

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE USOS MÚLTIPLOS NA ENERGIA ASSEGURADA DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Alessandra Aparecida de Lima^{1}, Carlos Barreira Martinez², Denis Furstenu Plec³, Mário Cicareli Pinheiro⁴, Leonardo Mitre Alvim de Castro⁵*

Resumo – A demanda de energia elétrica no Brasil tem apresentado crescimento constante nas últimas décadas, induzindo a diversificação da matriz energética e o cotejo de novas fontes de energia, incluindo um conjunto de aproveitamentos hidrelétricos antes desconsiderados em estudos de inventário e até mesmo desativados. Entretanto, a nova realidade nacional indica, ao contrário do passado, a ocupação das bacias hidrográficas por múltiplas atividades que concorrem fortemente pela demanda de água superficial com os empreendimentos hidrelétricos, gerando cenários de conflito pela utilização do recurso. Em alguns casos, esses cenários se configuram e se tornam negativos para a operação das usinas pelo fato de a grande maioria dos usos presentes na bacia serem consuntivos, subtraindo parcela de água que pode ser significativa para a geração e a garantia da energia assegurada do empreendimento. Isto porque a geração energética, embora constituindo uso não consuntivo, demanda percentuais elevados da vazão média de longo termo na seção fluvial correspondente para que o empreendimento possa ser considerado viável energética e economicamente. Dentro desse contexto, este trabalho apresenta o estudo de caso da avaliação e mensuração do impacto dos usos múltiplos de água, em uma bacia hidrográfica, sobre a energia assegurada de uma cascata de pequenas centrais hidrelétricas.

Palavras-Chave – Energia assegurada, Usos múltiplos, Pequenas Centrais Hidrelétricas.

IMPACT ASSESSMENT OF THE ENERGY USES MULTIPLE ASSURED OF SMALL HYDROPOWER

Abstract - The demand for electricity in Brazil has shown steady growth in recent decades, leading to diversification of energy sources and new energy sources, including a set of hydroelectric projects before disregarded in studies of inventory and even disabled. However, the new national reality shows, unlike the past, the occupation of watersheds by multiple activities competing strongly for the demand for surface water with hydropower projects, generating conflict scenarios for resource utilization. In some cases, these scenarios are configured and become negative for the operation of the plants because the vast majority of uses are present in the basin consumptive, subtracting amount of water that can be significant for the generation and the guarantee of assured energy of the enterprise. This is due to power generation, although considered as a non-consumptive use, demand high percentage of long-term average flow in the stream section in order to be considered economically and energetically feasible. Within this context, this paper presents the case study of the assessment and measurement of the impact of the multiple uses of water in a basin, on the assured energy of a cascade of small hydropower.

Keywords - Assured Energy, Multiple Uses, Small Hydropower.

¹Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a_alima@ig.com.br

²Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos (CPH) – Universidade Federal de Minas Gerais, martinez@cce.ufmg.com.br

³Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), mario.cicareli@potamos.com.br

⁴Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda., denis.plec@potamos.com.br

⁵Anglo American, leonardo.mitre@angloamerican.com

INTRODUÇÃO

Em virtude do processo natural de desenvolvimento do país, as regiões que apresentam potencial de aproveitamento de recursos naturais têm sido alvo gradual de pesquisa e exploração. Bacias hidrográficas antes caracterizadas como rurais vêm apresentando crescente ocupação, vinculada à utilização dos recursos naturais presentes, seja por atividades que visam à exploração mineral, o aproveitamento do potencial hidrelétrico, o aproveitamento do solo para produção alimentícia (irrigação) e criação de animais, além de outras atividades industriais associadas ou não a tais usos.

Para sustentar o desenvolvimento supracitado, se tem notado uma crescente demanda de energia elétrica pela sociedade brasileira. A matriz energética do país, que é caracterizado por vasta e densa rede hidrográfica, tem 67% de sua produção baseada em usinas hidrelétricas (ANEEL, 2012). Este setor, porém, tem sofrido com a falta de investimentos ou com a competição pelo uso da água em bacias hidrográficas com índices de uso e ocupação do solo com elevadas taxas de crescimento.

Embora caracterizado como uso não consuntivo, a operação das usinas hidrelétricas depende da afluência de vazões em valores suficientes para garantir a energia assegurada, que se constitui, de fato, na energia distribuída e comercializada no país. Esses valores de vazão correspondem, muitas vezes, a percentuais elevados da vazão média de longo termo na seção fluvial correspondente ao ponto de instalação das usinas, comprometendo, dessa forma, usos que demandam quantidades significativas de água para outras finalidades no trecho de montante.

Considerando a multiplicidade de usos de água superficial que podem ser observados em uma determinada bacia hidrográfica, sendo que a maioria deles explora o recurso de forma consuntiva, estes podem também interferir em empreendimentos hidrelétricos já instalados no trecho de jusante. Assim, suas respectivas demandas devem ser computadas na avaliação da real disponibilidade hídrica da bacia, bem como mensurado o quanto as captações correspondentes impactam na demanda de outros usuários situados no trecho de jusante, incluindo a avaliação do impacto na geração energética.

Dentre a diversidade de usos da água existentes, a atividade de mineração tem especificidades de utilização e consumo de água, muitas necessitando captar valores expressivos desse insumo. Apesar dos processos de mineração preverem a recirculação da água utilizada, algumas etapas do processo produtivo têm caráter consuntivo, tal como citado em Freitas (2012). Esta especificidade da atividade minerária tende a gerar maiores conflitos com outros usuários, principalmente no setor de geração de energia elétrica, em especial quando se trata de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs, cuja potência instalada é inferior a 30 MW e operam, em grande parte, a fio-d’água.

A alternativa para as empresas mineradoras, quando esse tipo de conflito ocorre, é iniciar um processo de quantificação dos reais impactos da captação de água sobre a atividade de geração de energia. Esses impactos são oriundos da redução da vazão afluente ao sistema hidrogerador das usinas e sua quantificação permite que sejam estabelecidas medidas para mitigá-los ou compensá-los, contornando assim os conflitos pelo uso da água na bacia hidrográfica.

Considerando o ponto de vista das PCHs, pode-se dizer que estas representam, atualmente, uma forma rápida e eficiente de promover a expansão da oferta de energia elétrica, visando suprir a crescente demanda verificada no mercado nacional. Esse tipo de empreendimento possibilita um melhor atendimento às necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais, uma vez que, na maioria dos casos, complementa o fornecimento realizado pelo sistema interligado. A

energia gerada nas PCHs também pode ser direcionada parcialmente para o suprimento das demandas por energia de empreendimentos privados, tornando-os autossuficientes nesse aspecto.

Nesse sentido, considerar e avaliar o aproveitamento do potencial hidroenergético de áreas notáveis nesse aspecto, como a bacia hidrográfica do rio do Peixe, objeto do estudo deste trabalho, é importante para investidores que pretendem comercializar ou garantir seu suprimento de energia a partir dessa fonte, como para os órgãos responsáveis pelo gerenciamento e direcionamento de investimentos no setor elétrico.

METODOLOGIA DE ANÁLISE

O cômputo do impacto decorrente de captações superficiais em cursos de água para atividades diversas (abastecimento público, consumo humano, irrigação, uso industrial, mineração, entre outras) sobre a energia gerada em aproveitamentos hidrelétricos que operam a fio-d'água (sem capacidade de armazenamento e regularização anual) pode ser feito por meio de simulações hidroenergéticas. Nessas simulações devem ser descontados das séries de vazões naturais afluentes às usinas, os valores de vazão captados nas seções fluviais a montante.

Para tanto foi elaborado um modelo de simulação simplificado, valendo-se apenas de dados básicos das usinas (potência, queda, níveis característicos, vazão máxima de engolimento) e de dados hidrológicos (série de vazões afluentes, vazão média de longo termo e vazão residual) e adotados os passos metodológicos citados em Freitas (2012), resumidos na sequência:

- ✦ Elaboração de **estudos hidrológicos**: análise de consistência dos registros históricos (ANA, 2012) de estações fluviométricas existentes nos limites e região de entorno da bacia hidrográfica de interesse, conforme metodologia apresentada em Jaccon (1989) e complementarmente em Tucci (2009).
- ✦ Estimativa da **série de vazões médias mensais afluentes** ao eixo de cada aproveitamento hidrelétrico considerado, por meio da aplicação de técnicas de regionalização dos registros históricos de estações fluviométricas existentes na região, tal como preconizado por Tucci (2002). Tais estudos de regionalização foram embasados em funções específicas que relacionam variáveis hidrológicas, um dos métodos recomendados por Tucci (2002).
- ✦ Levantamento das **características de cada aproveitamento hidrelétrico** identificado na bacia, tais como potência máxima instalada, altura máxima de queda, fator de capacidade da usina e rendimento dos equipamentos. Tal levantamento foi feito consultando-se os estudos de inventário hidrelétrico, disponíveis na Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, com sede em Brasília – capital, órgão gestor do setor de energia no Brasil.
- ✦ Levantamento dos **usos consuntivos na bacia** de contribuição às seções fluviais de interesse. Tendo em vista a dificuldade de levantamento desses usos de forma direta, tais informações foram obtidas junto ao banco oficial de cadastro de usuários de água outorgados na bacia, disponibilizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, IGAM (2012), órgão responsável pela gestão das águas do estado de Minas Gerais. Para simplificar as análises, os valores de outorga cadastrados como captação a fio-d'água foram considerados como os valores de vazão realmente consumidos por cada usuário e aqueles cadastrados como regularização foram desconsiderados da análise.
- ✦ A determinação da **vazão máxima de engolimento** das tubulações de adução das usinas foi obtida pela aplicação da Equação 1, em que Q_e representa a vazão de engolimento das tubulações (m^3/s); P_{max} a potência máxima instalada no empreendimento (kw); H é a altura de queda (m); e, η o rendimento dos equipamentos.

$$Q_e = \frac{P_{max}}{9,81 \times H \times \eta} \quad (1)$$

- * **Simulação hidroenergética** da cascata de usinas, considerando a série de vazões naturais afluentes e a série real (descontando-se os usos consuntivos a montante), para determinação da **energia firme** de cada aproveitamento considerado. A energia firme corresponde à máxima produção contínua de energia que pode ser obtida por uma determinada usina, considerando o período crítico de vazões (junho/1949 a novembro/1956) registrado em todo o histórico de dados disponível. Partindo-se do pressuposto de que as usinas não possuem reservatório de regularização de vazões e, portanto, apresentam altura de queda fixa, o cálculo pode ser feito pela equação 2:

$$E_f = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n Q}{n} \right) \times P_{max} \times t}{Q_e} \quad \text{para } Q \leq Q_e \quad (2)$$

em que E_f corresponde à energia firme no período (kWh); P_{max} à potência instalada (kW); Q a vazão média mensal (m^3/s), n o número de meses da série em análise; e T o tempo (h).

- * Determinação da **Energia Garantida**: determinada como $0,95 \times$ Energia Firme, admitindo-se o risco de não atendimento de 5%.
- * Determinação da **Energia Assegurada**: considerando indisponibilidade forçada de 3%, consumo próprio de 2% e reserva de potência nula, de acordo com a Portaria nº 303 do Ministério de Minas e Energia (2002), tem-se a Energia Assegurada como $0,95 \times$ Energia Garantida.
- * Avaliação do **Impacto na Geração Energética**: corresponde à diferença entre as energias asseguradas decorrentes da simulação de cenários distintos de vazões afluentes.
- * Avaliação do **Impacto Econômico na Geração Energética**: calculado multiplicando-se a energia que deixa de ser gerada em um determinado ano pelo custo unitário da energia. Os valores são corrigidos anualmente em função das taxas de retorno de capital, para estimativa do impacto no longo prazo. Para permitir tal análise devem ser definidas as tarifas de energia e as taxas de retorno. Como as tarifas de energia podem variar no tempo e também com o destino final da energia (venda ou consumo) e com as taxas de retorno, faz-se uma análise de sensibilidade variando-se o valor da energia gerada dentro de uma ampla faixa de valores. Por simplificação foram adotados no estudo de caso o custo unitário da energia de 100,0 R\$/MW e a taxa de retorno de 10% a.a. com 30 anos de retorno. O custo total do impacto para cada ano foi determinado pela equação 3 e a avaliação destes no valor presente, para hipótese de indenização antecipada foi feita com base na equação 4.

$$CustoTotal = \sum_1^k Perda * t * tarifa * (1 + taxa)^k \quad (3)$$

$$FRC = \frac{(1 + taxa)^k \times taxa}{(1 + taxa)^k - 1} \quad (4)$$

Nas equações 3 e 4 o *Custo Total* é dado em reais; *Perda* corresponde à diferença na energia assegurada (kWh); *t* ao número de horas por ano; *tarifa* ao preço do kW (R\$/kWh); *taxa* à taxa de retorno interno (%); *k* ao número de anos; e *FRC* ao fator de recuperação de capital.

ESTUDO DE CASO

Para avaliar o impacto de usos múltiplos na energia segura de uma cascata de pequenas centrais hidrelétricas, foi considerada a bacia hidrográfica do rio do Peixe, afluente da margem esquerda do rio Santo Antônio, pertencente à rede de drenagem do rio Doce, estado de Minas Gerais.

Essa região foi considerada por apresentar potencial para aproveitamento hidroenergético, uma vez que os cursos de água drenam áreas com vazões específicas médias de longo termo expressivas e se desenvolvem ao longo de terrenos com elevadas declividades e desnível topográfico entre as nascentes e o trecho de foz; condições propícias para a implantação de usinas. Por outro lado, vem apresentando desenvolvimento crescente de outras atividades, vinculado ao fato ser dotada de jazidas de minério de ferro pertencentes a grandes mineradoras.

A Figura 1 ilustra a área de abrangência dos estudos e a localização dos futuros empreendimentos hidrelétricos, identificados a partir da consulta ao banco de dados da ANEEL, bem como os pontos de captação de usuários de água, com autorização de outorga concedida pelo IGAM e identificados nos limites da bacia. A Figura 2 ilustra o perfil longitudinal do rio do Peixe, incluindo a partição de queda das cinco usinas identificadas e as Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, as características das usinas e a síntese do cadastro de outorgas da bacia.

Vale ressaltar que, embora os usos de água cadastrados como insignificantes (vazão captada inferior a 1,0 L/s) tenham sido identificados e totalizem cerca de 0,012 m³/s na bacia do rio do Peixe, tal como ilustra a Figura 1 e Tabela 2, estes não foram considerados na análise de avaliação de impacto na geração das usinas hidrelétricas, tendo em vista que os valores requeridos não são consumidos de forma contínua ao longo do dia, mês e/ou ano.

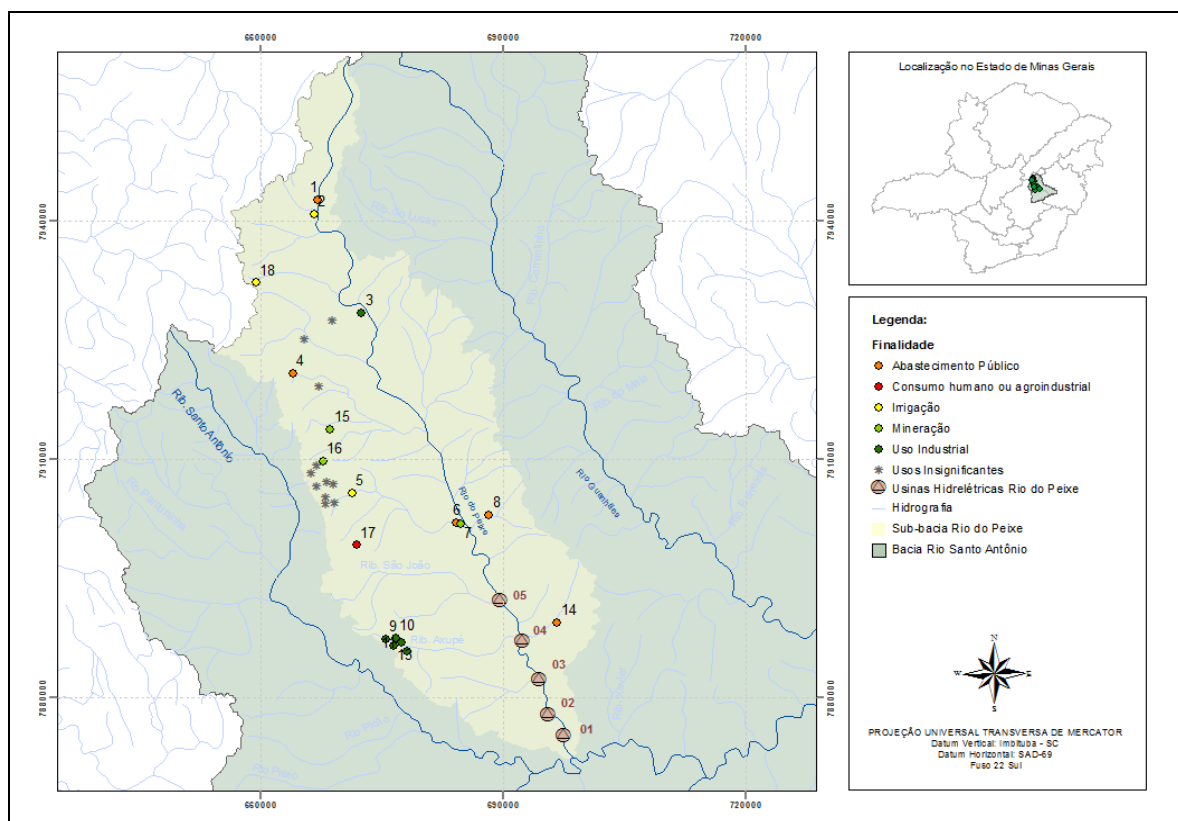


Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio do Peixe, considerada como estudo de caso e localização das usinas e usuários de água superficial.

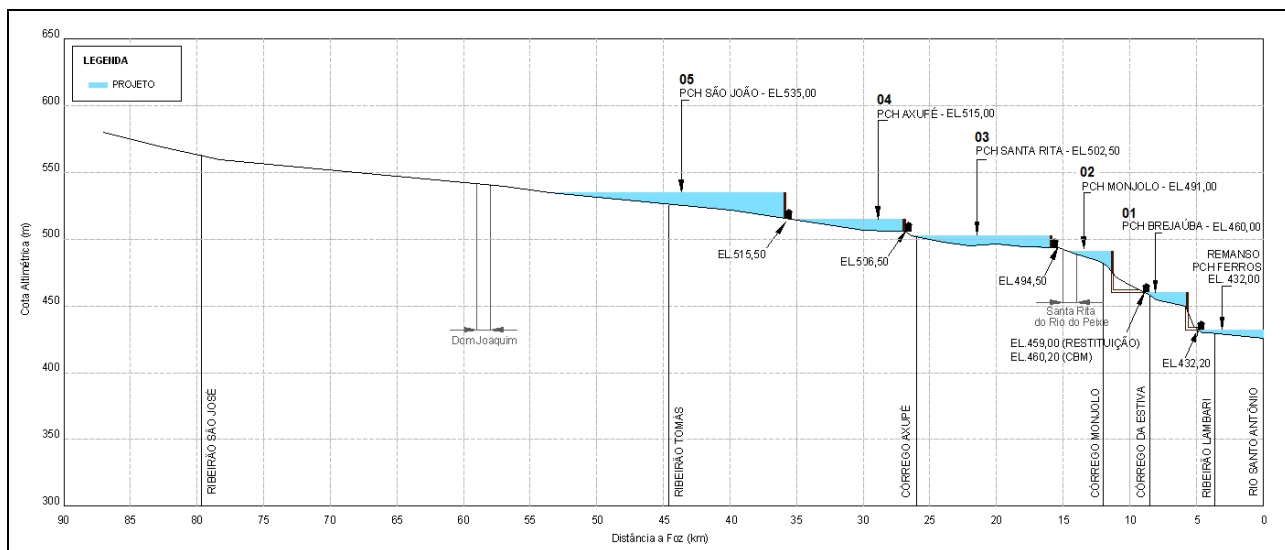


Figura 2 – Perfil longitudinal do rio do Peixe, incluindo a partição de queda das usinas identificadas ao longo de seu percurso.

Tabela 1 – Principais características das usinas hidrelétricas inventariadas ao longo do rio do Peixe (Fonte: ANEEL, 2012).

PCH	Status	Área de Drenagem (km ²)	Potência (MW)	Queda (m)	Vazão Máxima de Engolimento (m ³ /s)	Q _{MLT} Período Histórico (m ³ /s)
São João	PB registro	1272	10,0	20,0	60,7	23,7
Axupé	PB registro	1602	5,0	8,50	71,4	31,5
Santa Rita	PB registro	1694	5,0	12,0	50,6	33,8
Monjolo*	Outorga	1725	15,0	31,0	58,7	34,6
Brejaúba	Outorga	1760	14,0	27,8	61,1	35,5

PB: Projeto Básico. *Única usina com trecho de vazão reduzida e condicionante para manutenção de vazão residual igual a 0,692 m³/s.

Tabela 2 – Usuários de água identificados a partir do cadastro de outorgas do IGAM na bacia do rio do Peixe. (Fonte: IGAM, 2012).

Índice (Figura 1)	Portaria IGAM	Finalidade de Uso	Vazão (m ³ /s)
1/4/6/8/14	0079/1990, 0034/2003, 0094/1990, 1514/2004, 0103/2002	Abastecimento Público	0,047
2/5/15	3138/2004, 1474/2007, 1481/2003	Irrigação	0,026
3/9/10/11/12/13	0841/2009, 0437/2007, 0434/2007, 0435/2007, 0436/2007, 0433/2007	Uso Industrial	0,009
7/16*/17*	2250/2008, 0581/ 2010, 2517/ 2010	Mineração	0,694
18	2525/ 2010	Consumo humano e agroindustrial	0,001
-	-	Usos Insignificantes	0,012

*Outorga em barragens de regularização totalizando 0,556 m³/s.

Os resultados da simulação hidroenergética, ilustrados na Tabela 3, mostram que o potencial hidrelétrico da bacia do rio do Peixe sem o impacto das outorgas é de 23,62 MW médios. Quando o consumo de água dos usos múltiplos é considerado, com exceção das demandas de mineração, verifica-se uma pequena redução de 0,1 MW médios, ou seja, de 0,25% do total sem outorgas. Por outro lado, quando são computadas, além das demandas dos diversos usos (abastecimento público, consumo humano, irrigação e uso industrial), as demandas requeridas pelas atividades de mineração, a redução na energia firme e assegurada da cascata atinge valor de 2,33%, ou seja, sofre perda de 0,5 MW médio na geração anual.

Os impactos citados representam, em 30 anos, uma perda de R\$ 8.583.123,74 entre o cenário sem outorgas e o cenário com outorgas e de R\$ 78.678.634,29 reais, entre os cenários sem outorga e o cenário com outorgas e mineração tal como ilustrado na Tabela 4. Considerando os 30 anos de vida útil de usinas deste porte (PCHs), os valores de perda corrigidos para o Valor Presente somam um montante de R\$ 447.169,46 e de R\$ 4.099.053,37, respectivamente para os cenários com outorgas e com outorgas e mineração.

Tabela 3 – Resultados da avaliação do impacto energético dos usos múltiplos na energia firme e assegurada da cascata de Pequenas Centrais Hidrelétricas do rio do Peixe.

Pequena Central Hidrelétrica	Potência (MW)	Energia Firme (MW)			
		Inventário (ANEEL)	Cenário sem Outorgas	Cenário com Outorgas	Cenário com Outorgas e Mineração
São João	10,0	5,53	3,89	3,88	3,77
Axupé	5,0	2,70	2,12	2,11	2,07
Santa Rita	5,0	2,47	2,82	2,82	2,76
Monjolo	15,0	6,93	7,62	7,60	7,45
Brejaúba	14,0	6,50	7,17	7,15	7,02
Energia Firme Total Cascata (MW)		24,13	23,62	23,56	23,07
Energia Assegurada Total Cascata (MW)		21,78	21,32	21,26	20,82
Impacto Total na Cascata (MW)		-	-	0,1	0,5
Impacto Total na Cascata (%)		-	-	0,24	2,33

OBS.: Considerando a série de vazões afluentes às usinas correspondente ao Período Crítico do Sistema Elétrico (JUN/49 a NOV/56).

Tabela 4 – Resultados da avaliação do impacto econômico dos usos múltiplos no ganho sobre a energia assegurada da cascata de Pequenas Centrais Hidrelétricas do rio Peixe.

Avaliação do Impacto Total na Geração da Energia Assegurada da Cascata de Pequenas Centrais Hidrelétricas		Cenário Sem Outorgas (Referência)	Cenário com Outorgas*	Cenário com Outorgas* e Mineração	
Taxa de Retorno 10% a.a.	30 anos	Valor Total (reais/MW)	-	8.583.123,74	78.678.634,29
		Valor Presente (reais/MW)	-	447.169,46	4.099.053,37

Considerando o Custo Unitário da Energia R\$ 100,00 MW/h

*Com outorgas: abastecimento público, consumo humano, uso industrial e irrigação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados indicam que, dependendo dos valores de vazão consumidos pelos diversos usuários de água de determinada bacia hidrográfica, e posicionados nos trechos fluviais de montante de uma determinada cascata de usinas hidrelétricas, podem representar uma redução significativa no bloco de energia gerada e, conseqüentemente, no retorno econômico esperado. Também é possível verificar que a demanda de água requerida por empreendimentos minerários representam parte significativa da redução no bloco de energia. No caso do presente estudo este valor foi da ordem de 80%.

Também há que se considerar que a redução da geração nessas usinas independe do empreendedor, pois são fortemente dependentes das ações dos órgãos gestores dos estados, responsáveis pela autorização e/ou concessão de outorga de direito de uso das águas superficiais. Assim para usinas existentes e em operação a redução na geração energética, proporcionada pelo consumo de água no trecho de montante, pode representar impacto negativo significativo na taxa interna de retorno, tornando o empreendimento antes financeiramente interessante em um investimento de baixo lucro. Da mesma forma a quantificação do consumo de água na bacia pode ser um fator que interfira na tomada de decisão quanto ao investimento e implantação de novas usinas em determinada região, cuja energia firme estimada seja baixa, comparativamente às condições naturais da bacia hidrográfica, levantadas durante os estudos de inventário.

AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à ANEEL, ao Centro de Pesquisa Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG, à FAPEMIG, ao CNPQ, à POTAMOS Engenharia e Hidrologia Ltda. e à Anglo American pelo suporte financeiro para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas (2012). *HidroWeb*: Sistema de Informações Hidrológicas: Disponível em www.ana.hidroweb.gov.br e consultado em 2012.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2012). Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração do Brasil. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br> e consultado em 2012.
- FREITAS, S.P. (2012). O Impacto do Uso e Consumo de Água na Mineração Sobre o Bloco de Energia Assegurada em Empreendimentos Hidrogeradores: Estudo de Caso da PCH Bicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas do Estado de Minas Gerais (2012). Cadastro de Usuários de Água Superficial. Disponível em www.igam.gov.mg.br e consultado em 2012.
- JACCON, G. (1989), Curva-Chave: Análise e Traçado, Brasília, DNAEE, 273 p.
- TUCCI, C. M. (2009), Hidrologia, Ciência e Aplicação, Editora da Universidade, ABRH, EDUSP, Porto Alegre, 943 p.
- TUCCI, C. M. (2002), Regionalização de Vazões, Editora da Universidade, UFRCS, 4ª Edição, Porto Alegre, 256 p.
- Ministério de Minas e Energia (2004). Portaria nº 303 de 18 de novembro de 2004.