

Avaliação Multicritério dos Portos quanto à sustentabilidade: TODIM x MACBETH

Armando Gonçalves Madeira Junior, Luis Fernando do Nascimento,
Marcos Roberto Seixas e Mischel Carmen Neyla Belderrain

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - São José dos Campos - SP

Resumo — Os portos são elementos de vital importância para o Poder Marítimo, principalmente no Brasil onde mais de 90% do fluxo de comércio externo brasileiro transita por esta infra-estrutura, sendo estratégico para o País a devida regulação da atividade por parte das agências reguladoras e da Marinha do Brasil. Para tal, este artigo tem o propósito de apresentar: a) um modelo de avaliação de desempenho portuário considerando a sustentabilidade (ambiental e segurança) baseado nos métodos multicritérios TODIM e MACBETH; b) comparação entre os métodos.

Palavras-Chave — Portos, TODIM, MACBETH.

I. INTRODUÇÃO

A Teoria do Poder Marítimo, segundo o almirante Alfred Mahan, baseia-se em ato historicamente comprovado, pois o controle dos mares para fins comerciais e militares fora sempre trunfo decisivo em todas as guerras ocorridas nos séculos XVII e XVIII. Portanto, ele reconheceu a grande influência do mar na consecução da Política Nacional e que o Poder Marítimo não é formado somente com o Poder Naval (Marinha de Guerra), mas, também, por uma relevante Marinha Mercante, além de poderosas bases navais, estaleiros ativos e **eficientes portos marítimos** e fluviais [1].

No campo estratégico do Poder Marítimo atinente ao setor portuário, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), a Secretaria Especial de Portos da Presidência da República (SEP-PR) e a Marinha do Brasil (MB), representada pela Diretoria de Portos e Costas, são os principais *stakeholders* públicos. A missão destas entidades públicas é criar um planejamento estratégico que se materializa no Plano Nacional Estratégico dos Portos (PNE/Portos), a fim de assegurar a segurança e a eficiência ao transporte aquaviário do Brasil.

No campo operacional, cabe ao Estado-Maior da Divisão da Esquadra, ao planejar uma diretiva para um Grupo-Tarefa de navios de guerra, selecionar os portos em que os navios irão permanecer durante a missão. Nesta tarefa, além da necessária infra-estrutura logística, deve-se analisar os aspectos atinentes à segurança das instalações e do meio ambiente.

Na questão de segurança, se o porto estiver bem estruturado neste critério, possibilitará que os navios aloquem menos pessoas de efetivo serviço a bordo durante a estadia, proporcionando maior lazer para a tripulação, elevando seu moral, minimizando o aspecto psicológico da ausência do militar com seus familiares.

Na questão ambiental, é muito pertinente no dias de hoje, pois a sociedade cobra, principalmente das entidades públicas, ações que minimizem ao máximo o impacto ambiental. Um porto bem equipado neste critério, proporciona ações corretivas imediatas, reduzindo danos aos seres vivos locais por ocasião de eventuais incidentes, não gerando notícias negativas nos meios de comunicação que possa denegrir o nome da MB perante a sociedade.

Diante do grau de importância do setor portuário no Poder Marítimo é necessário estabelecer um modelo para atender às necessidades estratégicas e operacionais. Este problema é classificado segundo [2] como não estruturado pela existência de pelo menos um dos fatores: múltiplos atores com perspectivas diferentes, conflitos de interesses, importâncias intangíveis e incertezas.

Para abordar este tipo de problema é mais adequado adotar um método que considere uma visão *soft* da pesquisa operacional (PO), onde a idéia do problema é deslocada para a percepção do observador (natureza subjetivista) segundo o paradigma do construtivismo [3].

Neste sentido serão aplicados dois métodos multicritérios de apoio à decisão (MCDA): o MACBETH, que se baseia na abordagem de critério único de síntese; e o TODIM, que é híbrido por utilizar a abordagem *supra* em conjunto com a de subordinação, além de considerar a teoria dos prospectos.

O objetivo deste trabalho é apresentar um método para avaliação de desempenho de terminais portuários, considerando a questão da sustentabilidade (ambiental e de segurança), adotando a problemática da ordenação ($P\gamma$). Os métodos serão comparados considerando o grau de participação do decisor para se obter o *ranking*, os resultados obtidos e os programas utilizados (SAPIENS para o TODIM e o M-MACBETH).

II. MATERIAIS E MÉTODOS

TODIM

O método TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério) foi concebido para resolver problemas de ordenação ($P\gamma$) de alternativas segundo as preferências do decisor na presença de múltiplos critérios, combinados à Teoria dos Prospectos que agrega a percepção ao risco do tomador da decisão associado a cada critério, considerando o paradigma do construtivismo [4].

O TODIM é um método híbrido que combina aspectos da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), por utilizar a medida global de valor das funções de utilidade

multiatributo; e da abordagem de subordinação (*outranking*), por incorporar a noção de fluxo líquido de superação (método PROMETHEE) [5].

A função de valor multiatributo do TODIM agrega todas as medidas de ganhos e perdas de todos os critérios. Esta função é construída em partes, com a descrição matemática desta reproduzindo a função de ganho e perda da Teoria dos Prospectos [5].

A aplicação do método segue os seguintes passos: (a) comparação par a par entre critérios qualitativos ou quantitativos, com julgamento de valor expressas numa escala numérica (quantitativo) ou verbal transformada em cardinal (qualitativo), podendo ser utilizada a escala de Saaty por exemplo; (b) determinar o critério de referência para normalizar as escalas cardinais; (c) avaliação das alternativas em relação a cada critério expressa na escala 0 a 10, ou, alternativamente, em escala verbal, sendo a posteriori normalizados; (d) formação da matriz de dominância relativa das alternativas para cada critério (δ_{ij}); (e) cálculo das medidas de valores global para cada alternativa [4].

As equações (1), (2), (3), (4) e (5) constituem a modelagem matemática utilizada pelo TODIM [6]:

$$\delta_{(i,j)} = \sum_{c=1}^m \Phi_c(i,j), \quad \forall (i,j) \quad (1)$$

$$\Phi_c(i,j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{a_{rc}(w_{ic} - w_{jc})}{\sum_c a_{rc}}} & \text{se } w_{ic} - w_{jc} > 0 \\ 0 & \text{se } w_{ic} - w_{jc} = 0 \\ -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_c a_{rc})(w_{jc} - w_{ic})}{a_{rc}}} & \text{se } w_{ic} - w_{jc} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\Phi_c(i,j) = 0 \quad \text{se } w_{ic} - w_{jc} = 0 \quad (3)$$

$$\Phi_c(i,j) = -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_c a_{rc})(w_{jc} - w_{ic})}{a_{rc}}} \quad \text{se } w_{ic} - w_{jc} < 0 \quad (4)$$

$$\xi = \frac{\sum_{j=1}^n \delta(i,j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(i,j)}{\max \sum_{j=1}^n \delta(i,j) - \min \sum_{j=1}^n \delta(i,j)} \quad (5)$$

Onde

$\delta_{(i,j)}$ – medida de dominância de uma alternativa i em relação a alternativa j;

m – número de critérios;

c – critério genérico variando de 1 a m;

a_{rc} – *trade off* do critério a pelo critério c;

w_{ic} – medida de valor da alternativa i para o critério c;

θ – fator de atenuação;

MACBETH

O MACBETH é um método para análise de decisão multicritério desenvolvido por Carlos A. Bana e Costa e J. C. Vansnick, na década de 90. É uma abordagem interativa, que auxilia a construção de medidas cardinais de julgamentos a respeito do grau de atratividade que elementos de um grupo finito de ações potenciais "A_n" possui em relação aos Pontos de Vista Fundamentais "PV_{fj}". O decisor realiza julgamentos das ações potenciais (ou dos PVF para obtenção das taxas de substituições) par a par conforme a escala semântica da

Tabela I e o método, por problemas de programação linear, verifica a consistência cardinal dos julgamentos e gera uma escala cardinal [7].

TABELA I ESCALA SEMÂNTICA DE JULGAMENTOS MACBETH

Categoria	Diferença de atratividade
C0	Indiferença
C1	Muito Fraca
C2	Fraca
C3	Moderada
C4	Forte
C5	Muito Forte
C6	Extrema

Em linhas gerais, o problema é abordado em duas fases: estruturação e avaliação.

No MACBETH, a fase de estruturação do problema consiste, em linhas gerais, em: levantamento dos Elementos Primários de Avaliação (EPA); obtenção da Família de Pontos de Vista Fundamentais, por meio de mapas cognitivos; e operacionalização dos PVF mediante a construção de descritores com os seus respectivos níveis de impacto.

A fase de avaliação é baseada em três atividades: construção de um modelo de preferências locais, possibilitando a avaliação parcial das ações; determinação das taxas de substituição (*trade-offs*) que forneçam uma noção da importância relativa de cada ponto de vista fundamental, possibilitando a agregação das avaliações locais numa avaliação global; e determinação dos impactos das ações segundo cada ponto de vista fundamental [7].

Comprovada a hipótese que os PVF são independentes mutuamente, é possível a agregação aditiva dos vários PVF construídos, transformando unidades de atratividade local em unidades de atratividade global, conforme (6). Desta forma é obtida a avaliação global de cada alternativa ($V^{(a,j)}$) pelo cálculo da agregação aditiva simples dos valores parciais obtidos para cada PVF ($[V_{PVF_j}(a)]$):

$$V(a_j) = \sum W_j * [V_{PVF_j}(a)] \quad (6)$$

$$\sum W_j = 1$$

$$0 \leq W_j \leq 1, j = 1, \dots, n$$

Onde W_j é a taxa de compensação para o PV (V_{PVF_j}).

III. RESULTADOS OBTIDOS

O sistema de avaliação proposto foi estruturado segundo os dados dispostos na avaliação ambiental dos portos [8], adotando a técnica *Alternative-Focused Thinking* – AFT descrita por [9], que resultou na árvore hierárquica da Fig. 1 construída pelo programa M-MACBETH [7].

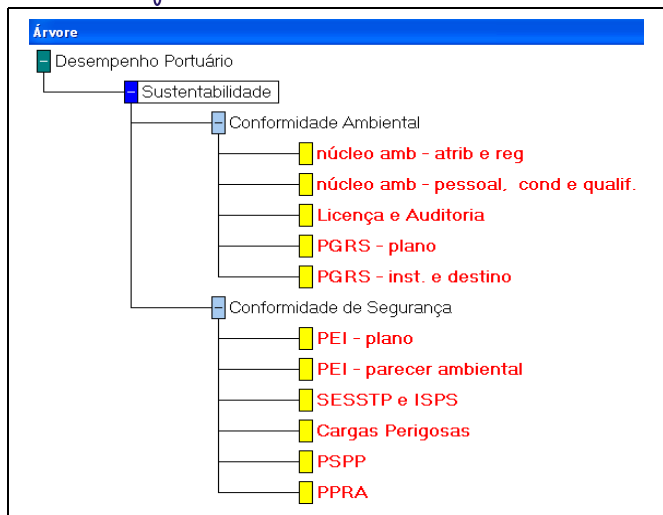


Fig. 1: Árvore Hierárquica de Valores

A família de PVF obtida obedece as seguintes propriedades: essencial, controlável, completo, mensurável, operacional, isolável, não redundante, conciso e compreensível [10].

O modelo de avaliação é composto por 2 PVF: conformidade ambiental e conformidade de segurança. O PVF conformidade ambiental é formado pelos PVE: núcleo ambiental (NA), licença e auditoria ambiental, e plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS). O PVF conformidade de segurança é dividido nos PVE: programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA), plano de emergência individual (PEI), plano de segurança pública portuária (PSPP), cargas perigosas, conformidade ISPS Code e serviço de segurança e saúde do trabalhador portuário (SESSTP). [7].

Peso dos Critérios ou Taxas de Substituição dos PVF/PVE

O TODIM deixa livre para o facilitador escolher um método para definir os pesos entre os critérios e subcritérios. Em [6] foi utilizado o AHP, em [5] o método da pontuação direta de peso (*direct ratings*) e em [4] foi considerado que todos os pesos eram iguais. Nada impede a utilização do MACBETH para determinar os pesos, com a vantagem do programa M-MACBETH apresentar um valor sugerido para o peso e uma faixa de variação deste que não altera a solução do PPL, conforme a Fig. 2 [7]. Estes limites inferior e superior são importantes parâmetros para a análise de sensibilidade.

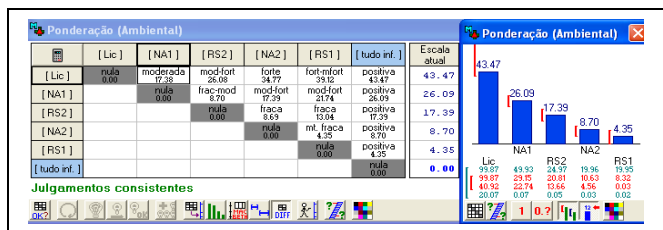


Fig. 2: Matriz de Juízo de Valor e a respectiva Taxa de Substituição do PVF conformidade ambiental

O programa SAPIENS não indica claramente qual método que é utilizado para a atribuição de pesos. Mas tudo leva a crer que se baseia no AHP pela presença da escala de Saaty e pela forma de preenchimento da matriz de julgamento. Outra limitação do programa é não indicar o índice de inconsistência dos julgamentos, bem como do valor dos pesos calculados.

Uma das vantagens do MACBETH perante o TODIM com AHP é que o resultado do método gera pesos sem inconsistência. Caso algum julgamento das comparações par a par gerar a inconsistência cardinal, a solução do PPL será inviável. O programa M-MACBETH indica a comparação que gerou a inconsistência e sugere alteração na categoria semântica de forma a se obter a escala cardinal.

Seria desejável a utilização do MACBETH para atribuição dos pesos dos critérios pelo fato de utilizar os limites de variação do peso na análise de sensibilidade do resultado do modelo.

Alternativas ou Ações Potenciais

No estudo de casos foram avaliados 14 portos brasileiros. No método TODIM cabe ao decisor criar a matriz de desejabilidade das alternativas (portos) avaliadas em relação a seus desempenhos relacionados a cada critério. Foi utilizada a escala de Saaty (Tabela II) para medir o desempenho das alternativas. As avaliações dos portos são inseridas no programa SAPIENS conforme apresenta a Fig. 3.

TABELA II A ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY [11]

Intensidade da Importância	Descrição	Comparação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca	xxx
3	Moderada	Experiência e julgamento favorecem levemente um critério acima do outro
4	Acima de moderada	xxx
5	Forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente um critério acima do outro
6	Acima do forte	xxx
7	Muito forte	Um critério é favorecido muito fortemente acima de outro; a dominância demonstrada na prática
8	Acima do muito forte	xxx
9	Extrema importância	É evidente o favorecimento de um critério acima do outro.

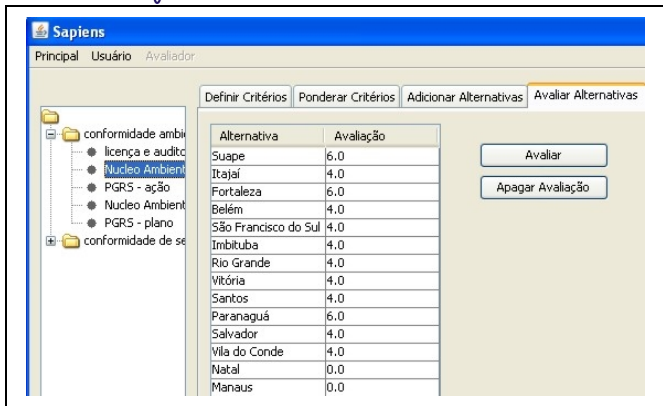


Fig. 3: Avaliação das Alternativas no subcritério NA pessoal no SAPIENS

No método MACBETH foram construídos descritores para cada PVE (sub-critérios) de forma a operacionalizá-los (mensuração de um aspecto de forma independente dos demais). Na fase de avaliação, foi gerada a função de valor para os níveis de impacto dos descritores atinentes a cada critério (Fig. 4) [7].

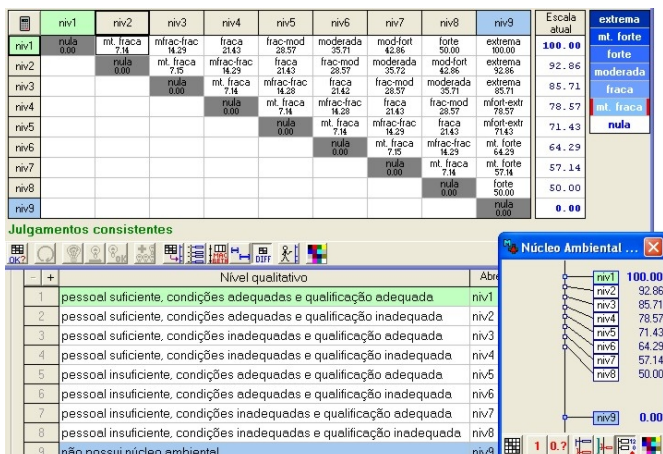


Fig. 4: Matriz de Juízo de Valor e a Escala de Atribuição Corrigida do PVE núcleo ambiental – pessoal (NA1)

Como o estudo de caso foi modelado primeiramente pelo MACBETH, seus descritores foram utilizados posteriormente pelo TODIM para melhor avaliar as alternativas. Desta forma, foi atribuída a escala Saaty para cada nível de impacto dos descritores de forma a auxiliar a construção da matriz de desejabilidade do TODIM. Assim, atende-se às propriedades dos indicadores de desempenho [9] na mensurabilidade (quantificação da performance de forma clara), operacionalidade e compreensibilidade (descrição e interpretação da performance de forma não ambígua).

Na avaliação das alternativas, o TODIM apresenta vantagens em relação aos métodos baseados no julgamento par a par. Para o caso da avaliação do subcritério núcleo ambiental, na parte de recursos humanos, houve a necessidade que o decisor julgasse apenas 14 células, se utilizasse o AHP seriam necessárias 91 células e para os descritores do MACBETH, 36 células.

Não está claro no SAPIENS qual foi o fator de atenuação (θ) utilizado para o estudo de caso, pois o programa não considera como elemento de entrada. Trata-se de uma

importante deficiência, pois impossibilita a variação do grau de risco do decisor sem alterar a função de valor de seus julgamentos que é o grande diferencial do método TODIM para o MACBETH. Para obter o mesmo resultado no MACBETH, o facilitador deveria criar novas funções de valor para os descritores, uma para cada perfil de risco do decisor, enquanto no TODIM, simplesmente insere-se um novo valor de θ no modelo já construído, sendo este, o método adequado caso seja necessária uma análise de sensibilidade no qual seja de vital importância variar o perfil de risco do decisor.

Tanto o MACBETH quanto o TODIM permitem ao facilitador calcular a avaliação local atinente a determinado critério, permitindo indicar ao decisor um *benchmarking* de como ele poderá melhorar a sua performance para aperfeiçoar o seu desempenho, tanto local quanto global. As Fig. 5 e 6 [7] apresentam a avaliação local do PVF ambiental atinente aos programas SAPIENS e M-MACBETH.

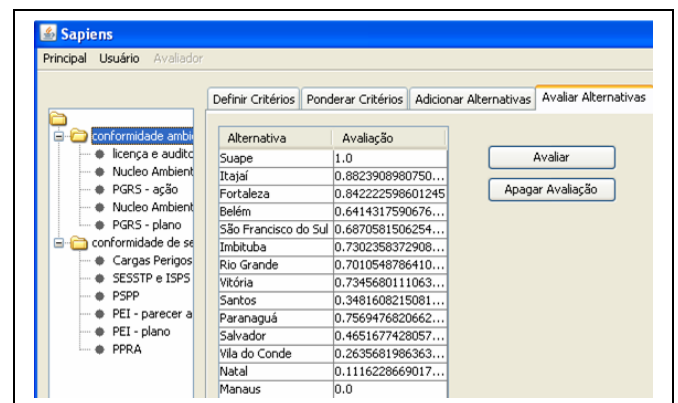


Fig. 5: Avaliação Local do PVF Ambiental no SAPIENS

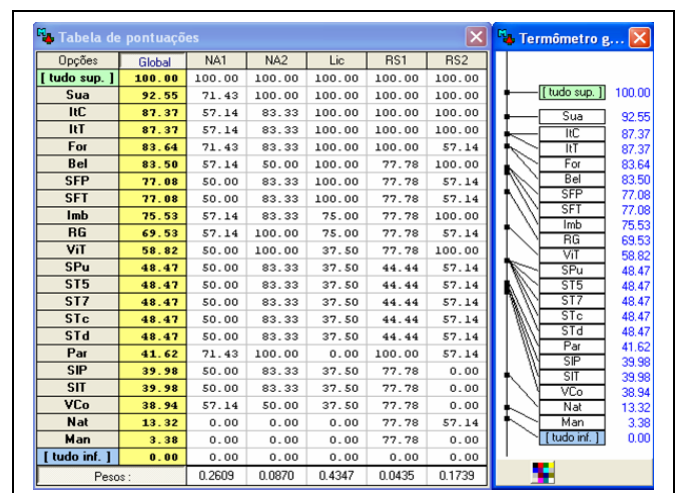


Fig. 6: Avaliação Local do PVF Ambiental no M-MACBETH

O MACBETH apresenta uma vantagem em relação ao TODIM para avaliação de alternativas atinentes a vários períodos de tempo ou inserção de novos portos, visto que se a função de valor não foi alterada (só seria, se alterasse o sistema de valores do decisor), o único trabalho para o facilitador seria classificar qual nível de impacto corresponde ao porto a ser inserido no sistema de avaliação de

desempenho. No TODIM seria necessário avaliar esse porto segundo a escala de desempenho (similar ao MACBETH) para calcular a preferência segundo as equações de (1) a (5).

Outra forma de tratamento para esse problema seria criar alternativas virtuais que considerassem a combinação de todas as possibilidades da escala de desempenho dos critérios, tornando o esforço para este processo bem superior, sendo preferível a utilização do MACBETH, pois para 3 critérios com 7 níveis de impacto seriam necessários 343 alternativas virtuais.

Resultado da Análise

A Tabela III consolida a avaliação global (normalizada) e a ordenação atinente aos métodos TODIM e MACBETH.

Em termos gerais, ambas metodologias apresentaram resultados similares, exceto quanto aos portos de Paranaguá e São Francisco do Sul. Analisando o porto de Paranaguá, percebe-se que possui extremos de máxima pontuação em critérios de peso mínimo e extremos de mínimo em critérios de peso máximo, enquanto São Francisco do Sul ocorreu justamente ao contrário. Conclui-se que o método TODIM (método multicritério híbrido) é menos suscetível a influência dos pesos em comparação com o MACBETH (método de critério único de síntese baseado no MAUT).

TABELA III COMPARAÇÃO DE RANKING DE DESEMPENHO PORTUÁRIO

Porto	TODIM	MACBETH
Itajaí	1 - (1.0)	1 - (1.0)
Suape	2 - (0.970)	2 - (0,916)
Fortaleza	3 - (0.925)	3 - (0,883)
Paranaguá	4 - (0.700)	13 - (0,210)
Belém	5 - (0.676)	4 - (0,770)
Imbituba	6 - (0.636)	5 - (0,712)
Santos	7 - (0.575)	7 - (0,587)
Rio Grande	8 - (0.522)	8 - (0,565)
Vitória	9 - (0.407)	12 - (0,224)
São Francisco do Sul	10 - (0.397)	6 - (0,628)
Natal	11 - (0.318)	10 - (0,264)
Vila do Conde	12 - (0.199)	11 - (0,225)
Salvador	13 - (0.196)	9 - (0,370)
Manaus	14 - (0)	14 - (0)

Diante do resultado encontrado pelo método TODIM, segundo uma perspectiva operacional, o Estado-Maior da Divisão da Esquadra que estiver planejando 3 portos para estadia durante a operação TROPICALEX (abrange o litoral norte e leste) decidirá por portos melhores ordenados como: Fortaleza, Suape e Vitória. Se fosse a TEMPEREX (abrange o litoral sul), Itajaí, Paranaguá e Santos.

Para o campo estratégico, o modelo indica quais os portos necessitam de investimentos em infra-estrutura e pessoal para melhorarem seus desempenhos nos setores de segurança e ambiental. Definidos estes portos, por meio dos descritores será possível definir quais ações serão empreendidas que implicarão em melhorias significativas. Analisando a relevância do peso do critério em conjunto com a diferença entre o nível de impacto do descritor do *status quo* e o pretendido, será possível aos principais *stakeholders* públicos priorizarem investimentos em projetos relevantes para melhoria do desempenho, contribuindo para a eficiência,

atendendo aos princípios constitucionais da Administração Pública da impessoalidade, moralidade e eficiência.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto o MACBETH quanto o TODIM apresentam *rankings* locais e globais dos critérios e utilizam, respectivamente, descritores e escalas de medida de desempenho. Todos esses processos, de ambos os métodos, contribuem para a decisão estratégica e operacional no problema complexo que envolve a sustentabilidade portuária.

É desejável utilizar o TODIM para situações que sejam importantes para o decisor avaliar a sensibilidade das alternativas em face da alteração do seu perfil de risco. É interessante a utilização do MACBETH dentro do TODIM para determinação dos pesos entre os critérios, pois além de ser um método consistente em relação aos julgamentos do decisor, facilita na análise de sensibilidade.

O MACBETH é superior em situações que seja necessário utilizar o modelo construído para análise de mais de um período de tempo como também inserir novas alternativas ao problema.

O programa SAPIENS necessita ser aprimorado de forma a explicitar o peso dos critérios, ter uma ferramenta de análise de sensibilidade considerando variações dos pesos e do fator de atenuação e apresentação da avaliação global conforme o fator de atenuação escolhido.

Diante do apresentado é importante para o facilitador ter pleno conhecimento dos métodos MCDA, de forma a selecionar qual melhor se enquadra às características do problema, tornando mais simples a interação entre facilitador e decisor, por conseguinte, encontrando uma resposta ao problema com menor esforço.

REFERÊNCIAS

- [1] Ministério dos Transportes, 1999. Disponível em <http://www.transportes.gov.br/bit/estudos/MarinhaMercante/cap3.htm >. Acesso em 4 Mai. 2010..
- [2] J. Mingers e J. Rosenhead. Problem Structuring Methods in Action. European Journal of Operation Research . 152. 2004, p.530 - 554.
- [3] S. R. Ensslin et al. Visão Hard ou visão Soft da Pesquisa Operacional? Reflexões sobre posturas e procedimentos In: XII Simpósio de Engenharia de Produção. – Bauru. 2005.
- [4] L. A. D. Rangel, L. F. A. M. Gomes, e R. A. Moreira, Decision Theory with multiple criteria: an application of ELECTRE IV and TODIM to SEBRAE-RJ. Pesquisa Operacional..v. 29, n.3, p. 577-590, Setembro a Dezembro de 2009.
- [5] L. A. D. Rangel, e L. F. A. M. Gomes, An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties. European Journal of Operation Research. 193, p. 204-211, 2009.
- [6] L. A. D. Rangel, L. F.A. M. Gomes, e F. J. C. Maranhão, Multicriteria analysis of natural gas destination in Brazil: Na application of the TODIM method. PMathematical and Computer Modelling..50, p. 92-100, 2009.
- [7] A. G. Madeira Junior, M. M. Cardoso Junior, A. R. Correia, e M. C. N. Belderrain, Desempenho Portuário Brasileiro quanto à sustentabilidade: uma abordagem multicritério In: SHEWC'2010 – X Safety, Health and Environmental World Congress – São Paulo. 2010.
- [8] ANTAQ - Agência Nacional de Transporte Aquaviário Agência Nacional de Transporte Aquaviário. 2009. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/palestras/LuizaGusmaoAvaliacaoAmbientaProjDesportRioGrande08.pdf >. Acesso em: 9 nov. 2009.

- [9] R. L. Keeney, Value-Focused Thinking: A path to creative Decision-making. Cambridge: Harvard Univ. Press. 1992.
- [10] L. Ensslin, Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis : Insular. 2001.
- [11] T. L. Saaty, Decision Making with dependence and feedback: The Analytic Network Process. Pittsburg: RWS Publications. 1996.