

Inversão do Método Paraconsistente de Decisão

Felipe Expósito Ferreira

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Centro de Tecnologia – Bloco F – sala 101 – Ilha do Fundão – Rio - Brasil
fexfe@poli.ufrj.br

Renato Flório Cameira

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Centro de Tecnologia – Bloco F – sala 101 – Ilha do Fundão – Rio - Brasil
cameira@poli.ufrj.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar o Método Paraconsistente de Decisão e o Problema Inverso. Fazendo uma análise da inversão do Método Paraconsistente de Decisão e que conclusões podem ser obtidas por essa forma de abordagem.

PALAVRAS CHAVE. Lógica Paraconsistente, Problema Inverso, Método Paraconsistente de Decisão.

Tópicos Tomada de Decisão, Problema Inverso, Lógica Não-Clássica.

ABSTRACT

This paper has the objective to present the Paraconsistent Decision Method and Inverse Problem. Doing an analysis of the inversion of the Paraconsistent Decision Method and what conclusions can be made from this approach.

KEYWORDS. Paraconsistent Logic. Inverse Problem. Paraconsistent Decision Method.

Paper topics Decision Making, Inverse Problem, Non-Classic Logic

1. Introdução

Na era do Big Data e Data Science as informações referentes aos dados utilizados para análises são necessários. Se são consistentes ou se são completos. Isso faz com que os métodos de decisão tenham que estar alinhados com as características dos dados utilizados para análise. Tais características aparecem na tomada de decisão por conta da imprecisão na representação da realidade que podem aparecer como incertas, ambíguas e conflitantes. Podendo ser representado como contradições e a lógica paraconsistente permite tomar uma decisão neste ambiente.

Além disso, inverter um algoritmo de decisão significa conseguir analisar os resultados que não foram favoráveis. Permitindo que se possa classificar em um resultado passível de alteração sob certas condições ou em um resultado que não tem como ser alterado. Dessa forma uma análise do problema inverso de um algoritmo de decisão fortalece a decisão de não favorável. E garante um maior domínio sobre os fatores que influenciam na tomada de decisão.

No artigo feito por [Exposito e Cameira 2014] há um estudo onde foi aplicado o conceito da lógica paraconsistente anotada com *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) escrito por [Albuquerque et al. 2009]. Este artigo tem como foco aplicar o conceito do Problema Inverso à ferramenta de decisão oriunda da lógica paraconsistente anotada utilizando o estudo sobre FMEA como inspiração.

Para tal será apresentado o Método Paraconsistente de Decisão (MPD)* para que o leitor possa entender o que está sendo feito ao inverter. O MPD basicamente lista os fatores relevantes para a tomada da decisão que estarão associados à indicadores. A partir da relação fator e indicador é possível dividir os valores possíveis para os indicadores em 3 regiões: favorável, indiferente e desfavorável. Além disso, os fatores podem ter relevâncias diferentes para a decisão, o que leva a utilização de peso para cada fator. Já as anotações são uma forma de tratar ambiguidades e contradições. Em seguida serão apresentados os conceitos do Problema Inverso.

Por fim, será proposta uma inversão do Método Paraconsistente de Decisão gerando um problema inverso. Logo em seguida, este problema será classificado utilizando os conceitos apresentados quando se abordou o Problema Inverso.

Concluindo com os benefícios que tal abordagem traz para o Método, e de forma análoga, possivelmente, para outros métodos. E averiguar se esse novo Problema Inverso permite tomar decisões que o Método Paraconsistente de Decisão não é capaz.

A aplicação da inversão proposta neste artigo segue o fluxo como representado na Figura 1 e Figura 2. Na Figura 1 fica evidenciado que primeiro se aplica o MPD.

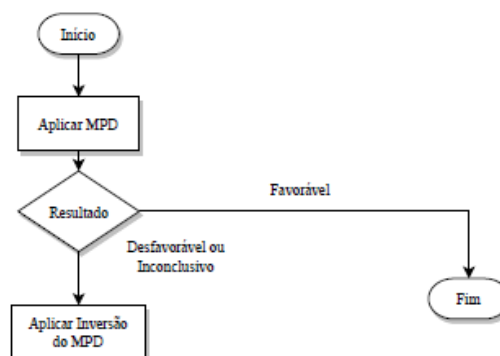


Figura 1: Fluxograma da Aplicação da Inversão do MPD

Com o seu resultado é aplicado a Inversão do MPD como na Figura 2

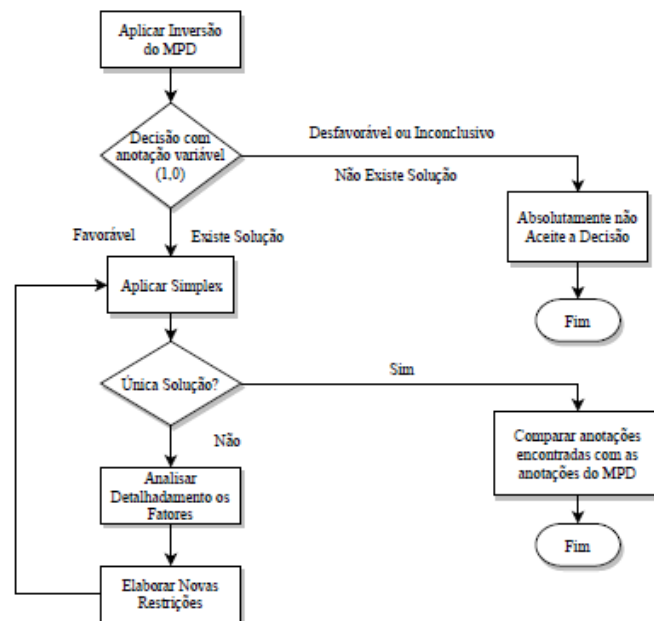


Figura 2: Fluxograma da Aplicação da Inversão do MPD

3. Método Paraconsistente de Decisão

O método paraconsistente de decisão tem como base a lógica paraconsistente anotada evidencial. Tal lógica atribui a cada proposição um par de evidências (a,b). Onde “a” representa o grau favorável e “b” representa o grau de evidência contrária. Ambos os graus são valores entre 0 e 1.

Tendo definido o grau de anotação (a,b), o mesmo pode ser representado geometricamente no quadrado unitário de anotação (como mostrado na Figura 3) quando os possíveis valores do grau de anotação são representados num eixo de coordenadas. No eixo das ordenadas estão os possíveis valores do grau de evidência contrários, já no eixo das abscissas estão os possíveis valores do grau de evidência favorável.

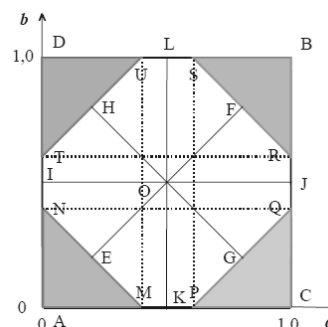


Figura 3: Quadrado Unitário do Plano Cartesiano (QUPC). Adaptado de [Carvalho 2006]

A partir do grau de anotação dois indicadores são definidos: grau de incerteza de anotação (G) e grau de certeza de anotação (H). Tais indicadores são de extrema importância para a definição da região de aceitação do método de decisão estudado. G e H são calculados da seguinte forma:

$$G = a + b - 1$$

$$H = a - b$$

O MPD gera um conjunto de graus de anotação onde a partir deles será calculado o baricentro desses graus de anotação. Com esse baricentro é calculado o seu grau de certeza de anotação (H do baricentro). Por fim, H é comparado com o nível de exigência (NE) para verificar se a decisão do método será favorável ou não.

Nível de exigência (NE) é um valor definido previamente à aplicação do MPD e funciona como um limitante para o H. O NE é o H mínimo para que a decisão do método seja favorável. Do ponto de vista geométrico, o NE determina a semi-reta PQ na Figura 3, e diferentes valores para NE gerará semi-retas paralelas à PQ. Por consequência, será obtida a região CPQ e tal espaço do quadrilátero é denominado região de aceitação.

Portanto, para que o método tenha uma decisão favorável, basta que o grau de certeza da anotação do baricentro seja maior que o valor definido para o nível de exigência. Ou o baricentro esteja localizado na região CPQ do QUPC.

Segundo [Carvalho e Abe 2011] o MPD possui oito etapas que serão divididas para facilitar a abordagem empregada neste artigo. Na Figura 4 é mostrada a primeira etapa do MPD, e seu objetivo é montar uma base dados que será usada para classificar a situação proposta.

O MPD começa com a definição do nível de exigência, depois são definidos os fatores importantes (diferenciando um do outro através de pesos) que influenciam na proposta desejada. Uma vez que os fatores tenham sido listados se faz necessário dividi-los em seções (intervalos de existência).



Figura 4: Fluxo da primeira metade do processo do MPD. Adaptado do [Carvalho e Abe 2011].

Com a base de dados estruturada resta agora levar aos especialistas para que cada um dê um grau de anotação para cada seção. Ao fim desta etapa o engenheiro terá uma base de dados com o formato da Tabela 1.

F_i : significa um fator (i) relevante para a tomada de decisão.

P_i : significa a relevância daquele do fato (i) para a tomada decisão. Já que será feita através do cálculo do baricentro.

$S_{i,j}$: significa seção (j) do fator (i). Vale ressaltar que cada fator será particionado em seções. Se for um valor quantitativo será feito através de intervalo i.e. $x < a$; $a < x < b$; $x > b$. Se for qualitativo será feita através de classificações i.e. (grande, médio, pequeno). Geralmente os fatores são divididos em três ou cinco seções. Com três seções, uma delas representa uma situação favorável à decisão, a outra seção representa uma situação indiferente à decisão e a terceira seção representa uma situação desfavorável à decisão. Para fatores com cinco seções, tem-se a adição de outras duas seções, uma muito favorável e a outra muito desfavorável.

E_i : significa especialista (i).

$m_{i,j,z}$: significa anotação para o fator (i) da seção (j) dada pelo especialista (z).

Tabela 1: Anotações dadas por cada especialista. Adaptado do [Carvalho e Abe 2011].

Fatores	Pesos	Seções	E_1	E_2	E_3	E_4
F_1	P_1	$S_{1,1}$	$m_{1,1,1}$	$m_{1,1,2}$	$m_{1,1,3}$	$m_{1,1,4}$
		$S_{1,2}$	$m_{1,2,1}$	$m_{1,2,2}$	$m_{1,2,3}$	$m_{1,2,4}$
		$S_{1,3}$	$m_{1,3,1}$	$m_{1,3,2}$	$m_{1,3,3}$	$m_{1,3,4}$
F_2	P_2	$S_{2,1}$	$m_{2,1,1}$	$m_{2,1,2}$	$m_{2,1,3}$	$m_{2,1,4}$
		$S_{2,2}$	$m_{2,2,1}$	$m_{2,2,2}$	$m_{2,2,3}$	$m_{2,2,4}$
		$S_{2,3}$	$m_{2,3,1}$	$m_{2,3,2}$	$m_{2,3,3}$	$m_{2,3,4}$
F_3	P_3	$S_{3,1}$	$m_{3,1,1}$	$m_{3,1,2}$	$m_{3,1,3}$	$m_{3,1,4}$
		$S_{3,2}$	$m_{3,2,1}$	$m_{3,2,2}$	$m_{3,2,3}$	$m_{3,2,4}$
		$S_{3,3}$	$m_{3,3,1}$	$m_{3,3,2}$	$m_{3,3,3}$	$m_{3,3,4}$

Ao terminar a primeira metade do MPD devem ser feitas as etapas finais, mostradas na Figura 5. Tendo a Tabela 1 completa deve ser realizada uma pesquisa de campo. Onde cada fator é avaliado com o objetivo de afirmar a qual seção cada fator se apresenta na realidade.



Figura 5: Fluxo da segunda metade do processo do MPD. Adaptado do [Carvalho e Abe 2011].

O término da pesquisa de campo ocorre com o conjunto de dados no formato da Tabela 2. Para calcular o baricentro das anotações é necessário tratar as colunas (E_1 , E_2 , E_3 , E_4). Fazendo com que as 4 colunas sejam transformadas em apenas 1 coluna. Além disso, vale ressaltar que a, b e c não precisam ter os mesmos valores.

Tabela 2: Anotações associadas às seções da pesquisa. Adaptado do [Carvalho e Abe 2011].

Fatores	Pesos	Seções	E_1	E_2	E_3	E_4
F_1	P_1	$S_{1,l}$	$m_{1,l,1}$	$m_{1,l,2}$	$m_{1,l,3}$	$m_{1,l,4}$
F_2	P_2	$S_{2,p}$	$m_{2,p,1}$	$m_{2,p,2}$	$m_{2,p,3}$	$m_{2,p,4}$
F_3	P_3	$S_{3,o}$	$m_{3,o,1}$	$m_{3,o,2}$	$m_{3,o,3}$	$m_{3,o,4}$

Os operadores lógicos da lógica paraconsistente anotada evidencial definidos por [Carvalho e Abe 2011] e [Carvalho 2006] como: AND, OR, NOT, MÁX e MÍN.

Tais operadores devem ser empregados, pois apesar de ser necessário consultar os especialistas suas opiniões possuirão relevâncias diferentes e o MPD deve contabilizar isto em sua decisão. E cada um desses operadores estabelece uma relação entre os especialistas, além de evidenciar a relevância de tal fator.

Neste artigo não é discorrido sobre tais operadores uma vez que o objetivo é inverter o MPD no aspecto matemático.

Depois de aplicar os operadores lógicos os dados tratados estarão no formato da Tabela 3. Para concluir basta calcular o baricentro das anotações.

Nesta anotação ($a_{1,R}$; $b_{1,R}$) o R foi o resultado dos operadores lógicos aplicados às anotações da Tabela 2.

Tabela 3: Resultado final para o cálculo do baricentro. Adaptado do [Carvalho e Abe 2011].

Fatores	Pesos	Seções	Anotação
F_1	P_1	$S_{1,l}$	$(a_{1,R}; b_{1,R})$
F_2	P_2	$S_{2,p}$	$(a_{2,R}; b_{2,R})$
F_3	P_3	$S_{3,o}$	$(a_{3,R}; b_{3,R})$

Para o cálculo das anotações basta aplicar as seguintes fórmulas:

$$a_w = \frac{\sum_1^3 (P_i) \cdot (a_{i,R})}{\sum_1^3 P_i} \quad (1)$$

$$b_w = \frac{\sum_1^3 (P_i) \cdot (b_{i,R})}{\sum_1^3 P_i} \quad (2)$$

Aplicando (1) e (2) o engenheiro poderá calcular o grau de certeza do baricentro fazendo o seguinte cálculo:

$$H_w = a_w - b_w \quad (3)$$

Para finalizar o MPD basta comparar o valor do H_w com NE e segundo [Carvalho e Abe 2011] são possíveis 3 resultados:

- I. Se $H_w \geq NE$, a decisão é favorável e recomenda a execução do empreendimento.
- II. Se $H_w \leq -NE$, a decisão é desfavorável e não recomenda a execução do empreendimento.
- III. Se $-NE < H_w < NE$, a análise é não conclusiva.

É preciso salientar que tal método foi explicitado neste artigo para que o leitor entenda o escopo da inversão. O objetivo é invertê-lo no resultado da aplicação dos operadores lógicos da lógica paraconsistente anotada. Além disso, se faz necessário que o MPD já tenha sido aplicado e seu resultado tenha sido ou II ou III.

4. Problema Inverso (PI)

Segundo Englet al. [apud Velho 2001] sobre problema inverso é dada a seguinte definição “a solução de um problema inverso consiste em determinar causas baseado na observação dos seus efeitos”.

De uma forma mais rústica é possível exemplificar da seguinte forma: seja o problema direto $A + B = C$ em que se conhece os valores de A e B. O seu problema inverso seria encontrar os valores de A e B que gerem um resultado C conhecido.

O problema direto pode ser representado de uma forma mais didática como na Figura 6 e ser formalizado segundo [Baumeister e Leitão 2005] da seguinte forma:

X: espaço dos dados de entrada.

Y: espaço dos dados de saída.

P: espaço dos parâmetros.

A(p): sistema de operadores de $X \rightarrow Y$ associado a $p \in P$.

Há três tipos de problemas:

- I. **Problema Direto:** sendo $x \in X$ e $p \in P$, calcule $y := A(p)x$. Tendo os dados de entrada e o sistema de parâmetros encontre os dados de saída.
- II. **Problema Inverso de Reconstrução:** sendo $y \in Y$ e $p \in P$, encontre $x \in X$ tal que $A(p)x = y$. Tendo o sistema de parâmetros e os dados de saída, encontre os dados de entrada que geram esse dado de saída.
- III. **Problema Inverso de Identificação:** sendo $y \in Y$ e $x \in X$, encontre $p \in P$ tal que $A(p)x = y$. Tendo os dados de entrada e os de saída, encontre o sistema de parâmetros que relacione os dados de entrada com os dados de saída.

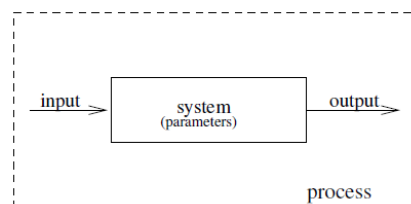


Figura 6: Representação do problema direto. Adaptado [Baumeister e Leitão 2005].

No estudo dos tipos de problema há uma classificação quanto a sua solução. Segundo Hadamard *apud* [Neto e Neto 2005] para que um problema seja considerado bem posto é necessário que três requisitos sejam cumpridos:

- I. Existência: tem solução.
- II. Unicidade: a solução é única.
- III. Regularidade: solução depende suavemente dos dados.

Basta que um destes requisitos não seja cumprido para que o problema seja considerado mal-posto. Em sua maioria os problemas inversos são mal-postos. Além disso, segundo [Velho 2001] há outras formas de classificar um problema:

- I. Natureza matemática: explícito, implícito.
- II. Natureza estatística: determinista, estocástico.
- III. Natureza da propriedade estimada: condição inicial, condição de contorno, termo de fonte/sumidouro, propriedades do sistema.
- IV. Natureza da solução: estimação de parâmetros, estimação de função.

Por fim, problemas inversos podem ser classificados quanto à dimensão. Segundo [Neto e Neto 2005] os problemas são classificados em três tipos:

Tipo I: estimação de um número finito de parâmetros em um modelo de dimensão finita.

Tipo II: estimação de um número finito de parâmetros em um modelo de dimensão infinita.

Tipo III: estimação de um número infinito de parâmetros ou de uma função em um modelo de dimensão infinita.

Tendo definido o problema inverso e suas classificações, resta inverter o MPD e classificá-lo segundo os conceitos apresentados.

5. Inversão do MPD (Método Paraconsistente de Decisão)

A inversão deve ocorrer uma vez que o MPD já tenha sido aplicado. Para tal os conceitos do problema inverso serão empregados uma vez que o engenheiro já tenha os valores da Tabela 3. O objetivo será avaliar os dados de entrada e definir o sistema de parâmetros (pesos, anotações fixas). Além de ter restringido os valores do grau de certeza do baricentro para $H \geq NE$.

O primeiro passo da inversão é definir quais fatores podem ser alterados por ações do engenheiro conforme mostrado na Tabela 4. Definindo duas categorias de anotações: as anotações constantes e as anotações variáveis. Sendo a primeira tratada nos cálculos como uma constante e a segunda como uma incógnita.

Na tabela 4, de F_1 a F_N estão representados os fatores com anotações constantes, enquanto de F_{N+1} a F_n estão representados os fatores com anotações variáveis. Já os pesos associados aos fatores e o operador cálculo do baricentro corresponderão ao sistema de parâmetros $A(p)$.

Tabela 4: Separação das anotações constantes das anotações variáveis.

Fatores	Pesos	Seções	Anotação
F_1	P_1	$S_{1,j}$	$(a_{1,R}; b_{1,R})$
F_2	P_2	$S_{2,j}$	$(a_{2,R}; b_{2,R})$
...	...	...	...
F_N	P_N	$S_{N,j}$	$(a_{N,R}; b_{N,R})$
F_{N+1}	P_{N+1}	$S_{N+1,j}$	$(a_{N+1,R}; b_{N+1,R})$

Continua.

Tabela 4: Separação das anotações constantes das anotações variáveis (continuação).

Fatores	Pesos	Seções	Anotação
...	...	...	...
F_n	P_n	$S_{n,j}$	$(a_{n,R}; b_{n,R})$

Sendo a_w e b_w as anotações do baricentro, com a restrição $H \geq NE$. Ou seja, $a_w - b_w \geq NE$. Reescrevendo as equações (1) e (2) onde no primeiro membro tem as anotações do baricentro e a anotação constante, e no segundo membro tem a anotação variável são encontradas as seguintes equações.

$$(a_w) \cdot (\sum_1^n P_i) - \sum_1^N (P_i) \cdot (a_{i,R}) = \sum_{N+1}^n (P_i) \cdot (a_{i,R}) \quad (4)$$

$$(b_w) \cdot (\sum_1^n P_i) - \sum_1^N (P_i) \cdot (b_{i,R}) = \sum_{N+1}^n (P_i) \cdot (b_{i,R}) \quad (5)$$

A partir das equações (4) e (5) já é possível classificar o problema inverso do MPD a partir dos conceitos apresentados anteriormente. O problema inverso do MPD é um problema inverso de reconstrução uma vez que se sabe a priori a anotação do baricentro (y), os pesos dos fatores e os operadores do baricentro $[A(p)]$. O que se quer encontrar são as anotações que fazem com que a restrição $H \geq NE$ seja satisfeita.

Além disso, pelo fato de ser possível equacionar as anotações variáveis em função do baricentro e as anotações constantes, o PI do MPD pode ser classificado como explícito. Pela natureza de suas variáveis serem deterministas, com condições de contorno e estimação de parâmetros.

Uma vez que o PI do MPD possui duas equações e, provavelmente, mais de duas incógnitas é muito provável que o problema inverso seja mal-posto. Por fim, uma vez que os parâmetros são finitos e o modelo também é de dimensão finita fica provado que o PI do MPD é um problema inverso do Tipo I.

6. Modelagem do Problema

Primeiro será definida a função objetivo como sendo a equação (3). Só que o objetivo será minimizá-la, já que se quer descobrir o mínimo que se precisa alterar para que o MPD seja favorável à decisão. Logo, minimizar a equação (3) é a maximizar a equação (6) = (3)*(-1).

$$-H = (b_w) - (a_w) \quad (6)$$

É preciso salientar que a_w e b_w não são variáveis para o problema de PO porque são expressões matemáticas. Entretanto, dado o tamanho da sua equação tais expressões serão associadas às variáveis a_w e b_w para que o artigo não fique longo desnecessariamente. A partir das equações (4) e (5), temos:

$$a_w = [\sum_1^N (P_i) \cdot (a_{i,R}) + \sum_{N+1}^n (P_i) \cdot (a_{i,R})] : (\sum_1^n P_i) \quad (7)$$

$$b_w = [\sum_1^N (P_i) \cdot (b_{i,R}) + \sum_{N+1}^n (P_i) \cdot (b_{i,R})] : (\sum_1^n P_i) \quad (8)$$

São constantes para o problema e de conhecimento prévio: o nível de exigência (NE) e as constantes de variação $\{(a_{i,R}) \text{ e } (b_{i,R}) \mid 1 \leq i \leq N\}$. $\{NE, (a_{i,R}), (b_{i,R})\} \in [0,1]$. São variáveis para o problema as anotações variáveis $\{(a_{i,R}) \text{ e } (b_{i,R}) \mid N + 1 \leq i \leq n\}$. $\{(a_{i,R}), (b_{i,R})\} \in [0,1]$.

Apesar de a_w e b_w não serem variáveis será feita a seguinte definição $\{a_w, b_w\} \in [0,1]$. Com isso é concluído que todas as variáveis são não-negativas.

A partir destas definições serão elaboradas as restrições do problema. Sendo $N + 1 \leq i \leq n$ seguem as restrições:

$$(a_{i,R}) \leq 1 \text{ e } (b_{i,R}) \leq 1 \quad (9) \text{ e } (10)$$

As equações (8) e (9) devem ser padronizadas adicionando a variável de folga ($x_{i,c}$) onde $c =$ ou a ou b . Além disso, $(a_{i,R})$ e $(b_{i,R})$ podem ser representados por $(c_{i,R})$ onde novamente $c =$ ou a ou b . Reescrevendo:

$$(c_{i,R}) + (x_{i,c}) = 1, N + 1 \leq i \leq n \quad (11)$$

A partir da equação (3) sabe-se que $H \in [-1, 1]$, porém para que o MPD seja favorável é necessário que $H \geq NE$. Logo, $H \in [NE, 1]$. Mas a função objetivo será $(3)*(-1)$, logo $(-H) \in [-1, -NE]$. A partir disso:

$$(b_w) - (a_w) \geq -1 \quad (12)$$

$$(b_w) - (a_w) \leq -NE \quad (13)$$

Padronizando as equações (11), (12) e com a inserção de variáveis de folga:

$$(b_w) - (a_w) - x_w = -1 \quad (14)$$

$$(b_w) - (a_w) + x_{NE} = -NE \quad (15)$$

Uma vez tendo as equações (6), (11), (14), (15) e sabendo que todas as variáveis são não-negativas ficam atendidos os requisitos para que se aplique o método simplex.

7. Resolução do Problema

Para que o simplex seja devidamente aplicado é necessário descobrir se há uma solução para o problema de PO. Ao analisar a função objetivo e suas restrições e combinar com as restrições para cada anotação variável $[0,1]$. É possível concluir que a forma mais rápida de se encontrar uma solução é maximizar o grau de certeza (H) de cada anotação, dessa forma a contribuição das anotações variáveis será máxima. Para tal basta assumir que $a_{i,R} = 1$ e $b_{i,R} = 0$, dessa forma a_w será máximo e b_w será mínimo.

Com essa etapa há algumas análises que podem ser feitas. A primeira delas é que se todas as anotações variáveis forem $(1,0)$, e mesmo assim não for encontrada uma solução para o problema inverso, a decisão do MPD pode ser negada absolutamente. Uma vez que qualquer alteração seja feita nos valores das anotações acarretará em um resultado não-favorável.

Tendo solução para o problema inverso, cabe uma análise do número mínimo de alterações nas anotações para que a decisão do MPD seja favorável. Ou seja, o número de variáveis do problema de PO pode ser menor do que o número de anotações variáveis.

Logo, as anotações variáveis que serão tratadas como constante no problema de PO assumirão os valores de quando o MPD foi aplicado e negado. Com isso, o engenheiro terá o menor número de variáveis possível e com isso as alterações sobre os fatores que afetam o MPD também será mínimo.

Ao encontrar uma solução para o problema de PO será possível aplicar o Simplex. Seu resultado retornará ou uma solução ótima ou infinitas soluções ótimas. Caso encontre uma única solução ótima resta analisar as alterações necessárias. Entretanto, se forem infinitas soluções deve

ser analisado a Tabela 3 e utilizando o Peso associado aos fatores de cada anotação, novas restrições para o problema de PO podem ser criadas.

Seja esforço (Es) uma relação de um ou mais parâmetros a partir dele é possível hierarquizar as anotações variáveis que são as variáveis no problema de PO. Denotando o esforço necessário que um fator F_i oferece para alterar de uma seção S_i para outra S_j . E utilizando os parâmetros que definem (Es) pode ser possível elaborar novas restrições. Caso tenha infinitas soluções e não se consiga criar novas restrições, se faz o necessário um estudo mais aprofundado do esforço (Es) e seus parâmetros.

8. Exemplo

Será adaptado um exemplo de [Carvalho, Abe 2011] que retrata a tomada decisão quanto à viabilidade no lançamento de um produto. São 10 fatores com o mesmo peso e todos divididos em 5 seções. O Nível de Exigência para este exemplo é 0,75.

F_{01} : necessidade e utilidade do produto – traduzida pela porcentagem π da população que dele se utiliza.

F_{02} : quantidade (η) de atributos ou funções do produto – medida por comparação com a média M de atributos ou funções dos produtos similares do mercado.

F_{03} : concorrência – traduzida pela qualidade e quantidade de concorrentes na região.

F_{04} : potencialidade dos clientes – traduzida pelo tamanho e poder aquisitivo da população da região.

F_{05} : aceitação do produto ou de produto similar já existente no mercado – traduzida pela porcentagem π da população que dele se utiliza.

F_{06} : preço (ϕ) do produto no mercado – traduzido em função do preço médio P de produto igual (ou de produtos similares) já existentes no mercado.

F_{07} : custo estimado (θ) do produto – traduzido em função do preço médio P de produto igual (ou de produtos similares) já existente no mercado.

F_{08} : ciclo de vida (C) do produto – medido numa unidade de tempo T (um ano, por exemplo).

F_{09} : prazo (λ) para desenvolvimento do projeto e implantação do produto – medido em função do ciclo de vida (C).

F_{10} : investimento (I) para desenvolvimento do projeto de implantação do produto – medido em função do resultado líquido (R) esperado no ciclo de vida do produto.

Neste exemplo, a tabela 5 continha os valores com as informações necessárias para o cálculo do baricentro. Tais valores foram obtidos depois que especialistas definiram os graus de anotação para cada seção de cada fator. Uma vez definida as anotações para a realidade associada, foram aplicados operadores lógicos para que se tenha uma única anotação para cada fator. Neste caso foi utilizado o MÍN.

Tabela 5: Exemplo utilizado para a aplicação da inversão.

Fatores	a	b	H
F_{01}	0,73	0,19	0,54
F_{02}	1,00	0,05	0,95
F_{03}	0,77	0,23	0,54
F_{04}	0,91	0,11	0,80
F_{05}	0,80	0,20	0,60
F_{06}	1,00	0,10	0,90

Continua.

Tabela 5: Exemplo utilizado para a aplicação da inversão (continuação).

Fatores	a	b	H
F_{07}	0,75	0,25	0,50
F_{08}	0,92	0,12	0,80
F_{09}	0,95	0,15	0,80
F_{10}	0,63	0,19	0,44
Baricentro	0,846	0,159	0,687

Como $-0,75 < 0,687 < 0,75$ a decisão é inconclusiva. Já que o baricentro está numa região de análise não conclusiva. Para a aplicação da inversão do MPD basta que o baricentro não pertença à região de decisão favorável (projeto viável). Mas antes é necessário analisar cada um dos fatores quanto a sua possibilidade de variar num horizonte de tempo. Num horizonte longo todos poderão variar, mas se o horizonte for curto, alguns poderão ser constantes e outros passíveis de variação. Os fatores ficam classificados da seguinte forma:

- Anotações Variáveis: F_{02} , F_{06} , F_{07} e F_{08} .
- Anotações Constantes: F_{01} , F_{03} , F_{04} , F_{05} , F_{09} e F_{10} .

Para cada anotação variável a anotação deve ser um valor que faça o H ser máximo, ou seja, $a = 1$ e $b = 0$. As anotações constantes devem ser mantidas. O novo valor do baricentro deve ser calculado $a = 0,879$, $b = 0,107$ e $H = 0,772$. Como $0,772 > 0,75$ é verificado que é ter uma decisão favorável. Basta que as anotações variáveis sejam alteradas e ao aplicar os conceitos de PO é possível modelar e otimizar as anotações variáveis. Para isso, é preciso que se faça uma análise mais aprofundada de cada fator com o objetivo de descobrir qual deve ser o valor ótimo. Vale ressaltar que o problema inverso estará cumprindo os requisitos para que se possa aplicar o Simplex. Porque as restrições são conhecidas, a função objetivo já foi definida e já foi encontrada uma solução possível.

Buscar as alterações necessárias para que uma decisão se torne favorável não é o único benefício da resolução do problema inverso. Há também a análise de quando a decisão não consegue se tornar uma decisão favorável ($H \geq NE$). Considere a situação onde mesmo tendo definido as anotações variáveis e atribuído a anotação ($a = 1$, $b = 0$) para cada um deles o $H < 0,75$. Isso quer dizer que não há medidas possíveis que possam tornar a decisão favorável.

9. Conclusão

Com a inversão do MPD é possível fortalecer, logicamente falando, a postura de não aceitação. O MPD possui dois cenários de não aceitação ($H \leq -NE$) e ($-NE < H < NE$). Onde o primeiro recusa e o segundo é não conclusivo.

Entretanto, ao inverter e fazer a classificação das anotações em constantes e variáveis, somado ao fato de que em uma anotação qualquer (a , b), tanto (a) quanto (b) pertencem ao intervalo $[0, 1]$ é possível assumir que todas as anotações variáveis terão os valores com a máxima contribuição para o valor de H.

Ou seja, para cada anotação variável o seu $a = 1$ e o seu $b = 0$, tendo a anotação (1, 0). Se mesmo assim a condição $H \geq NE$ não for cumprida, será possível afirmar que não há ação possível que faça com que o resultado do MPD seja favorável ao empreendimento.

Portanto, após a análise do problema inverso do método paraconsistente de decisão o aplicador da inversão do MPD terá informações para que **absolutamente não aceite a decisão**.

Além disso, uma análise bem como a resolução do MPD permite que o método deixe de ser uma ferramenta de decisão, e passe a ser um sistema fechado de gestão. O estudo não termina na decisão do MPD, uma vez que as condições podem ser avaliadas para que a decisão seja

diferente. Permitindo que seja feita uma melhoria contínua uma vez que fecha o sistema como mostrado na Figura 7, além de dar um maior domínio do engenheiro sobre sua realidade.

Com a solução do problema inverso fica possível fazer uma análise a fim de alterar o resultado de MPD não-favorável. Analisando a solução ótima única, é possível ter casos onde ao se comparar as anotações $(a_{i,nf}; b_{i,nf})$ de quando MPD deu resultado não-favorável, com as anotações $(a_{i,po}; b_{i,po})$ da solução do problema de PO, podem ocorrer casos onde um fator F_i tenha um grau de certeza (H) neste maior do que naquele.

Isso pode ocorrer pois os fatores possuem pesos diferentes no cálculo do baricentro. Porém, isso evidencia que a aplicação do método inverso não serve apenas para o caso em que seja não-favorável. Ele serve também para os casos favoráveis, uma vez que ele pode otimizá-los. Sendo necessário fazer, apenas alguns ajustes na modelagem do problema.

Cada anotação está associada a um fator, mas nem todo fator é passível de alteração. Será classificado como uma anotação variável aquela que estiver associada a um fator passível de alteração, e que seja relevante descobrir o valor mínimo da anotação necessária para a decisão ser favorável. Utilizando os pesos dos fatores e o esforço (Es) para fazer tais classificações.

Permitindo um ciclo virtuoso de melhoria contínua uma vez que fecha o sistema da tomada de decisão utilizando o MPD conforme representado na Figura 7.

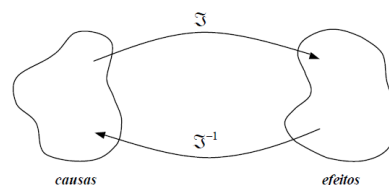


Figura 7: Sistema fechado por conta do Problema Direto e Inverso. Adaptado [Velho 2001]

Referências

- ALBUQUERQUE, A.R., KLIEWER, J. B., CAMPOS, I. P. A., STUDZINSKI, C., KLIEWER, M. (2009). "Risk evaluation supported by annotated paraconsistent logic: a study of a vehicle manufacturer", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 32:81-91.
- BAUMEISTER, J., LEITÃO, A. (2005). "Topics in Inverse Problems". 25 Colóquio Brasileiro de Matemática, Rio de Janeiro, CBM. Web page: https://impa.br/wp-content/uploads/2017/04/25CBM_13.pdf. Acessado: 09/12/2017.
- CAMPOS VELHO, H. F. (2001). "Problemas Inversos: Conceitos Básicos e Aplicações". IV Encontro de Modelagem Computacional, p. 63-79, Rio de Janeiro, IPRJ-UERJ. Web page: <http://www.lac.inpe.br/~haroldo/CursoPI/CursoPI.pdf>. Acessado: 09/12/2017.
- CARVALHO, F. R. (2006), *Aplicação de Lógica Paraconsistente Anotada em Tomadas de Decisão na Engenharia de Produção*, Tese de D.Sc., Univesidade de São Paulo, São Paulo. Web page: <http://www.teses.usp.br>. Acessado: 09/12/2017.
- CARVALHO, F. R., ABE, J. M. (2011). *Tomadas de Decisão com Ferramentas da Lógica Paraconsistente Anotada*. Blucher, São Paulo.
- EXPÓSITO, F. F., CAMEIRA, R. F. (2014). "Lógica Paraconsistente: Um Revisão Bibliográfica de suas Aplicações". XXI Simpósio de Engenharia de Produção, São Paulo, SIMPEP. Web page: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais.php>. Acessado: 09/12/2017.
- NETO, A. J. S., NETO, F. D. M. (2005). *Problemas Inversos Conceitos Fundamentais e Aplicações*. EdUERJ, Rio de Janeiro.