



XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

BR/GIA/12
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA

PROPOSTA DE CONSIDERAÇÃO DO IMPACTO SOCIOAMBIENTAL DO NÃO-APROVEITAMENTO DE POTENCIAIS HIDRELÉTRICOS ECONOMICAMENTE ATRATIVOS EM ESTUDOS DE INVENTÁRIO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Denise F. de Matos(*)
CEPEL

Fernanda da S. Costa
CEPEL

Igor P. Raupp
CEPEL

Luciana R. L. da Paz
CEPEL

Alexandre M. Medeiros
CEPEL

Jorge M. Damázio
CEPEL

Katia C. Garcia
CEPEL

Gabrielle de A. O. dos Santos
CEPEL

RESUMO

Os Estudos de Inventário Hidroelétrico de bacias hidrográficas têm por objetivo a análise das possíveis alternativas de divisão de quedas da bacia hidrográfica em foco para a seleção da melhor alternativa considerando os enfoques socioambiental e econômico-energético, através de uma análise multiobjetivo.

Seguindo uma sistemática de revisão e aprimoramento das metodologias para os estudos de inventário, o presente trabalho apresenta uma metodologia para incorporar, na comparação multiobjetivo das alternativas de divisão de quedas, o índice de impacto socioambiental relativo ao Não-Aproveitamento de Potenciais Hidrelétricos Econômico-Energeticamente Eficientes em Estudos de Inventário de Bacias Hidrográficas.

PALAVRAS-CHAVE: estudos de inventário hidroelétrico; impacto socioambiental; planejamento da expansão.

1.0 INTRODUÇÃO

No Brasil, os estudos de inventário hidrelétrico caracterizam-se pela concepção, análise e comparação de diferentes alternativas de divisão de quedas em uma bacia hidrográfica, com o objetivo de selecionar aquela que apresente o melhor balanço entre os custos de implantação e operação, benefícios energéticos e impactos socioambientais. A comparação é feita através de uma análise multiobjetivo que considera como critério básico de seleção da melhor alternativa a "maximização da eficiência econômico-energética com a minimização dos impactos socioambientais negativos, levando em conta os impactos socioambientais positivos da implementação de usinas hidrelétricas na bacia", conforme o Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas (1).

No que tange a questão socioambiental, para cada alternativa de divisão de quedas são calculados os índices de impacto socioambiental negativo e positivo, considerando apenas os impactos gerados dentro da bacia hidrográfica em estudo. Neste cálculo a complementação energética (diferença entre as energias firmes da alternativa com maior potencial e da alternativa em questão) não é considerada. É importante salientar que no cálculo do índice de eficiência econômico-energética das alternativas, a complementação energética é levada em consideração e é valorada pelo custo unitário da energia no longo prazo no sistema interligado nacional. Embora, os impactos socioambientais não levem em consideração a complementação energética, o impacto associado a esta energia pode não ser desprezível e, desta forma, vir a alterar a escolha da melhor alternativa de divisão de quedas. Em vista disso e com o intuito do contínuo aprimoramento das metodologias atualmente em uso nos estudos de inventário, insere-se a presente metodologia, cujos objetivos são:

1. Explicitar aos tomadores de decisão e à sociedade como um todo que, ao abrir mão de um potencial hidrelétrico eficiente sob o ponto de vista econômico-energético, está se optando por produzir a mesma energia por meio de outra fonte de geração, ou em outra bacia hidrográfica, o que também produz impactos socioambientais específicos;
2. Inserir na comparação das alternativas de divisão de quedas o índice socioambiental da complementação energética das alternativas de divisão de quedas (IACE);

Em analogia a consideração da energia complementar no índice de eficiência econômico-energética, considerou-se que o IACE deve incorporar os impactos socioambientais externos à bacia representativos de diversas fontes, numa visão de longo prazo, ou seja, associados à expansão da geração de energia elétrica.

A metodologia para definição do IACE (2) foi desenvolvida considerando as seguintes etapas:

1. Seleção dos principais impactos socioambientais das diversas fontes de geração a serem considerados no IACE;
2. Seleção dos indicadores dos impactos selecionados para sua posterior quantificação;
3. Agregação dos diversos impactos em um único índice (IACE); e
4. Incorporação do IACE na análise multiobjetivo dos Estudos de Inventário.

O foco do presente artigo é a construção do IACE e sua incorporação na análise multiobjetivo dos Estudos de Inventário (etapas 3 e 4), apresentando um caso-teste, onde é feita uma simulação da análise multiobjetivo de um estudo de inventário fictício.

2.0 SELEÇÃO DOS IMPACTOS

Esta etapa teve como objetivo selecionar os impactos socioambientais negativos mais significativos identificados, por fonte de geração de energia elétrica, considerando todas as etapas do seu ciclo de vida, para serem contemplados na construção do IACE. Como ponto de partida foi considerada uma lista inicial contemplando todos os impactos encontrados nas publicações de referência (1), (3), (4), (5). O resultado deste levantamento foi uma lista bastante extensa (6), o que tornou necessária a seleção dos principais impactos socioambientais por fonte de geração a serem considerados. Para tanto foram realizadas quatro filtrações, usando diferentes critérios de exclusão, conforme descritas abaixo.

- Primeira filtragem dos impactos – a partir da lista inicial foram mantidos os impactos considerados como mais relevantes nas referências bibliográficas consultadas, tendo como resultado uma lista de **148 impactos**.
- Segunda filtragem dos impactos – foram descartados os impactos associados a acidentes-riscos; resultando numa lista de **127 impactos**.
- Terceira filtragem dos impactos (seleção qualitativa de impactos socioambientais) – foram descartados, salvo avaliação conjunta dos especialistas, os impactos com base nos atributos duração, reversibilidade e abrangência espacial; sendo considerados menos importantes os impactos temporários e reversíveis e locais e reversíveis, resultando numa lista de **63 impactos**.
- Quarta filtragem dos impactos (seleção final dos principais impactos socioambientais) - selecionados os impactos de acordo com sua "significância", definida como uma função da magnitude e importância dos impactos (2). Ao final, o resultado foi uma lista de **17 impactos**.

Os 17 impactos selecionados, chamados de impactos-fonte, são apresentados a seguir:

1. Interferência sobre o uso e ocupação do solo na geração hidrelétrica;
2. Interferência sobre os modos de vida geração hidrelétrica;
3. Interferência nas condições etno-ecológicas (populações tradicionais e povos indígenas) geração hidrelétrica;
4. Interferência sobre o uso e ocupação do solo na geração termelétrica a gás natural;
5. Interferência na qualidade do ar na geração termelétrica a gás natural;
6. Contribuição para o aquecimento global na geração termelétrica a gás natural;
7. Interferência sobre o uso e ocupação do solo na geração nuclear;
8. Geração de resíduos sólidos radioativos na geração nuclear;
9. Contaminação de áreas circunvizinhas na geração nuclear;
10. Aversão ao risco na geração nuclear;
11. Interferência sobre o uso e ocupação do solo na geração termelétrica a carvão mineral;
12. Interferência na qualidade da água na geração termelétrica a carvão mineral;
13. Interferência na qualidade do ar na geração termelétrica a carvão mineral;
14. Contribuição para o aquecimento global na geração termelétrica a carvão mineral;
15. Interferência na qualidade do ar na geração termelétrica a biomassa;
16. Interferência sobre o uso e ocupação do solo na geração eólica; e
17. Poluição sonora na geração eólica.

3.0 SELEÇÃO DOS INDICADORES

De forma a facilitar as etapas seguintes de definição do IACE, os 17 impactos-fonte foram agrupados em 10 impactos-tipo (apresentados na tabela 1), uma vez que alguns impactos se repetem em diferentes fontes. De posse destes 10 impactos-tipo, foram definidos, com base na literatura, os indicadores mais apropriados para sua

valoração. Com o intuito de se obter graus de impacto entre zero e um, foram definidos, também, os valores máximos admissíveis para cada um dos indicadores, de modo que na atribuição da nota do impacto, o grau de impacto igual a zero corresponda a ausência de impacto e o grau de impacto igual a 1 corresponda ao máximo impacto admissível. Na tabela 1 são resumidos os indicadores selecionados por impacto-tipo.

Tabela 1 - Resumo de Indicadores e Critérios de Avaliação para os Impactos Selecionados.

Impactos-tipo	Indicador ¹
1) Interferência na qualidade do ar	Emissão média de SOx, NOx e material particulado (PM-10)
2) Interferência na qualidade da água	Ph
3) Contaminação das áreas circunvizinhas com radiação	Estudos indicam que não é possível garantir com razoável nível de certeza a não-contaminação das áreas próximas às minerações de urânio. Tal fato expõe a população destas áreas a um impacto sobre a sua saúde variável e de difícil detecção, e por isso adotou-se valor máximo para este impacto.
4) Geração de Resíduos Sólidos Radioativos	Ainda não existe uma solução definitiva para os resíduos sólidos radioativos gerados na mineração de urânio e no descomissionamento das usinas térmicas nucleares, por essa razão adotou-se o valor máximo para este impacto.
5) Poluição sonora	Nível de ruído
6) Contribuição para o aquecimento global	Fator de Emissão Médio (tCO2/TJ)
7) Interferência sobre o uso e ocupação do solo	Área média utilizada por GW
8) Interferência sobre os Modos de Vida	Nota do componente-síntese Modos de Vida em Inventários recentes.
9) Interferência nas condições etno-ecológicas (populações tradicionais e povos indígenas)	Nota do componente-síntese Povos Indígenas e Populações Tradicionais em Inventários recentes.
10) Aversão ao Risco	Eventos catastróficos em escala mundial relacionados à geração de energia elétrica por fonte nuclear foram responsáveis pela cristalização de uma imagem negativa extremamente forte desta categoria de geração de energia, e por isso assumiu-se o valor máximo para este impacto.

FONTE: CEPEL, 2011 (2)

¹ Para os impactos 3, 4 e 10, na coluna indicador encontram-se as justificativas para atribuição do valor máximo do impacto.

A escolha dos indicadores levou em consideração que estes são utilizados em uma análise de longo prazo quando, em geral, não se dispõe dos projetos/localização das plantas, portanto, devem ser tais que independam dessas características. Por outro lado, alguns impactos são fortemente associados a características locais (impactos-tipo 7 e 8), o que motivou a considerar a simplificação de adotar como indicador as notas associados a estes impactos nos Estudos de Inventários recentes.

4.0 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE IMPACTO

A metodologia proposta nesse trabalho, para incorporação do impacto socioambiental negativo associado ao montante de energia que deixa de ser gerada na bacia em estudo por alternativa de divisão de quedas ($\Delta E_f^* - \Delta E_f$) consiste em considerar como impacto desta parcela de energia o índice representativo do impacto socioambiental negativo da expansão da geração (IAEXP), resultando em um índice representativo do impacto socioambiental negativo da energia firme complementar de cada alternativa de divisão de quedas, denominado IACE. A seguir resumem-se as etapas para o cálculo do IAEXP, que utiliza como referência o planejamento de longo prazo do setor:

Passo 1: Definição dos graus de impacto (GI) para cada um dos 17 impactos-fontes considerados.

Definidos os indicadores e critérios, para cada um dos 17 impactos-fontes, foi feita uma avaliação do grau de impacto que cada impacto-fonte exerce sobre o meio socioambiental do país, tendo como base o Plano Nacional de Energia 2030 (7). Os graus atribuídos aos impactos-fontes foram valores entre zero e um.

Passo 2: Definição dos pesos relativos (p) para cada um dos 10 tipos de impactos-tipo considerados.

Para a agregação dos diversos impactos em um único índice, é necessária a definição da importância relativa entre os impactos-tipo. Esta definição foi realizada através de uma análise hierárquica dos mesmos, adotando-se o método SAATY para o cálculo dos pesos dos impactos-tipo no cálculo do índice de impacto do PNE, tendo em mente a importância relativa dos impactos entre si. Recomenda-se que a definição destes pesos seja feita por uma equipe multidisciplinar.

Passo 3: Cálculo do Grau de impacto modificado (GI*)

O GI* é obtido através da multiplicação do grau do impacto-fonte (GI) pelo peso associado ao tipo de impacto-tipo (p), de acordo com a equação 4.1, a seguir:

$$GI^*_{k,j} = GI_{k,j} \cdot p_j \quad (4.1)$$

Onde k representa a fonte e j representa o impacto-tipo.

Passo 4: Cálculo do IAEXPpreliminar

De posse dos graus de impacto modificado e do percentual de participação de cada fonte no PNE e utilizando a equação 4.2 chega-se ao valor de um índice representativo do impacto socioambiental negativo da expansão da geração preliminar, que chamaremos de IAEXPpreliminar (IAEXPprel).

$$IAEXPprel = \sum_j \sum_k GI^*_{k,j} \cdot f_k \quad (4.2)$$

Onde f_k representa o percentual de participação da fonte k no mix do PNE

Este índice é denominado preliminar, pois é aplicada uma padronização de forma a limitá-lo ao intervalo [0; 1]. Para tal, deve-se avaliar o valor máximo (IAEXPpreliminar máximo) que o índice IAEXPpreliminar assume quando é atribuído o maior grau de impacto (um) a todos os impactos-fontes. Dividindo-se o IAEXPpreliminar pelo IAEXPpreliminar máximo, obtém-se o IAEXP, um índice compreendido entre os valores zero e um. Este índice representa o impacto socioambiental negativo da expansão da geração.

De posse do IAEXP, o próximo passo é o cálculo do IACE, que consiste no produto do IAEXP pela complementação energética da alternativa de divisão de quedas em questão, dividido pelo maior montante de energia firme produzido pelas alternativas de divisão de quedas da bacia em estudo, conforme equação 4.3.

$$IACE_a = \frac{(\Delta Ef^* - \Delta Ef_a) \times IAEXP}{\Delta Ef^*} \quad (4.3)$$

Onde:

ΔEf^* : Energia firme da alternativa que gera mais energia dentre as alternativas estudadas no inventário em questão; e

ΔEf_a : Energia firme da alternativa "a".

5.0 INCORPORAÇÃO DO IACE NOS ESTUDOS DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO

Nos Estudos de Inventário, a escolha das alternativas é, normalmente, realizada em duas etapas. Na primeira etapa (Estudos Preliminares) são analisadas todas as possíveis alternativas de divisão de quedas da bacia e identificadas aquelas mais atraentes, cujos estudos serão aprofundados e detalhados na etapa subsequente (Estudos Finais). O objetivo desta etapa é eliminar alternativas não-competitivas, de modo que o trabalho de detalhamento das alternativas não fique sobrecarregado. Para a escolha das alternativas que irão para a etapa seguinte, são considerados os índices de eficiência econômico energética (ICB) e de impacto socioambiental negativo na bacia (IAN), através de uma análise multiobjetivo, onde as alternativas dominantes (Pareto ótimo) serão detalhadas. Nos Estudos Finais é realizada a escolha da melhor alternativa de divisão de quedas, considerando uma análise multiobjetivo, através da combinação linear do ICB e IAN em um único índice (Índice de Preferência, I), e, posteriormente, da combinação linear entre o I e o índice de impacto socioambiental positivo (IAP), resultando no Índice de Preferência modificado (I'), calculado para cada alternativa. A alternativa que obtiver o menor valor para I' será selecionada como a melhor alternativa de divisão de quedas do estudo em questão. Maior detalhamento em BRASIL (1) e COSTA et al (8).

5.1 Índice de Impacto Socioambiental Negativo Modificado (IA*)

Para a incorporação do Impacto da Energia Complementar na análise multiobjetivo dos Estudos Preliminares e Finais propõe-se que seja criado um índice de impacto socioambiental negativo modificado (IA*), de modo a considerar em um mesmo índice o impacto socioambiental dentro e fora da bacia. Três abordagens foram analisadas para calcular o IA*:

1. Adição do IACE ao índice de impacto socioambiental negativo referente ao montante de energia firme produzido na bacia (IAN) em cada alternativa de divisão de quedas. Desta forma o impacto socioambiental negativo dentro e fora da bacia tem a mesma importância na formação do IA*;
2. Combinação linear entre o IACE e IAN, através da média ponderada dos dois índices de impacto socioambiental negativo; e
3. Combinação linear entre o IAN e o IAEXP, onde os pesos entre os índices são fixos e proporcionais as energias firmes produzidas dentro e fora da bacia, respectivamente.

5.2 Incorporação do IA* na análise multiobjetivo dos Estudos Preliminares

A alteração da análise multiobjetivo nos Estudos Preliminares consiste em substituir o IAN pelo Índice de impacto socioambiental modificado (IAa*). As duas dimensões (eficiência econômico-energética e impactos socioambientais negativos) são mantidas separadas e a seleção das alternativas Dominantes (Pareto ótima) se dá da mesma forma como é feita atualmente.

5.3 Incorporação do IA* na análise multiobjetivo dos Estudos Finais

Nos Estudos Finais, a alteração no cálculo do índice da preferência é feita substituindo-se o IAN pelo IA*, conforme equação 5.1.

$$I_a = p_{cb} \times \frac{ICB_a}{CUR} + (1 - p_{cb}) \times IA_a^* \quad (5.1)$$

Onde:

I_a : índice de preferência da alternativa "a";

p_{cb} : peso que reflete a importância relativa do objetivo "minimização do índice custo-benefício energético";

ICB_a : índice custo/benefício energético da alternativa "a", em R\$/MWh;

CUR: custo unitário de referência, em R\$/MWh;

O cálculo de I' (Índice de Preferência modificado) não é alterado.

6.0 CASO-TESTE

Para verificar a aplicabilidade e adequação da consideração do IACE em Estudos de Inventário, foi desenvolvido um caso estudo fictício. Os itens a seguir apresentam a aplicação e os resultados do caso estudo nas duas etapas do Estudo de Inventário. A primeira etapa para a obtenção do IACE é o cálculo do IAEXP. Utilizando o PNE 2030 e a opinião de uma equipe multidisciplinar para atribuir os pesos (método SAATY) e graus de impacto, obteve-se ao valor de 0,57 para o IAEXP. Este artigo concentrou-se na obtenção do IACE e, portanto, optou-se por não apresentar as etapas para a obtenção do IAEXP, o detalhamento destas etapas encontra-se em CEPEL (2).

6.1 Estudos Preliminares

Nesta etapa foram consideradas 15 alternativas de divisão de quedas, que são identificadas com um número e a letra P. Na tabela 2 são apresentados, para cada alternativa, os valores dos índices necessários a serem utilizados na análise multiobjetivo.

Tabela 2 – Alternativas de divisão de quedas dos Estudos Preliminares do Estudo de Caso Fictício.

Alternativa	EF (MW)	ICB (R\$/MW)	IAN	EF complementar (MW)	IACE	IA* (1)	IA* (2)	IA* (3)
13P	3173,25	61,17	0,512	0,00	0,000	0,512	0,256	0,512
12P	3035,67	62,31	0,467	137,59	0,025	0,492	0,246	0,471
7P	3051,70	63,87	0,455	121,55	0,022	0,477	0,238	0,459
15P	3013,35	65,54	0,508	159,91	0,029	0,537	0,268	0,511
4P	3126,03	66,32	0,506	47,22	0,008	0,514	0,257	0,507
14P	2878,12	66,58	0,463	295,14	0,053	0,516	0,258	0,473
3P	2918,09	68,85	0,465	255,16	0,046	0,511	0,255	0,473
9P	2894,69	69,28	0,450	278,56	0,050	0,500	0,250	0,461
6P	2964,84	71,91	0,501	208,42	0,037	0,538	0,269	0,506
5P	2759,25	74,34	0,460	414,00	0,074	0,534	0,267	0,474
1P	3156,51	78,14	0,501	16,74	0,003	0,504	0,252	0,501
10P	3171,26	81,72	0,495	1,99	0,000	0,495	0,248	0,495
2P	2985,16	82,99	0,498	188,10	0,034	0,532	0,266	0,502
8P	2847,98	87,59	0,497	325,27	0,058	0,555	0,278	0,504
11P	2995,72	87,91	0,474	177,54	0,032	0,506	0,253	0,479

Legenda: IA*(i) - índice de impacto socioambiental negativo modificado calculado segundo a abordagem "i".

Comparando-se os valores dos índices IAN e IA* (tabela 2) pode-se observar uma alteração do desempenho socioambiental das alternativas quando se considera o impacto socioambiental referente a energia firme complementar. A alternativa 9P que apresentava o menor valor de IAN, não é a que apresenta o menor valor para o índice IA*, qualquer que seja a abordagem adotada para seu cálculo, a alternativa com menor valor de IA* é a 7P.

Na figura 1 são apresentados os gráficos da análise multiobjetivo dos Estudos Preliminares considerando como dimensão socioambiental o índice IAN e IA*, este último calculado pelas três abordagens. No caso estudo, foi definido que seriam escolhidas no mínimo oito alternativas de divisão de quedas a serem consideradas nos Estudos Finais (estas alternativas estão identificadas na figura 1 por seu respectivo nome). Caso o conjunto de alternativas localizado no primeiro conjunto Pareto ótimo (na figura 1, referem-se as alternativas ligadas por um linha sombreada) não seja suficiente para atingir o valor de oito alternativas, torna-se necessário selecionar as alternativas pertencentes aos conjuntos de Paretos ótimo subsequentes até atingir o número desejado de alternativas. Em apenas um caso (terceira abordagem do IA*) foi necessário selecionar alternativa do terceiro

conjunto de Pareto ótimo, identificada na Figura 1 através de um quadrado ao redor de seu nome. As demais alternativas identificadas na Figura 1 pertencem ao segundo conjunto de Pareto ótimo. Considerando a premissa do número mínimo de alternativas, são listadas na tabela 3 as alternativas selecionadas para os Estudos Finais, considerando as 4 situações de cálculo do impacto socioambiental negativo apresentadas (IAN ou as três abordagens do IAN*).

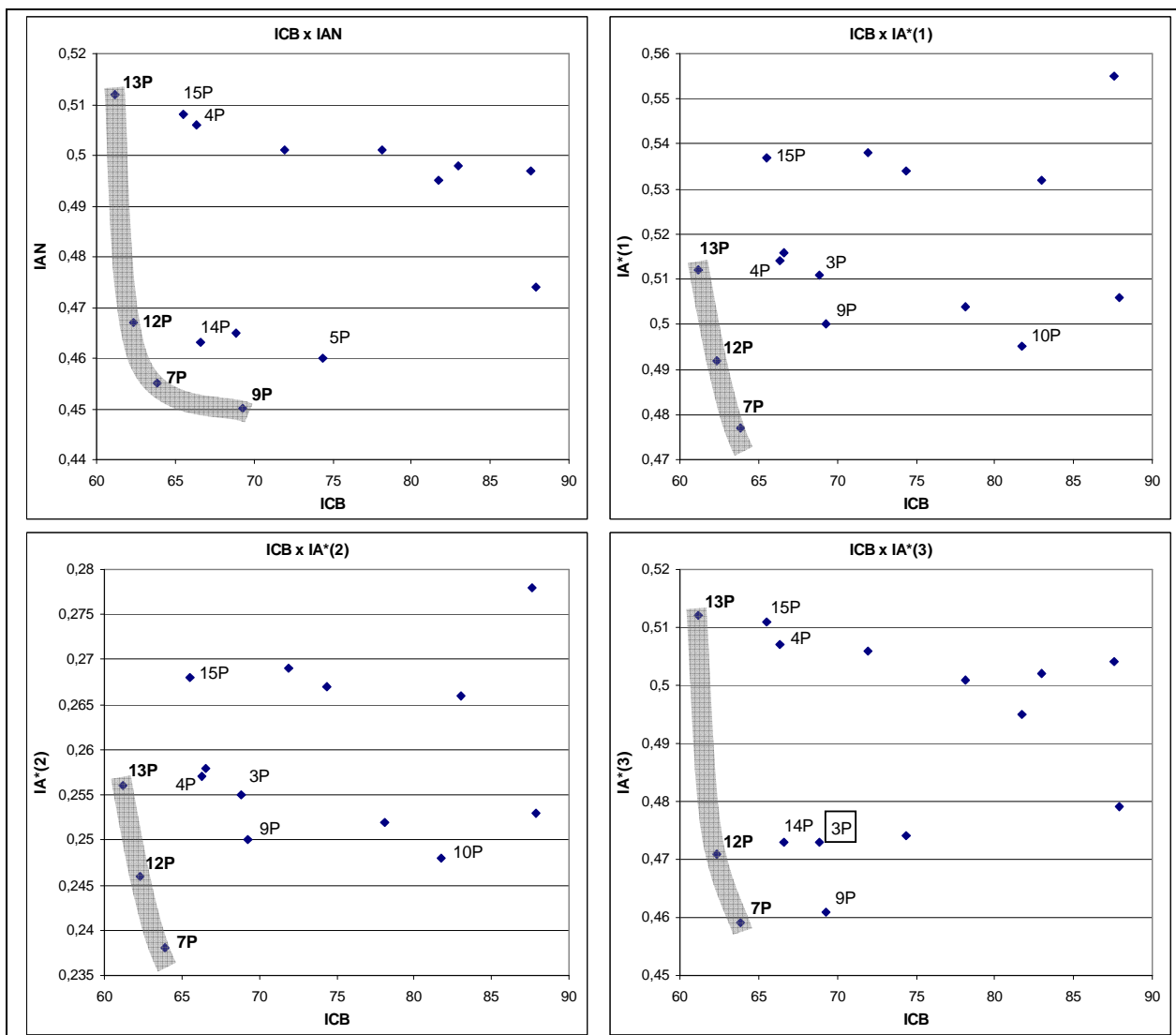


Figura 1 – Gráficos das Análises Multiobjetivo Preliminar, considerando IAN e IA*.

Tabela 3 – Alternativas selecionadas para os Estudos Finais considerando-se os diferentes índices de impactos socioambiental.

Alternativas selecionadas	Índice Socioambiental adotada na análise multiobjetivo
13P, 12P, 7P, 15P, 4P e 9P	IAN ou IA*(1) ou IA*(2) ou IA*(3)
14P	IAN ou IA*(3),
5P	IAN
10P	IA*(1) ou IA*(2)
3P	IA*(1) ou IA*(2) ou IA*(3)

6.2 Estudos Finais

Nos Estudos Finais, as alternativas selecionadas são estudadas e analisadas outra vez com maior grau de detalhamento e profundidade, já que nesta etapa o número de alternativa é menor, e em geral, sofrem alterações que podem modificar suas características, inclusive podendo produzir alternativas modificadas.

Considerando que passaram para a etapa dos Estudos Finais oito alternativas de divisão de quedas, após estas serem re-analisadas, otimizadas e modificadas, deram origem a um conjunto de dez alternativas cujas principais características para a análise multiobjetivo são apresentadas na tabela 4 (colunas 1 a 6). O valor do ICB já se encontra dividido pelo CUR (custo unitário de referência de energia) de forma que seus valores estejam no intervalo entre zero e um. O valor do Índice de Preferência (I) foi calculado considerando pesos iguais para as dimensões socioambiental e eficiência econômico-energética (0,5). Neste caso estudo não foram considerados os impactos socioambientais positivos, logo não foi calculado o Índice de Preferência Modificado (I'). Em cinza estão realçadas as alternativas que apresentam os melhores valores de energia firme, ICB, IAN e I, e em negrito os piores.

Através da análise da tabela 3 (colunas 1 a 6) pode-se observar que:

- a alternativa 3F é a que tem a maior energia firme, e portanto, sua energia firme complementar é nula. Esta alternativa é também a que apresenta o maior índice de impacto socioambiental negativo (IAN);
- a alternativa 10F é a que tem a menor energia firme, e portanto, é a alternativa que necessita da maior complementação de energia firme. Esta alternativa é a que apresenta o maior índice custo-benefício energético (ICB), ou seja, a menos eficiente energeticamente. Seu valor de IAN é o quarto menor;
- a alternativa 1F é a que apresenta o menor valor de ICB e portanto, é a mais eficiente energeticamente, apesar de necessitar de uma complementação de energia firme de 104,45 MW. Seu IAN está entre os menores (terceiro menor);
- a alternativa 2F é a que possui o menor IAN, e a segunda maior em necessidade de complementação de sua energia firme; e
- considerando importâncias relativas iguais para as dimensões socioambiental e eficiência econômico-energética (pesos iguais a 0,5) a alternativa com menor valor para o índice de Preferência é a 1F e, portanto, a melhor alternativa, sem considerar o Impacto socioambiental negativo fora da bacia. Esta alternativa seria a escolhida para passar para as etapas seguintes do planejamento da expansão da geração.

Nesta análise não foi considerado o impacto socioambiental negativo causado pela produção das energias firme necessárias para complementar as energias firme das alternativas de forma que todas alcançassem a maior energia firme produzida na bacia. É interessante verificar o que ocorre quando este impacto é incluído na análise. Ainda na tabela 4 (colunas 7 a 10) são apresentados, os valores do IACE e IA*, este último calculado pelas três abordagens. O valor do IAEXP foi o mesmo utilizado nos Estudos Preliminares (0,57). Nesta tabela, foi incluída também na última linha a alternativa AA, na qual opta-se por não se aproveitar o potencial hidroelétrico da bacia, e portanto, a produção correspondente a maior energia firme produzida na bacia será considerada exclusivamente como energia firme complementar e deverá ser obtida fora da bacia e/ou por outra fonte que não a hídrica. Note que o valor do IACE desta alternativa é o próprio valor do IAEXP.

Tabela 4 – Valores dos índices para a análise multiobjetivo das alternativas de divisão de quedas dos Estudos Finais.

Alternativa	EF (MW)	ICB	IAN	EF complementar (MW)	I	IACE	IA* (1)	IA* (2)	IA* (3)
1F	2612,2	0,535	0,464	104,45	0,500	0,022	0,486	0,243	0,468
2F	2473,21	0,566	0,459	243,44	0,513	0,051	0,510	0,255	0,469
3F	2716,65	0,543	0,517	0	0,530	0,000	0,517	0,259	0,517
4F	2581,1	0,573	0,508	135,55	0,541	0,028	0,536	0,268	0,511
5F	2650,02	0,570	0,467	66,63	0,519	0,014	0,481	0,240	0,470
6F	2510,53	0,611	0,461	206,12	0,536	0,043	0,504	0,252	0,469
8F	2573,71	0,646	0,504	142,94	0,575	0,030	0,534	0,267	0,507
9F	2494,76	0,689	0,47	221,89	0,580	0,047	0,517	0,258	0,478
10F	2355,78	0,730	0,465	360,87	0,598	0,076	0,541	0,270	0,479
AA	0	1,000	0	2716,65	0,500	0,570	0,570	0,285	0,570

Neste estudo de caso, a inclusão do impacto socioambiental negativo da energia firme complementar causa alteração no “desempenho” socioambiental das alternativas conforme a abordagem adotada para o cálculo do IA*. De um modo geral, temos:

- a alternativa AA quando não se considera o impacto associado a energia firme complementar é a que apresenta melhor desempenho socioambiental, como esperado. Porém, quando o impacto da energia complementar é considerado, qualquer que seja a abordagem, esta alternativa é a de pior desempenho socioambiental, já que neste estudo de inventário o IAEXP é superior aos IANs;
- desconsiderando-se a alternativa AA, a alternativa de melhor desempenho socioambiental quando se considera apenas o IAN é a 2F. Quando se adota o IA* esta alternativa deixa de ser a de melhor desempenho socioambiental;
- a alternativa 5F é a de melhor desempenho socioambiental quando se considera as abordagens 1 e 2 para o cálculo do IA*, e é a que apresenta o terceiro melhor desempenho quando se considera a abordagem 3. Note que esta alternativa era apenas a quinta melhor quando se considerou apenas o IAN;

- a alternativa 10F que apresenta o pior desempenho socioambiental quando se considera o IA*, calculado pelas abordagens 1 e 2, era apenas a quarta melhor quando se considerou apenas o IAN.

Considerando-se pesos iguais (0,5) para as dimensões socioambiental e eficiência econômico-energética a alternativa que apresentou o menor valor de I continuou sendo a 1F. Uma análise sobre a influência da variação dos pesos no resultado de escolha da melhor alternativa foi apresentado em CEPEL (2). Entretanto, mesmo neste caso esta análise explicita que a energia firme complementar necessária para a produção da maior energia firme obtida pelo conjunto de alternativas analisadas nos Estudos de Inventário tem um impacto socioambiental negativo associado, que pode ser maior que o resultante da produção desta energia complementar na própria bacia em estudo. Sua influência na seleção de melhor alternativa dependerá das características da bacia.

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do Estudo de Caso foi possível observar que a consideração do impacto socioambiental negativo do não-aproveitamento de potenciais hidrelétricos economicamente atrativos em Estudos de Inventário, pode influenciar na seleção das alternativas de divisão de quedas destes estudos. Independente desta influência, a consideração deste impacto explicita aos tomadores de decisão e a sociedade em geral, que o não aproveitamento de potenciais hidrelétricos economicamente atrativos, em um país em que a demanda por energia elétrica ainda é crescente, não significa ausência de impacto socioambiental, uma vez que o montante de energia referente a este potencial terá que ser produzido por outra fonte e/ou pela fonte hídrica em outra bacia.

A valorização do impacto referente a esta produção poderá ser maior ou menor que a do impacto de explorar o potencial hidrelétrico de uma bacia específica dependendo das características do sistema socioambiental da bacia e do valor do índice de impacto representativo da expansão da geração (IAEXP). Cabe destacar que esta relação pode se alterar ao longo do tempo, caso as atualizações/revisões dos Planos de Expansão alterem as características da expansão da geração, alterando o valor do índice IAEXP. Entende-se, portanto, que o valor do IAEXP é associado a um Plano de Expansão específico e que a cada novo Plano seu valor deve ser atualizado.

Neste artigo foram apresentadas três abordagens para o cálculo do IA*. Cada abordagem tem suas vantagens e desvantagens, entretanto, independente da abordagem, a consideração do IACE mostra-se útil e pode influenciar na decisão da escolha da melhor alternativa e que irá representar o potencial da bacia. Este trabalho pode ser visto como um primeiro passo para estruturação de procedimentos para consideração do impacto socioambiental negativo referente ao não aproveitamento do potencial hidroelétrico economicamente atrativo de bacias hidrográficas, visando o aprimoramento dos procedimentos/metodologias para Estudos de Inventário e para o Planejamento da Expansão da Geração como um todo.

8.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas – Edição 2007, MME/CEPEL, Rio de Janeiro, 2007.
- (2) CEPEL. Proposta Metodológica para a consideração do Impacto Socioambiental Negativo do Não-Aproveitamento de Potenciais Hidrelétricos Economicamente Atrativos em Estudos de Inventário de Bacias Hidrográficas. Relatório Técnico nº 39242/2011. Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente – DEA. Rio de Janeiro, 2011.
- (3) EUROPEAN COMMISSION. Externalities of Energy – ExternE. Vol 2: Methodology. Luxembourg, 1995.
- (4) LIMA/PPE/COPPE/UFRJ. Avaliação Ambiental Estratégica para o Setor de Petróleo e Gás Natural no Sul da Bahia. El Paso/Petrobras/Queiroz Galvão/Ipiranga/Petroserv. 2003.
- (5) LIMA/PPE/COPPE/UFRJ. Avaliação Ambiental Estratégica do Programa de Investimentos da Petrobras na Área de Abrangência da Baía de Guanabara – PLANGAS, GNL e COMPERJ. 2009.
- (6) CEPEL. Levantamento Bibliográfico como Subsídio para Construção de Metodologia para Definição do Índice de Impacto Socioambiental Negativo do Não-Aproveitamento de Potenciais Hidroelétricos em Estudos de Inventário de Bacias Hidrográficas. Relatório Técnico nº 39240/2011. Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente – DEA. Rio de Janeiro, 2011.
- (7) BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030 – Documento Final. MME/ EPE, Brasília, 2007.

(8) COSTA, F.S., RAUPP, I.P., DAMÁZIO, J.M., PIRES, S.H.M., GARCIA, K., MATOS, D.F., MENEZES, P. C., MEDEIROS, A.M., PAZ, L.R. Hydropower Inventory Studies of River Basins in Brazil. International Journal on Hydropower and dams. 2011.

9.0 DADOS BIOGRÁFICOS

Denise Ferreira de Matos:



Nascida no Rio de Janeiro em 1971, possui graduação em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1994) e Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas - ENCE/IBGE (2006).

Atualmente é pesquisadora do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento da expansão do setor elétrico e indicadores de sustentabilidade corporativa.