesar de ambos terem posicionado em primeiro lugar a alternativa “Disciplinar a Equipe Médica”. Os resultados mostraram que o algoritmo do Promethee II conseguiu evitar o empate entre alternativas.

Palavras-chave: Electre. Emergência. Multi-Criteria Decision Aiding – MDCA. Promethee. Serviços hospitalares.

Abstract

Several methods used in Operations Research (OR) have been gaining notice both in industry and services sectors, especially as pertains to hospital services. This article seeks to compare two outranking methods: The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) II and Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE) II, implemented in a Brazilian hospital emergency service in order to show the advantages and disadvantages of each method. Comparisons between the rankings clearly show the distinction in the order, although both had placed the alternative “Discipline Medical Staff” in first position. The results showed that the Promethee II algorithm avoided a tie between alternatives.

Keywords: Decision making. Electre. Emergency. Hospital services. Multi-Criteria Decision Aiding – MDCA. Promethee.

1 Introdução

A Pesquisa Operacional (PO), segundo Brans e Gallo (2007), é uma ferramenta utilizada para melhorar os sistemas de uma organização. Por meio de métodos matemáticos, auxilia a tomada de decisão em diversas áreas do conhecimento, como, por exemplo: gerenciamento de processos produtivos, logística e saúde (AMARAL, 2013). Uma área da saúde em que se nota uma evolução de aplicabilidade das ferramentas da PO é a de gestão hospitalar, em que se pode destacar: a programação não linear, programação linear, programação inteira, programação convexa, teoria das filas, simulação, técnicas estatísticas multivariadas, e mais recentemente a Análise de Decisão Multicritério ou Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) (AMARAL, 2013; CABRAL, 2007; CHAVES et al., 2012; COELLI, 2008; D'AVIGNON; KOLB; SCHOENING, 2008; MARESCHAL, 1989; MAZZOCATO et al., 2012; NEVES et al., 2013; SABBADINI et al., 2006; SILVA et al., 2011). Estas aplicações buscam melhorar o atendimento de pacientes, a eficiência e eficácia dos processos hospitalares, a organização de *layout* hospitalares, o fluxo dos pacientes, a diminuição do tempo de espera para consultas, exames, cirurgias, etc.

A análise de decisão multicritério pode ser de grande valia para auxiliar à tomada de decisão nos serviços hospitalares (POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2003; ROMERO; REHMAN, 2003). A aplicação de cada um dos métodos depende da problemática em estudo, sendo elas de ordenação, classificação, escolha e descrição (ROY, 1996). O objetivo no atual trabalho é aplicar e comparar os métodos Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) II e Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE) II em serviços hospitalares a fim de auxiliar a tomada

de decisão em um ambiente complexo em que se lida diretamente com vida de pessoas.

2 Métodos MCDA

Os métodos multicritério são agrupados em três grandes famílias de abordagens que se referem aos princípios de modelagem de preferência, a saber: (i) a abordagem do critério único de síntese, (ii) a do julgamento interativo e (iii) a de sobreclassificação (ROY, 1996).

A abordagem utilizada no atual artigo é da sobreclassificação, que foi criada pela escola francesa, sendo baseada na comparação par a par entre as alternativas e levando-se em conta as relações de dominância. Almeida (2011) divide os métodos de sobreclassificação em duas principais famílias: Promethee e Electre.

2.1 Promethee

O método Promethee foi desenvolvido por Brans e Vincke, em 1985, e, atualmente, existem várias versões deste, tais como: Promethee I, II, III, IV, V, VI, TRI, Cluster, Fuzzy, etc. (ATHAWALE; CHAKRABORTY, 2010). O método Promethee II, utilizado neste estudo, baseia-se numa comparação par a par de alternativas para cada critério (AMARAL; COSTA, 2014). O decisor deve estabelecer para cada critério um peso p_j , que aumenta com a importância do critério, e essa avaliação é feita pelo decisor ou por um grupo de especialistas (BELTON; STEWART, 2002).

Define-se uma intensidade de preferência de uma alternativa a sobre a alternativa b , $F_j(a,b)$, ou seja, a função de diferença dos níveis de avaliação g no critério j para as duas alternativas (BELTON; STEWART, 2002):

$$\begin{cases} F_j = g_j(a) - g_j(b) \\ 0 \leq F_j(a, b) \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

Segundo Brans e Mareschal (2002), o Promethee tem seis diferentes formas para esta função. O decisor pode representar suas preferências usando o modo mais adequado para cada critério. A escolha desta função é efetuada interativamente pelo analista e pelo decisor (AMARAL, 2013). As seis funções são: tipo I – critério usual, tipo II – quase-critério, tipo III – limiar de preferência, tipo IV – critério em nível, tipo V – critério de preferência linear com zona de indiferença e tipo VI – critério gaussiano (BRANS; MARESCHAL, 2002).

Mareschal (2012) apud Amaral (2013) descreve como escolher a função de preferência corretamente para cada critério. As funções dos tipos III e V são mais recomendadas para critérios quantitativos (por exemplo, custos, preços, etc.). A gaussiana (tipo VI) é a função de preferência menos utilizada por ter parâmetros mais difíceis de ser calculados, o que poderia consumir muito tempo para a modelagem do processo decisório. As dos tipos I e IV são indicadas para critérios qualitativos. Em caso de um pequeno número de níveis na escala dos critérios (por exemplo, sim/não ou até cinco níveis) e se os níveis de diferença são considerados muito diferentes para cada um, a função tipo I é a melhor escolha. E, se for necessário diferenciar as pequenas variações das grandes, a do tipo IV é a mais adequada, ou seja, para níveis superiores a cinco; sendo a do tipo II a menos usada.

O próximo passo é determinar o índice de preferência de a em relação a b , isso é uma medida de apoio para a hipótese de que a é preferível a b (BELTON; STEWART, 2002). O grau de sobreclassificação é definido por $\pi(a,b)$ a partir da intensidade de preferência e dos pesos, ou seja, é definido para todos os pares ordenados como sendo (BRANS; VINCKE, 1985):

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n p_i F_i(a, b)}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (2)$$

Em que $\sum_{i=1}^n p_i = 1$; com p_i sendo os pesos de cada critério representantes da importância relativa destes; e $\pi(a,b)$ varia entre 0 e 1. Depois de obtido o índice de preferência, são calculados o fluxo de saída e a entrada de sobreclassificação (BRANS; VINCKE, 1985):

Fluxo de Sobreclassificação de Saída $\Phi^+(a)$ da alternativa “ a ”:

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (3)$$

Fluxo de Sobreclassificação de Entrada $\Phi^-(a)$ da alternativa “ a ”:

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (4)$$

O fluxo de sobreclassificação de saída $\Phi^+(a)$ expressa a medida em que a supera todas as outras opções. O fluxo de sobreclassificação de entrada $\Phi^-(a)$ expressa a medida na qual a é superada por todas as outras opções (BELTON; STEWART, 2002).

A partir dos valores dos fluxos de entrada e saída das alternativas, é possível definir uma pré-ordem parcial das alternativas com a utilização do método Promethee I (AMARAL, 2013). São construídas duas pré-ordens: pré-ordem decrescente de $\Phi^+(a)$ e a pré-ordem crescente de $\Phi^-(a)$ (BRANS; VINCKE, 1985).

O método Promethee II formula uma pré-ordem completa das alternativas a partir da utilização do fluxo líquido $\Phi(a)$, obtido por meio do fluxo líquido de sobreclassificação (BRANS; VINCKE, 1985).

O fluxo líquido é a diferença entre:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (5)$$

2.2 Electre

Atualmente, a família Electre é composta dos seguintes métodos: Electre I (ROY, 1968), Electre II (ROY; BERTIER, 1971), Electre III (ROY, 1978), Electre IV (ROY; HUGONNARD, 1982), Electre IS (ROY; SKALKA, 1983) e Electre TRI (YU, 1992).

Sobre o Electre II, especificamente, sabe-se que é um método para problemas de ordenação, baseado em critérios verdadeiros e que utiliza os conceitos de concordância e discordância para construir as relações de sobreclassificação forte e fraca, em um conjunto de alternativas (GOMES; GOMES, 2012).

Segundo Costa et al. (2006), existem duas condições para validação da afirmação *aSb* “a alternativa *a* sobreclassifica a alternativa *b*” (ou *bSa* “a alternativa *b* sobreclassifica a alternativa *a*”), a relação de sobreclassificação significa o quanto uma alternativa é melhor em relação à outra:

- Concordância global $C(a,b)$: para que a afirmação citada seja aceita, uma maioria suficiente de critérios deve concordar com esta afirmação.
- Discordância $D(a,b)$: quando na situação de concordância esperada, nenhum dos critérios deve discordar da afirmação aSb (ou bSa).

O índice de concordância $C(a,b)$ por meio da equação 6 demonstra a proporção do peso para que a alternativa a seja preferível em relação a b , e o índice de discordância $D(a,b)$ representa a desvantagem relativa entre as alternativas a e b , sendo calculado pela equação 7, e definido com máxima razão para cada uma (BELTON; STEWART, 2002).

$$C(a, b) = \begin{cases} \sum p_i, \forall_i / g_i(a) > g_i(b) \\ \text{sendo } \sum p_i = 1 \ \forall_i \text{ e } 0 \leq C(a, b) \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$D(a, b) = \begin{cases} \max \left[\frac{g_i(b) - g_i(a)}{escala_i} \right] \forall_i / g_i(b) > g_i(a) \\ \text{sendo } escala_i = g_i(c) - g_i(d) \forall_i, c, d \text{ e } 0 \leq D(a, b) \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

A escala é dada pela diferença do maior valor de um critério analisado “ c ” pelo seu menor valor “ d ”. Estipulam-se os limiares de concordância e discordância forte e fraco c^+c^+ , c^-c^- e d^+d^+ , d^-d^- , respectivamente, que são utilizados para encontrar as relações de sobreclassificação forte S^{FSF} e fraca S^fS^f . Para os limiares serem úteis, faz-se necessário estabelecer um c alto (mas não tão alto) e um d baixo (mas não tão baixo), esses valores não seguem uma metodologia para serem escolhidos, dependerá do bom-senso do analista. Pode-se calcular essa relação por intermédio das equações 8 e 9 (BELTON; STEWART, 2002).

A relação de sobreclassificação forte é definida da seguinte forma:

$$aS^Fb \text{ se e somente se } \begin{cases} C(a, b) \geq c^+ \\ D(a, b) \leq d^+ \\ C(a, b) > C(b, a) \end{cases} \quad (8)$$

A relação de sobreclassificação fraca é definida como a seguir:

$$aS^f b \text{ se e somente se } \begin{cases} C(a, b) \geq c^- \\ D(a, b) \leq d^- \\ C(a, b) > C(b, a) \end{cases} \quad (8)$$

Após encontrar os índices de concordância e discordância, e investigar se as sobreclassificações são fortes ou fracas, parte-se para a elaboração do conjunto *kernel*. O *kernel* é um subconjunto de alternativas que representa a solução para a problemática de escolha. Depois de construído o conjunto *kernel* e encontradas as relações sobreclassi-

ficação, passa-se para a etapa de investigação, em que se aplica um procedimento para computar os dois *rankings* das alternativas, utilizando as duas relações de sobreclassificação (SÁ, 2013).

Almeida (2011) explica que o primeiro *ranking* ordena as alternativas de forma decrescente, começando pelas melhores; e o segundo as organiza de modo crescente, iniciando pelas piores. Ambos os *rankings* aplicam S^F e S^f . Se houver proximidade entre elas, pode-se fazer uma combinação. O método mais comum para esta combinação é obter a interseção das duas pré-ordens, que tem como resultado uma ordem parcial.

A próxima seção mostrará a caracterização dos serviços hospitalares e a aplicação dos métodos Promethee II e Electre II.

3 Resultados

3.1 Caracterização dos serviços hospitalares

O hospital público em estudo está localizado na cidade de Petrolina e atende cerca de dez mil pacientes por mês em estado de urgência e emergência, abrangendo uma população de 1,8 milhões de habitantes, oriundas de 53 municípios da

macrorregião do São Francisco. Constatou-se que, ao longo dos últimos anos, a emergência hospitalar recebia uma demanda acima de sua capacidade máxima de atendimento, gerando constantes filas, superlotação, falta de leitos, longos tempos de espera e sobrecarga nas equipes de saúde. Toda essa problemática era refletida no nível de qualidade dos serviços prestados sentido pelos usuários da emergência estudada. A MCDA foi então aplicada com o objetivo de sugerir alternativas que pudessem melhorar o fluxo de pacientes e reduzir os prováveis gargalos do sistema produtivo do hospital analisado.

Essencialmente, o mapeamento da emergência consiste em sete grandes processos constituindo o “sistema macro da emergência”. O setor da radiologia foi considerado como processo fundamental dessa área devido a sua importância no suporte ao diagnóstico médico, mesmo que em muitos casos os pacientes não passassem, necessariamente, por ele. Outras salas não foram consideradas visto que funcionavam como um setor de internamento no departamento de emergência. A Figura 1 mostra o mapeamento dos processos na emergência do hospital público criado no *software* Visio 2012 para identificação do esquema geral do fluxo de paciente na emergência.

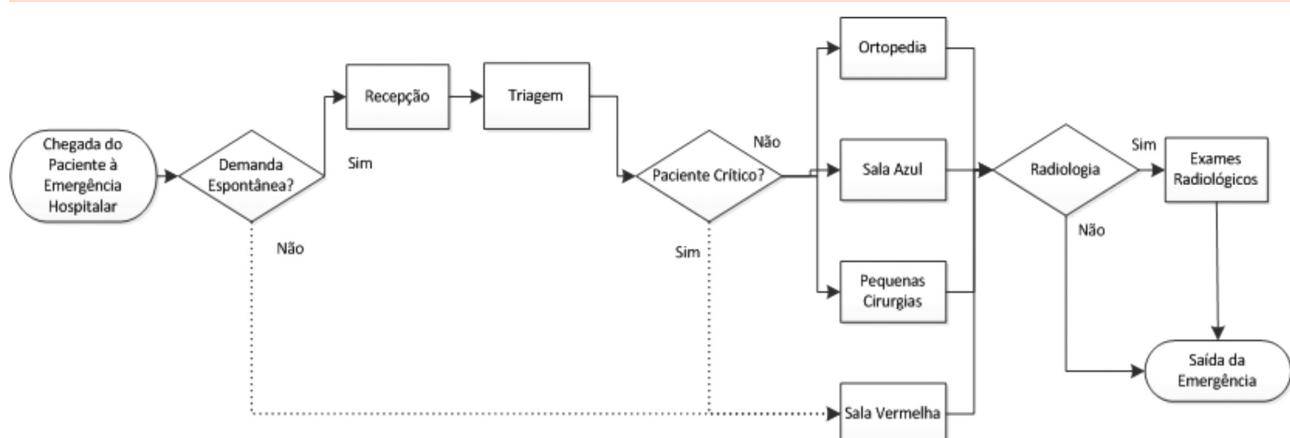


Figura 1: Mapeamento do processo de produção do setor de emergência do hospital público – sistema macro

O paciente pode chegar à emergência hospitalar de duas formas: mediante demanda espontânea, ou seja, quando ele chega voluntariamente e sem grandes gravidades aparentes em torno de 90% dos casos, ou por demanda não espontânea, quando transportados por ambulâncias (Serviço de Atendimento Móvel de Urgência – SAMU, bombeiros ou trazidos de cidades circunvizinhas) em aproximadamente 10% dos casos. Estes últimos são considerados doentes de maior gravidade e são enviados diretamente para a Sala Vermelha. O fluxo de tratamento de pacientes é composto pelos seguintes grandes processos: Recepção; Triagem; Ortopedia; Sala Azul; Sala Vermelha; Pequenas Cirurgias; Radiologia. Na Sala Azul, há um médico, um enfermeiro e dois auxiliares de enfermagem. O diretor geral do hospital confirmou que esta sala era a área mais superlotada da emergência, e mencionou o médico deste setor como sendo a principal restrição do sistema.

Um *workshop* foi realizado com o intuito de que as equipes do hospital pudessem contribuir com a geração de novas ideias, alternativas e critérios que poderiam ser utilizados para melhorar a taxa de produção do médico da Sala Azul. Na fase seguinte, o diretor geral do hospital avaliou as alternativas em relação aos seis critérios e participou de uma entrevista para selecionar os pesos de cada critério e as possíveis alternativas a fim de resolver o gargalo: A₁ – Disciplinar a equipe médica; A₂ – Realocar um médico para a Sala Azul; A₃ – Realocar dois médicos para a Sala Azul; A₄ – Construir um sistema de priorização na Sala Azul; A₅ – Mudar o *layout* na Sala Azul; A₆ – Realocar uma assistente administrativa para o médico e A₇ – Melhorar a rapidez de exames. Os critérios utilizados para a avaliação das alternativas foram: C₁ – Aumento da taxa de produção; C₂ – Diminuição das despesas operacionais; C₃ – Aumento da qualidade; C₄ – Aumento do controle operacional; C₅ – Diminuição das infecções hospitalares e C₆ –

Aumento da motivação das equipes de saúde. Após a definição das alternativas e critérios, o diretor geral do hospital avaliou a matriz de critérios e de decisão empregando os termos semânticos apresentados na Tabela 1, isto é, a tradução dos termos linguísticos para a intensidade de importância relativa, conforme descrito em Amaral (2013).

Tabela 1: Escala semântica utilizada

Termo linguístico	Intensidade da importância relativa
Muito Alta (MA)	0,9
Alta (A)	0,7
Média (M)	0,5
Baixa (B)	0,3
Muito Baixa (MB)	0,1

A Tabela 2 mostra a avaliação dos critérios usando os termos linguísticos expressos na Tabela 1:

Tabela 2: Avaliação dos critérios

C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
M	MA	A	A	A	A

A Tabela 3, a seguir, exibe a matriz de avaliação das alternativas que o decisor avaliou utilizando a escala verbal de 5 pontos (Muito Alta → Muito Baixa):

Tabela 3: Matriz de avaliação das alternativas

Alternativa/ Critério	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
A ₁	A	MA	A	A	A	A
A ₂	A	MB	M	M	M	B
A ₃	A	MB	M	M	B	B
A ₄	M	M	M	B	M	B
A ₅	B	B	M	B	B	B
A ₆	B	B	M	M	M	B
A ₇	B	B	A	B	B	B

Utilizou-se o método Promethee II para a construção da relação de sobreclassificação, e função de preferência adotada foi do tipo I ou critério

usual. Essa função assume o valor de 1 se a diferença de desempenho for positiva e assume o valor de zero se a diferença for negativa ou nula. As equações (3), (4) e (5) calculam a saída, entrada e o fluxo líquido, respectivamente. Os resultados estão apresentados na Tabela 4. A última coluna apresenta a classificação das melhores alternativas.

Tabela 4: Matriz de Fluxos

Alternativas	Fluxo de Saída - $\Phi^+(i)$	Fluxo de Entrada - $\Phi^-(i)$	Fluxo Líquido - $\Phi(i)$	Ranking
A_1	0,932539683	0	0,932539683	1º
A_2	0,246031746	0,317460317	-0,071428571	4º
A_3	0,162698413	0,390634921	-0,227936508	6º
A_4	0,311269841	0,317460317	-0,006190476	2º
A_5	0,071428571	0,456349206	-0,384920635	7º
A_6	0,238095238	0,28968254	-0,051587302	3º
A_7	0,21031746	0,400793651	-0,19047619	5º

O ranking mostrou que a alternativa A_1 foi a opção disponível mais adequada para melhorar o fluxo de pacientes, pois teve a maior $\Phi(i)$ de todos os seis critérios considerados. Utilizou-se, também, a ferramenta “Walking Weights” do software Visual Promethee para calcular a sensibilidade dos critérios, ou seja, os limites superiores e inferiores. A Tabela 5 apresenta os limites superiores e inferiores do intervalo de estabilidade. O critério C_1 é o mais sensível, enquanto que C_6 é o menos. O princípio básico da ferramenta é variar os pesos dos critérios, aumentando ou diminuindo seus valores, a fim de que sejam identificados os limites superiores e inferiores para que não haja mudança no ranking final de alternativas.

Tabela 5: Intervalo de estabilidade

Critério	Limite inferior	Limite superior
C_1	0,04	0,13
C_2	0,21	0,31
C_3	0,14	0,24
C_4	0,06	0,21
C_5	0,06	0,99
C_6	0,00	0,99

3.2 Electre II

A aplicação do método Electre II foi realizada identicamente ao Promethee II, isto é, a matriz de decisão e escala verbal foram as mesmas utilizadas das Tabelas 1, 2 e 3. O software usado para o processamento do algoritmo do Electre II foi o Excel, sendo as planilhas manipuladas manualmente.

A partir da normalização dos pesos, os índices de concordância $C(a,b)$ e os de discordância $D(a,b)$ são calculados pelas equações 6 e 7. As equações dos índices de concordância e discordância são aplicadas resultando em duas matrizes.

Para poder analisar essas matrizes são definidos valores de referência, que são os limiares de concordância c^+ e c^- e os de discordância d^+ e d^- . Os limiares são definidos de forma intuitiva, e eles devem ser proporcionais aos valores preenchidos na Tabela 3. Os limiares definidos são apresentados a seguir: $c^+ = 0,90$; $c^- = 0,70$; $d^+ = 0,55$; $d^- = 0,20$.

Tendo o conjunto de alternativas criado seus critérios, pesos e os limiares de concordância de discordância, é possível estabelecer as relações de sobreclassificação forte S^F , fraca S^F e incomparabilidade e, em seguida, realizar a etapa de ordenação das alternativas. A única alternativa selecionada para o *kernel* foi A_1 .

A partir dessas relações, inicia-se a etapa de investigação, em que é aplicado um procedimento para efetuar dois rankings de alternativas, o crescente e o decrescente, considerando-se os subconjuntos definidos. O ranking final das alternativas é obtido por meio da interseção das classificações já feitas, conforme a Tabela 6.

Quando se usa o método Electre II, é recomendável variar os limiares de concordância e discordância para verificar as variações, se existirem, no ordenamento das alternativas analisadas (MIRANDA; ALMEIDA, 2004).

Análise 1: primeiramente foram utilizados como limiares de concordância os valores $c^- = 0,70$ e $c^+ = 0,90$; e de discordância $d^- = 0,20$ e $d^+ = 0,55$,

em que se obtivesse como melhor escolha a alternativa 1; e a pior a alternativa 5. Ao variar esses índices para $c^- = 0,50$, $c^+ = 0,70$, $d^- = 0,40$ e $d^+ = 0,75$, o que equivale a menor exigência para ambos os índices, obtém-se uma mudança no ordenamento das alternativas. Porém, a alternativa 1 ainda foi escolhida como a melhor, e a pior ficou sendo a 6. Houve uma modificação significativa no ordenamento das outras alternativas ($1^o - A_1$; $2^o - A_2$; $3^o - A_5$ e A_7 ; $4^o - A_4$; $5^o - A_3$ e $6^o - A_6$).

Análise 2: foi elevado os índices de concordância para $c^- = 0,90$ e $c^+ = 0,95$, e os de discordância para $d^- = 0,60$ e $d^+ = 0,95$. E a ordenação se manteve a mesma em relação aos primeiros índices utilizados. A melhor alternativa continuou sendo a 1, e a pior a 5, ficando o *ranking* completo da seguinte forma: $1^o - A_1$; $2^o - A_2$, A_4 , A_6 , A_7 ; $3^o - A_3$ e $4^o - A_4$.

Como alternativa de maior prioridade para a solução do gargalo na Sala Azul, a partir da avaliação estabelecida pelo agente decisor, está “Disciplinar Equipe Médica” e, em seguida, encontram-se em empate as alternativas “Criar Sistema de Priorização na Sala Azul”, “Realocar 1 Assistente para o Médico”, “Melhorar a rapidez dos Exames” e Realocar + 1 Médico”. E logo depois a alternativa “Realocar + 2 Médicos”. A partir do ponto de vista da diretoria, a alternativa “Mudança de *Layout*” foi considerada a menos interessante para solucionar o gargalo do hospital.

Tabela 6: Ranking das alternativas

Ranking decrescente	Ranking crescente	Ranking final Electre II	Ranking do Promethee II
$1^o) A_1$	$1^o) A_5$	$1^o) A_1$	$1^o) A_1$
$2^o) A_2, A_4, A_6, A_7$	$2^o) A_3$	$2^o) A_2, A_4, A_6, A_7$	$2^o) A_4$
$3^o) A_3$	$3^o) A_2, A_4, A_6, A_7$	$3^o) A_3$	$3^o) A_6$
$4^o) A_5$	$4^o) A_1$	$4^o) A_5$	$4^o) A_2$
			$5^o) A_7$
			$6^o) A_3$
			$7^o) A_5$

4 Discussão

Comparar os métodos de multicritério é importante, visto que nem sempre estes se adéquam ao contexto decisório, ainda que sejam da mesma família de métodos. A comparação entre os *rankings* obtidos pelo Promethee II e pelo Electre II mostra claramente a distinção entre a ordem obtida, apesar de ambos terem posicionado em primeiro lugar a alternativa A_1 de “Disciplinar a Equipe Médica”.

Na Tabela 6, apresentam-se os *rankings* finais do Electre II e do Promethee II, nota-se que na classificação das alternativas do Electre II, ocorreu um empate na segunda colocação entre as alternativas A_2 , A_4 , A_6 , e A_7 . Fato que não aconteceu na aplicação do Promethee II, que forneceu a ordenação mais completa das alternativas, mostrando cada alternativa em uma posição individualizada. Porém, na comparação dos dois *rankings* finais não se encontrou tanta inconsistência entre os métodos. Como a escolha das piores alternativas A_3 e A_5 que coincidiram em ambos os métodos.

O algoritmo do Promethee II mostrou-se ser mais interativo, simples e claro, quando comparado ao do Electre II. Entretanto, o Promethee II também apresentou alguns pontos negativos como certa dificuldade na análise das variações das preferências. Depois de analisar os *rankings* obtidos, é notório que o método Promethee II não apresentou empates entre as alternativas, sendo mais indicado ao problema em estudo. Outra desvantagem identificada está relacionada à imprecisão gerada nos cômputos dos limiares de concordância e discordância do Electre II. Além disso, o método de classificação do Promethee II é mais simples de ser realizado computacionalmente que o do Electre II, e oferece mais funções de preferência para ser selecionadas (PENG; XIAO, 2013).

Com base nas melhores alternativas no *ranking*, o decisor optou por disciplinar a equipe

médica para evitar abstenção e tornar a Sala Azul mais produtiva, bem como realocar mais um médico (por exemplo, cardiologistas, clínicos gerais, cirurgiões ortopédicos, etc.) na área do ambulatório, principalmente durante o período das 14 h às 18 h, quando a demanda de pacientes é mais elevada.

5 Conclusões

Os métodos de MCDA podem ser aplicados aos serviços hospitalares como ferramentas de suporte à tomada de decisões complexas. Decisões sobre a gestão de recursos em serviços de urgência e emergência são difíceis pelo fato de influenciar na qualidade dos serviços prestados e por implicarem diretamente na vida das pessoas.

Este trabalho demonstrou como utilizar os métodos de sobreclassificação de famílias distintas para ordenar alternativas a fim de resolver um gargalo hospitalar. Os resultados apontaram que o algoritmo do Promethee II conseguiu evitar o empate entre alternativas. O estudo de caso mostrou como melhorar a tomada de decisão considerando as preferências do decisor em relação a diferentes alternativas e critérios. Aprimorar o processo decisório em serviços hospitalares significa criar novas alternativas para aperfeiçoar o fluxo de pacientes, a qualidade dos serviços, o gerenciamento dos recursos e, adicionalmente, diminuir as filas de pacientes. Trabalhos futuros podem comparar outros métodos da MCDA, tais como o Analytic Hierarchy Process (AHP) e Multi-attribute Utility Theory (MAUT) aos descritos nesta investigação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Referências

ALMEIDA, A. T. de. *O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão*. 2. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011.

AMARAL, T. M. *Modelo de avaliação multicritério para a Teoria das Restrições aplicado em Serviços Hospitalares de Urgência e Emergência*. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

AMARAL, T. M.; COSTA, A. P. C. Improving decision-making and management of hospital resources: an application of the PROMETHEE II method in an Emergency Department. *Operations Research for Health Care*, v. 3, n.1, p. 1-6, 2014.

ATHAWALE, V. M.; CHAKRABORTY, S. Facility location selection using PROMETHEE II method. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, 2010. Dhaka. *Anais...Dhaka: ICIEOM*, 2010.

BELTON, V.; STEWART, T. J. *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2002.

BRANS, J. P.; GALLO, G. Ethics in OR/MS: past, present and future. *Annals of Operations Research*, v. 153, p. 165-178, 2007.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. *PROMÉTHÉE – GAIA: une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*. Bruxelles: Éditions de L'Université de Bruxelles, 2002.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method. *Management Science*, v. 31, n. 6, p. 647-656, 1985.

CABRAL, L. L. D. *Qualidade percebida dos serviços hospitalares: uma avaliação utilizando o método de fatores críticos de sucesso e a escala SERVQUAL*. 2007, 116 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Pernambuco – CTG, Recife, 2007.

CHAVES, A. L. de F. et al. Estudo da Teoria das Filas em um sistema médico-hospitalar na cidade de Belém-PA. *Revistas Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 175-186, maio/ago. 2012.

COELLI, F. C. *Simulação Computacional por Eventos Discretos na otimização do fluxo de pacientes e na caracterização de custos em clínicas de mamografia*. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Biomédica)–Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

COSTA, H. G.; MOTTA, S. S.; GUTIERREZ, R. H. Avaliação da produção docente: abordagem multicritério pelo método Electre II. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ENEGEP, 26., 2006. Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ENEGEP, 2006.

D'AVIGNON, G., MARESCHAL, B. Specialization of hospital services in Quebec: an application of the PROMETHEE and GAIA methods. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 12, p. 1393-1400, 1989.

DIAS, A. J.; FIGUEIRA, J. R.; ROY, B. A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: The Electre Tri-nC method. *European Journal of Operational Research*, v. 217, n. 3, p. 567-579, 2012.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

KOLB, E. M. W. et al. Reducing emergency department overcrowding: five patient buffer concepts in comparison. In: CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 2008, Huntington Beach, CA. *Anais...* Huntington Beach: WSC, 2008.

MARESCHAL, Bertrand. THE PROMETHEE-GAIA FAQ. 2012. Disponível em: <http://www.promethee-gaia.net/faq-pro/?action=article&cat_id=003002&id=4&lang=>

MAZZOCATO, P. et al. How does lean work in emergency care? A case study of lean-inspired intervention at the Astrid Lindgren Children's hospital. *BMC Health Services Research*, Stockholm, Sweden, v. 12, p. 28, 2012.

MIRANDA, C. M. G. de; ALMEIDA, A. T. de. 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, jan.-abr. 2004.

NEVES, L. T.; PESSANHA, J. F. M.; SANTOS, N. M. G. dos. Uso combinado de técnicas estatísticas multivariadas no desenvolvimento de indicadores de satisfação dos clientes de uma rede hospitalar. *Revista Pesquisa Naval*, Brasília, n. 25, p. 12-25, 2013.

PENG, A-H.; XIAO, X-M. Material selection using PROMETHEE combined with analytic network process under hybrid environment. *Materials and Design*, v. 47, p. 643-652, 2013.

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multicriteria decision making to sustainable energy planning- a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 8, p. 365-381, 2003.

ROMERO, C.; REHMAN, T. *Multiple criteria analysis for agricultural decision*. 2nd. ed. The Netherlands, Amsterdam: Elsevier, 2003.

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 classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahiers de CERO*, v. 20, n. 1, p. 3-24, 1978.

ROY, B. Multicriteria methodology for decision analysis. Dordrecht: *Kluwer Academic Publishers*, 1996.

ROY, B.; BERTIER, P. M. *La méthode ELECTRE II: une méthode de classement en présence de critères multiples*. Paris: SEMA (Metra International), Direction Scientifique, Working Paper, n. 142, 1971. 25 p.

ROY, B.; HUGONNARD, J. C. Classement des prolongements de lignes de métro en banlieue parisienne (Présentation d'une méthode multicritère originale), *Cahiers du CERO*, v. 24, n. 2-3-4, p. 153-171, 1982.

ROY, B.; SKALKA, J. M. *ELECTRE IS: aspects méthodologiques et guide d'utilisation*. Document du Lamsade n. 30, Paris-Dauphine: Université Pauris-Dauphine. 1983. 125 p.

SÁ, G. L. P. *Aplicação do Electre II para priorização de alternativas para solução de um gargalo em um hospital público de Petrolina - PE*. 2013. 68 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção)-Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2013.

SABBADINI, F. S.; GONÇALVES, A. A.; OLIVEIRA, M. J. F. de. A aplicação da Teoria das Restrições (TOC) e da Simulação na Gestão da Capacidade de atendimento em Hospital de Emergência. *Revista Produção Online*, Florianópolis, v. 6, n. 3, p. 51, set./dez., 2006.

SILVA, J. V. de et al. Utilização do software de simulação Arena para criação de ferramentas de apoio ao ensino. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. 7., 2011, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: CNEG.

YU, W. *ELECTRE TRI – aspects méthodologiques et guide d'utilisation*. Document du Lamsade n. 74, Paris-Dauphine: Université Paris-Dauphine, 1992.

Recebido em 11 mar. 2015 / aprovado em 15 maio 2015

Para referenciar este texto

ARCANJO, C. F. D.; AMARAL, T. M.; PEREIRA DE SÁ, G. L. Aplicação e comparação dos métodos Electre II e Promethee II como ferramentas de auxílio à tomada de decisões hospitalares. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 177-186, 2015.