

# APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA MULTICRITÉRIO CONSTRUTIVISTA À AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE BARRAGENS E REGIÕES A JUSANTE

Application of a constructivist multicriteria methodology to the vulnerability assessment of dams and downstream regions

Sandra Keila de Oliveira Baima\*

José Nilson Bezerra Campos\*\*

Adriano Frutuoso da Silva\*\*\*

**RESUMO** – Este artigo apresenta um modelo de classificação da vulnerabilidade de barragens, baseado em uma Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – MCDA (Multicriteria Decision Aid) que se caracteriza por adotar uma abordagem construtivista. A ferramenta escolhida para implementar esta MCDA-C foi o MACBETH por se tratar de uma metodologia que torna possível explicitar a forma como são atribuídos os pesos empregados neste tipo de classificação, através de um modelo formal e teoricamente robusto. A construção do modelo seguiu as fases da metodologia MACBETH e teve como base o sistema de classificação por categoria de risco e de dano potencial associado, estabelecido pela Resolução CNRH nº 143. Ao final aplica-se o modelo desenvolvido, avaliando um conjunto de 15 barragens de terra, e propõe-se um Índice de Vulnerabilidade de Barragens (IVB) e um Índice de Vulnerabilidade a Jusante (IVJ<sub>B</sub>), a partir do suporte informático M-MACBETH.

**SYNOPSIS** – This paper presents a classification model for the vulnerability of dams based on a Multicriteria Decision Support Methodology - MCDA (Multicriteria Decision Aid) which is characterized by adopting a constructivist approach. The tool chosen to implement this MCDA-C was MACBETH because it is a methodology that makes it possible to explain how the weights used in this type of classification are assigned, through a formal, theoretically robust model. The construction of the model followed the phases of the MACBETH methodology and was based on the classification system by category of risk and potential associated damage, established by Resolution CNRH No. 143. Finally, the model developed is applied on the evaluation of a set of 15 earth dams, and both a Dam Vulnerability Index (IVB) and a Downstream Vulnerability Index (IVJ<sub>B</sub>) are proposed using the software M-MACBETH.

**PALAVRAS CHAVE** – Barragens, vulnerabilidade, multicritério.

---

\* Engenheira Civil, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).  
E-mail: sandra.baima@dnocs.gov.br

\*\* Professor Doutor, Universidade Federal do Ceará. E-mail: nilson@ufc.br

\*\*\* Professor Doutor, Universidade Federal do Ceará. E-mail: adrianofrutuoso@deha.ufc.br

## 1 – INTRODUÇÃO

No Brasil a Lei nº 12 334, sancionada em 20 de setembro de 2010, estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens e definiu também, em seu Artigo 6º, sete instrumentos de gestão da segurança, tornando-os obrigatórios a partir de então. São eles:

- I. Sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;
- II. Plano de segurança de barragens;
- III. Sistema nacional de informações sobre segurança de barragens (SNISB);
- IV. Sistema nacional de informações sobre o meio ambiente (SINIMA);
- V. Cadastro técnico federal de atividades e instrumentos de defesa ambiental;
- VI. Cadastro técnico federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais;
- VII. Relatório de segurança de barragens.

O sistema de classificação de barragens, por categoria de risco e por dano potencial associado, é o primeiro e, de certo modo, o mais importante dos sete instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), pois deverá ser o dosador das medidas e procedimentos de monitoramento a serem adotados, de forma a tornar mais seguras as barragens, determinando a periodicidade e o conteúdo mínimo das inspeções regulares e especiais, da revisão periódica de segurança, e a obrigatoriedade ou não de elaboração do plano de ação de emergência (PAE) da barragem.

O sistema de classificação, estabelecido pela Resolução ANA nº 91, divide as barragens em 5 classes (A, B, C, D e E), e a aplicação dos dispositivos de aferição e controle da segurança depende da classificação da barragem. Posteriormente, a Resolução CNRH nº 143 estabeleceu os critérios gerais para classificação. Ocorre que, na prática, a aplicação desta última tem resultado na ocorrência de um grande número de barragens classificadas na categoria A, cujas obrigações dos empreendedores são maximizadas em termos de quantidade e periodicidade.

Frente a esta constatação, este trabalho apresenta um modelo estruturado (consistente, transparente e racional) de avaliação da vulnerabilidade de barragens e região a jusante, construído sob a perspectiva do apoio multicritério a decisão (AMD), e propõe um Índice de Vulnerabilidade de Barragens (IVB) e um Índice de Vulnerabilidade a Jusante (IVJ<sub>B</sub>), a partir do suporte informático M-MACBETH.

A designação de índices de vulnerabilidade, ao invés de índices de risco, provém do fato do conceito de risco estar intimamente ligado ao conceito de probabilidade, e ainda de sua associação imediata a situações de eminência de desastres.

Baptista (2009) define vulnerabilidade como a suscetibilidade à materialização de estados limite ou de consequências, decorrente, no essencial, de fatores intrínsecos do subsistema ou sistema em questão.

Segundo Gallopín (2006) é importante definir quais perturbações são o foco do estudo da vulnerabilidade, uma vez que um sistema pode ser vulnerável a um tipo de perturbação, enquanto a outras não apresentar susceptibilidade.

## 2 – APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

O Apoio Multicritério à Decisão se constitui em métodos capazes de identificar diversos critérios (objetivos) a serem avaliados, mensurá-los, integrar avaliações individuais e gerar ações de melhoria ou aperfeiçoamento (Bortoluzzi *et al.*, 2011).

Por *decisão* entende-se, em geral, qualquer processo de que resulte uma escolha cuja implementação possa conduzir à obtenção de determinado(s) objetivo(s), definido(s) à custa de um ou vários critérios (Rocha, 2011, p. 16).

O diferencial das Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão Construtivistas – MCDA-C, em relação às metodologias tradicionais de MCDA, é permitir a construção do conhecimento do contexto decisório e dos aspectos considerados relevantes pelo decisor, favorecendo um entendimento maior do contexto decisório, o que possibilita a construção de uma escala global de vulnerabilidade e a geração de ações de aperfeiçoamento.

A construção de um modelo multicritério de apoio à decisão requer uma sequência de fases a serem exploradas. Na visão de Bana e Costa (1993) esta construção evolui passando por três fases principais e cada fase se desdobra em etapas.

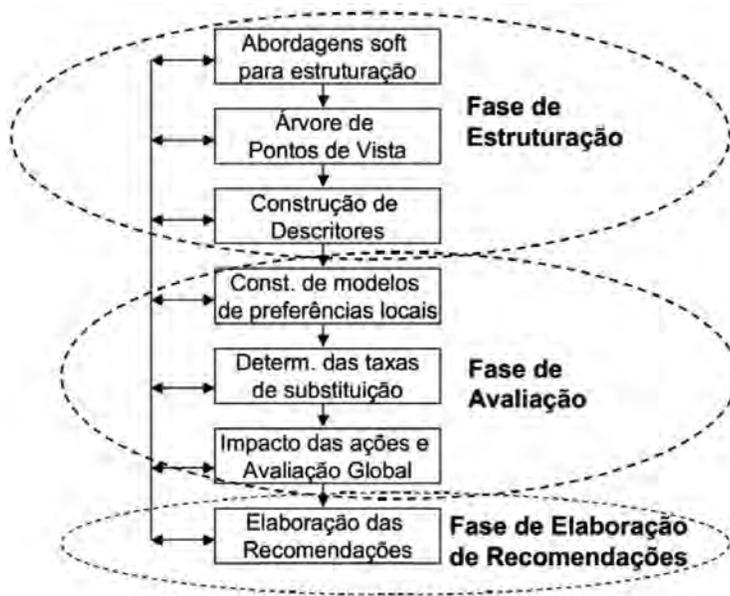


Fig. 1 – Fases do processo MCDA-C (Ensslin *et al.*, 2000, p. 81).

### 2.1 – Fase de estruturação

Na literatura, encontram-se propostas diferentes de conduzir o trabalho de estruturação, diferenciáveis segundo o ângulo escolhido para apreciá-las. Existem duas abordagens principais, bem distintas: ou elas se focam fundamentalmente sobre os *objetivos dos atores* ou sobre as *características das ações*. Bana e Costa (1993) defende uma abordagem de estruturação de *pontos de vista* que corresponde a uma junção das características das ações e objetivos dos atores.

Os pontos de vista (PV) se dividem em Fundamental (PVF) e Elementar (PVE). Ter-se-á um PVF quando este for um fim em si mesmo, ou seja, quando o decisor afirmar que o ponto de vista é importante porque reflete um valor fundamental, dando origem ao que se tornará um *critério*.

Segundo Bana e Costa (1992, p.16) cada ponto de vista, candidato a PVF, deve obedecer às seguintes propriedades:

- *Consensualidade*: todos os valores representados pelo ponto de vista são realmente importantes;
- *Operacionalidade*: é possível construir uma escala de preferência local associada aos níveis de impacto deste ponto de vista, assim como um indicador de impacto associado ao PV;
- *Inteligibilidade*: quando atuar como uma ferramenta que permita a elaboração das preferências dos atores, quanto como um instrumento que sirva de base à comunicação, à argumentação e à confrontação de valores e convicções, entre estes mesmos atores;
- *Isolabilidade (independência)*: quando for possível avaliar as ações segundo este PVF considerando todos os demais constantes, ou seja, considera-se que há independência preferencial, e somente esta independência é exigida entre os PVFs.

Aqueles pontos de vista que não foram considerados fundamentais, mas que são meios para se alcançar PVFs, são chamados pontos de vista elementares, PVEs. Muitas vezes diversos PVEs formam um PVF, ou seja, o PVF representa um fim comum para o qual contribuem diversos valores mais elementares.

Para que os PVFs sejam operacionais, conforme exposto anteriormente, associa-se a cada PVF um *descriptor de impactos*. De acordo com Bana e Costa *et al.* (2011), descriptor é um conjunto constituído por níveis de impacto plausíveis  $N_1, N_2, \dots, N_n$ .

De acordo com Ensslin *et al.* (2001), depois de construir os descriptors, devem ser definidos, em cada um deles, dois níveis de impacto de referência: o nível “Bom” e o nível “Neutro”.



Fig. 2 – Definição e significado dos níveis de impacto de referência Bom e Neutro em um descriptor (adaptado de Ensslin *et al.*, 2001, p. 164).

## 2.2 – Fase de avaliação

A fase de avaliação passa pela construção de uma *função de valor cardinal* associada a cada descriptor e, depois, pela determinação dos respectivos coeficientes de ponderação.

O termo *função de valor cardinal* representa aquela função de valor que pode ser usada para ordenar diferenças de intensidade de preferências entre pares de alternativas ou, mais simplesmente, a diferença de preferências entre as alternativas (Dyer e Sarin, 1979, *apud* Azevedo, 2001, p. 62).

Para a construção das funções de valor, existem diferentes metodologias: as técnicas numéricas (Pontuação Direta e Método da Bissecção) e as técnicas não numéricas (Julgamento Semântico).

Segundo Ensslin *et al.* (2001), nos métodos de julgamento semântico, a função de valor é obtida mediante comparações par-a-par da diferença de atratividade entre as ações potenciais. Essas comparações são feitas solicitando aos decisores que expressem qualitativamente, por meio de uma escala ordinal semântica (com palavras), a intensidade de preferência de uma ação sobre a outra.

Um desses métodos é o MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Technique*), desenvolvido por Bana e Costa *et al.* (1995), implementado através do *software* M-MACBETH. Neste trabalho, a tarefa de construção das funções de valor será feita através deste método.

Usando julgamentos semânticos, o MACBETH evita que os decisores tenham que fazer estimativas quantitativas sobre as diferenças de atratividade. Desta forma, são usadas categorias semânticas de preferências para expressar as diferenças. Estas categorias permitem a passagem de um valor semântico para um valor cardinal. Em suma, os decisores são questionados do seguinte modo: “A diferença de atratividade entre os níveis de impacto  $N_i$  e  $N_j$  é: ‘nula’, ‘muito fraca’, ‘fraca’, ‘moderada’, ‘forte’, ‘muito forte’ ou ‘extrema’?”. Na Figura 3 são representadas as categorias de diferença de atratividade.

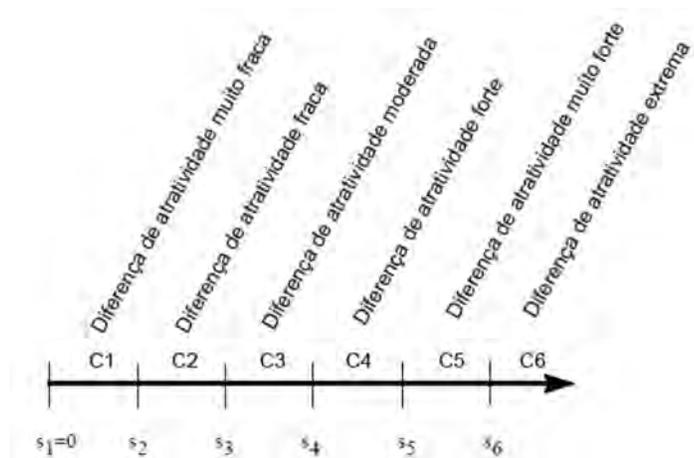


Fig. 3 – Categorias de diferença de atratividade do método MACBETH (Matzenauer, 2003, p. 168).

Neste contexto, segundo Silva (2012, p. 102), para cada descritor é preenchida uma matriz de juízos de valor, Figura 4, em que o elemento  $a_{ij} = 0$ , se  $i > j$ , sendo  $i, j$  os índices que indicam a linha e coluna, respectivamente, em que o elemento se encontra na matriz. Assim para cada par de níveis de impacto ( $N_i, N_j$ ) de um dado descritor, é requerido aos decisores que expressem qualitativamente a diferença de atratividade entre  $N_i$  e  $N_j$ , utilizando em suas respostas uma (ou mais) das sete categorias semânticas do MACBETH.

	N1	N2	N3	N4
N1	nula	moderada	mod-fort	forte
N2		nula	?	?
N3		?	nula	?
N4		?	?	nula

**Julgamentos consistentes**

Fig. 4 – Matriz de juízos de valor.

A partir de uma matriz de julgamentos consistentes, o M-MACBETH propõe uma pontuação para cada opção. Estas pontuações formam a escala numérica MACBETH de base, obtida por programação linear (Bana e Costa *et al.*, 2012), que é uma escala numérica de intervalos, ancorada em dois níveis de referência, BOM e NEUTRO, previamente definidos, atribuindo-lhes as pontuações 100 e 0, respectivamente (Bana e Costa *et al.*, 2013). Em resumo, após se ter preenchido a matriz de juízos MACBETH e a mesma ter sido validada pelo decisor, a função de valor é apresentada no M-MACBETH ancorada em  $v_j(bom) = 100$  e  $v_j(neutro) = 0$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} v_j(a^+) = 100 \\ v_j(a^0) = 0 \end{array} \right\} \text{ para } j=1, \dots, n \quad (1)$$

Na fase de avaliação, objetivando transformar unidades de atratividade local (medida nos critérios) em unidades de atratividade global, utiliza-se um método de agregação, que pode ter várias formas. Neste trabalho, será utilizado um procedimento de *agregação aditiva* (Bana e Costa, 2008 *apud* Silva, 2012, p. 99), na forma de uma soma ponderada, onde a avaliação global da ação  $a$  é expressa por:

$$V(a) = p_1 v_1(a) + p_2 v_2(a) + \dots + p_n v_n(a) \quad (2)$$

$V(a)$  - valor global da ação  $a$ ;

$p_j$  - coeficiente de ponderação (“peso” em linguagem comum) do critério (ou PVF)  $j$ ;

$v_j(a)$  - função-critério cardinal (valor parcial da ação  $a$  segundo o critério  $j$ );

$n$  - número de critérios de avaliação.

Estes pesos são representados no *software* M-MACBETH, sob a forma de um histograma. Ao decisor é, então, facultativo alterar os valores dos pesos, dentro dos limites estabelecidos pelo M-MACBETH. No entanto, ao se alterar um dos limites para um dos PVF, todos os valores de pesos para os demais PVF também são alterados, de modo a manter soma igual a 1 (ou 100%).

### 2.3 – Fase de elaboração de recomendações

Objetivando obter resultados que conduzam a recomendações confiáveis acerca da situação da decisão em pauta, faz-se necessário realizar *análises de sensibilidade* das respostas do modelo.

A análise de sensibilidade é o exame da robustez das respostas do modelo frente à variação de seus parâmetros (Goodwin e Wright, 1991, *apud* Matzenauer, 2003, p. 181). Além disso, ela fornece maiores subsídios para as recomendações do facilitador quanto aos caminhos a serem seguidos pelos decisores.

De acordo com Ensslin *et al.* (2001), usualmente, esta análise consiste em alterar os valores dos parâmetros e observar o que acontece com o resultado final, na avaliação das alternativas do modelo. Esta fase é importante na aplicação de qualquer modelo, porque contribui para superar a falta de precisão na determinação dos valores dos parâmetros, gerando conhecimentos sobre o problema e aumentando a confiança nos resultados obtidos.

Além da análise de sensibilidade clássica, é muito interessante analisar a “robustez” dos resultados da aplicação do modelo, ou seja, analisar que conclusões robustas se podem extrair do modelo para níveis variados de escassez, imprecisão ou incerteza na informação.

Na análise de robustez, procura-se encontrar conclusões que sejam válidas independentemente do valor que se escolha para os parâmetros, de entre as combinações aceitáveis: são as conclusões ditas robustas (Dias, 2000). A análise baseia-se no conceito de *dominância aditiva* (Bana e Costa, 1992).

### 3 – FORMULAÇÃO DO MODELO

Neste estudo, a metodologia MACBETH foi utilizada para construir dois índices multicritério. O primeiro, designado por Índice de Vulnerabilidade de Barragens (IVB), visa mensurar o quanto as estruturas do barramento estão vulneráveis a uma possível ruptura, considerando os critérios de projeto, desempenho estrutural, situação das deteriorações existentes e dados de monitoramento; em outras palavras, este índice busca revelar a fragilidade da barragem enquanto sistema ou conjunto. O segundo índice, designado por Índice de Vulnerabilidade a Jusante de Barragens (IV<sub>J<sub>B</sub></sub>), visa mensurar as consequências de uma ruptura em termos de vidas humanas, perdas socioeconômicas e ambientais.

O processo de construção do modelo requereu a passagem por diversas fases, que são descritas nas seções que se seguem.

#### 3.1 – Fase de estruturação

A fase de estruturação procura identificar e organizar os fatores relevantes a respeito do contexto decisional e se subdivide em: (i) caracterização do contexto (apresentar o ambiente onde o problema está inserido, identificando também os atores e suas percepções atuais e pretendidas); (ii) árvore de pontos de vista ou construção da estrutura hierárquica (consiste em identificar os critérios a serem avaliados); (iii) construção dos descritores (construção das escalas ordinais de mensuração).

O presente estudo foi desenvolvido a partir das características das barragens construídas pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), por considerar que as demandas geradas pela classificação imposta têm impacto financeiro substancial sobre os, já escassos, recursos deste órgão, para a manutenção e recuperação de suas 317 barragens.

Os atores incluídos neste estudo são os engenheiros especialistas em barragens, atuando como decisores, e a primeira autora do trabalho em pauta, cujo papel foi de facilitadora, esclarecendo o grupo sobre o procedimento proposto, confrontando os pontos de vistas expressos pelos decisores e modelando seus julgamentos.

O critério de seleção dos decisores, Quadro 1, foi baseado na experiência e no conhecimento que demonstravam, relativamente ao projeto, construção e atividades de consultoria, assim como sua disponibilidade para participar no questionário inicial e nas entrevistas.

A etapa de estruturação do modelo foi construída a partir da informação e perspectivas recolhidas em entrevistas iniciais com decisores, e não a partir de conferências de decisão como pressupõe Thomaz (2005). Foram realizadas entrevistas iniciais, individualmente, com os especialistas. Nestas entrevistas, de cerca de uma hora de duração, foi aplicado um questionário, onde se colocaram diversas perguntas, com o propósito de avaliar a importância, ou não, dos critérios pré-definidos pela Resolução 143 e sobre os níveis utilizados para estabelecer as pontuações para a classificação das barragens; ou seja, a Resolução 143 serviu como base de estruturação e forneceu os elementos primários de avaliação (EPAs) para a definição dos pontos de vistas fundamentais (PVFs) e de seus níveis de impacto.

A informação, recolhida através dos questionários, permitiu iniciar a estruturação do modelo, possibilitando, entre outras coisas, que a partir dos critérios pré-definidos pela Resolução 143 fossem verificados quais destes atenderiam as propriedades que devem ter os PVFs, como visto em 2.1, ou seja, que os mesmos foram validados.

**Quadro 1** – Descrição da formação e experiência dos especialistas.

Especialista 1	Engenheiro Civil, Pós Doutor em Geotecnia, professor universitário, com extensa produção técnica, experiência de 22 anos no serviço público atuando no acompanhamento, projeto e construção de barragens pelo DNOCS.
Especialista 2	Engenheiro Civil, PhD em Mecânica dos Solos, professor universitário, consultor em segurança de barragens do Ministério da Integração Nacional, com extensa produção técnica e experiência em projetos e consultoria.
Especialista 3	Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Recursos Hídricos, professora universitária, engenheira do DNOCS de 1984 a 2011 atuando no acompanhamento de projeto e construção de barragens, com extensa produção técnica.
Especialista 4	Engenheiro Civil, Doutor em Recursos Hídricos, professor universitário, elaborou estudos hidrológicos em mais de 50 reservatórios do Nordeste, atua como membro do Painel de Segurança de Barragens desde 1992, possui livros publicados e extensa produção técnica.

Após esta validação, alguns critérios pré-definidos foram eliminados e outros ajustados ou agrupados, resultando, por fim, na consideração de treze PVFs para o cálculo do IVB e três PVFs para o cálculo do IVJ<sub>B</sub>, com os quais se iniciou a construção do modelo multicritério no *software* M-MACBETH versão 2.3.0, agrupando-os nas áreas de interesse estabelecidas. O *software* agrupa os PVFs em vários níveis, de acordo com as áreas de interesse, e apresenta-os em forma de árvore.

A árvore para o cálculo do IVB é apresentada na Figura 5, em que estão presentes as quatro áreas de interesse (projeto, manutenção e operação, comportamento estrutural e monitoramento) e os treze PVFs que serão tomados como critérios de avaliação. Note-se que o *software* M-MACBETH distingue dois tipos de nós, os “nós critérios” que correspondem aos PVF e os “nós não critérios”.



**Fig. 5** – Árvore de pontos de vista para a vulnerabilidade da barragem (Baima, 2015).

A árvore para o cálculo do  $IVJ_B$  é apresentada na Figura 6, em que estão presentes os PVFs considerados.

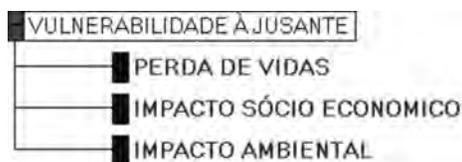


Fig. 6 – Árvore de pontos de vista para a vulnerabilidade a jusante (Baima, 2015).

Completada a etapa de identificação dos PVFs pelos especialistas, deve-se então torná-los operacionais, portanto a próxima etapa é descrever, da forma mais objetiva possível, os plausíveis níveis de impacto a eles associados.

Para cada PVF foi definido, com base nos níveis pré-existentes e nas modificações propostas pelos especialistas durante a aplicação do questionário, um conjunto de níveis de impacto, em ordem decrescente. Os impactos nos PVFs foram descritos qualitativamente e, para cada um deles, foram ancorados dois níveis de referência como já referido.

Segundo Silva (2012), dependendo do contexto do problema de decisão, os níveis de referência, *bom* e *neutro*, podem ter outra designação mais apropriada. Assim neste trabalho, em particular, uma vez que se pretende aferir a vulnerabilidade e as consequências da ruptura de barragens, usaram-se os níveis *crítico* e *neutro*, como níveis de referência, respectivamente, por ser mais intuitivo para o grupo de especialistas. Sob tal entendimento, o nível *crítico* corresponde ao nível a partir do qual a barragem se encontra no “limiar de vulnerabilidade” no respectivo PVF e o nível neutro corresponde ao nível de vulnerabilidade “minimamente satisfatório”.

Os descritores de impacto para cada um dos pontos de vista fundamentais, definidos nas Figuras 5 e 6, foram introduzidos no M-MACBETH, tal como se indica na Figura 7. Na aplicação do *software*, quando se selecionaram os níveis de referência, estes passaram a apresentar a cor verde para o nível crítico e a cor azul para o nível neutro.



Fig. 7 – Introdução dos critérios e níveis de impacto no software MACBETH (Baima, 2015).

Ao final desta etapa teremos obtido as referências de ponderação para cada descritor.

### 3.2 – Fase de avaliação

#### 3.2.1 – Determinação das funções de valor

Nesta etapa os Especialistas julgaram qualitativamente as diferenças de atratividade entre os vários níveis dos descritores de desempenho de cada um dos PVFs.

À medida que se completa a matriz de julgamentos, Figura 8, o *software* testa a compatibilidade da informação introduzida e caso ocorra alguma inconsistência, uma mensagem de aviso é emitida com as sugestões das possíveis formas de resolver o problema. Se inseguro sobre esta diferença de atratividade, foi permitido ao Especialista escolher categorias sucessivas.

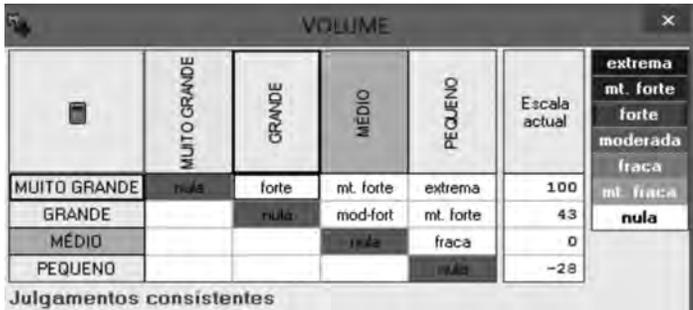


Fig. 8 – Matriz de juízos de valor e função de valor para o PVF<sub>1</sub> – volume (Baima, 2015).

O questionamento MACBETH foi realizado para cada par de níveis de impactos, possibilitando a construção de matrizes de juízos de valor (ou de julgamentos absolutos de diferença de

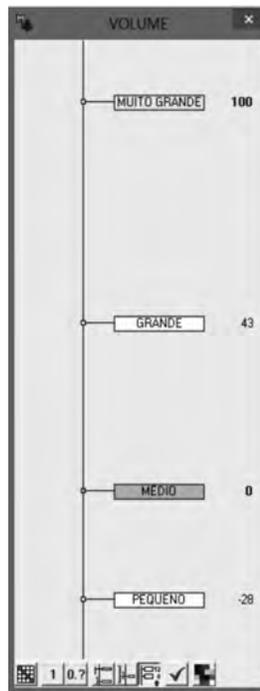


Fig. 9 – Função de valor para o PVF1- volume (Baima, 2015).

atratividade) para cada um dos pontos de vista fundamentais. O preenchimento destas matrizes de juízos de valor, dezessete no total, requereram esforços cognitivos distintos, em função da complexidade dos níveis de impactos considerados. No entanto, na maioria dos casos não ocorreu nenhum tipo de inconsistência.

O *software* M-MACBETH propiciou a geração de escalas de pontuações (escalas de valor cardinais ou de preferências locais). A apresentação das escalas obtidas em forma de termômetro, Figura 9, foi fundamental no processo de validação das mesmas, pois as informações gráficas são de mais rápida interpretação do que as informações numéricas em forma tabular.

Completada a etapa de avaliações locais, a próxima seção apresenta o trabalho desenvolvido para a determinação dos pesos dos critérios.

### 3.2.2 – Determinação dos coeficientes de ponderação

Para que seja possível uma avaliação global, um passo ainda necessita ser dado: a obtenção de informações inter-critérios, ou seja, os pesos que vão possibilitar agregar as avaliações locais.

A determinação de coeficientes de ponderação (pesos), envolve duas etapas: primeiramente, realizou-se a ordenação dos critérios que estavam sendo analisados, para em seguida, a partir de uma matriz de juízos de valor, gerar uma escala que normalizada forneceu os pesos entre estes critérios, utilizando-se os níveis crítico e neutro dos descritores para os julgamentos.

Ao ser finalizado o preenchimento da matriz de juízos de ponderação, Figura 10, o *software* M-MACBETH gerou os coeficientes de ponderação para o IVB e IV<sub>B</sub>, Figuras 11 e 12 respectivamente.

	[FUNDAÇÃO]	[PERCOLAÇÃO]	[RECALQUES]	[VERTEDOR]	[ADUÇÃO]	[TALUDES]	[INSTRUMENTAÇÃO]	[TR]	[VOLUME]	[TIPO]	[INSPEÇÕES]	[IDADE]	[PROJETO]	[todo neutro]	Escala actual	extrema	mt. forte	forte	moderada	fraca	nula
[FUNDAÇÃO]	extrema	extrema	mt. fraca	mt. fraca	frac-mod	frac-mod	moderada	moderada	moderada	moderada	forte	mt. forte	mt. forte	extrema	11.92						
[PERCOLAÇÃO]		extrema	mt. fraca	mt. fraca	frac-mod	frac-mod	moderada	moderada	moderada	moderada	forte	mt. forte	mt. forte	extrema	11.92						
[RECALQUES]			extrema	extrema	moderada	moderada	moderada	mod-fort	mod-fort	moderada	moderada	fort-fort	fort-fort	extrema	11.81						
[VERTEDOR]				extrema	moderada	moderada	moderada	mod-fort	mod-fort	moderada	moderada	fort-fort	fort-fort	extrema	11.81						
[ADUÇÃO]					extrema	fraca	fraca	fraca	fraca	moderada	moderada	forte	forte	extrema	9.18						
[TALUDES]						extrema	mt. fraca	mt. fraca	frac-mod	moderada	moderada	forte	forte	extrema	8.23						
[INSTRUMENTAÇÃO]							extrema	mt. fraca	fraca	fraca	fraca	forte	forte	extrema	7.70						
[TR]								extrema	mt. fraca	fraca	fraca	moderada	moderada	extrema	7.38						
[VOLUME]									extrema	fraca	fraca	moderada	moderada	extrema	6.76						
[TIPO]										extrema	mt. fraca	moderada	moderada	extrema	5.70						
[INSPEÇÕES]											extrema	moderada	moderada	extrema	5.38						
[IDADE]												extrema	mt. fraca	extrema	1.14						
[PROJETO]													extrema	extrema	1.06						
[todo neutro]														extrema	0.00						

Julgamentos consistentes

Fig. 10 – Ponderação dos pontos de vista fundamentais para o IVB (Baima, 2015).

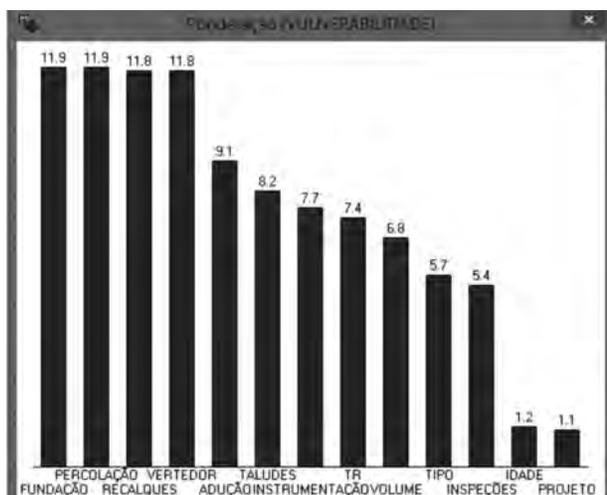


Fig. 11 – Histograma dos coeficientes de ponderação do IVB (Baíma, 2015).

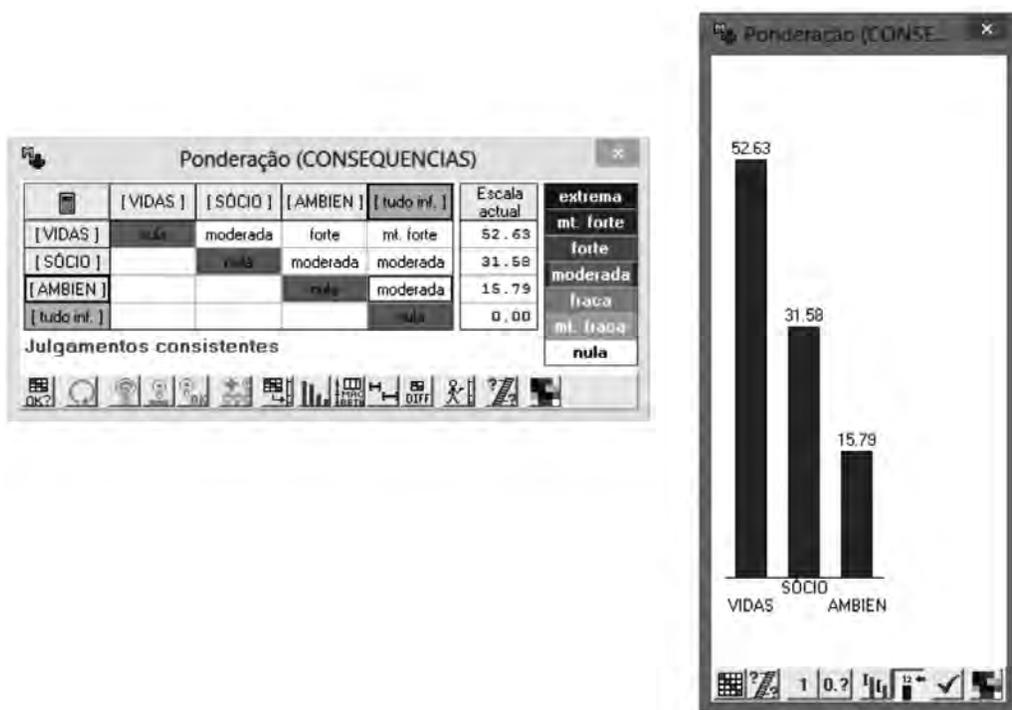


Fig. 12 – Ponderação dos PVFs e histograma dos coeficientes de ponderação do IVJB (Baíma, 2015).

Concluídas as etapas de determinação das funções de valor e dos coeficientes de ponderação resta proceder a avaliação da vulnerabilidade de cada barragem. De posse dos valores dos coeficientes de ponderação, a determinação dos valores globais de uma barragem, ou seja, cálculo do IVB e IVJB, é dada pela Equação 2.

### 3.2.3 – Avaliação global das opções

Objetivando-se validar o modelo aqui proposto, realizou-se uma análise da avaliação global das opções (barragens).

Como para a implementação do método faz-se essencial a realização de vistorias, bem como o levantamento de informações relativas ao projeto, estes foram fatores limitantes ao número de barragens consideradas. Estes dois fatores levaram à escolha de barragens cujas vistorias encontram-se documentadas através de *check-lists*, relatórios e documentação fotográfica, no entanto, a maior dificuldade encontrada para a aplicação do modelo proposto, residiu na escassez de informações sobre o projeto das barragens.

Em vista às limitações, ora apresentadas, foram selecionadas 15 barragens. Este número foi considerado suficiente, visto se tratar de um trabalho essencialmente acadêmico que não pretende ser exaustivo e sim reproduzível.

O Quadro 2 mostra as barragens selecionadas e os resultados da classificação destas barragens segundo os critérios arbitrados pela Resolução 143. Todas as barragens obtiveram classificação A, segundo a matriz de categoria de risco e dano potencial associado (Resolução ANA nº 91), Quadro 3.

No total, o método da Resolução 143 utiliza 21 descritores, agrupados em categorias. Os descritores possuem níveis e a cada nível são atribuídos pesos, que são somados para a definição da classe de risco e da classe de dano (Equações 3 e 4).

$$\text{classe de risco} = \sum_{1}^{6} CT + \sum_{7}^{12} EC + \sum_{13}^{17} PS \quad (3)$$

$$\text{classe de dano} = \sum_{18}^{21} DPA \quad (4)$$

CT - características técnicas;

EC - estado de conservação;

PS - plano de segurança;

DPA - dano potencial associado.

Para a fase de avaliação do método proposto, cujo objetivo é a avaliação global da vulnerabilidade da barragem através dos IVB e IVJ<sub>B</sub>, inicialmente foram definidas as opções (barragens) e, a partir das informações disponíveis, foram preenchidos os níveis de performance, em cada PVF (Figura 13).

A Figura 13 mostra a atribuição dos níveis de performances das barragens, no *software*, segundo cada PVF. Observa-se que são barragens de terra em sua maioria de médio porte, com idade superior a 30 anos, informações de projeto desconhecidas ou incompletas, desempenho estrutural satisfatório e condições de operação e manutenção deficientes; todas as barragens possuem o nível crítico nos PVF<sub>2</sub> (tipo), PVF<sub>3</sub> (período de retorno) e PVF<sub>13</sub> (instrumentação).

**Quadro 2** – Classificação das barragens seleccionadas, pela Resolução 143 (Baima, 2015).

	Nome	Tipo	Volume (hm³)	Altura (m)	RISCO					DANO		Classe
					Pontuação				Classe	Total	Classe	
					CT	EC	PS	Total				
1	Cocorobó	BTH	245,38	33,5	22	22	5	49	Médio	28	Alto	A
2	Cachoeira I	BTH	5,95	21,5	26	18	11	55	Médio	21	Alto	A
3	Curimataú	BTH	5,98	15,18	26	11	11	48	Médio	25	Alto	A
4	Caldeirão de Parelhas	BTH	10,19	20	26	17	7	50	Médio	21	Alto	A
5	Vira Beiju	BT	11,8	15	26	15	16	57	Médio	17	Alto	A
6	Santa Luzia	BTH	11,96	15,5	26	15	11	52	Médio	25	Alto	A
7	Abóbora	BT	14,35	10,5	25	15	16	56	Médio	21	Alto	A
8	São Mamede	BTH	15,79	14,93	26	22	11	59	Médio	25	Alto	A
9	Escondido I	BTH	16,58	12,46	21	18	7	46	Médio	25	Alto	A
10	Arcoverde	BTZ	16,8	30,8	27	8	16	51	Médio	21	Alto	A
11	Japi II	BTH	20,65	20,55	27	11	7	45	Médio	21	Alto	A
12	Tremendal	BTH	23,75	32	24	18	5	47	Médio	21	Alto	A
13	Santa Inês	BTH	26,11	28,1	23	9	11	43	Médio	21	Alto	A
14	Sabugi	BT	65,33	20,5	22	11	5	38	Médio	21	Alto	A
15	Itans	BTZ	81,75	25	26	11	11	48	Médio	26	Alto	A

**Quadro 3** – Fatores de segurança mínimos (Eletrobrás, 2003).

Classe da Barragem		Classe de dano potencial associado		
		Alto	Médio	Baixo
Classe de Risco	Alto	A	B	C
	Médio	A	C	D
	Baixo	A	C	E

Opções	VOLUME	TIPO	TR	FUNDAÇÃO	IDADE	PROJETO	VERTEDOR	TALUDES	ADUÇÃO	PERCOLAÇÃO	REGALQUES	INSPEÇÕES	INSTRUMENTAÇÃO
Cacombó	MUITO GRANDE	TERRA	TR<500	SATISFATORIA	>30	PE ou AS BUILT	DEFICIENTE	INSATISFATORIA	REGULAR	REGULAR	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Cachoeira	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	INEXISTENTE	DEFICIENTE	REGULAR	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Cumandá	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	INEXISTENTE	REGULAR	REGULAR	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Colombo	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	PE ou parte PE	DEFICIENTE	INSATISFATORIA	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Via Brás	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	INEXISTENTE	DEFICIENTE	DEFICIENTE	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	PARCIALMENTE	INEXISTENTE
Sta Luzia	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	INEXISTENTE	REGULAR	DEFICIENTE	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Abobras	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	INEXISTENTE	DEFICIENTE	DEFICIENTE	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	PARCIALMENTE	INEXISTENTE
S. Manoel	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	INEXISTENTE	REGULAR	DEFICIENTE	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	REGULAR	ATENDE	INEXISTENTE
Escondido	MÉDIO	TERRA	TR<500	MUITO BOA	>30	PE ou parte PE	DEFICIENTE	DEFICIENTE	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Aracavende	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	INEXISTENTE	INSATISFATORIA	REGULAR	REGULAR	SATISFATORIO	SATISFATORIO	PARCIALMENTE	INEXISTENTE
Jape II	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	PE ou parte PE	REGULAR	REGULAR	REGULAR	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Temerandá	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	PE ou parte PE	DEFICIENTE	DEFICIENTE	REGULAR	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Sta Inês	MÉDIO	TERRA	TR<500	REGULAR	15-30	INEXISTENTE	DEFICIENTE	DEFICIENTE	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Sabugá	MÉDIO	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	PE ou AS BUILT	REGULAR	DEFICIENTE	REGULAR	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE
Itaó	GRANDE	TERRA	TR<500	MÉDIOCRE	>30	INEXISTENTE	REGULAR	REGULAR	INSATISFATORIA	SATISFATORIO	SATISFATORIO	ATENDE	INEXISTENTE

Fig. 13 – Níveis de performance das barragens em cada PVF do IVB (Baima, 2015).

A Figura 14, além de apresentar a avaliação global de cada barragem em ordem decrescente de vulnerabilidade, inclui as pontuações parciais de cada uma das barragens e os coeficientes de ponderação (linha dos pesos).

Opções	Global	VOLUME	TIPO	TR	FUNDAÇÃO	IDADE	PROJETO	VERTEDOR	TALUDES	ADUÇÃO	PERCOLAÇÃO	REGALQUES
[ todo critico]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Via Brás	36.79	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	87.14	87.14	100.00	-80.00	-66.87
Abobras	36.79	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	87.14	87.14	100.00	-80.00	-66.87
Cacombó	36.79	100.00	100.00	100.00	33.33	-42.86	0.00	87.14	100.00	0.00	80.00	-66.87
S. Manoel	36.82	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	87.14	87.14	100.00	-80.00	-66.87
Cachoeira	36.79	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	87.14	100.00	100.00	-80.00	-66.87
Aracavende	38.07	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	100.00	0.00	0.00	-80.00	-66.87
Sta. Inês	24.98	0.00	100.00	100.00	100.00	66.87	0.00	133.33	87.14	87.14	100.00	-80.00
Cachoeira I	38.11	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	87.14	0.00	100.00	-80.00	-66.87
Sta Luzia	23.08	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	0.00	87.14	100.00	-80.00	-66.87
Itaó	19.23	43.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	0.00	0.00	100.00	-80.00	-66.87
Temerandá	13.76	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	80.00	87.14	87.14	0.00	-80.00	-66.87
Cumandá	14.37	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	133.33	0.00	0.00	100.00	-80.00	-66.87
Escondido	11.01	0.00	100.00	100.00	-33.33	-42.86	80.00	87.14	87.14	100.00	-80.00	-66.87
Sabugá	10.48	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	0.00	0.00	87.14	0.00	-80.00	-66.87
Jape II	6.35	0.00	100.00	100.00	100.00	-42.86	80.00	0.00	0.00	0.00	-80.00	-66.87
[ todo neutro]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos		0.0650	0.0570	0.0740	0.1190	0.0120	0.0110	0.1150	0.0820	0.0910	0.1190	0.1150

Fig. 14 – Avaliação global das barragens pelo IVB (Baima, 2015).

O gráfico tipo termômetro, Figura 15, possibilita uma visualização das distâncias de cada barragem às suas referências, os perfis “crítico” e “neutro”, determinadas pelos respectivos valores do IVB.

A Figura 16 apresenta a tabela de pontuações globais e escala termométrica para o IVB. Pode-se constatar a existência de oito barragens acima do nível crítico, ou seja, estas podem ocasionar consequências a jusante acima do limiar de vulnerabilidade.

#### 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho pretendeu desenvolver e testar um modelo multicritério para a avaliação da vulnerabilidade de barragens, mais transparente e menos arbitrário, e que resolvesse o problema das ferramentas de classificação de risco já construídas, qual seja, a forma implícita e intuitiva de atribuição de pesos para a quantificação da performance das barragens.

O modelo multicritério desenvolvido baseou-se na metodologia MACBETH, sendo esta uma abordagem que se baseia nas preferências do decisor na construção do modelo quantitativo. Esta metodologia fez uso da árvore de pontos de vista, na estruturação do problema (construída a partir das respostas dos atores a um questionário realizado), que levou à identificação dos critérios e dos respectivos descritores de impacto, depois os restantes passos de construção do modelo (determinação das funções de valor, pesos dos critérios e avaliação das barragens).

Na fase de estruturação, a seleção dos PVFs, a partir dos elementos primários de avaliação proporcionou, sobretudo, a explicitação de algumas relações de dependência que poderiam afetar diretamente os resultados globais do modelo.

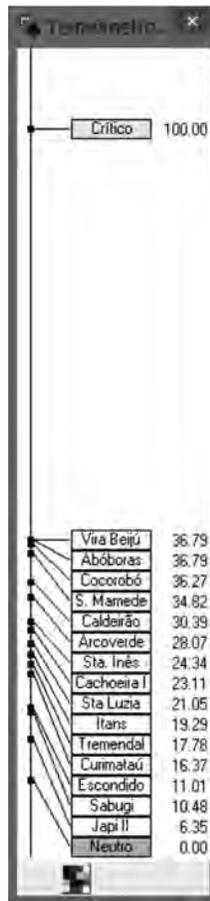


Fig. 15 – Resultados globais do modelo IVB numa escala termométrica (Baima, 2015).

No desenvolvimento do modelo, quando da construção dos descritores de impacto de alguns critérios, houve dificuldade em descrever de forma mais clara e inequívoca os respectivos níveis de impacto. Isto aconteceu por diversas razões, entre elas a necessidade de respeitar a generalidade do modelo, por dificuldade em obter informação, ou simplesmente por inexistência da mesma. Entre os critérios mais problemáticos incluem-se o PVF<sub>4</sub> (geologia da fundação), o PVF<sub>11</sub> (deformações e recalques) e o PVF<sub>8</sub> (taludes e paramentos), pois a impossibilidade de criar descritores mais precisos conduziu a algumas incertezas na atribuição dos níveis de impacto destes critérios.

Embora não seja inteiramente correto afirmar que os PVF<sub>3</sub> (cheia de projeto - TR) e PVF<sub>4</sub> (geologia da fundação) mantêm relação de dependência com o PVF<sub>6</sub> (documentação de projeto), os dois primeiros tiveram seus níveis de impacto diretamente influenciados pelo fato de não existirem ou não terem sido localizados os projetos de algumas barragens e tais informações não serem comumente disponibilizadas através das fichas técnicas das barragens.

A aplicação do IVB ao conjunto de 15 barragens selecionadas permitiu concluir que nenhuma se encontra acima do limiar de vulnerabilidade estabelecido, ou mesmo apresenta pontuação preocupante (próxima a atingir o nível crítico). Estes resultados, embora não possam ser diretamente comparados numericamente, guardam semelhança com aqueles obtidos no Quadro 2, segundo o qual todas as barragens avaliadas pela Resolução 143, apresentaram classificação de risco média. Este fato indica que o número de descritores utilizados na Resolução 143 poderá ser otimizado, se

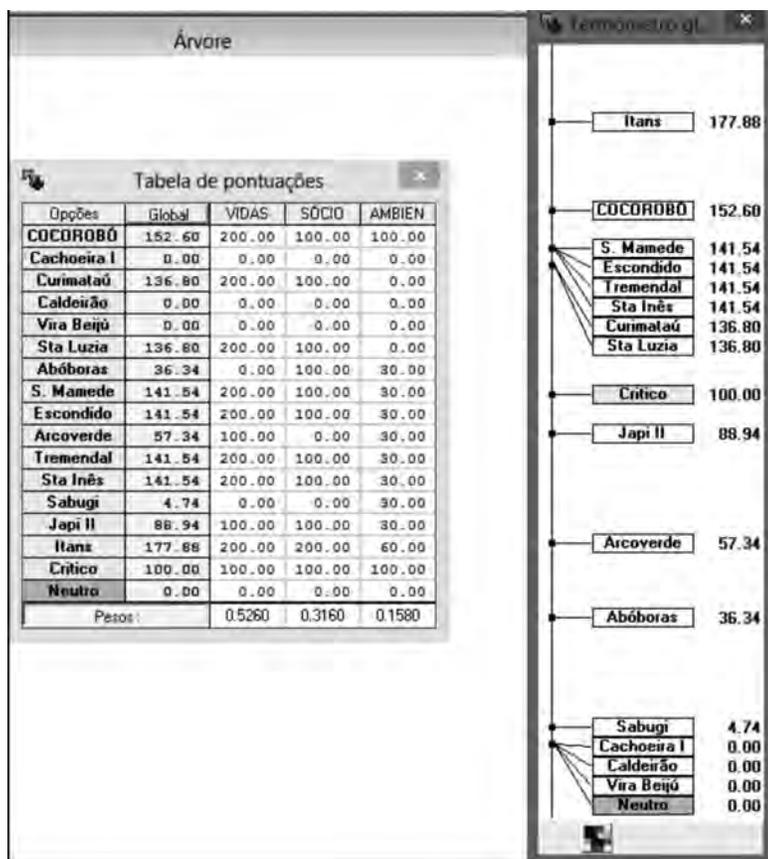


Fig. 16 – Tabela de pontuações globais e escala termométrica para o IVJ<sub>B</sub> (Baima, 2015).

for considerado em sua reformulação que os mesmos devem obedecer às propriedades dos PVFs (consensualidade, operacionalidade, inteligibilidade e isolabilidade).

Quanto ao IVJ<sub>B</sub> sua estruturação foi mais simples, devido ao menor número de PVFs associados, bem como ao suporte proporcionado pelas legislações consultadas para o estabelecimento dos níveis de impacto dos critérios.

Os resultados da aplicação do IVJ<sub>B</sub> ao conjunto de 15 barragens, evidenciaram 8 barragens acima do nível crítico e 7 barragens entre o crítico e o neutro. Não se pode comparar diretamente estes resultados com os de dano potencial constantes no Quadro 2, entretanto, com base na tendência das legislações consultadas e no sentimento evidenciado pelos especialistas, os resultados do modelo sugerem que o cálculo do dano potencial pela Resolução 143 encontra-se sobrevalorizado. Este fato se deve, sobretudo, à relação de dependência existente entre o EPA<sub>18</sub> - volume e os demais EPAs para o cálculo do dano, e ainda devido aos níveis de impacto destes EPAs; por exemplo, os níveis estabelecidos para o EPA<sub>19</sub> - perda de vidas consideram também pessoas eventualmente transitando na região de jusante, e não são estabelecidos níveis de impacto baseados na densidade populacional; o EPA<sub>20</sub> - impacto ambiental é dicotômico (2 níveis de performance) e seus níveis são notadamente imprecisos.

Finalmente destaca-se a contribuição deste trabalho na área acadêmica, uma vez que reúne duas áreas de conhecimento: a segurança de barragens e a metodologia multicritério. Essa experiência mostrou que esta junção é possível e gera a contribuição do conhecimento científico e técnico, constituindo uma inovação na literatura da segurança de barragens.

## 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, J. (2001). *Aplicações da metodologia multicritério de apoio à decisão na seleção de centros de usinagem para uma central de usinagem*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção, Florianópolis-SC.
- ANA (2012). *Resolução nº 91/2012*. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2012/91-2012.pdf>. Acesso em: 21/04/2013.
- Baima, S.K.O. (2015). *Uma metodologia multicritério construtivista para a avaliação da vulnerabilidade de barragens e regiões a jusante*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza-CE. Disponível em: <http://www.posdeha.ufc.br/>
- Bana e Costa, C.A.; Meza, L.A.; Oliveira, M.D. (2013). *O método MACBETH e aplicação no Brasil*. *Engevista*, v. 15, n. 1, pp. 3-27.
- Bana e Costa, C.A.; De Corte, J.M.; Vansnick, J.C. (2012). *MACBETH*. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v.11, no.2.
- Bana e Costa, C.A.; Beinat, E. (2011). *Estruturação de Modelos de Análise Multicritério de Problemas de Decisão Pública*. In: S. Costa, P. Nijkamp, T.P. Dentinho (eds.), *Compêndio de economia regional*. Vol. II: Métodos e técnicas de análise regional, Cap. 20, pp. 611-645.
- Bana e Costa, C.A.; Vansnick, J.C. (1995). *Uma nova abordagem ao problema da construção de uma função de valor cardinal: MACBETH*. *Investigação Operacional*. v. 15, n. 1, pp. 15-35.
- Bana e Costa, C.A. (1993). *Processo de apoio à decisão: actores e acções; estruturação e avaliação*. Publicação do CESUR, nº 618, Lisboa, 34 p. Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/carlosbana/bin/Processosdeapoioadecisao.pdf>.
- Bana e Costa, C.A. (1992). *Structuration, Construction et Exploitation d'un Modèle Multicritère d'Aide à la Décision*. Tese de Doutoramento em Engenharia de Sistemas. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Lisboa.
- Baptista, M.L.P. (2009). *Abordagens de riscos em barragens de aterro*. Tese de Doutoramento, UTL (2008). LNEC. Lisboa, Portugal.
- Bortoluzzi, S.C.; Ensslin, S.R.; Ensslin, L. (2011). *Avaliação de desempenho multicritério como apoio à gestão de empresas: Aplicação em uma empresa de serviços*. *Gestão & Produção*, v. 18, n. 3, pp. 633-650.
- CNRH (2012). *Resolução nº 143/2012*. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Imprensa Nacional, Seção 1 do Diário Oficial da União de 4 de setembro de 2012. Disponível em: [www.in.gov.br](http://www.in.gov.br).
- Dias, L.M.C. (2000). *Informação imprecisa e os modelos multicritério de apoio à decisão*. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, Faculdade de Economia.
- Ensslin, L.; Dutra, A.; Ensslin, S.R. (2000). *MCDAs: A constructivist approach to the management of human resources at a governmental agency*. *International Transactions in Operational Research*, no. 7, pp. 79-100.
- Ensslin, L.; Montibeller, G.N.; Noronha, S.M. (2001). *Apoio à Decisão – Metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Florianópolis, Insular.

- Gallopín, G.C. (2006). *Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity*. Global Environmental Change, v. 16, no. 3, pp. 293-303.
- Matzenauer, H.B. (2003). *Uma metodologia multicritério construtivista de avaliação de alternativas para o planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas.
- Rocha, M.C.S.P. (2011). *Métodos de classificação multicritério com classes parcialmente ordenadas*. Tese de Doutorado, Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Silva, M.B.F.A. (2012). *Formulação de um modelo de remoção de barragens sob um enfoque multicritério*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Disponível em: <http://www.posdeha.ufc.br/>
- Thomaz, J.P.C.F. (2005). *Apoio à tomada de decisão na avaliação do desempenho de pessoas: contributos para o processo de decisão militar em tempo de paz*. Tese de Doutorado, Universidade de Lisboa, IST, Lisboa.