



Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste - CAA
Curso de Graduação em Engenharia de Produção



**DECISÃO SOBRE A VIABILIDADE DE MUDANÇA NO PROCESSO DE
CARBONATAÇÃO DO ÓXIDO PARA GANHOS DE RENDIMENTO NA
PRODUÇÃO DE CHUMBO**

SAN DIEGO PINHEIRO SALES

CARUARU, 2019



**Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste - CAA
Curso de Graduação em Engenharia de Produção**



SAN DIEGO PINHEIRO SALES

**DECISÃO SOBRE A VIABILIDADE DE MUDANÇA NO PROCESSO DE
CARBONATAÇÃO DO ÓXIDO PARA GANHOS DE RENDIMENTO NA
PRODUÇÃO DE CHUMBO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado (a) ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a graduação em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional

Orientadora: Prof.^a CRISTINA PEREIRA MEDEIROS

CARUARU, 2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 – 1242

S163d Sales, San Diego Pinheiro.
Decisão sobre a viabilidade de mudança no processo de carbonatação do óxido para ganhos de rendimento na produção de chumbo. / San Diego Pinheiro Sales. – 2019.
56 f. il. : 30 cm.

Orientadora: Cristina Pereira Medeiros.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2019.
Inclui Referências.

1. Multicritério. 2. Pesquisa operacional. 3. Processo decisório. I. Medeiros, Cristina Pereira (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-108)

Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste - CAA
Curso de Graduação em Engenharia de Produção

SAN DIEGO PINHEIRO SALES

**DECISÃO SOBRE A VIABILIDADE DE MUDANÇA NO PROCESSO DE
CARBONATAÇÃO DO ÓXIDO PARA GANHOS DE RENDIMENTO NA
PRODUÇÃO DE CHUMBO**

Aprovada em: 03/07/19

BANCA EXAMINADORA

Prof. CRISTINA PEREIRA MEDEIROS (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. THÁRCYLLA REBECCA NEGREIROS CLEMENTE

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. LUCIMÁRIO GOIS DE OLIVEIRA SILVA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Caruaru, 2019

RESUMO

O objetivo desse projeto final de curso foi uma proposição para avaliar a decisão sobre a compra de um equipamento ou manutenção do processo atual, avaliando seus critérios de impacto através de um método aditivo. Foram levantadas as alternativas e coletados os dados para avaliar os critérios com entrevistas aplicadas aos principais decisores da planta, baseadas na aplicação do método FITradeoff, método aditivo de elicitación flexível onde posteriormente foi feita uma análise de sensibilidade para avaliar a consistência das informações obtidas com as entrevistas. Foram avaliadas todas as respostas com o método onde ficou concluído que para os principais decisores o equipamento atual era a melhor opção, pois o custo é o critério mais sensível para a avaliação e para os decisores que são responsáveis pelo processo a melhor opção seria a East Pen, que consiste na alternativa que melhor apresenta indicadores de processo, porém é a mais cara entre as alternativas.

Palavras Chaves: Modelo Multicritério. Método aditivo. FITradeoff. Análise Sensibilidade.

ABSTRACT

The objective of this final course project was a proposal to evaluate the decision on the purchase of equipment or maintenance of the current process, evaluating its impact criteria through an additive method. The alternatives were collected and the data were collected to evaluate the criteria with interviews applied to the main decision makers of the plant, based on the application of the FITradeoff method, a flexible elicitation additive method, after which a sensitivity analysis was performed to evaluate the consistency of the information obtained with the interviews. It was evaluated all the answers with the method where it was concluded that for the main decision makers the current equipment was the best option, since the cost is the most sensitive criterion for the evaluation and for the decision makers who are responsible for the process the best option would be East Pen, which is the alternative that best presents process indicators, but is the most expensive among the alternatives.

Keywords: Multicriteria Model. Additive Method. FITradeoff. Sensitivity Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equações do método FITradeoff	17
Figura 2- Fluxograma de Aplicação do FITradeoff	18
Figura 3 - Fluxograma de metodologia	19
Figura 4 - Consequências no método FITradeoff.....	20
Figura 5- Definição dos critérios.....	22
Figura 6 – Normalização dos critérios pela amplitude.....	36
Figura 7 – Organograma da Empresa.....	38
Figura 8 – Primeira Iteração da aplicação FITradeoff	39
Figura 9 – Terceira Iteração da aplicação do FITradeoff	40
Figura 10 - Curvas do resultado Final do FiTradeoff para o gerente	41
Figura 11 – Constantes de Escala do resultado do FITradeoff para o gerente	42
Figura 12– Resultado do Bubble Graph para o Gerente	42
Figura 13– Resultado do Bar Graph para o gerente	43
Figura 14– Escolha da alternativa pelo FITradeoff para o gerente de instalações	44
Figura 15– Escolha da alternativa pelo FITradeoff para o gerente de instalações	45
Figura 16– Constantes de Escala do resultado do FITradeoff para engenheiro de Instalações.....	45
Figura 17- Gráfico dos limiares para o resultado do Engenheiro de Processos e Chefe de Produção ..	46
Figura 18– Constantes de Escala para o resultado do engenheiro de processos e chefe de produção ..	47
Figura 19 – Análise de Sensibilidade para o Gerente	49
Figura 20 - Análise de Sensibilidade aplicada para o Engenheiro de Instalações.....	50
Figura 21- Análise de Sensibilidade aplicada para o Engenheiro de Processos.....	50
Figura 22- Análise de Sensibilidade aplicada para o Chefe de Produção	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Relação de consumo considerando a alternativa da reforma do equipamento.....	31
Tabela 02 -Relação de consumo considerando a alternativa East Pen.....	31
Tabela 03 - Relação do consumo considerando a alternativa TMP	32
Tabela 04- Relação do consumo considerando a alternativa Processo atual.....	32
Tabela 05– Relação de Consumo e Custo das Alternativas	33
Tabela 06 - Avaliação dos critérios para as alternativas estudadas.....	34
Tabela 07– Tipo e Natureza dos critérios.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Descrição do Problema.....	10
1.2	Objetivos.....	11
1.3	Objetivos Específicos.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Reciclagem de Baterias – Logística Reversa.....	13
2.2	Dessulfurização.....	14
2.3	Modelos Multicritério.....	14
2.4	Método FITradeoff.....	17
3	METODOLOGIA.....	19
4	ESTUDO DE CASO.....	20
4.1	Definição do Método.....	20
4.2	Definição das Alternativas.....	21
4.3	Definição dos Critérios.....	21
4.3.1	PERSPECTIVA AMBIENTAL.....	23
4.3.1.1	Geração de Escória.....	24
4.3.1.2	Emissões.....	25
4.3.2	PERSPECTIVA DE PRODUTUIVIDADE.....	26
4.3.2.1	Capacidade Produtiva.....	26
4.3.2.2	Rendimento de Chumbo.....	28
4.3.3	PERSPECTIVA DE CUSTO.....	28
4.3.3.1	Equipamento.....	29
4.3.3.2	Mão de Obra.....	30

4.3.3.3	Insumos.....	30
4.3.3.4	Subproduto.....	33
4.3.3.5	Manutenção.....	34
4.4	Definição da Matriz de Consequências.....	35
4.4.1	AVALIAÇÃO INTRACRITÉRIO	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1	Aplicação com o Decisor 1: Gerente da planta.....	38
5.2	Aplicação com o Decisor 2: engenharia de instalações.....	43
5.3	Aplicação com os Decisores 3 e 4: Engenheiro de Processo e Chefe de produção.....	46
5.4	Discussões Gerais sobre as aplicações.....	47
6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	49
7	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54
	ANEXO A – RESULTADO FINAL DO FITRADEOFF.....	56

1 INTRODUÇÃO

No momento atual a logística reversa é um fator que agrega valor à empresa e gera um diferencial competitivo no mercado, não é diferente para o mercado de baterias automotivas, principalmente por se tratar de componentes nocivos, corrosivos e esgotáveis que compõem a bateria. As empresas estão cada vez mais investindo no processo de trituração das baterias para torná-las sustentáveis a ponto de conseguir obter a redução de custos e uma cadeia de suprimento cada vez mais fechada.

A cadeia de suprimentos para o setor de baterias automotivas é um circuito fechado que se encerra quando o consumidor final entrega as baterias utilizadas para trocá-las por uma nova e dessa forma a bateria “sucateada” volta a unidade fabril e é triturada para reutilização de todos os seus componentes.

O processo de trituração de baterias é composto de várias etapas e dessa forma consegue-se separar os componentes da bateria que são: ácido, separador, metal fino e óxido de chumbo e plástico. Cada um desses componentes tem uma finalidade específica, mas os que mais impactam no custo fabril são o metal fino e o óxido de chumbo que são reaproveitados para formarem novas ligas de chumbo e produzirem novas baterias.

O processo de dessulfurização faz parte dessa cadeia de suprimentos e ocorre após a trituração de baterias sucateadas, carbonatar o $PbSO_4$ transformando em $NaSO_4$, Toguri (1984) e para isso acontecer é necessário que haja um investimento de altos valores e este é um ponto que diverge entre algumas partes, pois se trata de um projeto de grande porte que traz muitos benefícios como também aumenta a utilização de insumos.

Dessa forma, é necessário fazer uma avaliação criteriosa para entender de que forma e até que ponto a dessulfurização é benéfica para a unidade fabril e a partir de que ponto ela se torna um custo desnecessário para a organização.

1.1 Descrição do Problema

A unidade fabril estudada tem um processo de trituração não tão eficaz e deseja investir em um novo equipamento que contempla novas tecnologias e novos

patamares quanto a capacidade e qualidade na separação desses materiais que compõem a bateria. Todo o processo de separação dos materiais tem impacto direto nos fornos que totalizam quase que metade do custo da unidade fabril, pois nele tem-se a maior utilização de gás natural e consumo de insumos tais como: coque, barrilha, ferro siderúrgico e lata. Dessa forma tudo que é feito no processo de trituração é de suma importância para os fornos que processam tudo e tem impacto significativo nos custos da unidade.

O problema concentra-se na mudança do processo que deve passar por um estudo criterioso para definir prós e contras dessa alteração do processo e definir a melhor estratégia para a organização. Foram definidas algumas das possíveis alternativas que podem melhorar o processo produtivo, mas é necessário entender se definitivamente a organização necessita dessa mudança ou se uma questão de reestruturação da gestão dos equipamentos atuais poderia minimizar esses impactos na unidade fabril.

Para a tomada de decisão, foram levantados critérios de avaliação destas alternativas, cujos objetivos são conflitantes entre si, tratando, portanto, de um modelo de decisão multicritério.

1.2 Objetivos

O seguinte trabalho visa orientar uma organização na opção mais preferível de mudança ou manutenção de um processo produtivo avaliando todos os aspectos e impactos que são relevantes, auxiliando os envolvidos no melhor embasamento para que dentro das expectativas dos critérios levantados possa ser avaliada a melhor alternativa sob abordagem multicritério.

1.3 Objetivos Específicos

Como objetivos deste trabalho, tem-se:

- Levantamento das principais alternativas de decisão sobre a viabilidade de mudança no processo de carbonatação do óxido para ganhos de rendimento na produção de chumbo;

- Levantamento dos critérios e posterior mensuração das consequências para cada uma das alternativas especificadas anteriormente;
- Definição do método multicritério;
- Aplicação do método e recomendação ao decisor (es)
- Recomendações e avaliação das informações geradas.
- Análise de Sensibilidade

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Reciclagem de Baterias – Logística Reversa

De acordo com Marchetto (2000), o abastecimento do mercado brasileiro de chumbo e de suas ligas é feito atualmente por meio da importação de metal e através da produção de chumbo secundário decorrentes principalmente da reciclagem de baterias automotivas.

A reciclagem e a recuperação de metais e peças a partir de sucatas vem crescendo em importância por vários fatores como:

- Diminuição dos depósitos minerais ricos e/ou economicamente viáveis;
- Esforços internacionais para a conservação e controle dos preços dos bens minerais;
- Preocupação ambiental, pois transforma as sucatas em produtos úteis, evitando que elas ocupem espaços em bacias e pátios de rejeito;
- Consumo de cerca de 5 a 50% da energia necessária para a produção do metal primário, dependendo da natureza e da qualidade da sucata.

Nas baterias automotivas exauridas, o chumbo é geralmente recuperado por processos de fusão da sucata, de acordo com a seguinte metodologia, Marchetto (2000), a drenagem do H₂SO₄; quebra da caixa plástica seguida de separação em seus componentes (plástico, borracha, metal) e fragmentação.

O ácido pode ser neutralizado com cal e descartado. Plástico e borrachas podem ser reciclados ou descartados e a parte metálica é fundida em forno de revérbero ou alto forno para a produção de chumbo ou ligas. Algumas vezes a separação da bateria em seus componentes é facilitada passando-a através de um forno simples, com calor apenas suficiente para amolecer os componentes de selagem da parte superior. As baterias sofrem, em seguida, um choque mecânico, a partir do qual a caixa se quebra liberando a parte metálica.

Dessa forma é justamente toda parte metálica que é reaproveitada no forno que as empresas estudam programar novos projetos que visem aumentar a capacidade produtiva dos fornos uma vez que eles são o coração das metalúrgicas.

2.2 Dessulfurização

O principal constituinte da pasta residual de baterias automotivas é o sulfato de chumbo (60%). No processo hidrometalúrgico de reciclagem do chumbo, a pasta é tratada em duas etapas. A primeira consiste na lixiviação com Na_2CO_3 (dessulfuração da pasta), obtendo-se o carbonato de chumbo (PbCO_3) e o sulfato de sódio (Na_2SO_4), conforme reação Toguri (1984). Numa segunda etapa, o carbonato de chumbo é lixiviado com ácido nítrico (HNO_3) gerando o nitrato de chumbo solúvel ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), a partir do qual pode ser obtido o chumbo metálico, via eletrólise.



A velocidade de reação de PbSO_4 com o Na_2CO_3 em meio aquoso é rápida, sendo a difusão dos íons de carbonato no meio reacional a etapa que controla a taxa de conversão de sulfato Toguri (1984). É importante observar que a formação de PbCO_3 pelo processo hidrometalúrgico já evita a geração de SO_x em uma possível etapa pirometalúrgica subsequente. Dessa forma, o chumbo secundário seria obtido através de uma rota mista, envolvendo inicialmente uma etapa hidrometalúrgica, para formação de carbonato de chumbo, seguida da rota pirometalúrgica convencional.

2.3 Modelos Multicritério

O MCDA possui vários métodos formais que buscam considerar múltiplos critérios para auxiliar os indivíduos ou grupos a avaliar mais profundamente decisões que realmente interessam a toda organização Belton e Stewart (2002), e podem ser classificados em três famílias: Critério Único de Síntese, Sobreclassificação e Interativos (ROY, 1996; VINCKE, 1992; PARDALOS, 1995).

Os primeiros são definidos como um resumo de diferentes critérios em um único critério formando um critério único ou critério de síntese, ou seja, em uma única função valor global $v(a)$ para a alternativa, dando uma característica compensatória ao método, utilizando procedimento de trade-off onde o desempenho ruim de um critério pode ser

compensado com um bom desempenho de outro critério, como, por exemplo, o método MAUT (KEENEY e RAIFFA, 1976).

Com relação aos métodos de sobreclassificação, diferentemente do primeiro, não há compensação entre os critérios, é uma comparação franca onde perde-se muita informação uma vez que realizam comparação par a par entre as alternativas, explorando uma relação de sobreclassificação, não existe nenhum embasamento axiomático para calcular os pesos das alternativas, como, por exemplo, os métodos das famílias ELECTRE e PROMETHEE (ROY, 1996; VINCKE, 1992).

Quanto aos métodos interativos, são métodos que alternam entre etapas de cálculos, produzindo um contínuo de soluções, que permitem informações extras a respeito das preferências do decisor (VINCKE, 1992).

Dessa forma, cada vez mais as organizações necessitam tomar decisões mais assertivas em relação a escolha de um equipamento, fornecedor ou localização. Para isso, os modelos MCDM estão sendo utilizados e assim estão ganhando importância, pois permitem que diferentes alternativas sejam avaliadas e classificadas ou um subconjunto selecionado (Almeida, 2016).

A racionalidade do decisor é fator importante para a escolha do método multicritério que será aplicado em um contexto de decisão. Um analista conduz entrevistas com decisores para identificar: a estrutura de preferências, a racionalidade de compensação ou não entre os diversos critérios, bem como a problemática do problema. O conjunto destes fatores irá direcionar um conjunto de métodos que melhor se adequam ao problema.

Os modelos aditivos se utilizam principalmente da natureza compensatória entre os critérios e, dessa forma pelo não conhecimento da importância dos pesos para os critérios os decisores perdem muita informação do modelo, quando utilizam a compensação por meio do tradeoff tradicional. O modelo de elicitação flexível tende a diminuir essa inconsistência de atribuição dos pesos porque tem uma estrutura axiomática forte e um esforço cognitivo menor com relação aos outros métodos (Almeida, 2015).

O método FITradeoff ou modelo de elicitação flexível, segundo Almeida (2016), utiliza informações parciais em um conjunto específico de alternativas e mediante um conjunto de alternativas visa determinar qual o mais preferível dentro desse conjunto de

alternativas, mas para isso não é necessário se fazer ajustes quando é encontrada uma indiferença, o que é comum para o método tradeoff normalmente utilizado. Os decisores possuem mais facilidade em identificar as consequências baseadas nos resultados do que na indiferença (Almeida, 2015).

Este método tem sido aplicado recentemente na problemática de escolha com um número reduzido de perguntas feitas ao decisor, e seus resultados divulgados como norteadores de um processo de decisão mais enxuto, tais como visto em aplicações de diversas áreas como indústrias do ramo alimentício (Frej, 2017) e localização de instalações (Dell'Ovo, 2017).

A construção do modelo e definição dos pesos são os fatores mais preponderantes para que se possa aproximar de um resultado significativo e isso se deve muito ao fato dos decisores não entender o real significado dos pesos ou não ter conhecimento suficiente para atribuir pesos aos critérios de forma que o modelo fique consistente (Almeida, 2015).

Existem outros métodos que são combinados e são utilizados para avaliar ou hierarquizar possíveis alternativas, segundo Soner (2010), é possível avaliar esse processo decisório se utilizando da programação estocástica de dois estágios e do método TOPSIS fuzzy para avaliação em ambientes desconhecidos. As utilizações desses métodos compostos estão cada vez mais sendo utilizadas, Parthiban (2013), se utiliza de ferramentas de decisões estratégicas como a matriz SWOT, mescladas com a lógica fuzzy para a pré-qualificação de fornecedores.

Cada vez mais a atribuição de pesos, seja em ambientes desconhecidos ou conhecidos estão sendo diversificadas e utilizadas Soner (2010). A lógica fuzzy tem sido introduzida em muitos desses métodos, conforme Jiménez (2013), é possível criar um método de medição de intensidade de domínio para derivar uma classificação de alternativas para lidar com informações incompletas em problemas de decisão multicritério se utilizando da fuzzy trapezoidal e simulação Monte Carlo ou ainda segundo, Kannan (2015), é possível utilizar uma outra técnica baseada no fuzzy chama de *fuzzy axiomatic design* (FAD) onde além de recomendar a melhor alternativa dentre as estudadas esse método ainda propõe a selecionar outra opção alternativa que também pode ser recomendada.

2.4 Método FITradeoff

O método FITradeoff para a problemática de escolha consiste em um método onde reduz a informação fornecida pelo decisor e torna a informação requerida de forma mais cognitiva e fácil de ser obtida, pois ele irá buscar os pontos de indiferença com relação aos critérios estreitando cada vez mais as faixas de valores e refazendo as programações lineares para obter as constantes de escala.

O decisor no decorrer do processo poderá ainda escolher entre a consequência A ou B, mostrar indiferença entre as mesmas ou se ainda achar muito difícil pode optar por não responder e pular à questão. O processo flexível que é o FITradeoff fornece ainda ao decisor a opção de parar a elicitación uma vez que ele ache que tal resultado parcial já seja suficiente para ele. O FITradeoff se utiliza das seguintes equações:

$$k_2 v_2(x_2') > k_3 \quad (2)$$

$$k_2 v_2(x_2'') < k_3 \quad (3)$$

A partir dessas equações os espaços de pesos são obtidos com as equações representadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

$$(k_1, k_2, \dots, k_n) / \sum_{i=1}^n k_i = 1; k_i \geq 0 \forall i$$

$$k_1 > k_2 > \dots > k_n$$

$$k_1 v_1(x''_1) < k_2 < k_1 v_1(x'_1); \dots$$

...

$$k_{n-1} v_1(x''_{n-1}) < k_n < k_{n-1} v_1(x'_{n-1}); \dots$$

Figura 1 - Equações do método FITradeoff

Fonte: Frej (2017)

O FITradeoff a cada iteração recalcula um espaço de pesos procurando o espaço potencialmente ótimo para obter as constantes de escala até que encontre o melhor resultado ou o decisor opte por parar a elicitação. Para simplificar o entendimento, vamos observar o fluxograma de aplicação do FITradeoff para escolha.

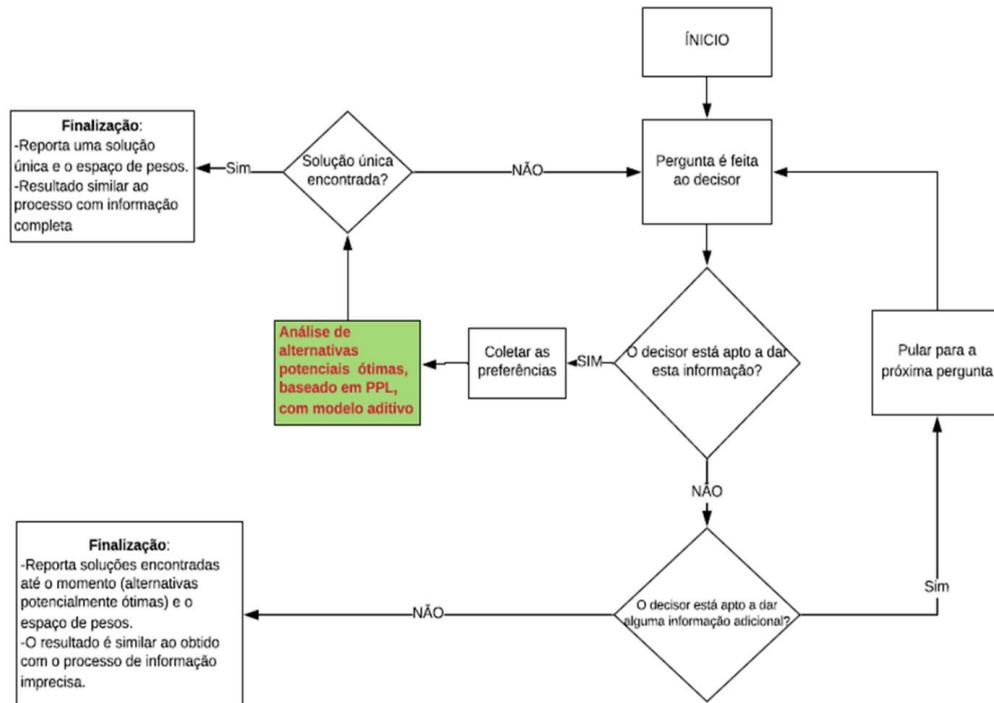


Figura 2- Fluxograma de Aplicação do FITradeoff

Fonte: Almeida (2015)

3 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso feito em uma indústria de baterias onde alguns colaboradores que ocupam cargos estratégicos na organização foram entrevistados e levantaram os critérios que eles classificaram como os mais importantes de se avaliar na compra de um novo equipamento triturador de baterias para a metalúrgica que produz chumbo.

Os critérios foram levantados durante uma reunião onde todos os envolvidos da área de processos, produção, projetos e o gerente geral da planta participaram e listaram como os mais importantes considerando as decisões estratégicas da organização.

A avaliação de todos os critérios foi feita de forma compensatória, onde o desempenho ruim de um critério pode ser compensado com um bom desempenho de outro e esse tipo de natureza dos critérios o direciona a escolha dos métodos multicritério para o método aditivo. O método de elicitação flexível foi escolhido dentre os métodos aditivos, pelo fato de necessitar um esforço cognitivo menor por parte dos decisores e não necessitar da atribuição dos pesos aos critérios inicialmente.

Os decisores mais pontuais que participaram da análise de investimento na compra do equipamento responderam questões envolvendo os critérios abordados no levantamento da reunião com a utilização do programa FITtradeoff, onde responderam questões de múltipla escolha levando em conta todos critérios até obterem os resultados da melhor opção segundo os critérios mais importantes para o decisor.

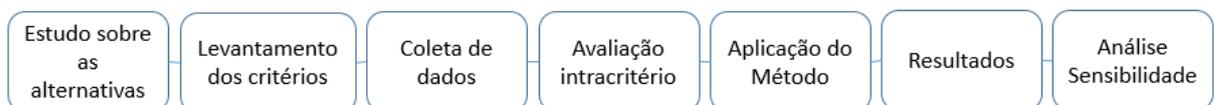


Figura 3 - Fluxograma de metodologia

Fonte: Esta Pesquisa

4 ESTUDO DE CASO

A análise multicritério é um modelo de estudo onde é possível avaliar diversos critérios de natureza complexa ou não, onde ao mesmo tempo é possível dar uma orientação de natureza operacional ou recomendações para ações futuras. A definição do método e os resultados obtidos são mostrados a seguir:

4.1 Definição do Método

O problema de decisão multicritério lida com muitas questões críticas como a estruturação do problema, levantamento de quais os critérios que são imprescindíveis para um modelo mais assertivo e construir um modelo mais aproximado da realidade possível, uma vez que construído o modelo a escolha do método multicritério mais adequado é de suma importância.

A escolha do modelo aditivo foi feita por utilização dos critérios de forma compensatória, utilizando a lógica da compensação, ou seja, um critério com baixo desempenho para alternativa (a) pode ser compensado pelo melhor desempenho de outro critério para a mesma alternativa, então tem-se a lógica de trade-offs entre os critérios. A figura 4 mostra como o método é trabalhado e sua procura pelo espaço de indiferença através da avaliação entre os critérios e os seus espaços de consequência procurando o valor em que o decisor ficará indiferente.

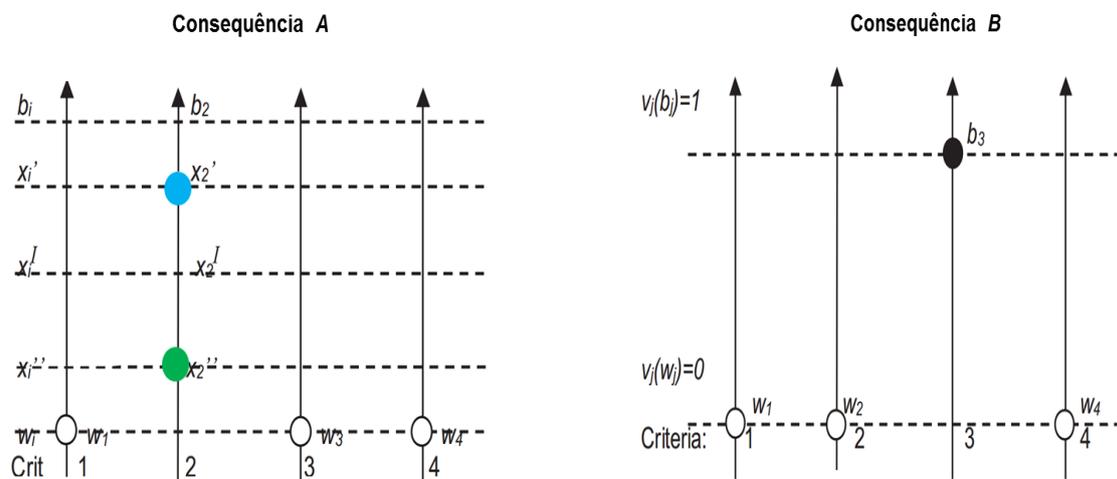


Figura 4 - Consequências no método FITradeoff

Fonte: (Almeida, 2016)

Perguntas foram feitas ao decisor, cuja avaliação intracritério foi realizada avaliadas pelo modelo (P,I) onde todos os critérios e alternativas podem ser comparados, excluindo a incomparabilidade. Além disso, foi verificado que um desempenho ruim em um critério é compensado por um desempenho bom em outro critério., como por exemplo, um mal desempenho do critério insumos pode ser compensado com um bom desempenho de rendimento de Pb. Portanto, um método de agregação aditivo poderá ser utilizado.

4.2 Definição das Alternativas

O mercado de trituradoras de baterias é escasso, porém altamente competitivo por isso, é de grande importância uma criteriosa avaliação das possíveis alternativas. As alternativas que foram levantadas mediante uma pesquisa de mercado foram as da TMP, empresa do México que produz chumbo e se utiliza de uma máquina trituradora de baterias e tem o processo de dessulfurização incorporado ao equipamento, assim como é uma empresa parceira da organização em questão. A outra alternativa levantada foi East Pen empresa situada nos EUA que também produz chumbo e possui um equipamento muito robusto com tecnologias avançadas para o mercado.

As duas opções apresentadas anteriormente consistem na compra de uma tecnologia importada e necessitam de um planejamento muito robusto, pois a trituração de baterias é o processo inicial da metalúrgica de chumbo e dessa forma seria necessário a desativação de uma das linhas e um período maior de instalação e adequação da nova linha, pensando nisso foram levantadas mais duas alternativas que seriam manter o equipamento atual mesmo com as dificuldades e variantes do processo ou investir na reestruturação do equipamento atual aproveitando suas instalações, mas o adequando para uma nova realidade.

4.3 Definição dos Critérios

As alternativas descritas anteriormente serão avaliadas mediante perspectivas Ambiental, de Produtividade e de Custo, perspectivas essas escolhidas em reunião com os principais decisores, chefes e gerente, que analisando do macro até os critérios finais definiram da seguinte forma como mostra a figura 5:



*Figura 5- Definição dos critérios
Fonte: Esta Pesquisa*

A figura 5 mostra as perspectivas de análise do problema com seus respectivos critérios associados. Em seguida, cada um deles é descrito detalhadamente.

O presente trabalho mostra um estudo de caso real aplicado, onde foram levantados todos os critérios em que a mudança ou não do equipamento causa de impacto na organização. Esses critérios também foram apontados e levantados baseando-se nas decisões estratégicas da empresa, como se trata de uma metalúrgica os impactos ambientais e de custo são de extrema importância uma vez que, a mesma procura cada vez mais se posicionar no mercado como referência na parte ambiental conciliando com a parte de custo onde a metalúrgica é responsável diretamente por 40% do custo fabril total.

O levantamento de todos os critérios foi feito em conjunto com os responsáveis pela área de processo, projetos, manutenção, produção e pela gerência, onde foram envolvidas todas as questões a médio e longo prazo pensado pela organização. Visualizando apenas a parte de processo, todas as alterações que podem ocorrer com a mudança do processo foram testadas em escala de laboratório e testadas e apresentadas com seus prós e contras. Dessa forma foi possível levantar os critérios de rendimento de Pb, Despesas Fábrica/Ton Produzida e Mão de Obra.

Os critérios de Emissões, Geração de escória e manutenção foram levantados e mensurados através de benchmarking em empresas que já utilizam equipamentos da East Pen e TMP comparando os indicadores delas com os indicadores atuais da organização, já no caso do equipamento atual e na reestruturação os resultados já são conhecidos e só foram ajustados.

Os demais critérios como capacidade produtiva e custo foram oferecidos pelas fabricantes e por último o de subproduto onde foi feito uma pesquisa de mercado e o subproduto gerado (sulfato de sódio) é muito utilizado em organizações que produzem sabão, dessa forma foi calculado o quanto de subproduto poderia ser gerado e conseqüentemente vendido para as organizações.

4.3.1 PERSPECITIVA AMBIENTAL

A empresa na qual foi feita o estudo trabalha arduamente no quesito ambiental, por se tratar de uma metalúrgica e lidar diretamente com emissões proveniente dos fornos rotativos e da geração de subprodutos provenientes do processo como é o caso da escória gerada do processo de fundição do chumbo e que não pode ser reaproveitada. A empresa tem uma grande política ambiental voltada para esses dois quesitos assim como o cuidado com a logística reversa.

A avaliação do investimento ou não no novo equipamento passa diretamente por esses critérios, uma vez que, cada tipo de investimento gera retorno considerável quando se analisa por essa vertente ambiental. A empresa também tem um programa voltado para a questão ambiental onde tem-se como um dos princípios orientadores o seguinte: Garantir o cumprimento dos requisitos ambientais para as instalações em operação e para novos projetos. Portanto, no aspecto ambiental, dois critérios foram considerados relevantes, a geração de escória e Emissões, cujos detalhamentos são dados a seguir.

4.3.1.1 Geração de Escória

A geração de escória é um processo inerente ao processo de fundição de metais, é um rejeito gerado pelo processo. No processo de fusão nos fornos uma certa quantidade de materiais não metálicos é gerada ou acumulado, e esta porção é denominada de escória.

A escória foi avaliada como critério para a compra do equipamento, pois hoje na empresa tem-se uma grande preocupação com todo o rejeito gerado, uma vez que ele não pode ser reaproveitado é necessário descartá-lo de forma ecologicamente correta. Hoje a empresa conta com duas lagoas ou aterros de escória que já estão quase completamente preenchidas e está fazendo o levantamento para a construção de mais um local para que o rejeito seja aterrado.

O investimento ou não em um novo equipamento contribui de forma considerável nesse item, já que para as opções de investimento na East Pen e TMP temos uma condição totalmente favorável onde toda sucata que será produzida terá um processo novo que será o processo de carbonatação.

Esse processo consiste na diminuição de uma boa parcela dos óxidos que estão contidos nas pastas sulfatadas das baterias, dessa forma teríamos menos óxidos agindo dentro dos fornos e conseqüentemente uma menor formação de escória com a aquisição de uma nova estação de quebra de sucata dessas empresas, por outro lado teríamos um acréscimo considerável nas taxas de insumos principal custo da fábrica, pois a neutralização de óxidos consiste no aumento do percentual de barrilha insumo mais caro dentre os utilizados.

As opções de investimento no equipamento existente são benéficas em partes, pois diminuiriam um pouco a geração de escória de forma que com um equipamento mais robusto melhoraria a separação dos componentes da sucata podendo dosar os insumos sem acréscimo, mas de forma mais coerente. A última opção seria permanecer com o processo atual que consiste em uma separação ineficaz e que gera muitos impactos ambientais pela variação do processo, mas que não aumentam em nada os custos de insumos.

O critério de geração de escória foi avaliado de forma que foram feitos vários testes de bancadas e benchmarking nas empresas que utilizam esse tipo de equipamento e levantado o percentual de escória que é produzido em todos os processos. O principal fator avaliado foi a geração de escória, ou seja, a quantidade gerada, mas verificaram outras questões como

fluidez e cor da escória, cor essa que diz muito sobre o estado pós processo se ele foi eficiente ou não.

4.3.1.2 Emissões

Apesar de não ter normas rígidas para emissões no país, a empresa se preocupa bastante com o critério, pois para uma visão em longo prazo e por estar situada próxima a zona urbana da cidade onde está situada a empresa visa cessar as emissões provenientes do seu processo e garantir o cumprimento das normas ambientais para a certificação das ISO.

As emissões são inerentes também ao processo de fundição de metais, pois a medida que utilizamos insumos como o coque que é constituído de grande parte de carbono as reações dentro dos fornos liberam o dióxido de carbono CO, que é nocivo ao meio ambiente.

A avaliação de investimento ou não nesse equipamento consiste também em grandes efeitos no processo geral e conseqüentemente na emissão de gases. As opções da East Pen e TMP que utilizam esse equipamento mais robusto conseguem uma eficiência na separação dos componentes da sucata aumentando o consumo da barrilha, mas por outro lado diminuindo a quantidade de coque utilizada para fundir a carga conseqüentemente a reação é menor e gera menos emissões fugitivas.

A opção de investir no equipamento já existente não interfere em nada no critério emissões, mas sim no consumo dos insumos. O processo atual enfrenta algumas dificuldades quanto a emissões tanto dos fornos quanto das panelas que refinam o chumbo bruto proveniente dos fornos.

Apesar de a empresa contar com um forte sistema de filtros de manga para conter todo particulado suspenso e o dióxido de carbono ela ainda tem dificuldades para conter as reações e este critério foi avaliado no percentual de emissão que cada uma gera de acordo com o processo que temos e o benchmarking que foi feito nos filtros das empresas que estão em questão. Deve-se levar em consideração também o fato de que as opções East Pen e TMP são empresas que estão situadas em regiões de caráter muito rígido com relação às leis ambientais e conseguem ter êxito em seus processos e são certificadas pelo órgão que detém as leis do país.

4.3.2 PERSPECTIVA DE PRODUTIVIDADE

Desde os primórdios das indústrias há uma discussão sobre produtividade, mas, Martins e Laugeni (2005), relatam que a produtividade é uma avaliação entre dois instantes no tempo, entre dois períodos consecutivos de tempo ou não e tem relação entre o valor do produto e/ou serviço produzido e o custo dos insumos para produzi-lo. Essa é a principal visão que as organizações possuem no cenário atual e dessa forma a aquisição de um novo equipamento podem ter impactos relevantes no critério produtividade.

O processo atual consiste em duas estações de quebra de sucatas uma com capacidade 20 ton/h e outra com capacidade de 10 ton/h, essa última citada é o problema em questão, se compra um novo equipamento e substitui, se mantém o processo do jeito que está ou se é necessário investir numa reestruturação do equipamento existente.

A mensuração da Produtividade é medida a partir da Capacidade Produtiva e do Rendimento de chumbo, do Subproduto Gerado e da Manutenção.

4.3.2.1 Capacidade Produtiva

A capacidade produtiva se trata da relação entre a velocidade operacional da organização e o saldo que ela gera de resultado da sua atividade transformando em bens e serviços. Na organização estudada trata-se de uma multinacional onde tem-se a chegada de sucatas de baterias que são trituradas por 2 equipamentos que já foram citados anteriormente. Um com capacidade de 20 ton/h e outro com 10 ton/h, dessa forma tem-se uma demanda que gira em torno de 11.000 toneladas a 12.000 toneladas de sucatas por mês, todas as sucatas são processadas por três turmas (Turmas A, B e C) que rodam com o equipamento cerca de 16 horas por dia, pois se trata de um processo muito robusto com elevado índice de horas paradas por quebra. Fazendo o levantamento desses dados temos na equação 4:

$$\text{Capacidade mês} = 30 \text{ dias} \times 16 \text{ horas} \times 30 \text{ ton} = 14.400 \text{ ton por mês} \quad (4)$$

Esse seria o cenário ideal de capacidade instalada, mas não se tem uma boa disponibilidade dos equipamentos onde hoje está sendo produzido em média de 9.000 a

10.000 toneladas por mês gerando estoque de sucatas para serem processados no mês seguinte.

Dessa forma é de grande importância a compra do novo equipamento, mas por outro lado gera certa preocupação em trocar o equipamento de 10 ton/h por um de maior produtividade, pois o equipamento da East Pen tem capacidade de processar 40 ton/h, o equipamento da TMP tem capacidade de processar 30 ton/h e o desejo de reformar o equipamento existente é para que ele possa produzir 20 ton/h e se igualar ao outro equipamento.

Considerando os mesmos cálculos citados acima teríamos alterando só a capacidade por hora onde no caso da East Pen teríamos 60 ton/h somando o novo equipamento com o já existente de 20 ton/h, no caso da TMP 50 ton/h e na última proposta consegue-se 40 ton/h, assim teríamos as seguintes capacidades mês instaladas como mostram as equações 5, 6 e 7 respectivamente:

$$\text{Capacidade mês}(EastPen) = 30 \text{ dias} \times 16 \text{ horas} \times 60 \text{ ton} = 28.800 \text{ ton|mês} \quad (5)$$

$$\text{Capacidade mês}(TMP) = 30 \text{ dias} \times 16 \text{ horas} \times 50 \text{ ton} = 24.000 \text{ ton|mês} \quad (6)$$

$$\text{Capacidade mês}(Reformad) = 30 \text{ dias} \times 16 \text{ horas} \times 40 \text{ ton} = 19.200 \text{ ton|mês} \quad (7)$$

Dessa forma obeteria uma ociosidade produtiva, tendo em conta que não se tem uma demanda de sucata suficiente para consumir todo potencial produtivo instalado, além disso, esse critério está diretamente ligado a outra proposta que seria eliminar boa parte da mão de obra para balancear os custos e redimensionar as capacidades garantindo uma boa produtividade e dando subsídios para uma melhor gestão da manutenção no equipamento. Dessa forma é avaliado o critério de produtividade levando em consideração a capacidade/hora de cada equipamento.

4.3.2.2 Rendimento de Chumbo

A produtividade não somente é baseada na capacidade instalada do processo, mas também da eficiência que esse processo consegue alcançar. A compra ou reforma do equipamento tem grande influência sobre o critério de rendimento de Pb, pois terá impacto direto no processo dos fornos uma vez que conseguiremos uma pasta já carbonatada e sem umidade aumentando a eficiência do processo.

As opções East Pen e TMP contam com um processo de carbonatação ou dessulfurização da pasta, esse processo é uma etapa que pode ser antecipada a carga para os fornos, assim consumindo menos gás, diminuindo o tempo de ciclo, porém, aumentando o consumo de insumos. O processo atual dá condições para que os fornos atinjam um rendimento de 45% de Pb nas cargas produzidas, com um tempo de ciclo de 8 horas e conseguindo em média 122 cargas/mês.

A reforma no equipamento aumentaria o rendimento para 47,11% com o mesmo tempo de ciclo de 8 horas, porém com 119 cargas/mês. As opções East Pen e TMP aumentariam os rendimentos em 53,3% e 48,22% por carga respectivamente, diminuiriam o tempo de ciclo para 6 horas ambas as opções e também reduziriam o número de cargas para 101 e 109 cargas respectivamente.

Esse critério foi avaliado levando em consideração todos os testes feitos nas empresas benchmarking e teste de bancada, onde colocamos as cargas dentro dos fornos e avaliamos o que foi retirado de chumbo contabilizando o rendimento e o que foi gerado de escória, onde muitas das vezes um percentual de chumbo produzido fica retido na escória e obtivemos os resultados listados.

4.3.3 PERSPECTIVA DE CUSTO

O custo de um produto é o conjunto de tudo que agrega valor ao produto como: matéria-prima, mão de obra direta e indireta e a amortização dos seus maquinários e propriedades físicas. Esse critério é de suma importância para a estruturação da recomendação sobre a aquisição, reforma ou manutenção do equipamento existente.

Os custos agregados a todas etapas do processo com essa mudança têm impactos significantes para a tomada de decisão por parte dos líderes e dessa forma foram avaliados os mais impactantes para o decisor que são: Manutenção, subproduto, insumos, mão de obra e equipamento. Cada um possui características que são conflitantes e que tem influência entre os subcritérios, onde cabe ao decisor identificar o que para ele tem como maior importância.

Serão considerados o Custo do Equipamento, da Mão de Obra, dos Insumos, Subproduto e Manutenção.

4.3.3.1 Custo do Equipamento

A decisão de compra de um equipamento onde altera o processo e não se tem conhecimento do novo deve ser avaliada de todas as óticas possíveis, do ponto de vista ambiental e produtivo consegue-se ganhos consideráveis, mas o quanto isso custa?

A opção de compra pela empresa East Pen onde trata-se de um equipamento muito robusto, com um sistema de pré quebra da sucata aumentando a vida útil dos rotores e martelos, com um sistema formado por dois tamboreadores, elutriador e um filtro prensa onde esse é o diferencial da empresa, pois nele conseguimos uma eficiência na carbonatação da pasta com uma quantidade de insumos menor do que a utilizada pela TMP.

Esse equipamento foi levantado a um custo de R\$13.000.000,00 todo em inox, já que passa um bom volume de solução ácida pelo equipamento e o inox é resistente a corrosão. Já a opção de compra pela TMP tem-se um equipamento robusto, porém com menos implementos e com preço de R\$11.600.000,00 e uma eficiência menor na carbonatação comparado com a East Pen. O equipamento conta com o sistema de pré quebra, elutriador, um único tamboreador diminuindo a lavagem e separação dos componentes e o filtro prensa que consegue carbonatar a pasta com 30% de barrilha para neutralizar o $PbSO_4$ (TMP, 2018), enquanto que na East Pen só se utiliza 22% de barrilha.

O processo atual é antigo e não conta com nenhum dos implementos citados tem um processo de separação pouco eficiente e possui valor de R\$2.300.000,00, mas que consome menos insumo comparado aos processos carbonatados. A reforma desse equipamento para deixa-lo com um tamboreador e um filtro prensa, mas que não vai carbonatar a pasta só retirar

a unidade custa R\$6.000.000,00. Todos os dados desse critério foram avaliados levando em consideração os custos de cada projeto apresentado e as opções de processo oferecidas.

4.3.3.2 Mão de Obra

Os custos de mão de obra associados ao processo atual são altos levando em consideração que a empresa utiliza 3 turnos rodando 24 horas por dia e cada turno possui em média 9 colaboradores, além das despesas de energia e etc. A intenção da aquisição de um novo equipamento abriu a mente para novas estratégias uma vez que conseguiríamos uma capacidade ociosa que foi mostrada no critério de capacidade produtiva a empresa se viu na opção de remover dois turnos de produção permanecendo apenas com um turno rodando no horário administrativo, conseguindo assim tempo para uma gestão da manutenção mais eficaz e reduzindo os gastos operacionais com mão de obra

As opções da East Pen e TMP dão todo o aparato e folga para que seja feita essa estratégia de retirada dos dois turnos, com o modelo atual é impossível e com a reforma do equipamento seria necessário ao menos dois turnos para dar conta de toda a demanda. Para o critério de mão de obra foi levado em conta com as despesas operacionais uma média de quanto é necessário para produzir uma tonelada de chumbo e assim obter os valores de cada uma das opções.

4.3.3.3 Insumos

Os custos associados a unidade fabril responsável pela fundição de chumbo são os maiores de toda a planta industrial, os insumos são consumidos em grandes quantidades além do fato de alguns serem importados e comprados em dólar. A planta ainda detém os maiores maquinários e também os maiores custos para peças sobressalentes e conta com boa parte do processo feito de maneira manual necessitando de mão de obra acerca de boa parte do processo.

Relacionado aos insumos avaliamos o critério baseado nos custos necessários para produzir uma tonelada de chumbo bruto nos fornos, e para cada opção levantou-se os custos necessários para cada alternativa levando em conta os preços atuais dos insumos e a cotação

do dólar, onde é observado essa variante de alteração dos preços resultantes da taxa de câmbio. Foram levantados em conta todos os testes nas opções estudadas como no processo atual onde temos os seguintes percentuais de insumos e custos associados para cada opção:

Reforma do equipamento	Consumo de insumos ton/mês	Taxa de consumo por tonelada	Preço dos insumos R\$/ton	Custo por insumo
Coque	264,192	0,209	713,97	149,33
Barrilha	132,096	0,105	624,66	65,32
Ferro	231,168	0,183	1440,34	263,59
Barrilha (Carbonatação)	0,00	0,000	1440,34	0,00

Tabela 01 - Relação de consumo considerando a alternativa da reforma do equipamento

Fonte: Esta Pesquisa

East Pen	Consumo de insumos ton/mês	Taxa de consumo por tonelada	Preço dos insumos R\$/ton	Custo por insumo
Coque	28,533	0,020	713,97	14,13
Barrilha	110,961	0,077	624,66	48,08
Ferro	31,703	0,022	1440,34	31,67
Barrilha (Carbonatação)	759,552	0,527	1440,34	758,84

Tabela 02 -Relação de consumo considerando a alternativa East Pen

Fonte: Empresa East Pen

TMP	Consumo de insumos ton/mês	Taxa de consumo por tonelada de Pb	Preço dos insumos R\$/ton	Custo por insumo
Coque	126,812	0,088	713,97	62,80
Barrilha	95,109	0,066	624,66	41,21
Ferro	158,515	0,110	1440,34	158,37
Barrilha (Carbonatação)	990,720	0,687	1440,34	989,79

Tabela 03 - Relação do consumo considerando a alternativa TMP

Fonte: Empresa TMP

Processo Atual	Consumo de insumos ton/mês	Taxa de consumo por tonelada	Preço dos insumos R\$/ton	Custo por insumo
Coque	389,683	0,308	713,97	220,26
Barrilha	168,422	0,133	624,66	83,29
Ferro	198,144	0,157	1440,34	225,94
Barrilha (Carbonatação)	0,00	0,00	1440,34	0,00

Tabela 04- Relação do consumo considerando a alternativa Processo atual

Fonte: Esta Pesquisa

Avaliando os processos vemos a diferença de consumo em insumos para produzir uma tonelada de chumbo dessa forma teríamos os seguintes valores por processo:

Processo	Coque	Barrilha	Ferro	Barrilha (Carbonatação)	Total R\$/Ton
Reforma do Equipamento	149,33	65,32	263,59	0,00	478,24
East Pen	14,13	48,08	31,67	758,84	861,15
TMP	62,80	41,21	158,37	989,79	1252,16
Processo Atual	220,26	83,29	225,94	0,00	529,48

Tabela 05– Relação de Consumo e Custo das Alternativas

Fonte: Esta Pesquisa

Depois da avaliação de todos os custos seria necessário entender se as compensações dos custos para operar com esses valores aplicados aos insumos são suficientes para diluir com o ganho em rendimento de Pb e diminuição do custo com mão de obra e aspectos ambientais.

4.3.3.4 Subproduto

O processo de fundição de metal como já foi referenciado, gera sempre um subproduto. Hoje o subproduto gerado é apenas a escória por parte dos fornos, mas no caso de uma compra de equipamento da East Pen ou TMP conseguiríamos gerar um subproduto também nas estações de quebra de sucata que seria o sulfato de sódio. O sulfato de Sódio (Na_2SO_4), é um componente químico muito utilizado para as indústrias de detergentes e afins: Tem a função de dar maior viscosidade ao produto diminuindo assim o uso de outras matérias-primas que exerçam a mesma função, com custo mais baixo e ainda pode ser utilizado em indústrias de vidro em substituição do carbonato de sódio.

Dessa forma as opções da East Pen e TMP que utilizam o processo de carbonatação e geram o sulfato de sódio, além de terem processos mais robustos com aumento de eficiência na produção do Pb, conseguem diluir o custo do alto consumo com insumos com a venda

desse subproduto gerado no processo. Os dois processos gerariam em torno de 856 toneladas de sulfato de sódio por mês, insumo este que são comprados pelas indústrias ao preço de R\$490,00 por tonelada, ou seja, teríamos um retorno de R\$404.454,00 para cada mês que vendêssemos o subproduto gerado onde diluiria quase todo o custo gerado pelos gastos operacionais.

O critério foi avaliado em cima dos valores de retorno que pode-se ter obtendo a aquisição dos equipamentos que se utilizam da carbonatação o que difere das demais opções que não contam com esse processo, apenas com a simples separação dos componentes.

4.3.3.5 Manutenção

Os equipamentos de estação de quebras de sucatas são equipamentos robustos que estão sempre sob ação de impactos, uma vez que eles trituram toda a sucata recebida e precisam de uma boa gestão da manutenção para que se mantenha disponível. Uma boa gestão de sobressalentes também é de suma importância, uma vez que se trata de um equipamento com todo acabamento em inox devido ao contato com o ácido sulfúrico das baterias evitando a corrosão e suas peças são demasiadamente caras e precisam de um apoio logístico para sua chegada.

O subcritério de manutenção foi levantado para levar em consideração uma média dos MTBF (Mean Time Between Failures), ou seja, o tempo médio entre as falhas, o critério foi avaliado em relação a quantidade de horas em média que conseguiríamos manter entre uma falha e outra onde pegamos os dados de todas as empresas onde foram feitos o benchmarking e uma avaliação interna do setor de manutenção de acordo com os dados já existentes.

As opções East Pen e TMP contam com um sistema de pré quebra que aumentam significativamente a vida útil das peças e do equipamento e conseguiram um MTBF de 172 horas e 126 horas respectivamente. A opção do processo atual a manutenção tem grandes dificuldades para manter a disponibilidade do equipamento, já que ele não conta com o sistema de pré quebra e o equipamento fica exposto aos impactos, dessa forma de acordo com o SIGMA, que é o sistema de gestão da manutenção central temos um MTBF de 12 horas. A

opção de reforma estudada pela manutenção apesar de contar com o sistema de pré quebra a manutenção avalia pelo projeto e experiência que conseguiriam um MTBF médio de 76 horas.

4.4 Definição da Matriz de Consequências

Depois de levantados todos os critérios, foi obtida a seguinte matriz de consequências, para posteriormente fazer a análise multicritério com a utilização do método de Tradeoff:

	East Pen	TMP	Equipamento Atual	Investimento na Reestruturação do Equipamento atual
Geração de Escória	Baixa	Baixa	Alta	Média
Emissões	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Capacidade Produtiva	40000 Ton/h	35000 Ton/h	10000 Ton/h	20000 Ton/h
Rendimento de Chumbo/Carga	53,30%	48,22%	45,00%	47,11%
Custo do Equipamento	R\$ 13.000.000,00	R\$ 11.600.000,00	R\$ 2.600.000,00	R\$ 6.000.000,00
Mão de Obra/Hora	R\$ 207,60	R\$ 332,16	R\$ 560,52	R\$ 560,52
Despesas Fábrica/ Ton Produzida	R\$ 98,50	R\$ 103,60	R\$ 158,16	R\$ 123,72
Subproduto	R\$ 404.544,00	R\$ 404.544,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Manutenção	172 Horas	126 Horas	12 Horas	76 Horas

Tabela 06– Avaliação dos critérios para as alternativas estudadas

Fonte: Esta Pesquisa

Os critérios geração de escória, emissões e manutenção foram baseados em benchmarking feitos em empresas que já utilizam esses equipamentos comparados as medições e indicadores presentes na organização. Os demais critérios, exceto o de capacidade

e custo que já foram especificados pelos fabricantes, os demais foram obtidos através de cálculos e testes realizados na planta e seus impactos nas decisões estratégicas com relação aos custos atuais.

4.4.1 AVALIAÇÃO INTRACRITÉRIO

Os critérios normalizados pela amplitude mostram graficamente e claramente que se trata de um problema multicritério onde fica evidenciado que as opções se alternam com relação aos critérios, há uma relação de ganhos e perdas entre um critério e outro e as alternativas, conforme mostrado na Figura 06.

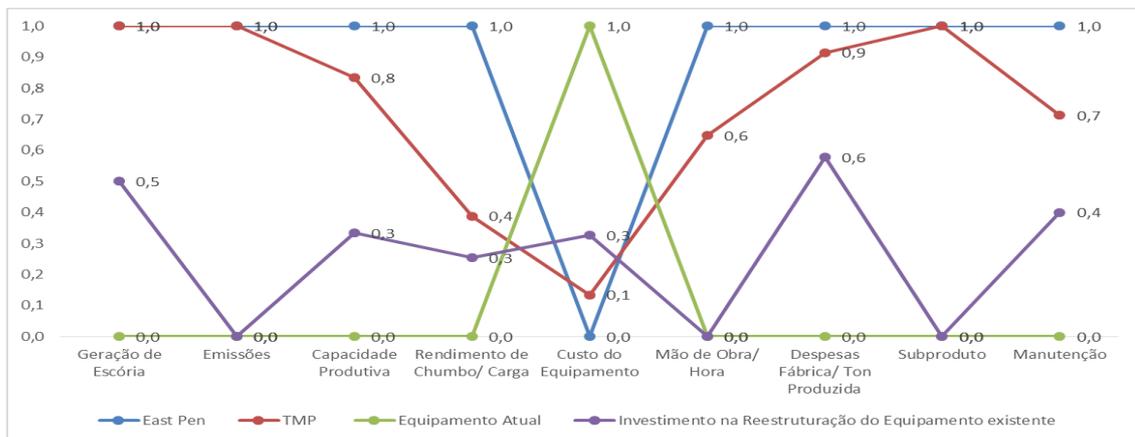


Figura 6 – Normalização dos critérios pela amplitude

Fonte: Esta Pesquisa

A mensuração dos critérios foi feita de maneira determinística, e foram consideradas escalas de razão e ordinal para os critérios, além de critérios com objetivos de maximização e minimização de suas consequências, conforme mostrado na Tabela 4.7

Cr�terios	Tipo	Natureza
Gera�o de Esc�ria	Minimiza�o	Discreto
Emiss�es	Minimiza�o	Discreto
Capacidade Produtiva	Maximiza�o	Cont�nuo
Rendimento de Chumbo/ Carga	Maximiza�o	Cont�nuo
Custo do Equipamento	Minimiza�o	Cont�nuo
M�o de Obra/ Hora	Minimiza�o	Cont�nuo
Despesas F�brica/ Ton Produzida	Minimiza�o	Cont�nuo
Subproduto	Maximiza�o	Cont�nuo
Manuten�o	Minimiza�o	Cont�nuo

Tabela 06– Tipo e Natureza dos cr terios

Fonte: Esta Pesquisa

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método foi aplicado mediante entrevistas com a alta gerência, chefe de produção, chefe da engenharia de processos e chefe da engenharia de instalações. O organograma mostra como é desenhada a hierarquia da organização e os que estão destacados em azul na figura 07 foram os que participaram da aplicação do método, existem reuniões onde todos os integrantes citados na figura 07 participam e levantam todas as questões pertinentes as alternativas, mas é o gerente geral da planta que tem o poder de decidir sobre a escolha da alternativa, os outros só defendem seus respectivos argumentos e pontos de vista. Os resultados para cada decisor são mostrados nos subitens a seguir. Além disso, o software usado na elicitação das preferências proporciona uma análise gráfica em todo o processo decisório, podendo ser verificado sempre que necessário. Serão mostradas figuras referentes a pontos-chave em que a geração de informação para o decisor foi considerada mais importante.

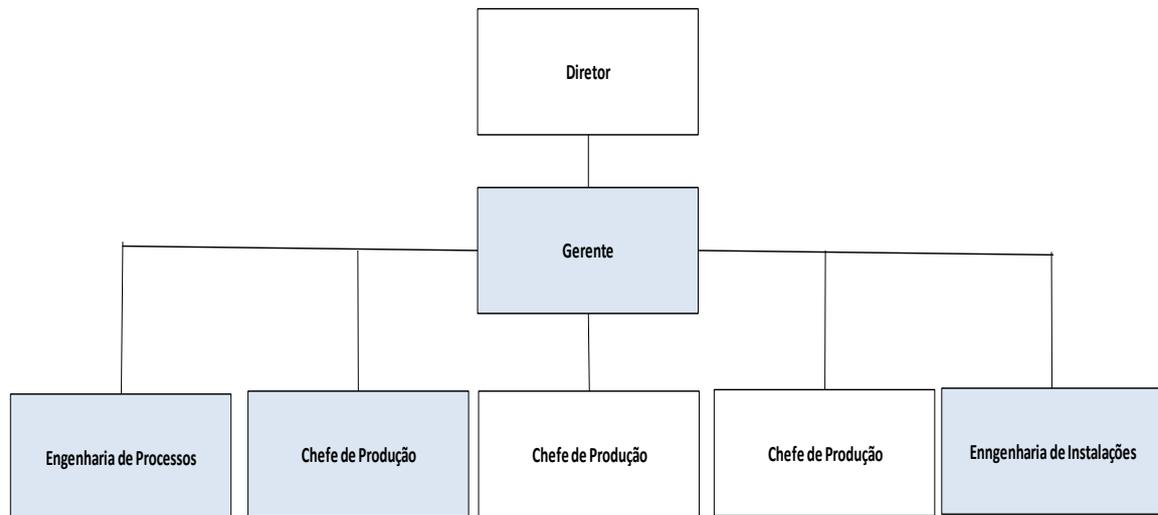


Figura 7 – Organograma da Empresa

Fonte: Esta Pesquisa

5.1 Aplicação com o Decisor 1: Gerente da planta

Inicialmente o método foi aplicado com o gerente da planta, onde o mesmo ordenou os critérios de acordo com sua preferência foi iniciado o processo de elicitação de

preferências onde foram necessárias 35 perguntas para obter os valores das constantes de escala, se utilizando apenas da ordenação dos critérios que ficou da seguinte forma:

Custo do equipamento>Rendimento Pb>Capacidade produtiva>manutenção> mão de obra>despesas fábrica/ton> subproduto> geração de escória > emissões. A partir da ordenação, uma das ações (TMP) foi excluída do processo, pois ela não seria candidata a Alternativa potencialmente ótima, seguindo com 3 alternativas para aplicação do método.

A figura 08 mostra o resultado obtido após a ordenação das alternativas, cujos primeiros critérios terão uma maior contribuição para o valor global do que os últimos critérios.

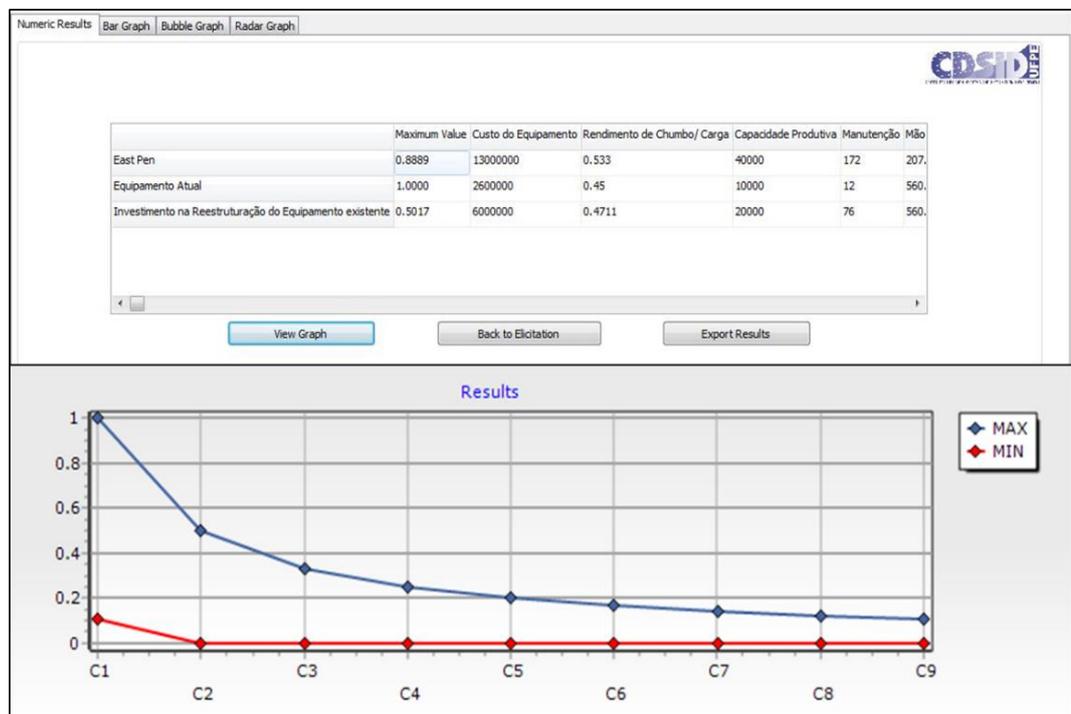


Figura 8 – Primeira Iteração da aplicação FITradeoff

Fonte: FITradeoff

Em diversas vezes o decisor se mostrou indeciso, mas apenas em uma das questões envolvendo o rendimento de Pb e capacidade o decisor optou por ficar indiferente, pois foi oferecido 50% do rendimento e 100% da capacidade nesses critérios ele se viu indeciso e optou pela indiferença.

Estas regiões onde o decisor mostra exitação no momento da escolha, porem consegue estabelecer a preferência por uma das consequências em questão, é considerada uma região de preferência fraca. Logo após a segunda proposta em relação ao custo ou capacidade a alternativa de reestruturação do equipamento existente foi excluída e a região de indiferença foi modificada e os limites em que se encontram os valores potencialmente ótimos foram resumidos como mostra a figura 09:

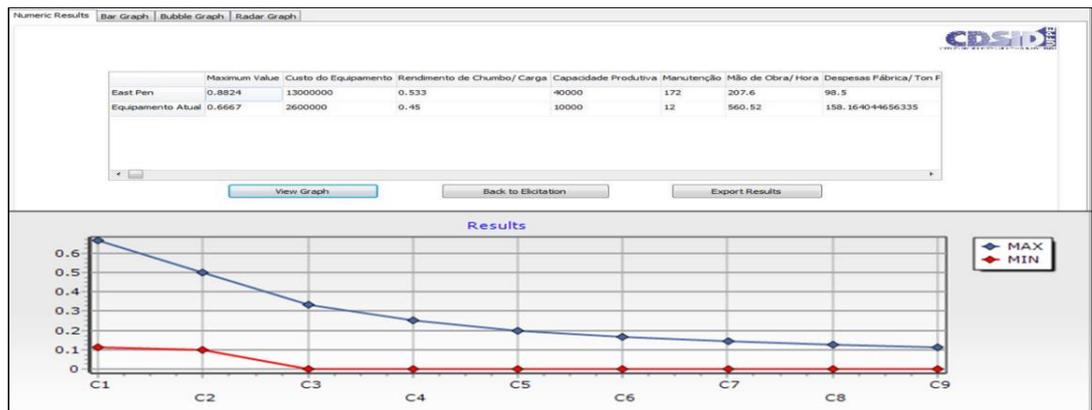


Figura 9 – Terceira Iteração da aplicação do FITradeoff

Fonte: FITradeoff

Apesar dessa decisão ter impacto significativo na organização era notória a preocupação com o custo do equipamento e suas consequências, pois atualmente o equipamento vigente vem encontrando dificuldades principalmente com questões de manutenção, mas desempenha um bom papel na parte produtiva.

A escolha da alternativa de compra ou reestruturação do equipamento atual impactaria bastante nas questões estratégicas, pois teriam que parar a máquina e o processo ficaria dependente apenas de uma máquina que tem capacidade de 20 ton/h para suprir 5 fornos com capacidade maior do que a oferecida por uma única máquina, ou seja quão menor o tempo melhor, mas por outro lado a compra traria inúmeros benefícios para o próprio processo. Todas essas questões refletiram na aplicação do método.

Depois de aplicadas 10 iterações a região limitante onde se encontram as regiões potencialmente ótimas ficou ainda mais reduzida e começou a desenhar uma aproximação maior, além disso, os critérios mais importantes (Custo do equipamento, Rendimento e Capacidade) foram os que mais causaram dúvida no decisor e definiram uma boa quantidade

de iterações para a definição final que foi obtida com 35 iterações e foi encerrada mediante ao ponto de indiferença que foi encontrado no critério de capacidade com relação a manutenção.

O critério manutenção foi o critério analisado com maior cuidado sempre que questionado com relação aos outros, pois o equipamento triturador de baterias é robusto e a manutenção é o critério mais impactante atualmente onde se encontram falhas na parte de gestão.

As curvas dos limiaries de máximo e mínimo se aproximam de uma forma que o espaço de indiferença se resume quase que a um ponto e definem-se as constantes de escala potencialmente ótimas considerando a programação linear como mostram a figura 10, onde a alternativa escolhida foi o “Equipamento Atual”. Este resultado gerou certa desconfiança por parte do decisor, mas um entendimento coerente com as perspectivas da empresa e a oportunidade de melhorar a gestão da manutenção dos seus equipamentos. Como mostra a figura 10 à aproximação dos limiaries condiz com a quantidade de iterações e o cuidado para responder as perguntas até achar o ponto de indiferença do decisor e a figura 11, mostra o resultado final os pontos de otimalidade representados por cada critério avaliado.

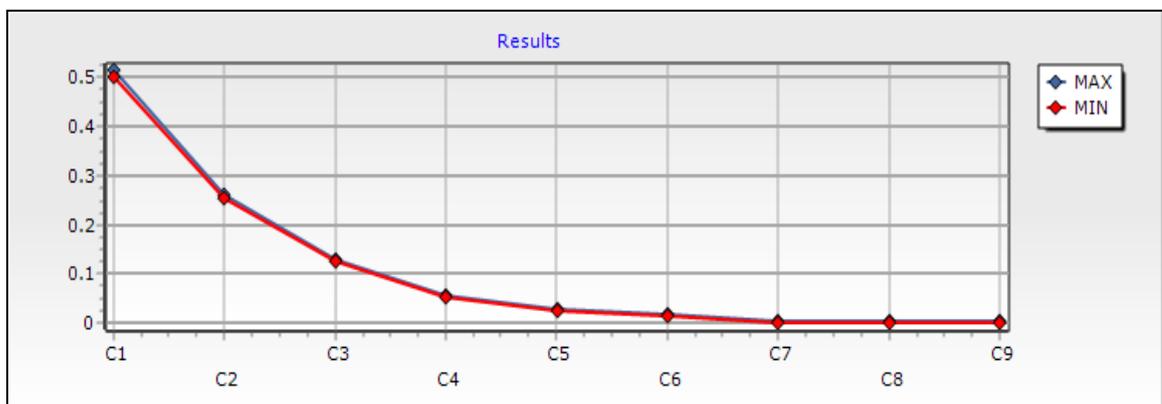


Figura 10 - Curvas do resultado Final do FiTradeoff para o gerente

Fonte: FiTradeoff

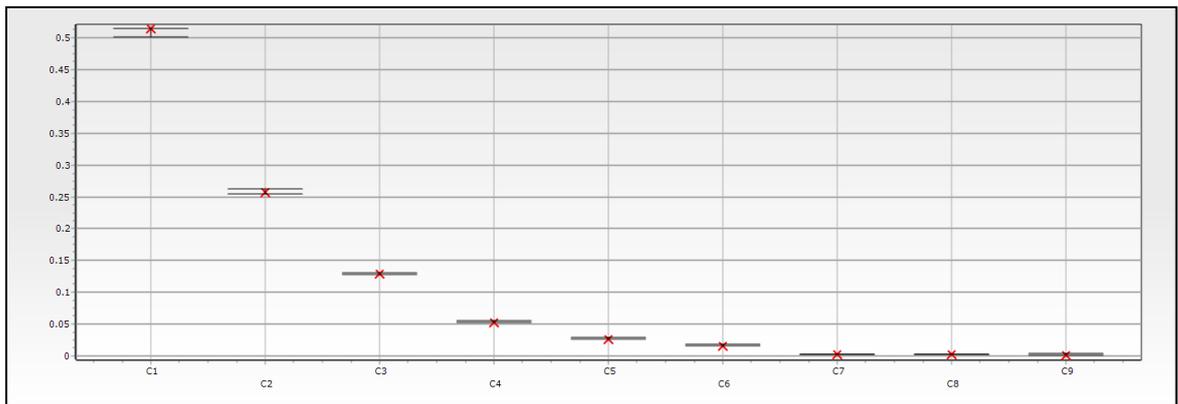


Figura 11 – Constantes de Escala do resultado do FITradeoff para o gerente

Fonte: FITradeoff

Para a figura 12 temos o gráfico denominado Bubble Graph, quanto mais larga estiver a bolha, maior a consequência naquele critério para uma determinada alternativa. Além disso, quanto maior o diâmetro da bolha, maior a constante de escala estimada para aquele critério. A partir deste gráfico, é possível mostrar a contribuição de cada critério para uma dada alternativa ao longo da elicitação.

Por exemplo, nesta figura 12, a ação Est Pen possui alto custo, menos desejável do que o Equipamento atual e por isso encontrasse abaixo. No entanto, os diâmetros delas aparentam possuir diâmetros semelhantes, mostrando que ambas possuem valores de constantes de escala bem próximos. Avaliações semelhantes podem ser feitas para os demais critérios.

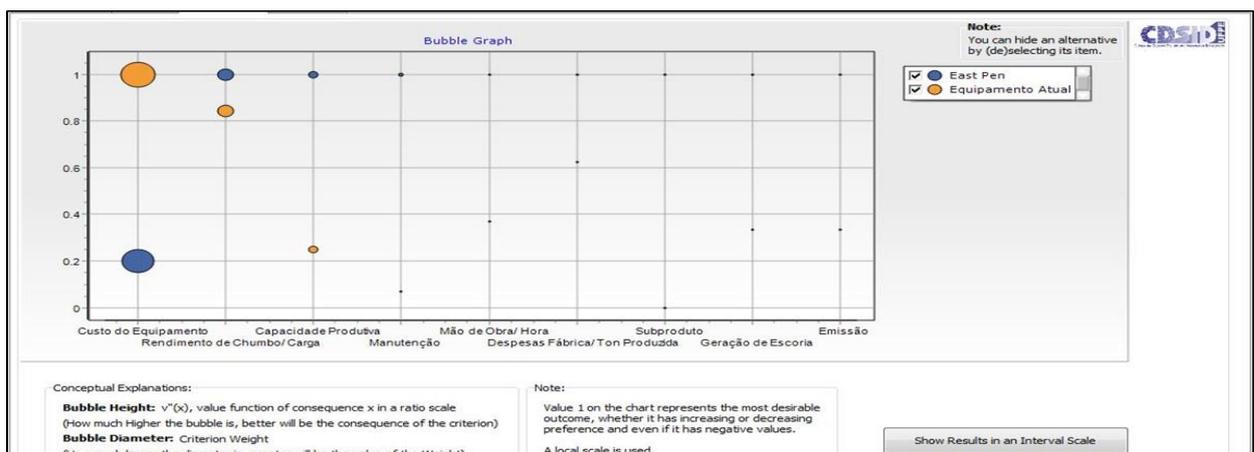


Figura 12– Resultado do Bubble Graph para o Gerente

Fonte: FITradeoff

A figura 13 que contém o gráfico de barras denominado bar graph mostra as consequências normalizadas para as alternativas potencialmente ótimas em um determinado estágio de perguntas e durante as perguntas elas vão se alternando de acordo com as escolhas do decisor.

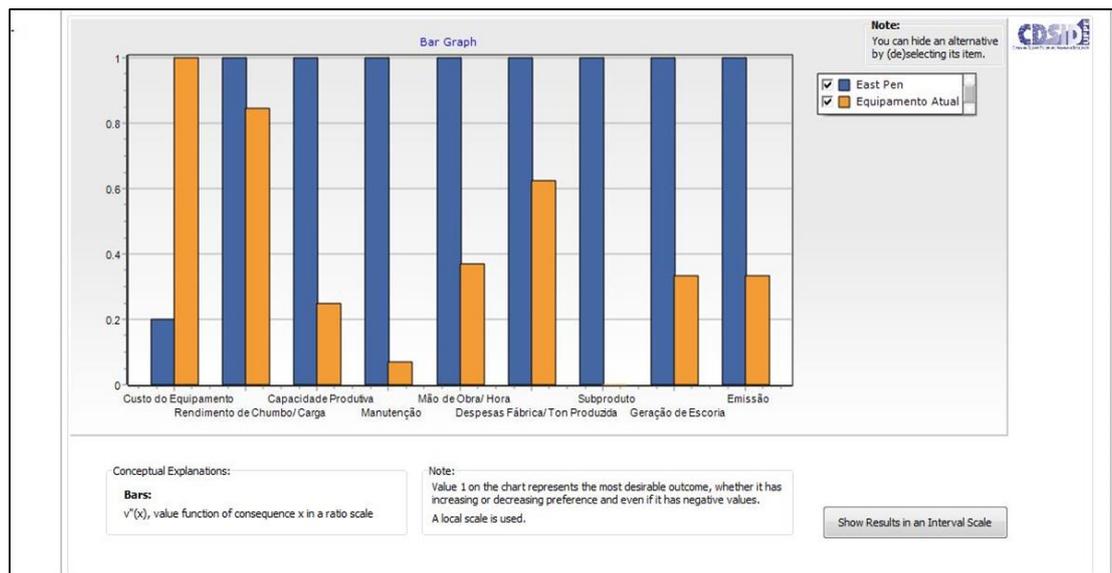


Figura 13– Resultado do Bar Graph para o gerente

Fonte: FITtradeoff

Após a aplicação com gerente da planta que é o responsável pela decisão final da compra ou não do equipamento, o método foi aplicado em mais três pessoas da organização.

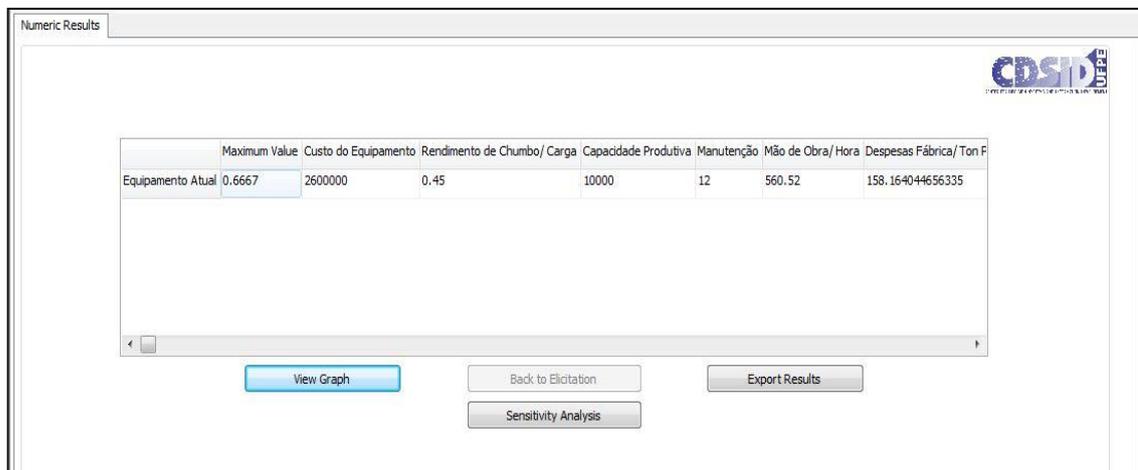
5.2 Aplicação com o Decisor 2: engenharia de instalações

A engenharia de instalações é a responsável por todos os projetos que incorporam as mudanças na organização e conseqüentemente esse departamento tem importância relevante na decisão do gestor da planta, pois ele é responsável por fazer o levantamento de todas as diretrizes para formação do escopo do projeto que contempla também as partes de processo e produção que foram as outras áreas de aplicação do método para entender as divergências entre as visões sobre a aplicação desta problemática.

Na aplicação com o engenheiro responsável pela parte de instalações e projetos foram necessárias 10 iterações e houve uma igualdade na ordenação dos critérios em relação

ao gerente da planta. Inicialmente pela ordenação dos critérios a opção TMP foi descartada e restaram as mesmas opções anteriores com os gráficos iniciais iguais a figura 06 da aplicação com o gerente

Na entrevista em diversos momentos o decisor ficou pensativo questionando sobre o método e sua procura pelo ponto de indiferença. Durante as análises já na segunda iteração, a opção de reestruturação foi descartada com uma escolha de indiferença entre os dois critérios que foram 50% de rendimento de Pb ou 100% da capacidade em que o decisor optou pela indiferença entre os dois critérios, a entrevista foi mais rápida e a opção pelo decisor sempre pelo custo do equipamento resultou no final da aplicação em uma região de otimalidade maior tanto para custos quanto para rendimento onde acabou que por escolha também a alternativa do “Equipamento atual”. As figuras 14 e 15 representam o máximo valor da programação da alternativa escolhida e as curvas dos limiares de máximo e mínimo da região de indiferença do decisor respectivamente, isso mostra graficamente que apesar dele responder certa quantidade de perguntas a sua indiferença foi encontrada mais rapidamente do que em relação ao gerente geral. A figura 16 mostra os valores máximos para cada critério depois da solução final do método.



	Maximum Value	Custo do Equipamento	Rendimento de Chumbo/ Carga	Capacidade Produtiva	Manutenção	Mão de Obra/ Hora	Despesas Fábrica/ Ton F
Equipamento Atual	0.6667	2600000	0.45	10000	12	560.52	158.164044656335

Figura 14– Escolha da alternativa pelo FITradeoff para o gerente de instalações

Fonte: FITradeoff

A sequência dos critérios do engenheiro foi a mesma da gerente da planta, onde ficou da seguinte forma: Custo do equipamento>Rendimento Pb>Capacidade produtiva>manutenção> mão de obra>despesas fábrica/ton> subproduto> geração de escória > emissões.

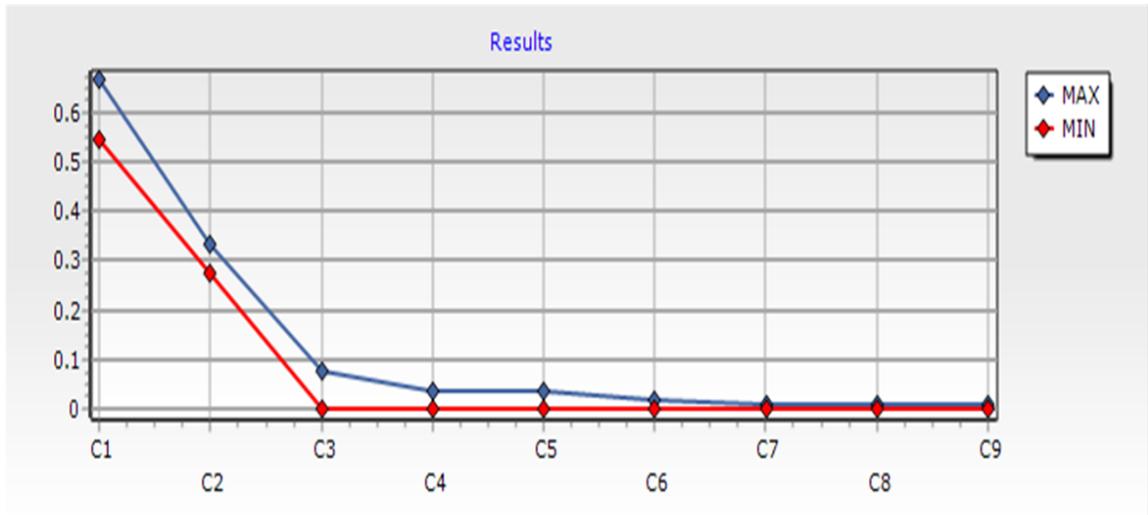


Figura 15– Escolha da alternativa pelo FITradeoff para o gerente de instalações

Fonte: FITradeoff

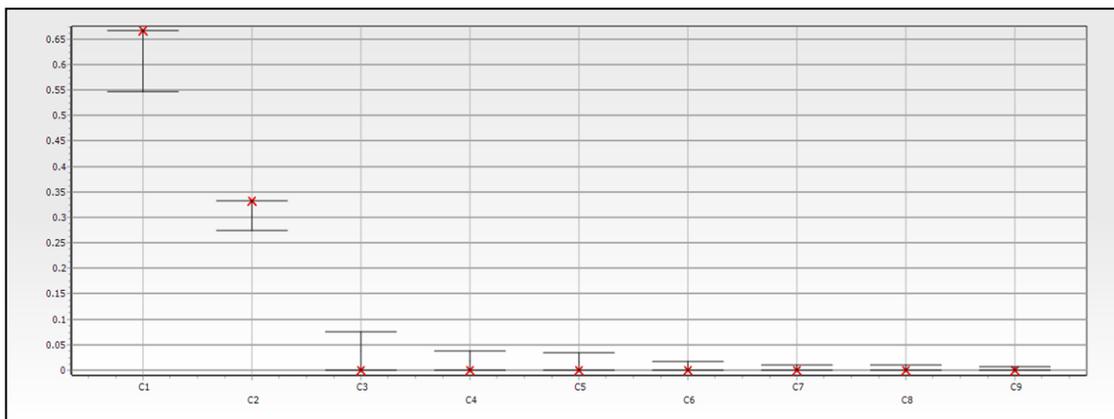


Figura 16– Constantes de Escala do resultado do FITradeoff para engenheiro de Instalações

Fonte: FITradeoff

5.3 Aplicação com o Decisores 3 e 4 - Engenheiros de processo e chefe de produção

Posteriormente a aplicação com o engenheiro de instalações aplicou-se o método FITradeoff com os engenheiros de processo e chefe de produção para entender as preferências de todas as partes envolvidas na organização para entender a necessidade de cada um e realizar um consenso para a decisão em grupo.

A aplicação do método FITradeoff com os dois chefes foi de forma semelhante onde apenas com a ordenação dos critérios obtivemos um resultado final com a escolha da alternativa “East Pen” que fornece as melhores condições em termos de processo e produção e vimos que as preferências referentes ao processo sobrepõem os interesses de custos por acreditar que o processo rapidamente dará o retorno investido na compra do equipamento. A figura 17 demonstra graficamente o quão amplo é a região de indiferença dos decisores da área de processo e produção justamente por optar pela alternativa que mais beneficia as duas áreas, já a figura 18 mostra os valores de otimalidade para cada um dos critérios onde fica perceptível pela dominância do critério 1.

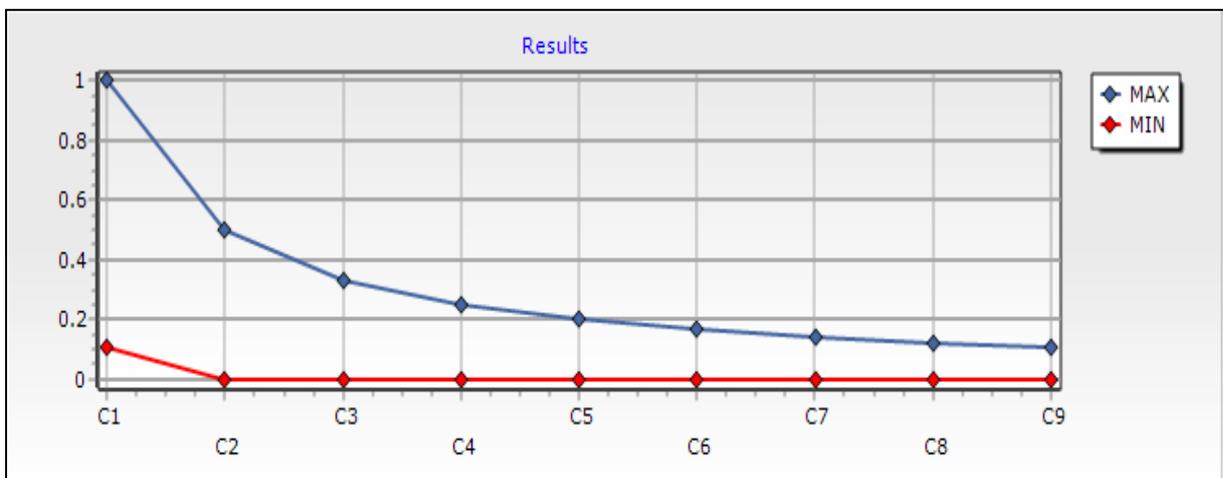


Figura 17- Gráfico dos limiares para o resultado do Engenheiro de Processos e Chefe de Produção

Fonte: FITradeoff

Para o engenheiro de processos a ordenação dos critérios ficou a seguinte: Rendimento de Pb>Despesas Fábrica/Ton >Mão de obra> Manutenção>Capacidade Produtiva>Custo do equipamento> Emissão> Geração de Escória> Subproduto.

Para o chefe de produção ficou da seguinte forma: Capacidade Produtiva>Mão de Obra> Rendimento de Pb> Emissão> Geração de Escória> Manutenção> Despesas fábrica/ton> Custo do equipamento> Subproduto

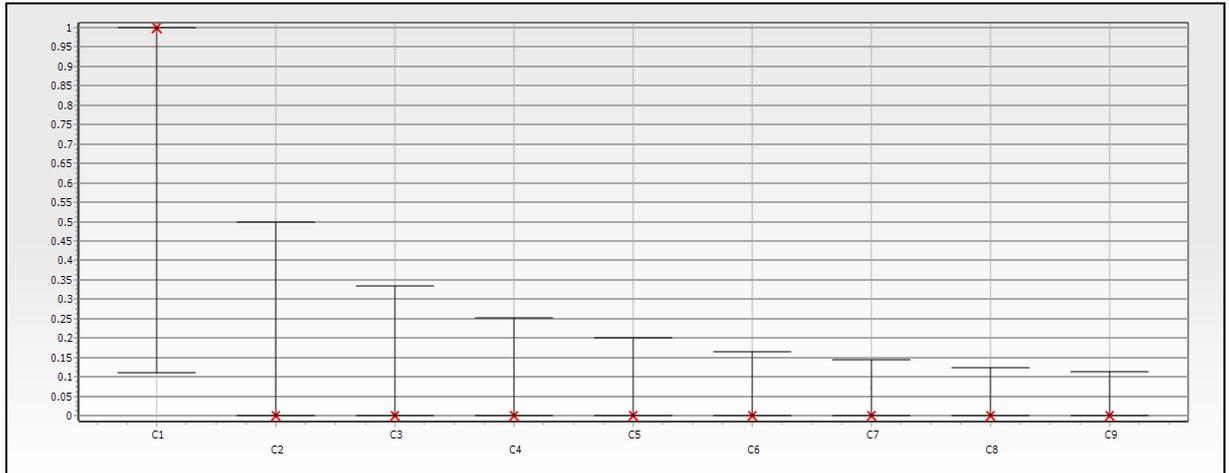


Figura 18– Constantes de Escala para o resultado do engenheiro de processos e chefe de produção

Fonte: FITradeoff

5.4 Discussões Gerais sobre as aplicações

Depois de aplicado em todos os envolvidos é notório as diferenças de perspectivas de cada decisor.

Quando o método foi aplicado com o gerente da planta é perceptível a sensibilidade dos limiares estreitando à medida que se respondia as questões, as curvas das constantes de escala iam se ajustando e o espaço de consequência ia se redefinindo até o momento em que as constantes ficaram quase imperceptível pelos gráficos.

O cuidado com as avaliações estratégicas da empresa alinhadas a visão da planta ficaram visíveis em cada critério, diferentemente dos engenheiros de instalações que apesar de ter reduzido o espaço de consequências graficamente falando, mas ainda deixou as curvas de máximo e mínimo com uma região mais distante abrindo um espaço para as constantes de escala oscilarem dentro daquele espaço.

Ou seja, o ponto de indiferença foi encontrado mais rapidamente do que com o gerente geral, principalmente porque este segundo se preocupou tanto com o custo do projeto

que não houve um alinhamento das curvas visto que era o critério mais importante e a indiferença foi encontrada com maior facilidade aumentando o espaço entre os pontos de máximo e mínimo.

A aplicação do método com o engenheiro de processos e do chefe de produção foi rápida e conclusiva, uma vez que eles preferem o melhor para o processo produtivo (área de atuação), sobre a qual apenas a ordenação dos critérios já foi conclusiva para escolha da opção e explica as divergências na decisão em grupo que pode ser abordado em trabalhos futuros.

Na tabela que se encontra em anexos, segue os resultados obtidos para todos os decisores, contendo os máximos valores para as constantes de escala de acordo com a programação linear do método, quantidade de respostas e a alternativa escolhida.

Por fim, segue-se com a análise de sensibilidade para verificar a robustez dos resultados.

6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Depois da aplicação do método flexível, foi conduzida uma análise de sensibilidade de 10000 simulações para testar um intervalo de 10% de variação para todos os critérios a escolha do decisor seria a mesma ou se divergiria com relação a essa variação dos gráficos para todos os decisores.

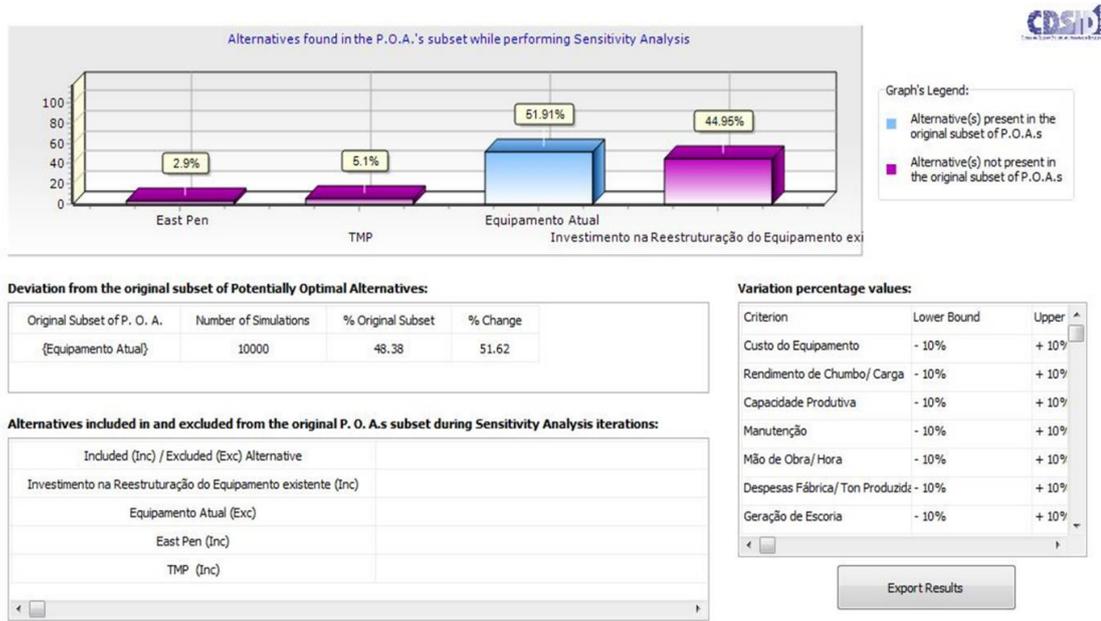


Figura 19 – Análise de Sensibilidade para o Gerente

Fonte: FITtradeoff

A figura 19 mostra que de acordo com as respostas do gerente e a alternativa recomendada pelo método que foi a opção pelo equipamento atual destacado em azul e as opções não escolhidas que são as destacadas em roxo. Após a simulação, considerando 10% para todos os critérios, 51,91% das vezes, o equipamento atual continuou sendo a alternativa escolhida, porém a alternativa de investimento no equipamento atual, ganhou 44,95%.

A análise de sensibilidade demonstra com esses resultados que o cenário mudaria de acordo com as respostas do método sem análise, pois inicialmente a opção de investimento no equipamento atual era menos preferida do que a opção da East Pen, logo considerando essa informação esta alternativa também poderia ser considerada como pontencialmente ótima.

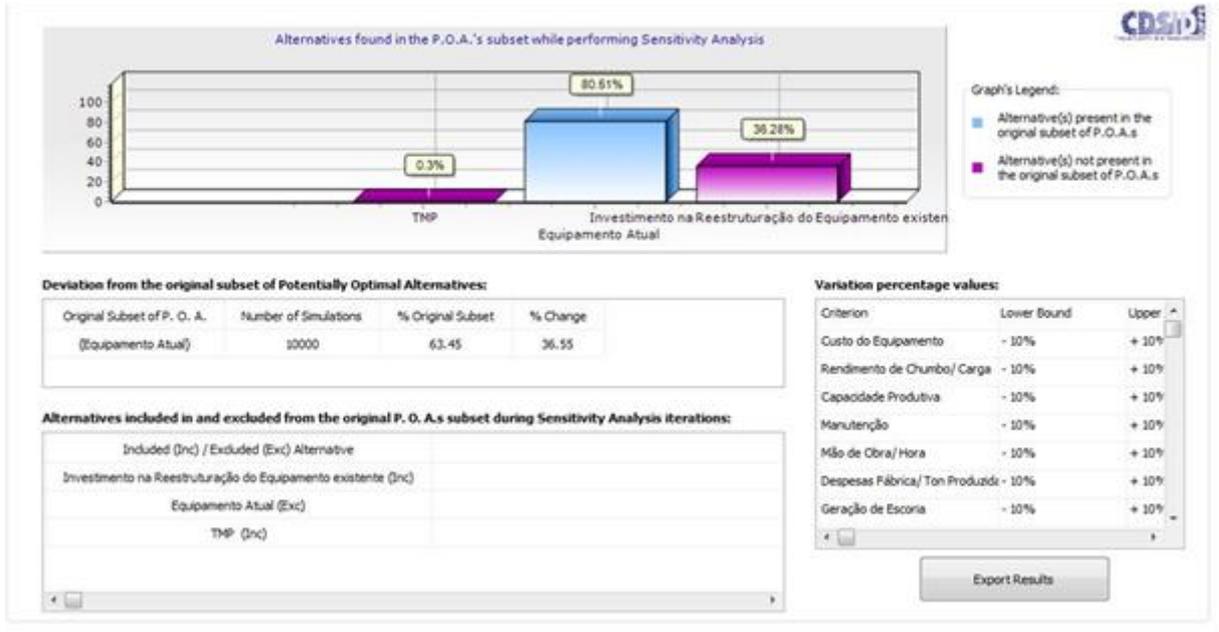


Figura 20 - Análise de Sensibilidade aplicada para o Engenheiro de Instalações
 Fonte: FITtradeoff

Para o engenheiro de instalações como mostra a figura 20 considerando as mesmas condições que o gerente da planta, em 10000 simulações ele continuou optando pela mesma opção em 80,51% das vezes e 36,28% das vezes no investimento do equipamento atual. Esse resultado resume muito as opções de respostas do decisor que sempre favoreceram o critério de custo e dessa forma exclui a opção da East pen que é mais custosa dentre as alternativas.

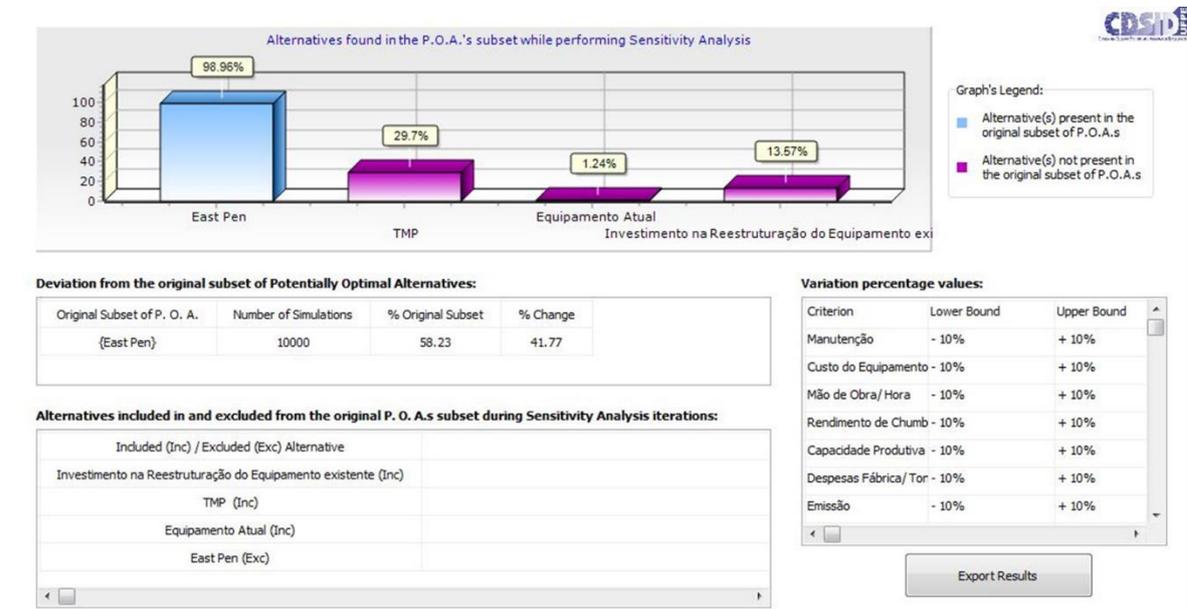


Figura 21- Análise de Sensibilidade aplicada para o Engenheiro de Processos
 Fonte: FITtradeoff

O engenheiro de processos como é possível na figura 21, mostra claramente a preferência pelo melhor equipamento onde 98,96% das vezes ele escolheria a opção da East Pen por ser o equipamento que condiz com as melhores opções para o processo, também é possível ver uma razoável preferência pela TMP equipamento este que também auxilia o processo e por isso nas simulações explica sua preferência, como também explicam a não preferência pelas opções atuais, seja de manutenção do equipamento ou de investimento no mesmo.

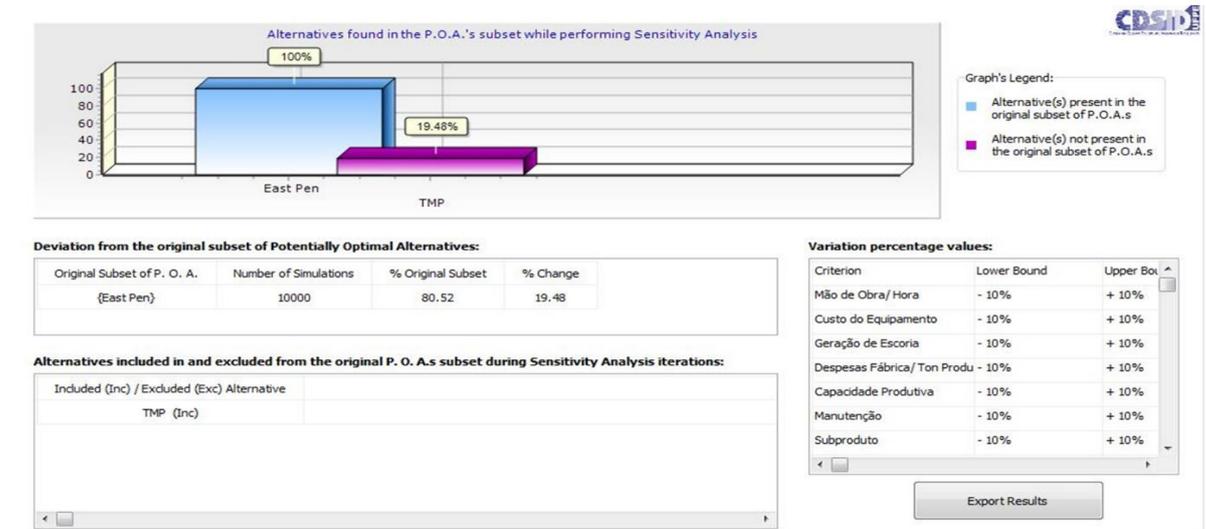


Figura 22- Análise de Sensibilidade aplicada para o Chefe de Produção
Fonte: F11radeoff

O chefe de produção também seguindo a mesma linha de raciocínio como mostra a figura 22, escolheria a opção da East Pen 100% das vezes. Resultado que se explica pelo fato de considerar a capacidade produtividade mão de obra como critério mais importante dentre os demais e com isso a East Pen consegue ampla vantagem em relação às demais e com isso exclui totalmente as demais alternativas. O chefe de produção e o engenheiro de processos tiveram resultados similares devido às características do decisor.

7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com presente trabalho, mostram claramente a eficiência da aplicação do modelo flexível no que diz respeito a facilidade cognitiva oferecida ao decisor, uma vez que nos casos do engenheiro de processos e chefe de produção apenas a ordenação dos critérios foi necessária para se obter uma escolha e de fato as escolhas coincidem com as perspectivas dos cargos e expectativas de processo que eles requerem.

A aplicação do método no gerente da planta e no engenheiro de instalações foi necessária algumas perguntas, mas foi visto uma mudança de comportamento nos resultados do gerente da planta, uma vez que ele é responsável pela decisão e isso refletiu no espaço de consequências, as curvas da programação linear se ajustaram de tal forma que a obtenção das constantes de escala foi mais sensível do que a aplicação do mesmo método nos demais decisores.

O modelo flexível de elicitación quando aplicado diz muito a respeito das características do decisor e ficou evidenciado nos resultados globais das constantes de escala, enquanto o engenheiro e o chefe de produção foram bem sucintos nas análises e obteve um resultado apenas com a ordenação das preferências o engenheiro de instalações precisou de 10 questões e o gerente geral da planta precisou de 35 questões e a diferenças dos resultados mostra a minuciosidade com as respostas e com aquilo que o cargo que ocupam precisa ter com relação ao desempenho da sua função na organização.

Outro fator de grande importância são as soluções que foram obtidas através do método e como a relação dos critérios com os pesos vão se reestabelecendo a cada iteração e mostrando uma nova região de otimalidade para a programação linear aplicada, ainda através dos resultados é possível realizar uma análise de sensibilidade para perceber se variando os critérios dentro de um percentual indicado ou sem variação a opção do decisor seria a mesma.

É importante salientar que embora haja a possibilidade e compra de um novo equipamento, a desejabilidade do decisor acerca das consequências em cada um dos critérios analisados, norteia uma única alternativa ser escolhida como “potencialmente ótima”.

Desta forma, o método de decisão não tem como objetivo “justificar” matematicamente uma escolha de ação pré-definida, pois sendo assim, um método multicritério não seria necessário. Este fato é observado na avaliação de preferências do

gerente da planta, cujo equipamento atual é apontado como a alternativa mais desejável. Embora houvesse um desejo prévio de que pudesse haver a compra de um novo equipamento, a agregação da desejabilidade de todos os critérios traduz matematicamente a racionalidade do decisor, cuja ação mais desejável é apontada como recomendação na tomada de decisão.

O método se mostra muito eficaz dentro do que se propõe a fazer e fornece uma flexibilidade para o decisor continuar a elicitación ou parar quando for necessário, pode-se deixar como sugestão embora a decisão final seja do gerente geral cada um dos envolvidos nesse trabalho tem seu papel para demonstrar qual a melhor opção à aplicação de um modelo de apoio a decisão em grupo para evidenciar ainda mais os resultados e entender as prioridades dos decisores para uma decisão em conjunto mais assertiva e conclusiva do ponto de vista geral dos envolvidos.

Além disso, a geração de informação obtida em cada uma das perguntas respondidas ou ate mesmo na ordenação dos critérios, será de grande importância na decisão final sobre a viabilidade de mudança no processo de carbonatação do óxido, cuja agregação dos resultados dos diversos decisores é proposta como trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- A. T. de Almeida, C. A. V. Cavalcante, M. H. Alencar, R. J. P. Ferreira, A. T. de Almeida-Filho, and T. V. Garcez, **Multicriteria and Multi-Objective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis**, vol. 231 of **International Series in Operations Research & Management Science**, Springer, New York, NY, USA, 2015.
- A. T. de Almeida, J. A. de Almeida, A. P. C. S. Costa, and A. T. de Almeida-Filho, “**A new method for elicitation of criteria weights in additive models: flexible and interactive tradeoff**,” *European Journal of Operational Research*, vol. 250, no. 1, pp. 179–191, 2016.
- A. Jiménez, A. Mateos, and P. Sabio, “**Dominance intensity measure within fuzzy weight oriented MAUT: An application**,” *OMEGA - The International Journal of Management Science*, vol. 41, no. 2, pp. 397–405, 2013.
- ARAI, K.; TOGURI, J.M., **Leaching of sulphate in sodium carbonate solution**, *Hydrometallurgy*,12, 49-59, 1984.
- CORRÊA, Henrique L., CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. 5. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010.
- Dell’Ovo, M., Frej, E. A., Oppio, A., Capolongo, S., Morais, D. C., & de Almeida, A. T. **Multicriteria Decision Making for Healthcare Facilities Location with Visualization Based on FITradeoff Method**. In: Linden, I., Liu, C., Colot, C. *Decision Support Systems VII. Data, Information and Knowledge Visualization in Decision Support Systems. LNBIP 282*, pp. 32-44. Springer, Cham. (2017) doi: 10.1007/978-3-319-57487-5_3
- D. Kannan, K. Govindan, and S. Rajendran, “**Fuzzy axiomatic design approach based green supplier selection: a case study from Singapore**,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 96, pp. 194–208, 2015.
- East Pen. **East Pen Lead-Acid Battery**, Disponível em: < www.eastpenmanufacturing.com/>. Acesso em: 06, maio de 2019.
- FITradeoff. **FITradeoff**, Disponível em: < <http://fitradeoff.org/>>. Acesso em: 16, maio de 2019.

Frej, E.A., Roselli, L.R.P., de Almeida, J.A., de Almeida, A.T.: **A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. Mathematical Problems in Engineering.** 2017, 1-9 (2017). doi: 10.1155/2017/4541914

Kenney, R.L.; Raiffa, H. **Decision with multiple objectives: preferences and value trade-offs.** New York: John Wiley, 1976.

Marchetto, R. I., ‘**A Reciclagem de Chumbo no Brasil**’ Seminário de reciclagem de **Metais Não Ferrosos** - São Paulo-SP - out/2000

Pardalos, P. M.; Siskos, Y.; Zopounidis, C. **Advances in multicriteria analysis, Kluwer Academic Publishers, 1995.**

P. Parthiban, H. Abdul Zubar, and P. Katarar, “**Vendor selection problem: A multi-criteria approach based on strategic decisions,**” **International Journal of Production Research,** vol. 51, no. 5, pp. 1535–1548, 2013.

R. Stewart and S. Mohamed, “**IT/IS projects selection using multi-criteria utility theory,**” **Logistics Information Management,** vol. 15, no. 4, pp. 254–270, 2002.

Roy, B. **Multicriteria methodology goes decision aiding.** Kluwer Academic Publishers. 1996.

S. Soner Kara, “**Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment,**” **Expert Systems with Applications,** vol. 38, no. 3, pp. 2133–2139, 2011.

TMP. **Indústrias TMP,** Disponível em: <<https://industriastmp.com/>>. Acesso em: 08 maio de 2019.

TRINDADE, R.B.E.; MARQUES, S., **Alguns aspectos sobre reciclagem de materiais e metalurgia secundária de metais não ferrosos,** In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDOMETALURGIA, 2., 1985, Rio de Janeiro. Anais, pg. 487- 501.

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

ANEXO A – RESULTADO FINAL DO FITRADEOFF

Decisor	Critério	j										Valor Máximo	nº de Pergunta	Alternativa Escolhida
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Gerente	Nome	K(Custo do Equipamento)	K(Rendimento de Chumbo/ Carga)	K(Capacidade Produtiva)	K(Manutenção)	K(Mão de Obra/ Hora)	K(Despesas Fábrica/ Ton Produzida)	K(Subproduto)	K(Geração de Escória)	K(Emissão)	0,515	35	Equipamento Atual	
	Kj	0,515	0,2575	0,1288	0,0523	0,0262	0,0155	0,0019	0,0019	0,0009				
Engº de Processos	Nome	K(Rendimento de Chumbo/ Carga)	K(Despesas Fábrica/ Ton Produzida)	K(Mão de Obra/ Hora)	K(Manutenção)	K(Capacidade Produtiva)	K(Custo do Equipamento)	K(Emissão)	K(Geração de Escória)	K(Subproduto)	1	0	East Pen	
	Kj	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
Chefe de Produção	Nome	K(Capacidade Produtiva)	K(Mão de Obra/ Hora)	K(Rendimento de Chumbo/ Carga)	K(Emissão)	K(Geração de Escória)	K(Manutenção)	K(Despesas Fábrica/ Ton Produzida)	K(Custo do Equipamento)	K(Subproduto)	1	0	East Pen	
	Kj	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
Engº de Instalações	Nome	K(Custo do Equipamento)	K(Rendimento de Chumbo/ Carga)	K(Capacidade Produtiva)	K(Manutenção)	K(Mão de Obra/ Hora)	K(Despesas Fábrica/ Ton Produzida)	K(Subproduto)	K(Geração de Escória)	K(Emissão)	0,6667	10	Equipamento Atual	
	Kj	0,6667	0,3333	0	0	0	0	0	0	0				