

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CAPACIDADE DE PCH'S COM BASE EM CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS E HIDROLÓGICAS

Adriana Santos Peixoto Corrêa¹; Afonso Henriques Moreira Santos² & Benedito Cláudio da Silva³

RESUMO Os estudos de inventário hidrelétrico correspondem a uma etapa do processo de elaboração de projetos de centrais hidrelétricas onde são identificados aproveitamentos ao longo de toda extensão de um ou mais rios. No inventário é realizado um dimensionamento preliminar dos aproveitamentos identificados, devendo-se buscar o aproveitamento energético ótimo de todo o rio. Um dos pontos de maior dificuldade nessa fase é a definição da potência instalada em cada aproveitamento. O método mais empregado consiste em fixar o fator de capacidade da central. Para determinação do valor do fator de capacidade os manuais de inventário recomendam o valor de 55% para todos os casos. Entretanto, outras metodologias têm sido propostas, de forma que se leve em consideração as características hidrológicas e hidráulicas de cada rio. Dessa forma, esse artigo descreve os principais métodos usados atualmente para determinação do fator de capacidade e apresenta uma nova metodologia, aplicável para o caso de pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), em estudos de inventário hidrelétrico. Os resultados obtidos mostram que a metodologia proposta apresenta maior consistência quando se analisam caso de PCH's com queda extremas, tanto baixas como elevadas.

ABSTRACT The studies of hydropower inventory are a step in the process of preparing projects for hydroelectric plants, which are identified uses along the entire length of one or more rivers. Inventory is held in a preliminary design of the uses identified, one should seek the optimum energy of the whole river. One of the greatest difficulties in this phase is the definition of power installed at each use. The method most used is to determine the capacity factor of the plant. To determine the value of capacity factor, the manuals recommend the value of 55% for all cases. However, other methodologies have been proposed, so that it takes into account the hydrological and hydraulic characteristics of each river. Thus, this article describes the main methods currently used to determine the capacity factor and sets a new methodology, applicable to the case of small hydroelectric plants (SHP's), in studies of hydropower inventory. The results show that the proposed method shows more consistency when considering cases of SHP with fall's extreme, both low and high.

Palavras-Chave: PCH, fator de capacidade, inventário hidrelétrico.

¹ Pesquisadora do EXCEN/UNIFEL. Av. BPS, 1303 – Itajubá / MG. 37500-000. adriana.cerne@gmail.com

² Professor da UNIFEL. Av. BPS, 1303 – Itajubá / MG. 37500-000. afonsohms@gmail.com

³ Professor da UNIFEL. Av. BPS, 1303 – Itajubá / MG. 37500-000. silvabenedito@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

O Estudo de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas é um instrumento de planejamento do Setor Elétrico para definição do potencial energético de um determinado rio ou bacia hidrográfica cuja metodologia foi sendo atualizada desde os estudos da CANAMBRA na década de 60 até a elaboração do Manual de Inventários elaborado pela ELETROBRÁS/ANEEL de novembro de 1997. Na última atualização deste manual foi contemplada a introdução das variáveis ambientais e de usos múltiplos da água como critério para definição da melhor alternativa de partição de quedas (CEPEL, 2007).

Porém, a partir de sua publicação não houve nenhuma atualização dos critérios de dimensionamento energético para definição da potência estimada a ser instalada nos aproveitamentos hidrelétricos, principalmente no tocante a aproveitamentos de pequeno porte (PCH's). Estes critérios foram instituídos considerando-se a realidade das bacias hidrográficas da região Sudeste, objeto dos grandes estudos de inventário na década de 60. Com a necessidade da ampliação do parque de geração hidráulica, a partir da década de 80 os estudos alcançaram as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, que possuem bacias hidrográficas diferenciadas quanto aos aspectos geológicos e, conseqüentemente, hidrológicos, devendo portanto ser objeto de critérios de dimensionamento energético que considerem tais especificidades.

O fator de capacidade (FC) das UHE's, nas décadas passadas, girava por volta de 55%. A razão deste valor é que o sistema era pequeno e quase que só hidrelétrico, e, por isto, as UHE's deveriam acompanhar as curvas diárias de carga.

Na época, o sistema era pouco desenvolvido, e o fator de carga ficava por volta de 50 a 55%. Combinando as perdas mais a reserva de potência, um FC médio de 55% na geração atendia os requisitos apresentados.

A evolução do sistema interligado, com diversificação dos tipos de geração, combinada com a evolução das cargas, tirou das UHE's a referida incumbência. O ponto de vista regulatório e de mercado, as centrais não têm sinal econômico apropriado, no *post* de carga máxima, para promover uma motorização adequada, visando atender a ponta.

Ao contrário, isto levaria a maiores custos de conexão e transporte, trazendo pouco benefício pela energia liquidada na CCEE neste posto de carga pesada. Assim, notadamente nas AHE's, os FC's que viabilizam as centrais tem se mostrado maiores que os históricos.

Além do mais, as centrais de mais baixa queda têm seus custos fortemente influenciados pela potência instalada, posto o custo dos equipamentos representar a maior parte do investimento. Nesses casos, é comum encontrar FC's superiores a 70%.

Nos itens seguintes são apresentados alguns métodos usados para definição do FC de aproveitamentos, em estudos de inventário hidrelétrico. São descritos os métodos usualmente empregados no setor, além de outros critérios que têm sido testados com sucesso em estudos recentes.

2 – MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CAPACIDADE

2.1 – Método do fator de capacidade de referência

Conforme comentado anteriormente, para garantir que a comparação dos benefícios energéticos dos projetos seja feita de forma homogênea sob o ponto de vista dos benefícios de ponta, o dimensionamento de cada projeto é feito considerando um mesmo FC. O fator de capacidade de referência representa a relação entre a soma da energia firme dos aproveitamentos do sistema de referência e a sua respectiva potência de referência. Na ausência de melhores informações usar o valor de 55% (CEPEL, 2007).

Aplicando-se o fator de capacidade de referência à energia firme do aproveitamento (E_{fi}) quando integrado na alternativa de divisão de quedas tomada como base de dimensionamento energético, obtém-se a sua potência de referência:

$$Pr_i = \frac{E_{fi}}{FCr} \quad (1)$$

2.2 - Método da análise incremental

Um dos critérios utilizados para a determinação da potência a ser instalada em uma usina hidrelétrica é a análise incremental, onde é comparado o custo incremental da energia gerada (ΔCEG) para vários incrementos de potência, com o valor estabelecido para o custo marginal de dimensionamento (CMD) (Tabela 1). Esta análise é utilizada para a determinação da potência instalada de aproveitamentos hidrelétricos em nível de projeto básico (ELETROBRÁS, 2003).

Tabela 1 – Análise incremental.

Potência Instalada (MW)	Custo Total de Instalação - CT(R\$)	Energia Gerada (MW _{med})	Custo Incremental da Energia Gerada - ΔCEG (R\$/MWh)
P_0	CT_0	E_0	-
P_1	CT_1	E_1	ΔCEG_1
P_2	CT_2	E_2	ΔCEG_2
:	:	:	:
P_k	CT_k	E_k	ΔCEG_k

O custo marginal de dimensionamento é publicado no Plano Decenal de Expansão, divulgado periodicamente pelo Ministério das Minas e Energia. A Tabela 1 é montada de acordo com a formulação a seguir:

$$\Delta CEG_k = \frac{\Delta CT_k \cdot FRC(i,n)}{\Delta E_k} + CO \& M \quad (2)$$

Onde: CT_k = custo total de instalação da usina para a potência instalada P_k ; ΔCT_k = custo incremental de instalação; ΔE_k = energia incremental; $FRC(i,n)$ = fator de recuperação de capital para uma taxa de juros i e uma vida útil econômica do empreendimento n ; $CO \& M$ = custo de operação e manutenção, normalmente considerado como sendo um custo constante em R\$/MWh, dependendo do porte da central e do tipo de operação;

Portanto, a potência mínima a ser instalada será aquela para a qual o custo incremental da energia gerada (ΔCEG_k) for igual ou superior ao custo marginal de dimensionamento (CMD).

2.3 – Método do índice de regularização

Estudos comparativos entre características hidrológicas de empreendimentos em operação, ou em projeto básico, realizados pela LARROSA&SANTOS (2002), demonstram a existência de uma relação direta entre a regularidade hidrológica de uma bacia e o fator de capacidade a ser aplicado no cálculo da potência de referência.

Para caracterização hidrogeológica de uma determinada bacia ou sub-bacia pode-se instituir um índice denominado índice de regularização (IR) calculado como a vazão com frequência de 95% (Q_{95}) dividida pela vazão média de longo termo (Q_{mlt}) em um determinado ponto em análise.

$$IR = \frac{Q_{95}}{Q_{mlt}} \quad (3)$$

A relação $Q_{95\%}/Q_{MLT}$ demonstra a regularidade das vazões da bacia que, quanto mais próximo de 1 (um) for este valor, ou quanto mais regular for um determinado rio, menor será a potência instalada necessária para a geração de uma determinada energia.

No trabalho desenvolvido por Neto (2004) procurou-se estabelecer a regionalização do fator de capacidade de (FC) de acordo com as características hidrogeológicas da bacia hidrográfica objeto de um Estudo de Inventário Hidrelétrico, conforme se descreve a seguir.

Nesse trabalho, inicialmente, para um conjunto de aproveitamentos selecionados, realizou-se o dimensionamento de suas potências instaladas pelo critério da Análise Incremental, considerando os seguintes parâmetros:

Custo da Potência Instalada c/ JDC	2.621	R\$/kW
Custo de O&M	7,00	R\$/MWh
Custo Marginal de Dimensionamento	36	US\$/MWh
Taxa de Juros	12%	aa
Vida Útil Econômica	50	anos

O valor do custo índice da potência instalada e o custo de O&M adotados como referência foram obtidos da nota técnica sobre cálculo do valor econômico de fontes alternativas colocada em audiência pública pelo MME. O valor da taxa de juros adotada para efeito de dimensionamento foi de 12% e para a vida útil econômica da usina de 50 anos. O valor de 36 US\$/MWh do custo marginal de dimensionamento foi obtido do Plano Decenal de Expansão 2003 – 2012 publicado pelo Ministério das Minas e Energia – MME, a preços de abril de 2002, quando US\$1,00 = R\$2,32.

Nas simulações energéticas não foram descontadas as vazões ecológicas visando uma uniformidade dos resultados. Os parâmetros apresentados acima foram mantidos constantes no estudo de casos para uniformização do critério de dimensionamento. Desta forma, em uma análise de sensibilidade, pode-se avaliar os resultados obtidos com a variação destes parâmetros.

Foram escolhidos 16 aproveitamentos hidrelétricos em bacias com índices de regularização entre 20% e 93%, cobrindo portanto condições hidrogeológicas das mais diversas. Na Tabela 2 são apresentadas algumas características dos aproveitamentos escolhidos para análise.

A partir dos dados da Tabela 2, obteve-se o gráfico da Figura 1, que mostra o fator de capacidade para energia média resultante do dimensionamento da potência instalada pelo critério da Análise Incremental, ou marginal, (Método 2) em função do índice de regularização da bacia hidrográfica (*IR*), na qual se insere o aproveitamento hidrelétrico. No mesmo gráfico é apresentado o fator de capacidade calculado para o dimensionamento pelo critério do Manual de Inventário (Método 1).

Da Figura 1 pode-se notar que a curva do fator de capacidade resultante do dimensionamento pelo Método 2 possui um bom ajuste, enquanto a curva ajustada para os pontos gerados pelo Método 1 possui uma aderência inferior. Isto pode ser explicado pela utilização do período crítico único (junho/1949 a novembro/1956) do histórico de vazões para o dimensionamento energético de aproveitamentos hidrelétricos localizados em diferentes bacias hidrográficas.

Tabela 2 – Resultados para estudo de caso de Neto (2004).

PCH	Índice de Regularização IR	Bacia	Sub-bacia	Q95	Qmit	Queda Bruta (m)	Potência Instalada (1) (MW)	FC para Energia Média (2) (%)
1	93,0%	1	17	30,0	32,2	37,0	18,1	54,9
2	73,8%	4	46	23,7	32,1	62,0	30,2	55,0
3	59,9%	5	58	130,0	217,1	13,0	42,7	56,1
4	53,1%	6	60	23,5	44,4	52,8	30,5	61,0
5	51,9%	5	57	4,2	8,1	223,0	24,8	57,9
6	50,3%	5	58	4,1	8,2	83,0	9,3	58,2
7	43,9%	5	57	7,3	16,6	185,0	33,5	54,3
8	41,9%	6	61	1,9	4,5	185,0	9,5	65,7
9	39,0%	6	61	6,8	17,3	93,5	16,2	67,6
10	37,5%	6	61	1,6	4,2	72,0	3,9	57,5
11	35,7%	5	56	5,6	15,7	132,0	28,0	55,1
12	33,4%	5	57	8,0	24,1	96,6	36,5	47,9
13	33,2%	5	57	11,3	33,9	49,0	19,0	61,2
14	28,5%	5	56	0,8	2,7	387,0	14,3	49,1
15	27,1%	5	58	3,1	11,4	159,3	22,5	54,6
16	19,5%	7	73	5,6	28,7	75,0	27,8	52,8

(1) Calculada pela Metodologia do Manual de Inventário

(2) FC - Fator de Capacidade sobre energia média para potência calculada em (1)

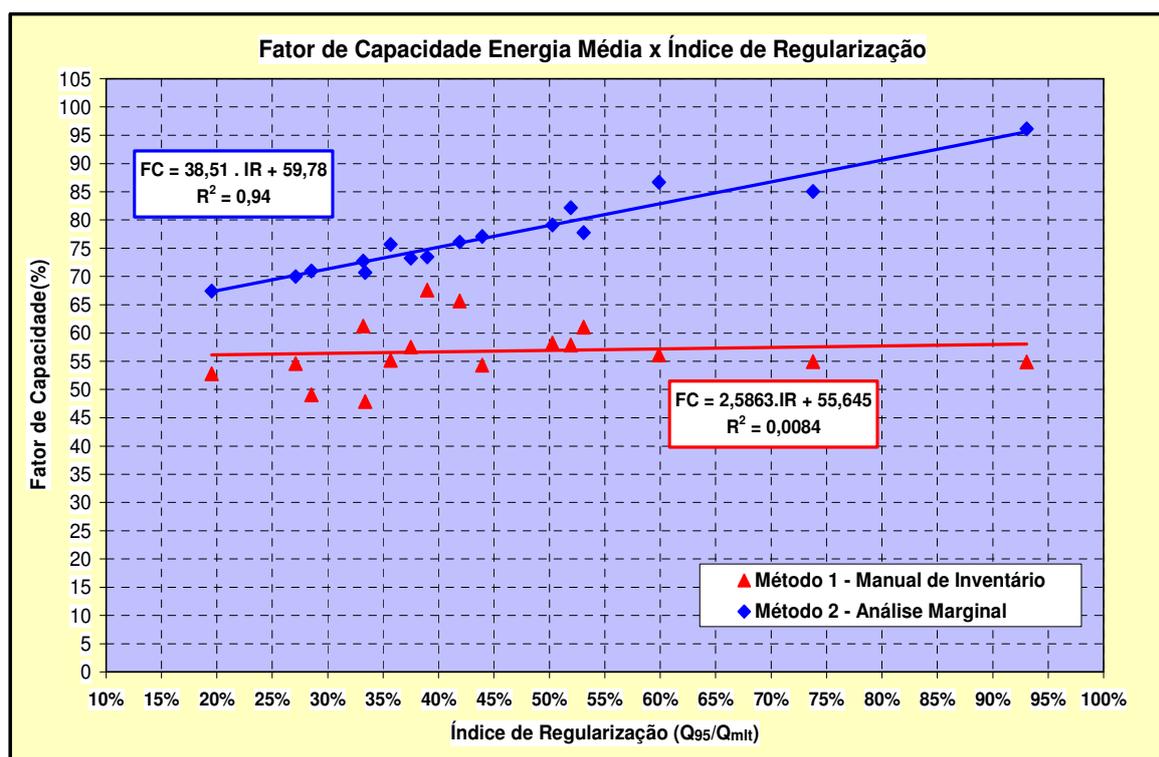


Figura 1 – Fator de capacidade em função do índice de regularização.

O gráfico apresentado mostra ainda que as motorizações calculadas pelo critério do Manual de Inventário levam a um valor do fator de capacidade para energia média na ordem de 56%, enquanto o determinado pela análise marginal é crescente com o índice de regularização.

Outro resultado importante observado foi o comportamento da vazão nominal ($Q_{nominal}$) resultante do dimensionamento pelo Método 2. Do gráfico da Figura 2 pode-se verificar que a vazão nominal é praticamente constante e igual à vazão média de longo termo (Q_{mlt}) para qualquer índice de regularização. Enquanto isto a relação $Q_{nominal}/Q_{95}$ é uma função potência decrescente com o aumento do índice de regularização.

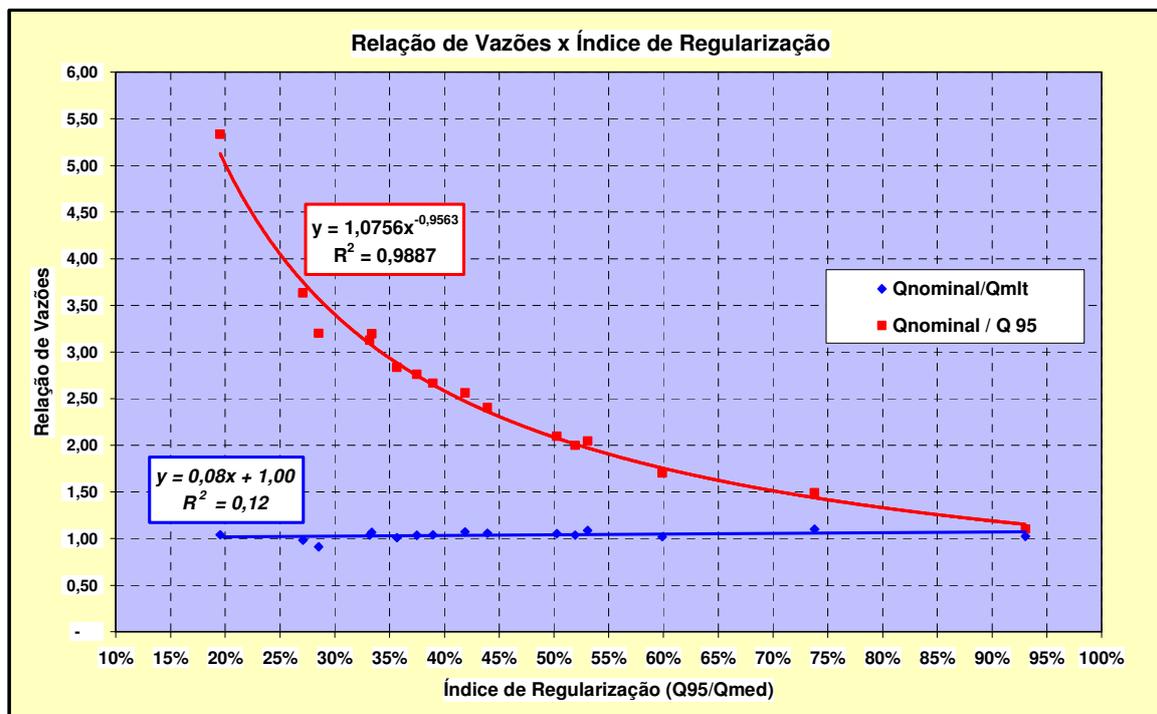


Figura 2 – Relação de vazões em função do índice de regularização.

O gráfico da Figura 3 apresenta outro parâmetro de verificação do dimensionamento energético de um aproveitamento hidrelétrico. A frequência da vazão nominal na curva de permanência de vazões afluentes decorrente da utilização do Método 2 resultou em valores em torno de 33%.

Uma deficiência importante detectada no ajuste realizado por Neto (2004) está no fato de que equação obtida no gráfico da Figura 1 conduz a valores muito elevado de fator de capacidade, ou seja, sempre maiores do 65% e chegando a 95%, que podem se irreais para muitos casos.

Nos estudos de LARROSA&SANTOS (2002) a metodologia aqui adotada o fator de capacidade é obtido a partir de uma curva onde, com o eixo das abscissas representado pelo coeficiente de regularização do rio ($Q_{95\%}/Q_{MLT}$) e no eixo das ordenadas, o fator de capacidade (FC), ou a razão entre o valor da energia firme do aproveitamento (E_f) e a sua potência instalada (P_i).

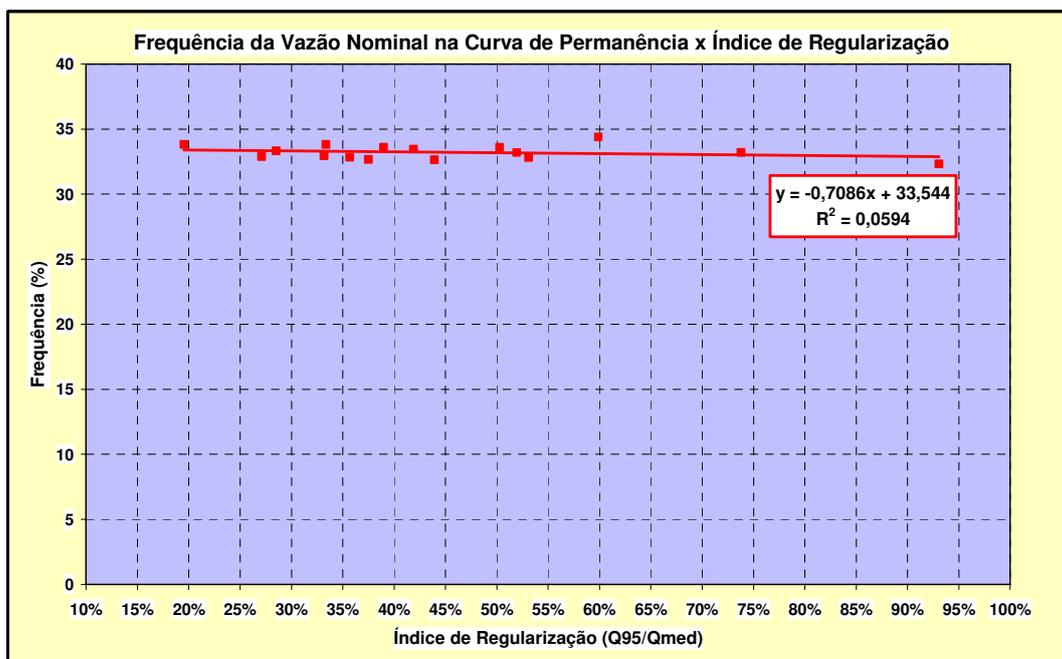


Figura 3 – Frequência da vazão nominal na curva de permanência de vazões afluentes x índice de regularização.

A curva apresentada na Figura 4 foi elaborada pela LARROSA&SANTOS (2002) a partir de informações referentes a usinas existentes, em operação, em construção e em estudo, cujos dados encontram-se disponíveis no SIPOT e na ANEEL. Considerando que a citada curva representa a situação real dos empreendimentos brasileiros, os fatores de capacidade (FC) obtidos revestem-se de inegável realidade.

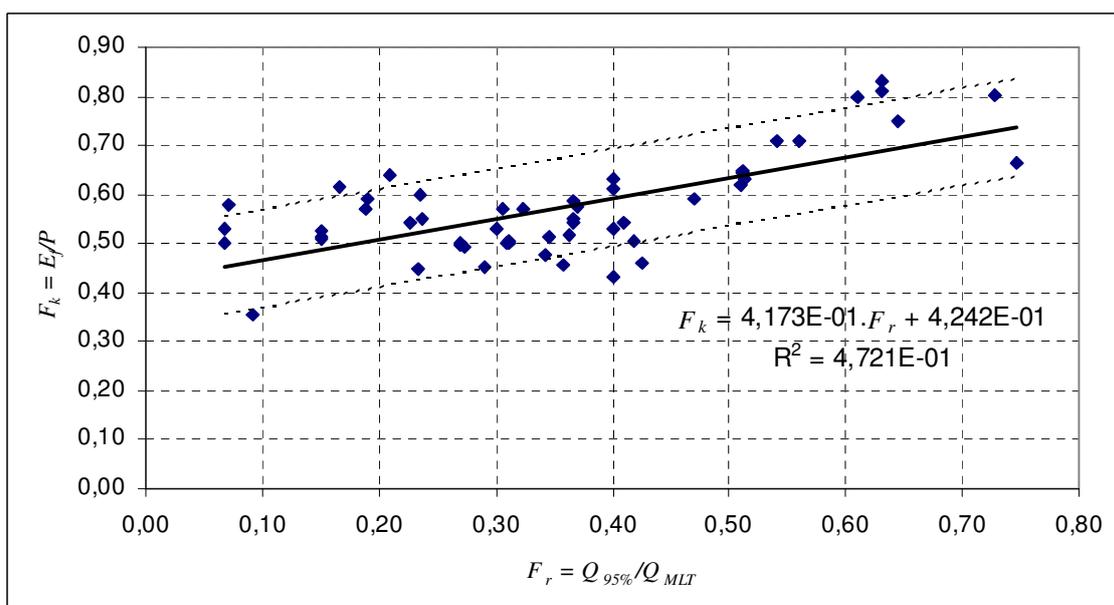


Figura 4 – Equação de determinação do fator de capacidade (FC) aplicada a estudos de inventário hidrelétrico.

A equação em questão, além de permitir a introdução da variável hidrológica na escolha do valor do fator de capacidade, proporciona um benefício econômico à determinação da potência instalada, valorizando o benefício energético inerente às bacias.

Certamente, os potenciais dos empreendimentos estudados poderiam vir a serem penalizados, caso fosse adotado um valor simplificado de fator de capacidade (0,55), o que poderia conduzir a uma super ou sub motorização dos mesmos.

A metodologia foi aplicada para diversos aproveitamentos do estudo de inventário da bacia hidrográfica do rio dos Bois. Nos rios ou trechos de rios onde o fator de capacidade calculado ficou menor que 0,55 foi adotado o recomendado pelo Manual de Inventário da Eletrobrás (0,55), nos que tiveram fator maior que 0,55 foi adotado o fator de capacidade calculado pela equação obtida na Figura 4.

3. METODOLOGIA

O método proposto por esse trabalho possui semelhança com os métodos baseados no índice de regularização, uma vez que se apóia no estabelecimento de equações de regressão de estudos e projetos anteriores. Porém, procura-se utilizar variáveis explicativas que levem em consideração o regime de vazões do rio e as características principais do aproveitamento. Dessa forma, avalia-se o dimensionamento do aproveitamento através da simulação energética com as vazões afluentes, variando-se a vazão de projeto, e através de uma equação empírica que considere sua queda bruta e sua potência instalada. Assim o ponto de coincidência entre os dois critérios é adotado como a condição ótima de dimensionamento.

A energia gerada para cada potência instalada é determinada pela simulação energética da usina considerando-se os parâmetros básicos do aproveitamento hidrelétrico para o histórico de vazões médias mensais considerado.

No caso de PCH's a energia gerada utilizada como benefício energético é a energia média calculada para o histórico de vazões disponíveis. por esta ser a energia considerada para determinação da energia assegurada da usina, conforme Resolução ANEEL N° 169 de 03/05/2001.

Os parâmetros básicos do aproveitamento hidrelétricos são :

Hb = queda bruta, calculada como a diferença dos níveis operacionais de montante e jusante;

Hl = queda bruta menos a perda de carga no circuito hidráulico de adução;

η_t = rendimento da turbina;

η_g = rendimento do gerador;

Assim, para cada vazão afluente disponível (Qd), limitada pela capacidade máxima e mínima de engolimento das turbinas, estará associada uma potência gerada (Pg). A vazão disponível é a

vazão afluyente descontada dos usos múltiplos consuntivos mais a vazão residual, sanitária ou ecológica, deixada a jusante da barragem no caso de arranjos do tipo desvio (Souza et al., 1999).

$$Pg = H_{liq} \cdot Q_d \cdot 9,81 \cdot \eta_i \cdot \eta_g \quad (4)$$

Na simulação energética de PCH's pode-se admitir simplificações como a adoção de um valor constante para a queda líquida desde que não sejam significativas as variações, em função das vazões dos níveis operacionais de montante e jusante, bem como a perda de carga e o rendimento do conjunto turbina-gerador.

No caso de usinas de baixa queda as variações de níveis de montante e jusante podem influenciar sobremaneira nos resultados devendo ser consideradas nas simulações energéticas.

Para determinação de uma equação empírica que relacione o fator de capacidade com a queda e vazão, adotou-se uma base de 21 AHE's, construídas ou em construção, não incluindo centrais apenas projetadas. Isto se justifica pelo viés econômico: se as centrais estão em obra ou prontas é porque são viáveis. A Tabela 4 apresenta os nomes e dados das AHE's utilizadas.

Adotou-se que o FC é uma função do produto da queda bruta (H_b), em metros, elevada a uma certa potência, pela potência instalada (P), em megawatts, elevada a outra potência. Empregando a técnica de regressão linear múltipla, encontra-se a Equação 5, com um R-quadrado de 64%.

$$FCap = 71,6 \times H_b^{-0,043} \times P^{0,039} \quad (5)$$

Com base na hidrologia e características de queda, para diferentes potências instaladas (P), calcula-se a energia gerada e o respectivo fator de capacidade, definindo-se uma função,

$$FC = f(P) \quad (6)$$

Tem-se, então, um sistema de duas equações: as Equações 5 e 6. Os valores de P e FC, oriundos da solução desse sistema, serão os valores indicados para o inventário.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia foi aplicada a um estudo de inventário em andamento, em uma bacia na qual foram identificados 7 aproveitamentos com diferentes características. A bacia não é aqui identificada pelo fato que os estudos de inventário ainda não foram aprovados pela ANEEL. A

Figura 5 apresenta a representação gráfica da identificação do fator de capacidade de referência através do método das características hidráulicas.

Tabela 4 – Disponibilidade energética dos aproveitamentos estudados.

Empreendimentos	QUEDA BRUTA (Hb)	POTÊNCIA (P)	FC
Cachoeira Grande	384,20	14,00	60,00
Cocais Grande	350,20	10,00	56,25
Ninho da Águia	263,00	13,00	66,00
São Joaquim	223,00	21,00	64,10
Carangola	161,00	15,00	69,00
São Pedro	140,90	27,00	57,00
Barra da Paciência	130,00	22,00	65,00
Fumaça	82,50	4,50	60,60
Cristina	75,50	3,50	61,65
Paraitinga	83,00	7,00	66,00
Airuoca	98,00	16,00	67,50
São Simão	96,55	27,00	60,00
Corrente Grande	78,00	14,00	62,00
Funil	73,00	22,50	65,24
Várzea Alegre	45,40	7,00	67,00
Calheiros	49,00	19,00	61,00
São Gonçalo	37,50	13,00	61,20
Montserrat	16,00	25,00	77,00
Lavrinhas	13,00	30,00	68,60
Queluz	13,00	30,00	70,30
Bonfante	11,00	19,00	74,60

O gráfico da Figura 5 se refere a um aproveitamento com queda bruta de 15m, em uma seção na qual o rio possui vazão média de longo termo de aproximadamente 170m³/s. Portanto, pode ser classificada como usina de baixa queda. Conforme descrito anteriormente, o ponto de dimensionamento da usina é dados pelo encontro entre as curvas da simulação energética e da equação empírica (Equação 6). Para esse caso, esse ponto corresponde a potência de 27,4MW e fator de capacidade de 72,5%.

O valor de fator de capacidade obtido para essa usina encontra-se de acordo com o esperado, em função da baixa queda e elevada vazão. Usinas de baixa queda são indicadas para serem dimensionadas com fator de capacidade elevado, uma vez que valores baixos implicam em turbinas hidráulicas de grandes diâmetros que, por sua vez, impacta diretamente nas dimensões da casa de força e volumes de escavação. Portanto, o valor de 72,5% pode ser considerado adequado, tendo em vista as características do aproveitamento.

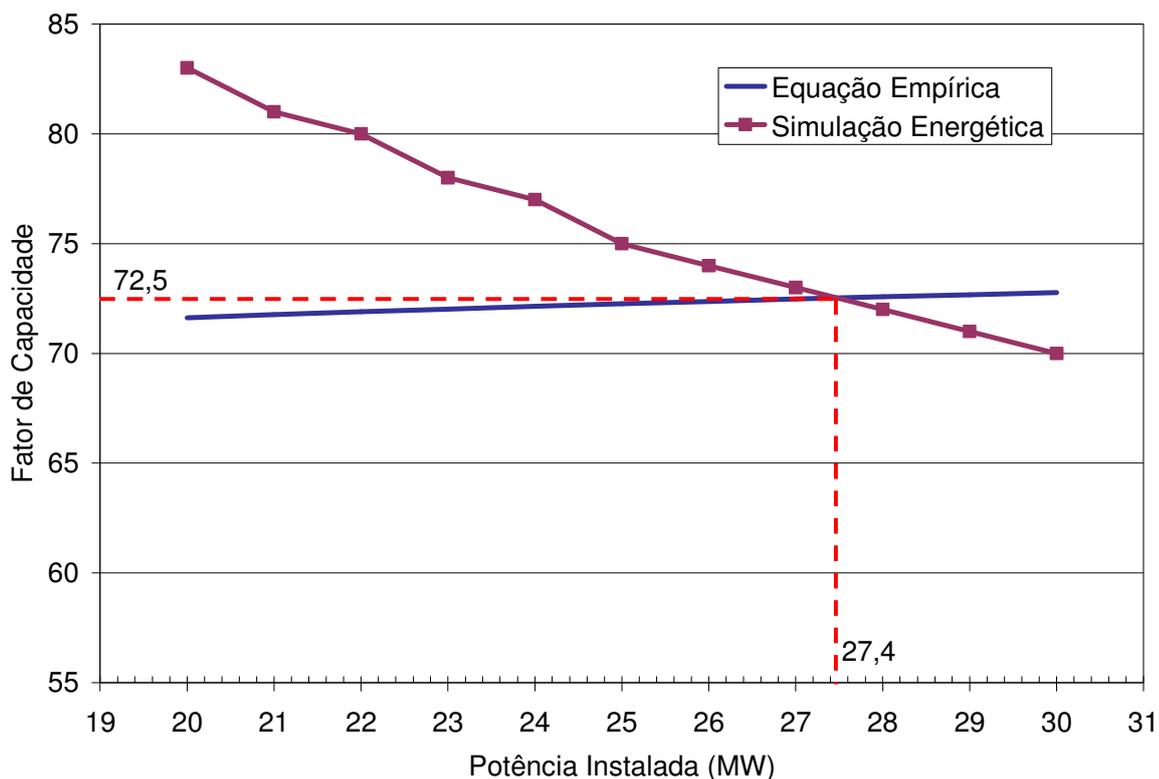


Figura 5 – Identificação do fator de capacidade de referência pelo método das características hidráulicas.

Para os demais aproveitamentos a mesma metodologia foi aplicada, obtendo curvas individualizadas para cada um. Os fatores de capacidade de referência de cada um deles são apresentados na Tabela 5. A usina da Figura 5 se refere ao AHE 2, na Tabela 5. Nessa tabela se observa ainda que os demais aproveitamentos resultaram em fatores de capacidade menores, uma vez que possuem maiores quedas e menores vazões.

Tabela 5 – Fator de capacidade obtido a partir do método das características hidráulicas.

Aproveitamento	Queda Bruta (m)	Vazão Média (m ³ /s)	Fator de Capacidade	Potência Instalada (MW)
AHE 1	14	181,3	71,9	20,0
AHE 2	15	179,9	72,5	27,0
AHE 3	15	12,7	66,3	2,8
AHE 4	20	11,7	66,0	3,4
AHE 5	55	8,1	64,9	6,8
AHE 6	55	8,0	64,8	6,6
AHE 7	98	5,9	64,3	9,0

Utilizando os mesmos aproveitamentos apresentados no Item 5, realizou-se uma comparação dos diferentes métodos apresentados nesse texto, a fim de se verificar as potências de

dimensionamento. Foram testados o método do Manual de Inventário, que se utiliza de um fator de capacidade de referência ($FCr=55\%$), o método do Índice de regularização, através da equação proposta por LARROSA&SANTOS (2002), e o método das Características Hidráulicas, proposto por esse texto. Os resultados são apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8, para os sete aproveitamentos identificados. O método da Análise Incremental não foi utilizado por ser usualmente empregado na elaboração de projeto básico.

Os resultados mostram que o método do manual de inventário conduziu a uma maior potência total (soma dos 7 aproveitamentos), ou seja de 80,7 MW. No método do Índice de Regularização o total foi de 75,5 MW e para o método das características hidráulicas 75,6 MW.

A Figura 6 apresenta um resumo dos resultados. Nota-se que as maiores diferenças ocorreram para os aproveitamentos de baixa queda, AHE 1 e 2, para os quais o método das características indicou um valor menor do os demais. Nesse caso vale destacar que tais aproveitamentos são típicos de possuírem fator de capacidade mais elevado, ou seja potência instalada menor, do que a maioria dos aproveitamentos, em razão dos custos elevados das turbinas.

Para os aproveitamentos de maior queda essa posição se inverte e o método das características indica potências maiores (Figura 6). Esse fato também pode ser considerado como esperado, uma vez que aproveitamento com maior queda tendem a requerer fatores de capacidade menores do que o valor único de referencia. E quanto maior a queda, maior é a diferença observada. Dessa forma, se verifica que o método de dimensionamento do Manual de Inventário tende a apresentar superdimensionamento nas baixas quedas e sub-dimensionamento nas altas quedas. No exemplo estudado, a soma do total inventariado foi maior pelo método do Manual de Inventário, entretanto isso ocorreu nesse caso porque os aproveitamentos de baixa queda possuem potências significativamente maiores do que os demais.

Tabela 6 – Dimensionamento pelo manual de inventário.

Aproveitamento	Ef	Potência Instalada (MW)
AHE 1	12,9	23,5
AHE 2	16	29,1
AHE 3	1,5	2,7
AHE 4	1,9	3,5
AHE 5	3,7	6,7
AHE 6	3,6	6,5
AHE 7	4,8	8,7
Total		80,7

Tabela 7 – Dimensionamento pelo índice de regularização.

Aproveitamento	Q _{mlt} (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)	IR	FCr (%)	Potência Instalada (MW)
AHE 1	181,3	63,3	0,35	0,57	22,6
AHE 2	179,9	63	0,35	0,57	28,1
AHE 3	12,7	6,05	0,48	0,62	2,4
AHE 4	11,7	5,57	0,48	0,62	3,1
AHE 5	8,1	3,88	0,48	0,62	5,9
AHE 6	8	3,79	0,47	0,62	5,8
AHE 7	5,9	2,84	0,48	0,63	7,7
Total					75,5

Tabela 8 – Dimensionamento pelo critério das características hidráulicas.

Aproveitamento	FC (%)	Potência Instalada (MW)
AHE 1	71,9	20,0
AHE 2	72,5	27,0
AHE 3	66,3	2,8
AHE 4	66,0	3,4
AHE 5	64,9	6,8
AHE 6	64,8	6,6
AHE 7	64,3	9,0
Total		75,6

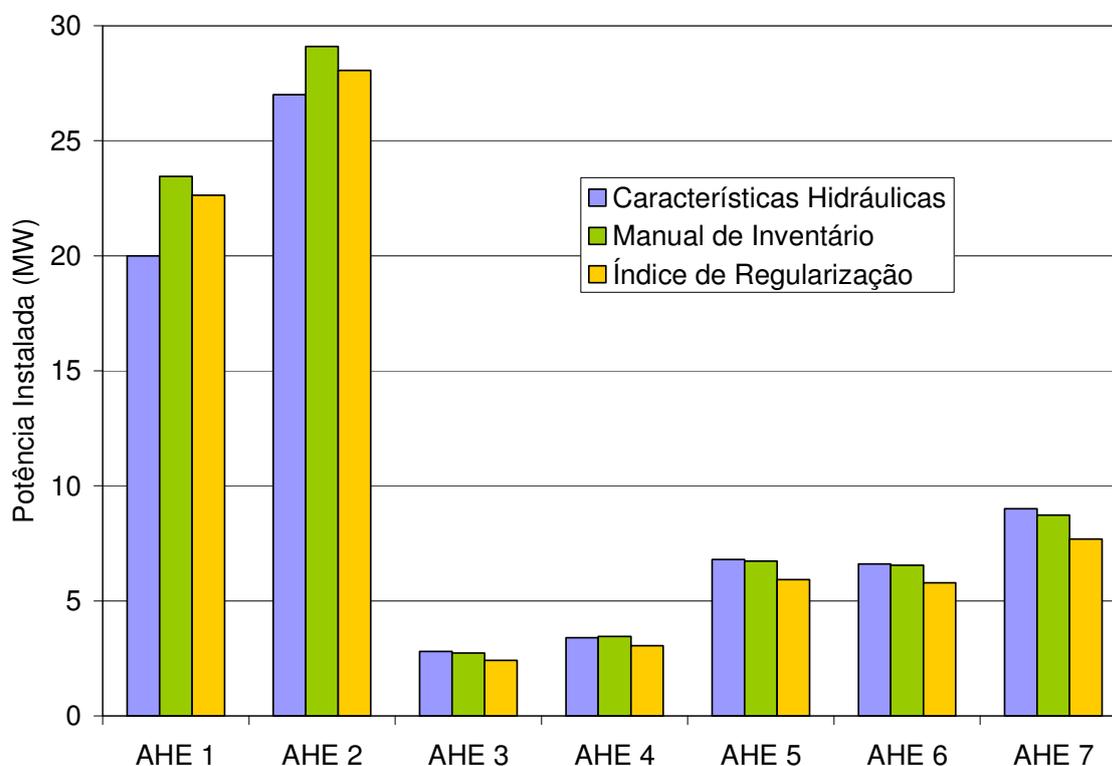


Figura 6 – Potências de dimensionamento determinadas pelos diferentes métodos.

5. CONCLUSÕES

A análise apresentada no presente artigo surgiu da necessidade de se avaliar o dimensionamento energético de inventários hidrelétricos de bacias hidrográficas de forma que sejam consideradas as características particulares dos aproveitamentos e das bacias hidrográficas, em particular os que apresentam aproveitamentos hidrelétricos com características de PCH, submetidos à análise na ANEEL.

Os resultados mostram que a metodologia apresentada no Manual de Inventários Hidrelétricos pode conduzir a resultados insatisfatórios no caso de aproveitamento com características particulares de queda muito baixa ou elevada. No caso de baixa queda ocorre uma tendência de superestimativa e no caso de alta queda tende-se a subestimar. Dessa forma, recomenda-se o emprego de métodos alternativos que levem em consideração as características particulares dos aproveitamentos, elaborados a partir das experiências de usinas construídas recentemente, em construção ou com projeto básico otimizado. Esse é o caso do método das Características Hidráulicas apresentado nessa nota técnica, que apresentou resultados bastante consistentes para o estudo de caso analisado.

Deve-se salientar que a análise proposta tem caráter orientativo na avaliação prévia do critério de dimensionamento energético na fase de planejamento dos estudos de inventário em função das especificidades da bacia hidrográfica em estudo. Outros critérios, tais como a necessidade de atendimento de mercado local, entre outros, podem influenciar na definição do critério de dimensionamento dos aproveitamentos hidrelétricos objeto dos estudos de inventário, e devem ser considerados.

BIBLIOGRAFIA

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (2007) *Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas*. Rio de Janeiro, Brasil.

ELETROBRÁS (2003) “Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas”, Rio de Janeiro, ELETROBRÁS. Disponível em www.eletrobras.gov.br visitado em 01/06/2008.

LARROSA&SANTOS (2002). *Estudos de Inventário Hidrelétrico: Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois / GO*. Brasília, DF, s.p.

NETO, J.L.F. (2004) *Avaliação do Critério de Dimensionamento Energético em Estudos de Inventários Hidrelétricos*. IV Simpósio sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Recife – PE, 12 a 22 de Setembro.

SOUZA, Z.; SANTOS, A.H.M.; BORTONI, E.C. (1999) *Centrais Hidrelétricas: Estudos para Implantação*. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. – ELETROBRÁS. 250p.