

## PROPOSTA DE MODELO PARA APOIO A DECISÕES NO SISTEMA WCM USANDO O MÉTODO FITRADEOFF

**Ana Paula Henriques de Gusmão**

Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste UFPE-CAA  
Rodovia BR-104, Km 59 - Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55002-970  
anapaulahg@hotmail.com

**Wladson Silva**

Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste UFPE-CAA  
Rodovia BR-104, Km 59 - Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55002-970  
wladsonsilva@hotmail.com

### RESUMO

O sistema WCM reúne estratégias e ações de classe mundial para manufatura, possibilitando melhoria na eficiência do processo produtivo e, por conseguinte, vantagem competitiva às organizações manufatureiras. Esse sistema compreende várias decisões, ao longo de sua implantação, balizadas em pilares que visam à melhoria contínua do processo produtivo. Apesar de comumente muitas dessas decisões serem tomadas considerando apenas critérios financeiros, percebe-se a importância estratégica de se considerar outros critérios. Nesse sentido, o uso de métodos multicritério para formalizar e suportar as decisões relativas ao WCM se torna relevante. O presente artigo propõe um modelo para apoiar às decisões com relação à definição de equipamentos para implantação de projetos de melhoria em uma fábrica de peças automotivas de grande porte. Para tanto, utiliza-se o método FITradeoff, proposto recentemente na literatura, que apresenta um processo de elicitação dos pesos mais flexível quando comparado aos modelos aditivos tradicionais.

**PALAVRAS CHAVE.** Sistema WCM, Apoio multicritério a decisão, FITradeoff.

**Tópicos (ADM - Multicriteria Decision Support)**

### ABSTRACT

The WCM system comprises strategies and world-class actions to manufacture, enabling efficiency improvement of the production process and therefore a competitive advantage to manufacturing organizations. This system comprises several decisions over its implementation, related to the pillars aimed at continuous improvement of the production process. Although commonly many of these decisions are taken considering only financial criteria, the consideration of other criteria has a strategic importance. In this sense, the use of multi-criteria methods to formalize and support decisions on WCM becomes relevant. This article proposes a model to support decisions regarding the definition of equipment for the implementation of improvement projects in a large factory of automotive parts. Thus, the FITradeoff method, recently proposed in literature, is used. This method presents an elicitation process of criteria weights more flexible than other traditional additive models.

**KEYWORDS.** WCM System. Multicriteria decision aiding. FITradeoff.

**Paper topics (ADM - Multicriteria Decision Support)**

## 1. Introdução

A indústria nacional vem enfrentando um momento de grandes desafios. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção industrial no país apresentou, em agosto de 2015, um recuo de 5,7% no acumulado do ano, em comparação ao ano anterior. Dessa forma manteve a trajetória descendente iniciada em março de 2014 (2,1%). Vale ressaltar que o setor com maior recuo na produção industrial brasileira, nos últimos nove meses, é o setor representado por veículos automotores, reboques e carrocerias, acumulando perda de 27%. Esse cenário de crise econômica exige das empresas mudanças significativas no sentido de tornarem seus processos cada vez mais eficientes, oferecendo produtos de qualidade a preços competitivos.

Paralelamente às mudanças dos processos, é essencial a submissão de reformas igualmente profundas nos sistemas de gestão. Caso contrário, as mudanças na organização produzirão efeitos negativos, tais como: baixa produtividade, redução dos lucros, demissões, dentre outros. Nesse sentido, uma das principais soluções adotadas mundialmente pelas empresas tem sido a adoção de sistemas de gestão eficazes e efetivos. Como alternativa sustentável, o World Class Manufacturing (WCM), conhecida nacionalmente como Manufatura de Classe Mundial, está sendo adotado por grandes empresas multinacionais como uma metodologia baseada na melhoria contínua dos processos. O WCM é baseado na crença de que a manufatura competitiva deve ser focada no serviço de alta qualidade ao cliente, confiavelmente e com o comprometimento de todos os trabalhadores [Hall et al.,1991].

O principal foco do WCM é alcançar a competitividade global baseando-se em três elementos essenciais: no combate sistemático a cada desperdício e perda existente em toda a cadeia cliente-fornecedor-fornecedores; no envolvimento das pessoas e respectivos desenvolvimento de suas competências e, por fim; na utilização rigorosa de métodos e ferramentas apropriados para as ineficiências do processo [Yamashina, 2002]. Nesse sentido, os fornecedores das empresas que adotam o WCM também são parte integrante desse processo de aperfeiçoamento da organização na busca por uma posição competitiva no mercado.

A maior parte das decisões, ao longo do processo de implantação do WCM, é tomada considerando o impacto que determinada ação ou área apresenta com relação à redução de perdas, desperdício, defeitos, estoques, entre outros. Dessa forma, o foco maior é a redução de custos que, apesar de se caracterizar como um dos onze pilares do WCM, atua de forma transversal, sendo responsável por identificar as perdas e os desperdícios a serem atacados e os locais onde cada um deles ocorre.

No entanto, se faz necessário avaliar outras questões quando são tomadas decisões a respeito de que pilar priorizar, que métodos e ferramentas implantar ou que área organizacional priorizar. Questões que vão além de redução de custos devem ser levadas em consideração, visto que tais decisões tem impacto estratégico dentro da organização e influenciam diretamente sua posição competitiva. Há que se avaliar, por exemplo, o envolvimento dos funcionários, o tempo necessário para implantação de um determinado pilar em uma determinada área, características da empresa que facilitam ou dificultam a aplicação de uma determinada ferramenta ou método, as habilidades requeridas para utilização de uma ferramenta específica, entre outras.

Dessa forma, o presente trabalho apresenta o uso do método multicritério FITradeoff para suportar a decisão de priorização das ações do WCM. Um estudo de caso é realizado para identificação de equipamentos para realização de projetos de melhoria em uma fábrica de grande porte de peças automotivas, que utiliza o sistema WCM. O objetivo não é reformular o sistema WCM, mas propor um modelo para priorização das ações a serem desenvolvidas, a partir das características e da situação enfrentada pela empresa.

## 2. Manufatura de Classe Mundial

Tratada como uma metodologia inovadora, eficaz e consistente para os sistemas produtivos, a Manufatura de Classe Mundial, baseada no Sistema Toyota de Produção e em

outras boas práticas do mercado mundial, vem sendo apresentada pelas gigantes do mercado global (Krupp, Robert Bosh, Tritec, Delphi, Visteon, Lear, Tupy, Grupo Fiat) como uma potente estratégia competitiva para torná-las empresas de classe mundial [Yamashina, 2009].

O conceito de empresas de classe mundial surgiu em 1984 no livro de Hayes e Wheelwright intitulado *Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing*. Nele, os autores enfatizam a importância da estratégia da manufatura, na qual é influenciada por um padrão nas decisões que são tomadas nas principais áreas de operações de manufatura, e, como consequência das melhores decisões, tornar a empresa competitiva elevando-a a patamares de classe mundial.

Alguns autores como [Foster e Horngren, 1988] e [Maskell, 1991] dizem que o WCM é mais do que apenas uma técnica, e pode ser mais precisamente descrita como uma filosofia de gestão. De acordo com [Cortez, 2010], o WCM consiste em um conjunto de conceitos, princípios, políticas e técnicas baseadas em algumas metodologias para a gestão dos processos operacionais de uma empresa.

De acordo com [Netland, 2013] o sistema de gestão passou por uma grande mudança em relação ao famoso livro de Richard Schonberger. A mudança teve uma contribuição significativa do Dr. Hajime Yamashina, Professor Emeritus, Kyoto university e membro do RSA (Royal Swedish Academy of Engineering Sciences), um dos maiores estudiosos do TPS (Toyota Production System). De acordo com o autor, o sistema de gestão WCM baseia-se no conjunto dos conceitos de: Total Quality Control (TQC), Total Productive Maintenance (TPM), Total Industrial Engineering (TIE) e Just in Time (JIT) [Yamashina, 2007].

Através da adesão dos conceitos acima, espera-se como resultado da implantação do WCM: eliminar as atividades que não agregam valor, reduzir as falhas, extinguir os estoques, aumentar melhoria dos processos aplicados, obter maior produtividade, melhorar a segurança e, principalmente, reduzir custos [Flynn, 1997].

Segundo após diversas mudanças, o modelo WCM mais recente é baseado em onze pilares técnicos interligados [Cortez, 2010]:

1. segurança e meio ambiente;
2. *cost deployment* (desdobramento de custos);
3. manutenção autônoma;
4. manutenção planejada;
5. manutenção da qualidade;
6. logística;
7. controle inicial;
8. educação e treinamento;
9. melhoria focada;
10. gestão de pessoas;
11. organização do posto de trabalho.

Cada pilar técnico possui sua linha de aplicação. Isto quer dizer que o funcionamento dos pilares são condicionados ao custo-benefício advindos de seus projetos [Flynn, 1999].

### 3. Modelagem Multicritério

A decisão de investimento em projetos de melhoria caracteriza-se como um problema multicritério. Os métodos multicritério auxiliam na obtenção de elementos que possam responder a determinadas perguntas no processo de decisão, desta forma esclarecendo a decisão e levando em consideração os múltiplos critérios que são conflitantes em sua maioria [Almeida *et al.*, 2016].

As decisões inerentes ao WCM são balizadas considerando exclusivamente o potencial de redução de custo de determinadas ações. No entanto, outros fatores se tornam relevantes nesse contexto: impacto estratégico, tempo requerido, ganho de produtividade, etc. Nesse sentido, o uso

de métodos de Apoio Multicritério a Decisão (AMD) tem recebido atenção. De fato, a aplicação de modelagem multicritério no contexto de priorização e seleção de projetos de melhoria, de acordo com uma abordagem de ganho de eficiência e vantagem competitiva, apresenta a vantagem de abordar diferentes critérios (operacionais, estratégicos, entre outros) e permitir ao decisor esclarecer outros aspectos relevantes nesse tipo de decisão.

Métodos multicritério servem a diferentes tipos de problemas que incorporam mais de um critério de decisão. Problemas como seleção de fornecedores [Tsui e Wen, 2014], planejamento de manutenção [Alencar e de Almeida 2015; Cavalcante e Lopes, 2014], Seleção de Sistemas de Informação [Stewart e Mohamed, 2002] ilustram a aplicação de métodos multicritério. Além de serem aplicados a diferentes contextos, os métodos multicritério servem a diferentes propósitos: escolha, seleção, classificação, ordenação [Roy, 1996].

Os métodos multicritério podem ser categorizados em: modelos aditivos, que geram um critério único de síntese, os compensatórios; e os métodos de sobreclassificação, os não compensatórios [Vincke, 1992]. Um problema inerente às duas categorias de métodos é o processo de definição dos pesos dos critérios uma vez que o decisor na maioria das vezes não dispõe de informações e conhecimento suficiente para definir os referidos valores. De acordo com [de Almeida et al., 2016], no caso dos modelos aditivo, esse problema se torna mais latente devido aos desconhecimento do decisor, na maioria das vezes, do próprio significado de peso, que, neste casos, devem ser denominados constantes de escala. Considerando a dificuldade dos decisores em definir pesos para os critérios e também o fato de que a elicitação de pesos através do procedimento de *tradeoff*, o procedimento mais utilizado em modelos aditivos, possui uma fundamentação axiomática complexa além de algumas inconsistências, [de Almeida et al., 2016] propuseram o método FITtradeoff.

Diferentemente do procedimento de *tradeoff*, no método FITtradeoff não requer informações a priori do decisor, que na maioria das vezes são imprecisas ou incompletas, o que implica em menor esforço despendido pelo mesmo no processo de elicitação. Em função disso, o risco de inconsistências ocorrerem ao longo do procedimento de elicitação flexível dos pesos é reduzido.

### 3.1 Método FITtradeoff

De acordo com [Keeney, 1972] e [Keeney e Raiffa, 1976], a notação usualmente adotada no processo e elicitação de pesos, considerando  $n$  critérios, compreende:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$v(x) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_i) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad \text{e} \quad k_i \geq 0 \quad (3)$$

onde,

- (1) representa o vetor de consequências de uma alternativa, considerado todos os  $n$  critérios;
- (2) representa a função valor global que agrega as funções valores  $v_i(x_i)$  das consequências  $x_i$  para o critério  $i$ ;
- (3)  $k_i$  representa o peso do critério  $i$ .

Apesar de já ser bem discutido na literatura que o termo mais apropriado para  $k_i$ , em modelos aditivos, é constante de escala, à título de simplificação, assim como em [de Almeida et al., 2016], neste artigo se usará a denominação de pesos para  $k_i$ .

O método FITtradeoff compreende duas etapas em sua aplicação:

1. ordenação dos pesos  $w_i$ , usando a relação de preferência P;
2. definição dos valores de  $w_i$ , usando a relação de indiferença I.

A primeira etapa permite a definição do espaço de pesos de dimensão  $n$ :

$$W = \{w_1 > w_2 > w_3 > \dots > w_n; \sum_{i=1}^n w_i = 1; w_i \geq 0\} \quad (4)$$

Nessa notação, os critérios são ordenados do mais relevante ao menos relevante.

A segunda etapa apresenta a maior diferença com relação ao procedimento tradicional de elicitaco de pesos pelo método de *tradeoff*. No método FITradeoff, no  necessrio que o decisor defina um valor exato de uma alternativa em relao ao critério  $i$  ( $w_i$ ) que representa indiferena entre consequências. É requerido que o decisor especifique um intervalo compreendido entre  $w'_i$  e  $w''_i$ , que representam respectivamente o limite inferior e superior que  $w_i$  pode assumir mantendo a relao de indiferena. Assim, para um critério  $i$ , pode-se estabelecer:

$$w_i(w'_i) > w_{i+1}/w_i \quad (5)$$

$$w_i(w''_i) < w_{i+1}/w_i \quad (6)$$

Dessa forma, conforme apresentado em [de Almeida et al., 2016], como resultado da segunda etapa do método FITradeoff, um novo espao de pesos ( $W'$ )  obtido, o qual consiste em um subespao de (4), no qual so vlidas as relaoes (5) e (6).

$$W' = \{(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n) \mid w_1 > w_2 > w_3 > \dots > w_n; \sum_{i=1}^n w_i = 1; w_i \geq 0; w_1 w_i(w'_i) < w_2 < w_1 w_i(w''_i); \dots; w_{n-1} w_i(w'_{n-1}) < w_n < w_{n-1} w_i(w''_{n-1})\} \quad (7)$$

[Keeney, 1972] e [Keeney e Raiffa, 1976] apresentam maiores detalhes com relao a definio de  $W'$ .

Em de [de Almeida et al., 2016] é apresentado um Sistema de Apoio a Deciso (SAD) para operacionalizao do método FITradeoff, o qual compreende as seguinte etapas:

1. avaliao intra-critério;
2. ordenao dos pesos dos critérios;
3. soluo do problema utilizando o conjunto disponível de pesos;
4. avaliao das preferências do decisor.

Ao final da terceira etapa, é verificado de uma única soluo foi obtida, isto é, se uma alternativa ótima foi identificada. O SAD, ento, permite classificar as alternativas de três formas: tima em potencial, dominada ou ótima. Se uma soluo ótima no foi encontrada, tem início a quarta etapa do SAD – avaliao das preferências do decisor –, a qual se subdivide em quatro estgios:

- 4.1 definir valores para testar a distribuo de pesos;
- 4.2 questionar o decisor com relao as suas preferências;
- 4.3 resolver o PPL;
- 4.4 finalizao.

A principal contribuio do FITradeoff compreende esses quatro últimos estgios. O objetivo de utilizar a heurística apresentada no estgio 4.1 é definir o valor de  $w_i$ , de forma a minimizar a quantidade de questionamentos ao decisor. Dessa forma, um novo conjunto de valores para  $w'_i$  e  $w''_i$  é definido e com base neste conjunto, so apresentadas ao decisor, no estgio 4.2, três opoes: “visualizar os resultados parciais”, “no responder ou inconsistências” e “responder de acordo com suas preferências”. No caso do decisor optar por “responder de acordo

com suas preferências”, o mesmo deve definir se existe uma relação de preferências ou de indiferença entre duas consequências quaisquer. Se a relação é de preferência, o decisor deve sinalizar qual a consequência preferida. A depender da consequência escolhida, ou  $w'_j$  ou  $w''_j$  assume o valor de  $w_j$ . Se a relação entre as consequências analisadas é de indiferença,  $w''_j$  assume o valor de  $w_j$ .

Em seguida, tem início o estágio 4.3, onde um Problema de Programação Linear (PPL) deve ser resolvido. É importante ressaltar aqui que este mesmo PPL foi resolvido na etapa 3 – solução do problema utilizando o conjunto de pesos disponível – assumindo  $w'_j(w''_j) = 1$  e  $w''_j(w'_j) = 0$  para todos os critérios. A função objetivo deste PPL é representada da seguinte forma:

$$\sum_{j=1}^m w_j z_j(w_{jj}), j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

O objetivo é encontrar uma alternativa  $j$ , do conjunto de  $m$  alternativas, que apresenta o maior valor dado por (1) e que leva em consideração o espaço de pesos definido por (7). Portanto é necessário que algumas restrições sejam agregadas ao PPL. As relações (6) e (7) são inseridas como restrições e, de forma, a evitar desigualdade estrita, utiliza-se uma constante  $\epsilon$  [de Almeida et al., 2016]. Além disso, para resolver o problema (encontrar a alternativa ótima), deve-se considerar que o valor máximo da alternativa  $j$  deve ser superior ou igual a qualquer outra alternativa no subconjunto. Assim, a seguinte restrição deve de ser considerada:

$$\sum_{j=1}^m w_j z_j(w_{jj}) \geq \sum_{k=1}^m w_k z_k(w_{kk}), j = 1, 2, \dots, m, j \neq k \quad (9)$$

O PPL é então resolvido até que uma alternativa ótima seja encontrada. Se isso não ocorrer, as alternativas dominadas são eliminadas e o processo é reiniciado, a partir do estágio 4.1. Dessa vez, apenas as alternativas identificadas como potencialmente ótimas são consideradas nas etapas subsequentes.

#### 4. Modelo proposto para priorização de ações WCM usando FITradeoff

Com o objetivo de estruturar as etapas para aplicação do método FITradeoff na priorização de projetos de melhoria, dentro da abordagem WCM, na Figura 1 é apresentado um *framework* do modelo proposto neste artigo.

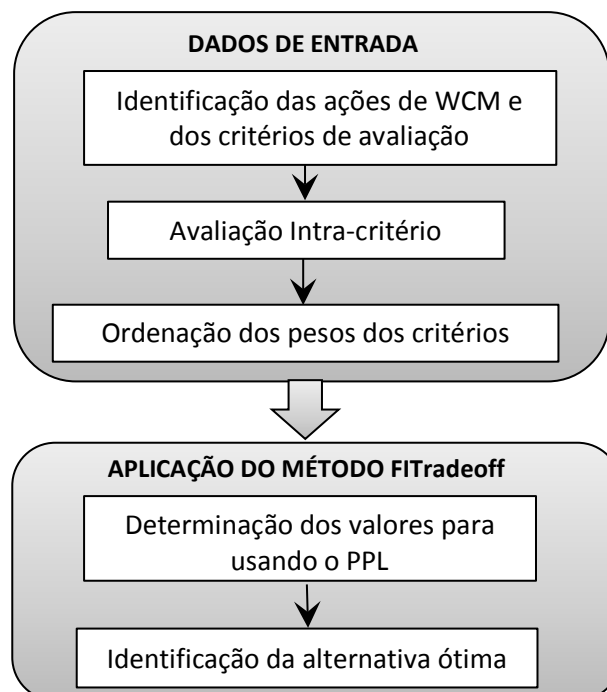




Fig. 1 Framework para aplicação do método FITradeoff à priorização de ações de WCM.

Vale ressaltar que a etapa “Determinação dos valores para  $\alpha$  usando o PPL” compreende os estágios 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 que neste trabalho será executada com o suporte do SAD desenvolvido para o método FITradeoff.

As etapas desse modelo serão detalhadas a partir do estudo de caso apresentado na próxima seção.

## 5. Estudo de Caso

O estudo de caso abordado neste artigo trata da decisão de investimentos em projetos de melhoria em equipamentos de uma indústria de grande porte de peças automotivas do estado de Pernambuco. Os projetos são direcionados através do principal direcionador do WCM que é Custo oriundo do pilar de *Cost Deployment* (CD), ou Desdobramento de Custos em português.

O direcionador leva em consideração todo o custo envolvido pelo tempo em que o equipamento permanece parado. Ele engloba as horas do operador, mantenedor, supervisor, especialista, gestor, além disso, o custo com as peças de reposição e terceirização do serviço em casos de necessidade. No momento da tomada de decisão, a direção possui a preferência por direcionar os trabalhos do WCM para uma área em que o custo médio por quebra for maior que outra área. Tal decisão é justificada pelo impacto no custo que algumas áreas possuem, onde aquelas que possuem maior chance de serem escolhidas por esse critério são os equipamentos gargalo, pois eles influenciam diretamente o ritmo da linha e sua parada impacta diretamente nas demais.

O pilar de *Focused Improvement* (FI), Melhoria Focada, é o responsável por direcionar projetos de melhoria visando reduzir as perdas resultantes do *Cost Deployment*, de modo que haja economia através das soluções encontradas.

Com relação à escolha do método levou-se em consideração primeiramente o contexto do problema e o fato do decisor preferir trabalhar alternativas balanceadas, onde a avaliação ruim de uma alternativa em um determinado critério poderia ser compensada por uma avaliação boa dessa mesma alternativa em outro critério. Dessa forma, partiu-se para identificação do método aditivo, onde a escolha do FITradeoff é justificada pela maior flexibilidade que este método apresenta para definição dos pesos quando comparado com o procedimento tradicional de *tradeoff*.

Para obtenção dos dados, houve a participação direta do coordenador de WCM da unidade através de entrevistas, o qual assumiu o papel de decisor deste estudo de caso. As alternativas em estudo consistem em 29 projetos de melhoria relativos a equipamentos da operação de injetoras da fábrica. O coordenador de WCM relatou que, apesar da escolha da área modelo ocorrer por meio da “bússola” do WCM, ou seja, do direcionador de custo, outros critérios são levados em consideração pela direção da empresa antes de investir em projetos de melhorias. Na empresa em estudo, além do direcionador advindo da metodologia, outros três critérios foram observados como influenciadores na tomada de decisão, são eles:

- capacidade produtiva (CAP): diz respeito a quantas peças o equipamento pode produzir em um determinado intervalo de tempo. Neste caso, a preferência de escolha dos projetos é dada por equipamentos com capacidade produtiva maior, pois estes equipamentos trarão um benefício em termos de produtividade maior que outros equipamentos com uma capacidade menor.
- tempo de vida do equipamento (TV): é o tempo em que o equipamento opera. A escolha da direção da empresa em estudo de iniciar projetos de melhoria em máquinas com alto tempo de vida é menor do que nos equipamentos que possuem um tempo de vida mais curto. De acordo com o especialista de engenharia de

desenvolvimento da organização, erros de projeto não previstos ou manutenções de prevenção não cumpridas, fazem com que ocorram paradas não desejadas nos equipamentos mais novos, por isso devem-se realizar projetos de melhoria nestas máquinas a fim de evitar problemas nessas áreas.

- custo médio de restauração das condições básicas (CR): necessário na maioria dos trabalhos iniciais do WCM, o custo médio de restauração das condições básicas são, também, levados em conta no momento da tomada de decisão das áreas modelo. Esse custo, advindo do setor de manutenção, contém todo o custo das peças que serão substituídas, hora do mantenedor, supervisor, especialista ou empresa terceirizada para deixar o equipamento nas condições iniciais de projeto. Visando a redução de custos, a direção prefere, nesse caso, escolher os equipamentos que custam menos para restaurar suas condições básicas.

A avaliação intra-critério das 29 alternativas em relação aos 4 critérios (custo total por quebra (CT), capacidade produtiva, tempo de vida útil do equipamento e custo de restauração dos equipamentos) foi feita pelo coordenador de WCM que para o critério custo de restauração do equipamento utilizou uma escala de *likert* de 5 pontos (5 representando maior valor para o custo). O uso dessa escala se deve ao fato de não haver um registro financeiro das peças e ações necessárias à restauração do equipamento.

A aplicação do método FITradeoff foi facilitada pelo uso do SAD disponibilizado através de solicitação ao endereço: [www.fitradeoff.org](http://www.fitradeoff.org).

Na etapa de ordenação dos pesos dos critérios, o SAD apresentou ao decisor um alternativa fictícia que apresenta as piores avaliações em todos os critérios, de acordo com a avaliação intra-critério. O decisor é então questionado a respeito de para qual critério gostaria de melhorar a performance da alternativa da pior para a melhor avaliação. Dessa forma, om base nas informações do coordenador de WCM, o procedimento de tradicional de *tradeoff* foi utilizado e a seguinte ordenação dos critérios com relação ao seu grau de importância foi obtida:  $C_1 > C_2 > C_3 > C_4$ .

O coordenador informou que o critério direcionador de custos possui um impacto superior ao impacto da capacidade produtiva. Ele justificou que apesar da Direção da empresa preocupar-se com os equipamentos cuja capacidade produtiva é alta e onde as melhorias realizadas aumentariam potencialmente as condições destes equipamentos, projetos nas áreas onde está perdendo mais recurso (sinalizado pelo direcionador de custo), ainda se destacam nas decisões de investimento da Direção. Ainda de acordo com o decisor, o equipamento que tiver um tempo de uso mais elevado possui menos chances de receber investimentos em projetos de melhoria. Por fim, o custo médio de restauração das condições básicas só ocorre nos casos dos equipamentos que recebem melhorias, mas necessitam de alguma troca de componentes que já estão desgastados. De acordo com a direção, precisa tomar cuidado com essa situação em especial, pois os direcionadores não preveem este custo de restauração, por este motivo o critério deve ser levado em consideração embora com menor relevância no contexto de decisão.

Dessa forma, as três etapas iniciais do SAD foram executadas e quatro alternativas foram identificadas como não-dominadas, conforme apresentado pelo Figura 2:



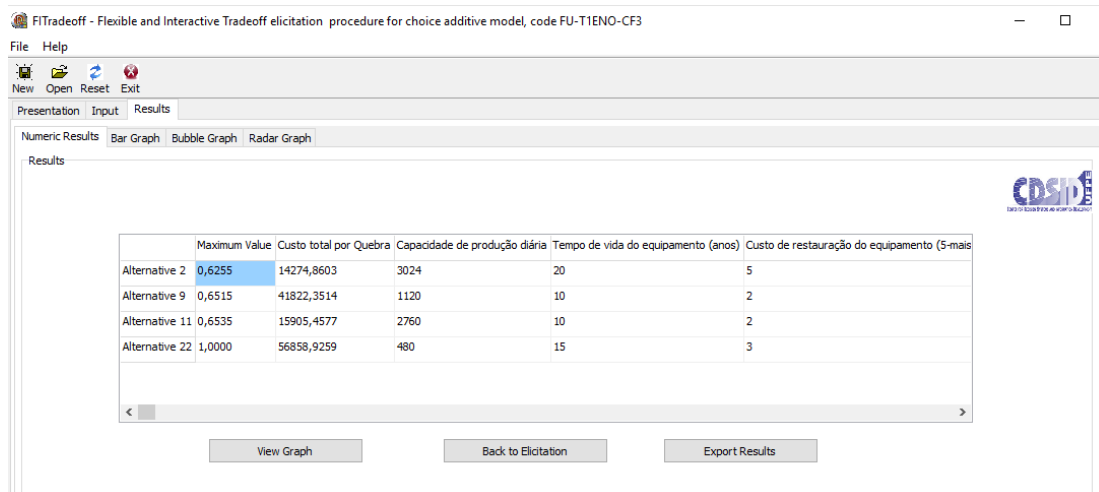


Fig. 2 Resultado inicial.

Esse resultado permite concluir que mais de uma solução foi encontrada, assumindo  $\alpha_{ij}(\alpha'_{ij}) = 1$  and  $\alpha_{ij}(\alpha''_{ij}) = 0$  para todos os critérios, ao se resolver o PPL. Dessa forma, tem início o estágio 4.1 e, em seguida, o estágio 4.2, quando duas alternativas A e B são apresentadas ao decisor, conforme apresentado na Figura 3:

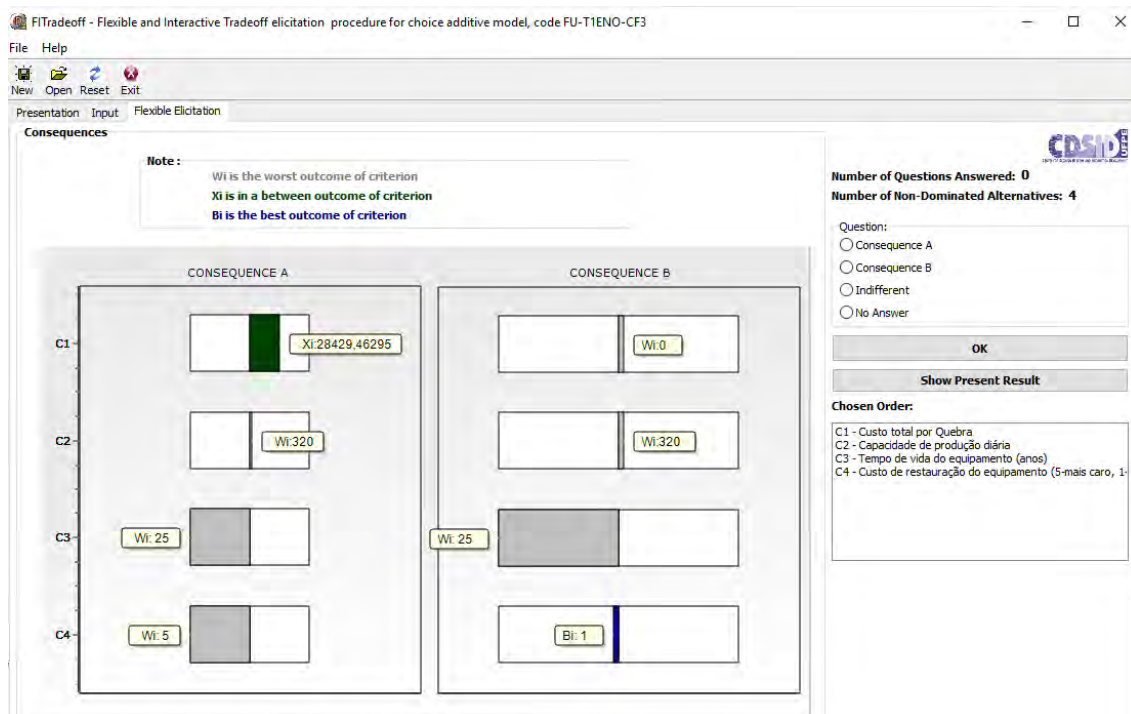


Fig. 3 Primeira etapa da elicitaco flexvel utilizando o FITradeoff.

A diferena com relao s duas alternativas consiste na avaliao das mesmas para os critrios CT e CR. A alternativa B apresenta a melhor avaliao no critrio CR, enquanto a alternativa A apresenta a pior avaliao para o referido critrio. Com relao ao critrio CT, A apresenta uma avaliao intermediria ( $\alpha_{ij} = \alpha_{ij} \$ 28.429,46$ ) e B a pior avaliao (0). Se o decisor escolhe a alternativa A como a melhor,  $\alpha_{ij}$  assume o valor de  $\alpha''_{ij}$ . Se a alternativa B  escolhida,  $\alpha_{ij}$  assume o valor de  $\alpha'_{ij}$ . Ainda, se o decisor se mostra indiferente com relao s alternativas A e B,  $\alpha_{ij}$  assume o valor de  $\alpha_{ij}$ . Dessa forma, o PPL  resolvido at que apenas

solução seja encontrada ou quando o decisor se sinta confortável com resultado encontrado numa determinada iteração do processo.

Após 7 iterações, a alternativa 11 é identificada como única solução. Os resultados parciais a cada iteração do SAD são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Iterações do processo

Iteração	Consequência A	Consequência B, melhor critério avaliado:	Consequência escolhida	Alternativas não-dominadas
1	28.429,46 de CT	CR	A	2, 9, 11, 22
2	28.429,46 de CT	CAP	B	2, 9, 11, 22
3	1672 de IFQ	TV	B	9, 11, 22
4	42.624,19 de CT	CAP	B	9, 11, 22
5	2.348 de CAP	TV	A	9, 11, 22
6	19,5 de TV	CR	A	9, 11, 22
7	49.751,56 de CT	CAP	I	11

## 6. Análise dos resultados e conclusões

A grande vantagem em utilizar esse método é a flexibilidade com relação à definição dos pesos o que, conseqüentemente implica em um esforço menor por parte do decisor e reduz o impacto devido à utilização de valores incertos e imprecisos. Após a definição da solução ótima o SAD fornece um gráfico com relação à faixa de pesos definida pelo decisor para cada critério e um gráfico que apresenta os valores definidos para cada critério, dentro da faixa, que maximizam o valor da alternativa. Esses gráficos estão ilustrados na Figura 4.

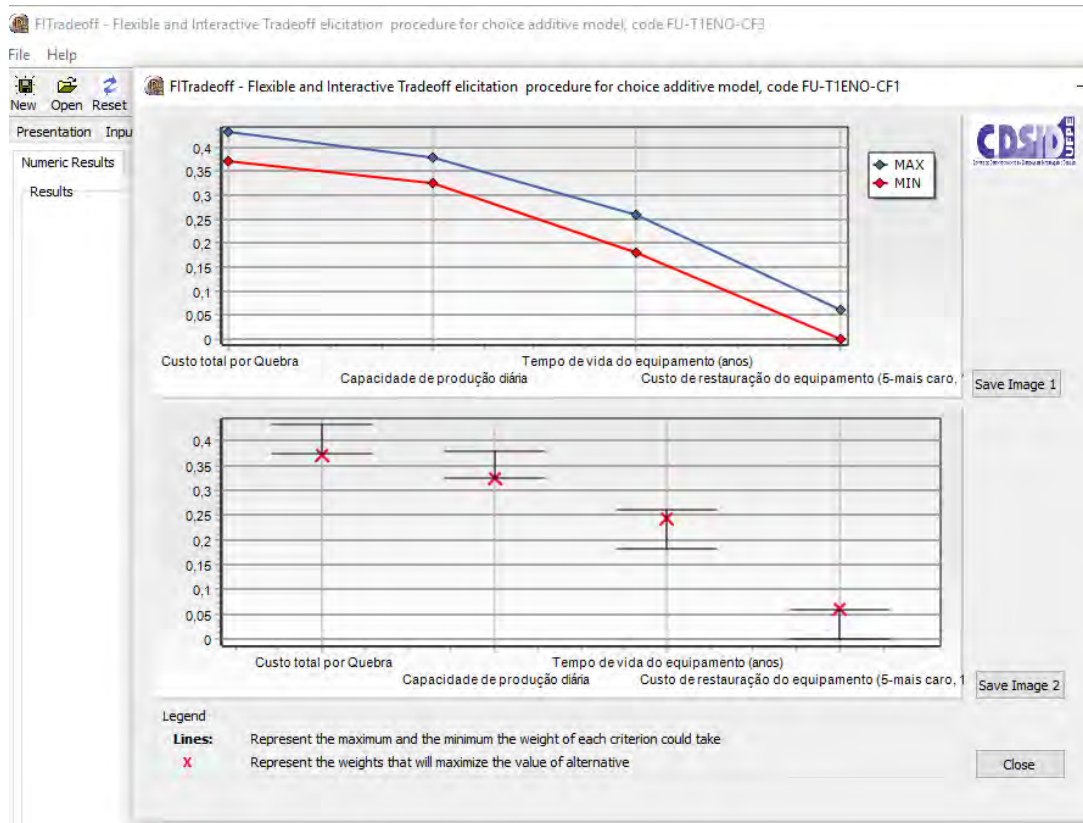


Fig. 4 Análise gráfica dos pesos dos critérios..

Conforme apresentado na Tabela 1, as alternativas 9,11 e 22 aparecem como alternativas dominadas em várias iterações do processo. De fato essas alternativas apresentam uma performance global balanceada, o que as torna prioritárias em um modelo aditivo de decisão.

Apesar de não ter sido possível encontrar uma solução ótima a partir da resolução do primeiro PPL, sendo necessária a realização dos estágios subsequentes, foi possível identificar uma solução ótima na sétima iteração. Dessa forma, o objetivo do método no que se refere à minimização do esforço requerido por parte do decisor foi alcançado.

## 7. Conclusões

Considerando a importância do sistema WCM para o aumento de eficiência e vantagem competitiva das empresas e o fato da maioria das decisões nesse sistema não envolverem apenas critérios relacionados ao custo e retorno financeiros, esse trabalho apresenta um modelo para avaliação de ações, dentro da abordagem WCM, utilizando modelagem multicritério.

Especificamente, o estudo de caso trata da identificação de equipamentos da operação de uma fábrica de peças automotivas, com relação aos quais devem ser executados projetos de melhoria. A definição da seção da fábrica foi feita pelo pilar orientado *Cost Deployment*. No entanto, a definição do equipamento prioritário para ações de melhoria levou em consideração outros aspectos além do aspecto financeiro, por exemplo: capacidade produtiva e tempo de vida útil do equipamento.

Apesar desse estudo de caso se concentrar no nível operacional da fábrica, a aplicação de uma metodologia multicritério permitiu o coordenador de WCM perceber o impacto de outros critérios relevantes nesse tipo de decisão. O sistema WCM envolve muitas decisões ao longo de sua implantação numa empresa. Aqui, focou-se um caso específico. Para trabalhos futuros, deve-se analisar outras decisões, inclusive mais estratégias para empresa.

Deve-se ressaltar, todavia, que uma importante contribuição deste trabalho é a aplicação de um novo método multicritério – FITradeoff – proposto por [de Almeida et al., 2016], que apresenta várias vantagens com relação aos modelos aditivos tradicionais, destacando-se: a flexibilidade com relação à definição das constantes de escala (aqui denominados pesos apenas à título de simplificação do entendimento popular); o esforço requerido ao decisor; a não exigência de valores exatos, que muitas vezes imprecisos, levam à inconsistências; entre outras.

## Referências

ALENCAR M. H., de ALMEIDA A. T., (2015) A Multicriteria Decision Model for Assessment of Failure Consequences in the RCM Approach. *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015.

CAVALCANTE C. A. V., LOPES R. S. (2014) Opportunistic Maintenance Policy for a System with Hidden Failures: A Multicriteria Approach Applied to an Emergency Diesel Generator. *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2014.

CORTEZ, P. R. L. (2010) Análise das Relações entre o Processo de Inovação na Engenharia de Produto e as Ferramentas do WCM: Estudo de Caso Em Uma Empresa do Setor Automobilístico. *XXX ENGEPE – Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. São Paulo. 2010.

de ALMEIDA, A. T., de ALMEIDA, J. A., COSTA A. P. C. S., de 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*, vol. 250, pp.179-191.

FLYNN, B. B., Schroeder, R. G., Flynn, E.J. (1999) World class manufacturing: an investigation of Hayes and Wheelwright's foundation. *Journal of Operations Management*. Vol. 17. p.249.

FLYNN, B. B., Schroeder, R. G., Flynn, E.J., Sakakibara, S., Baters. K. A. (1997) World-class manufacturing project: overview and selected results. *International Journal of Operations Camp; Production Management*, Vol. 17. p.671.

FOSTER, G., HORNGREN, C. (1988) Flexible Manufacturing Systems: Cost Management and Cost Accounting Implications. *Journal of Cost Management*.

HALL, R. W., Johnson, H. T. and Turley, P. B. B., (1991) Measuring Up: Charting Pathways to Manufacturing Excellence, Homewood, III. *Business One Irwin*.

HAYES, R.H., Wheelwright, S.C. (1984) Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing. *New York: Wiley*.

KEENEY, R. L. (1972) "Utility functions formulti attributed consequences," *Management Science*, vol. 18, pp. 276–287.

KEENEY, R. L., RAIFFA, H. (1976) Decision making with multiple objectives, preferences, and value tradeoffs, *NewYork: Wiley*.

MASKELL, B. H. (1991) Performance Measurement for World Class Manufacturing: a model for American companies, Cambridge, Productivity Press, p.408.

NETLAND, T. (2015) The World Class Manufacturing programme at Chrysler, Fiat & Co. Web page: <http://better-operations.com/2013/05/22/world-class-manufacturing-at-chrysler-and-fiat/>. Acessado em 2015-06-08.

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

SCHONBERGER, R.J. (1988) *World Class Manufacturing: the next decade*. Imprensa livre.

STEWART R., MOHAMED S. (2002) IT/IS projects selection using multicriteria utility theory. *Logistics Information Management*, vol. 15, pp. 254–270.

TSUI, C.W. WEN U.P. (2014) A Hybrid Multiple Criteria Group Decision-Making Approach for Green Supplier Selection in the TFT-LCD Industry. *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2014.

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

YAMASHINA, H. (2002) Challenge to world-class manufacturing. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Vol. 17. Nº 2, p.132.

YAMASHINA, H. (2007) Dr. Hajime Yamashina: La filosofia World Class Manufacturing. Entrevista concedida a IVECO.

YAMASHINA, H. (2009) World class manufacturing: Métodos e instrumentos. Material interno de aplicação WCM da empresa em estudo.