

# XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

## **AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E EXTERNALIDADES AGROPECUÁRIAS EM DIFERENTES CONCEPÇÕES HIDRELÉTRICAS: estudo de caso bacia do rio Doce em Minas gerais.**

*Lilia Maria de Oliveira*<sup>1</sup>

**Resumo** – O presente estudo avaliou a produtividade de onze (11) aproveitamentos hidrelétricos previstos e em operação na bacia do rio Doce, os quais foram separados em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) ou Grandes Usinas Hidrelétricas (GCHs). A potência instalada de cada aproveitamento foi dividida pela sua área e volume alagados de forma a obter os aproveitamentos mais eficientes. Em seguida foi realizado o cálculo para estimar o valor da externalidade agropecuária produzida por cada aproveitamento. O grupo de PCHs alagou 1986 km<sup>2</sup> para produzir 126,1 MW, já o grupo de GCHs alagando 2078,2 km<sup>2</sup> gerou 382 MW. Considerando os custos da externalidade agropecuária tem-se que o grupo de GCHs totalizou 523 R\$/MW já as PCHs 5096 R\$/MW. Os resultados obtidos demonstraram que as GCHs obtiveram melhor produtividade e menor custo sócio-ambiental por MW instalado, considerando o valor da externalidade agropecuária analisado. Sugere-se que novos estudos sejam realizados ampliando-se o número de aproveitamentos e impactos ambientais analisados.

**Abstract** – This study evaluated the productivity of eleven (11) hydroelectric facilities which some are functioning and others are on their way in Rio Doce river basin. Such facilities were split into Small (PCHs) and Big Hydroelectric Center (GCHs) groups. The installed power of each facility was divided by their submerged area and volume in order to identify the most productive facilities. Then we estimated the value of the agricultural externality produced by each one of them. The group of PCHs submerged 1986 km<sup>2</sup> to produce 126.1 MW. The group of GCHs submerged 2078.2 km<sup>2</sup> and generated 382 MW. Considering the costs of the agriculture externality, the group of GCHs totalized 523 R\$/MW and the group of PCHs totalized 5096 R\$/MW. The results show that the GCHs obtained better productivity and lower social-environmental costs per MW installed, considering the value of the analyzed agriculture externality. This work indicates that new studies must be performed to expand the number of analyzed facilities and the number of analyzed environmental impacts.

**Palavras-Chave** – Usinas hidrelétricas, impactos ambientais, produtividade.

---

<sup>1</sup> Centro Federal de Educação Tecnológico de Minas Gerais – CEFET-MG. Av. Amazonas 5253. Nova Suíça. Belo Horizonte-MG. 31-3319-7120. FAX 31-3319-7109. E-mail: Lilia@deii.cefetmg.br

## **1. INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento de uma nação sempre esteve vinculado ao fornecimento de energia para realização das atividades diárias. A alimentação, saúde, educação e segurança da população, requer que haja um suprimento adequado de energia.

Diversas são as formas de suprimento energéticas: eólica, solar, biomassa, nuclear e hidrelétrica, entre outras. No Brasil a construção de hidrelétricas, sempre foi uma alternativa muito explorada em função do potencial energético existente na maior parte de território nacional, ou seja, tem-se água em abundância e relevo propício a geração, com grandes desníveis topográficos.

Segundo Rosim (2008), no início do século XX o mercado energético estava concentrado entre empresas municipais e investidores estrangeiros (Ligth e Amfort). Em 1929, a concentração da geração e distribuição de energia pela iniciativa privada levou o governo brasileiro a interromper a liberação de concessões para exploração de energia elétrica, proibir aquisição de empresas e extinguir a cláusula do ouro que valorava a energia a partir da cotação do ouro.

Em 1934 foi promulgado o Código das Águas onde o governo brasileiro disciplinava a utilização dos recursos hídricos e a geração de energia elétrica. Este determinava que a propriedade das quedas de água e do potencial hidrelétrico deixasse de ser do proprietário da terra e passasse a ser da união.

Esta nova regulamentação impulsiona o setor elétrico e grandes empreendimentos são construídos: Furnas, Itaipu, entre outros. Aliado a isto surge uma preocupação com os danos ambientais causados pelos aproveitamentos energéticos.

## **2. APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS**

Os aproveitamentos hidroelétricos brasileiros podem ser classificados, quanto à potência gerada e a área alagada por seus reservatórios em: Micro Central Hidrelétricas (MCHs), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Grandes Centrais Hidrelétricas (GCHs). As MCHs são aproveitamentos que geram menos de 1MW. As PCHs são caracterizadas pela Resolução 394 de 1998, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (1994), que define como critérios a serem obedecidos a potência instalada entre 1 e 30 MW e área inundada até 3,0 km<sup>2</sup>. Entretanto, essa resolução admiti, ainda, a possibilidade de caracterização como PCH para aproveitamentos que apresentem área de reservatório superior aos 3 Km<sup>2</sup> de inundação, considerando especificidades regionais, a critério da diretoria da ANEEL, e com base em parecer técnico que contemple, entre outros, aspectos econômicos e ambientais.

Em seu parágrafo único, é definida como área do reservatório, aquela delimitada pela cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos, ANEEL (2008).

Em 2003, visando eliminar a subjetividade na definição das áreas alagadas para aproveitamentos hidrelétricos, a ANEEL busca melhor precisar as circunstâncias de admissão de áreas superiores a 3 km<sup>2</sup> para os reservatórios das PCH's, editando a Resolução 652, de 09/12/2003, ANEEL (2003).

Nessa Resolução, as PCH's continuam a ser caracterizadas como aproveitamentos hidrelétricos com potência instalada entre 1 e 30 MW, e mantém-se a área de reservatório menor que 3 Km<sup>2</sup>. Entretanto para as situações descritas abaixo é permitido que a área possa atingir 13 Km<sup>2</sup>, desde que atendido uma das seguintes condições:

I- Atendimento à inequação:

$$A \leq \frac{14,3xP}{H_b}$$

Sendo:

P = potência elétrica instalada em (MW);

A = área do reservatório em (km<sup>2</sup>);

H<sub>b</sub> = queda bruta em (m), definida pela diferença entre os níveis d'água máximo normal de montante e o normal de jusante;

II - reservatório dimensionado, para atendimento de outros usos que não os de geração de energia elétrica.

Cumpra-se ressaltar que os aproveitamentos destinados à geração de energia elétrica não enquadrados como PCHs, em função de possuírem potência e área alagada superior as definidas pela resolução da ANEEL são denominados GCHs.

### 3. IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS

No início do século 21, a geração mundial de energia superou 15000 TWh, valor este 60% maior que 1970, com mais de 20% destes aproveitamentos baseados em hidroeletricidade, inundando 500.000 km<sup>2</sup> de terra para a formação de reservatórios. Segundo Bratrich (2004), estima-se que de 37 a 55% dos maiores rios da Europa estão fortemente impactados por barragens.

Vários impactos ambientais, associados à geração de energia elétrica, estão associados à formação e operação dos reservatórios, entre estes Ferreira (2004), Bratrich et all (2004) e Jager e Smith (2008) citam: o reassentamento populacional, mortandade de peixes e alterações nos ecossistemas, mecanismos de transposição de peixes, transporte de sedimentos, alterações no

microclima local, transporte fluvial e perda de vidas devido a rompimento de barragens .

Entre os exemplos citados por Ferreira (2004) tem-se o reservatório de Três Gargantas na China que afetou de modo considerável uma área responsável por cerca de 40% da produção agrária do país.

O reservatório de Irapé, localizado no rio Jequitinhonha, MG, implicou na relocação de dois núcleos urbanos – Peixe Cru e Porto dos Corí (sendo este último uma comunidade remanescente de quilombo), além do reassentamento de aproximadamente 754 famílias, em sua grande maioria constituída de agricultores familiares , Ribeiro (2008).

No Brasil a diminuição de algumas espécies de peixes ocorreu na Bacia do Rio Paraná, após a construção da represa de Itaipu, entre elas algumas espécies de Surubim (*Pseudoplatystoma sp.*), Dourado (*Salminus maxillosus*), Pacu (*Piaractus mesopotamicus*), Abotoado (*Pterodoras granulosus*) e Jaú (*Paulicea lutkeni*), Ferreira (2004).

Custos decorrentes dos problemas produzidos pelos empreendimentos de geração de energia elétrica, fez com que Ferreira (2004) avaliasse as externalidades associadas às perdas agropecuárias, utilizando dados do IBGE referentes à produção agropecuária municipal, para oito usinas hidrelétricas da CEMIG. A UHE Salto Grande, que ocupa áreas dos municípios de Guanhães, Dolores de Guanhães e Braúnas, teve quantificado para o ano de 2001, uma perda agropecuária estimada em R\$ 2.030,00, Ferreira (2004).

Ribeiro (2009) analisou oito (8) PCHs previstas para o rio Santo Antônio e duas (2) UHEs no rio Doce. Os resultados apontaram um maior comprometimento da calha do rio Santo Antônio, que teve 54,5 % da sua extensão utilizada para a instalação das estruturas de geração de energia elétrica. Já o rio Doce teve comprometimento de somente 3,57 % da calha principal, gerando o dobro de energia, nas duas UHEs.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas, segundo Pedreira (2004) citada por Perazzoli (2009), geralmente funcionam com pequenos reservatórios ou com derivações de cursos d'água permanentes. Normalmente destinam-se a suprir demandas locais ou também quando as restrições a uma grande barragem predominam, assim uma alternativa poderá ser a construção de uma sucessão de PCHs.

De acordo com Perazzoli (2009) e Ribeiro (2010), é necessário avaliar, no caso de pequenos aproveitamentos, a cascata de geração, haja visto que o somatório dos impactos pode ultrapassar os produzidos por grandes aproveitamentos, sem que haja um ganho efetivo na produção de energia.

Bratrich (2004) recomenda que os aspectos ambientais, sociais e econômicos devem ser considerados igualmente e que todos os tomadores de decisão devem ser envolvidos no processo decisório (investidores, ONGs, estado).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente obteve-se a potência instalada (MW), área alagada em hectares e volume armazenado em  $\text{hm}^3$  de 11 reservatórios, alguns implantados e outros previstos para a bacia do rio Doce. Os dados foram obtidos nos estudos desenvolvidos por Ribeiro (2009) e Ferreira (2004).

Desenvolveu-se o trabalho de forma a avaliar a eficiência de geração obtida pela divisão da potência pela área e volume alagado, considerando diferentes tipos de empreendimentos (PCHs e GCHs).

Num segundo momento foi realizada a análise do conjunto de oito PCHs do rio Santo Antônio e comparado com três GCHs (rio Doce, rio Guanhões e rio Santo Antônio).

Finalizando foram calculados os valores das externalidades agropecuárias para os aproveitamentos, com base nos dados obtidos para UHE Salto Grande por Ferreira (2004). Ou seja, a externalidade da UHE Salto Grande foi dividida pela sua área alagada, gerando um índice em  $\text{R\$/km}^2$ . Assumiu-se que este mesmo custo pudesse ser aplicado aos demais aproveitamentos analisados, calculou-se o custo por  $\text{km}^2$  de área alagada para os onze aproveitamentos em questão. O custo da externalidade de cada aproveitamento foi dividido pelo MW instalado, gerando um custo de externalidade por Mega Watts (MW).

#### 5. RESULTADOS

A bacia selecionada para estudo foi à bacia do rio Doce, considerando alguns aproveitamentos previstos e em operação na calha principal do rio e outros nos seus tributários: rio Santo Antônio e rio Guanhões. As PCHs analisadas estão previstas para o rio Santo Antônio e as GCHs implantadas no rio Doce (Baguari e Candonga) e rio Santo Antônio e Guanhões (Salto Grande). Os dados analisados foram área alagada (ha), volume alagado ( $\text{hm}^3$ ) e potência instalada (MW), Tabela 1 e 3.

Tabela 1 – Grupo de PCHs previstas e em operação rio Santo Antônio.

PCH	Área Reservatório (ha)	Volume Reservatório ( $\text{hm}^3$ )	Potência Instalada (MW)
Sumidouro	138	8	13
Porcos	178	18,4	5,5
Santo Antônio	160	11	7
Quimquim	368	57	14,5
Ferros	356	25,75	16,6
Ferradura	428	45,61	23,5
Sete Cachoeiras	122	7,53	17,6
Ouro Fino	236	7,66	28,4
<b>Totais</b>	<b>1986</b>	<b>180,95</b>	<b>126,1</b>

Fonte: Ribeiro (2009)

As PCHs com melhor rendimento, dado por Mega Watt por volume alagado, foram: Ouro Fino (3,71 MW/hm<sup>3</sup>), Sete Cachoeiras (2,34 MW/hm<sup>3</sup>), Sumidouro (1,63 MW/hm<sup>3</sup>), respectivamente. Observa-se em termos médios um valor de 0,7 MW/hm<sup>3</sup>, o qual foi superado somente por três PCHs. As piores relações foram obtidas para as PCHs Quinquim e Porcos, de 0,25 e 0,30 MW/hm<sup>3</sup>, respectivamente, Tabela 2.

Tabela 2- Produtividade de PCHs em função da área e volume alagados.

PCH	Potência/Área (MW/ha)	Potência/Volume (MW/hm <sup>3</sup> )
Sumidouro	0,09	1,63
Porcos	0,03	0,30
Santo Antônio	0,04	0,64
Quinquim	0,04	0,25
Ferros	0,05	0,64
Ferradura	0,05	0,52
Sete Cachoeiras	0,14	2,34
Ouro Fino	0,12	3,71
<b>Valor Médio</b>	<b>0,06</b>	<b>0,70</b>

As GCHs do rio Doce apresentaram bons rendimentos (Potência/Volume alagado) se comparadas a do seu afluente, GCH Salto Grande, Tabela 4. Considerando a média de PCHs e GCHs verifica-se que os valores obtidos são 0,7 MW/hm<sup>3</sup> e 2,51 MW/hm<sup>3</sup>, respectivamente. Ou seja, o rendimento das GCHs é 3,5 vezes maior que o conjunto de PCHs.

Tabela 3- Grupo de GCHs previstas e em operação na bacia do rio Doce.

GCH	Área Reservatório (ha)	Volume Reservatório (hm <sup>3</sup> )	Potência Instalada (MW)
Candongá	360	44,82	140
Baguari	1660	38,07	140
Salto Grande	58,2	69	102
<b>Totais</b>	<b>2078,2</b>	<b>151,89</b>	<b>382</b>

Observa-se que o somatório das áreas alagadas das 8 PCHs (1986 km<sup>2</sup>), equivale a praticamente a mesma área alagada pela três GCHs (2078,2 Km<sup>2</sup>), Tabelas 1 e 3.

Tabela 4 - Produtividade de GCHs em função da área e volume alagados.

UHE	Potência/área	Potência/volume
Candongá	0,39	3,12
Baguari	0,08	3,68
Salto Grande	1,75	1,48
<b>Valor Médio</b>	<b>0,18</b>	<b>2,51</b>

Considerando o rendimento, obtido em Megawatt por Kilometro quadrado, verifica-se que a melhor relação encontrada foi para a GCH Salto Grande, com 1,75 MW/km<sup>2</sup>, valor este muito

superior as demais. Na sequência temos a GCH Candonga com (0,4 MW/km<sup>2</sup>), as PCHs Sete Cachoeiras (0,14 MW/km<sup>2</sup>), Ouro Fino 0,12 MW/km<sup>2</sup>) e Sumidouro (0,09 MW/km<sup>2</sup>) e GCH Baguari (0,08 MW/km<sup>2</sup>).

As menores relações (MW/km<sup>2</sup>) foram obtidas para as PCHs Quinquim e Porcos, de 0,039 e 0,030 MW/km<sup>2</sup>, respectivamente. Considerando os valores médios obtidos para PCHs (0,06 MW/km<sup>2</sup>) e GCHs (0,18 MW/km<sup>2</sup>). Verifica-se que o conjunto (8 empreendimentos) PCHs tem produção por área alagada, três vezes menor que o conjunto de UHE (3 empreendimentos).

Ribeiro (2009) ressalta que estes tipo de comparação se torna mais relevante, haja visto que o rio Doce possui vazões naturais superiores ao rio Santo Antônio, fazendo com que as restrições sejam mais acentuadas para o rio Santo Antônio. Ou seja, para se atingir e manter os volumes necessários a geração de energia demanda-se maior restrição de vazão a jusante e/ou tempos maiores de enchimento, já que as vazões escoadas nos afluentes são de menor magnitude que no rio principal. Entretanto, o aumento das restrições não se configura em maior produção de energia, conforme mostrado na Tabela 1, onde maiores volumes alagados, não estão associados à maior potência instalada.

### 5.1. ANÁLISE DO CUSTO DAS EXTERNALIDADES.

Ferreira (2004), estimou que a UHE Salto Grande comprometeu a produção agropecuária em R\$ 2.030,00 com a perda da área alagada para esta finalidade. Considerando este valor, obtido para 2001 a partir de informações da CEMIG e do IBGE, verifica-se um custo de R\$ 34,90 por hectare de área alagada. Caso este comprometimento se verificasse, no dias de hoje para os demais empreendimentos na bacia, teríamos os seguintes custos levantados para os 11 aproveitamentos analisados na Tabela 5. Verificasse que a UHE Baguari é responsável pelo maior custo, haja visto a extensa área alagada e a UHE Salto Grande, produz o menor valor de externalidade, Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de custos das perdas agropecuárias para os aproveitamentos analisados

Aproveitamento	Custo da Perda Agropecuária em Reais.
PCH Sumidouro	4813
PCH Porcos	6209
PCH Santo Antônio	5581
PCH Quinquim	12836
PCH Ferros	12417
PCH Ferradura	14929
PCH Sete Cachoeiras	4255
PCH Ouro Fino	8232
UHE Candonga	12557
UHE Baguari	57900
UHE Salto grande	2030

Elaborada pelo autor a partir de dados de Ferreira (2004).

Se dividirmos o custo por MW produzido os resultados se invertem, conforme verificado na Tabela 6

Tabela 6 – Valor em reais da externalidade por MW instalado

Aproveitamento	Custo da Perda Agropecuária em Reais por MW instalado
PCH Sumidouro	370
PCH Porcos	1129
PCH Santo Antônio	797
PCH Quimquim	885
PCH Ferros	748
PCH Ferradura	635
PCH Sete Cachoeiras	242
PCH Ouro Fino	290
GCH Candonga	90
GCH Baguari	414
GCH Salto grande	20

Verificasse que as PCHs Porcos, Santo Antônio, Quimquim, Ferros e Ferradura, apresentam os piores desempenhos, ou seja, possuem os maiores custos de externalidade agropecuária por MW instalado. Os melhores resultados ficam por conta das GCHs Candonga e Salto Grande. A Figura 1 mostra o somatório do custo da externalidade dividida por MW instalado considerando os diferentes empreendimentos, PCHs e GCHs.

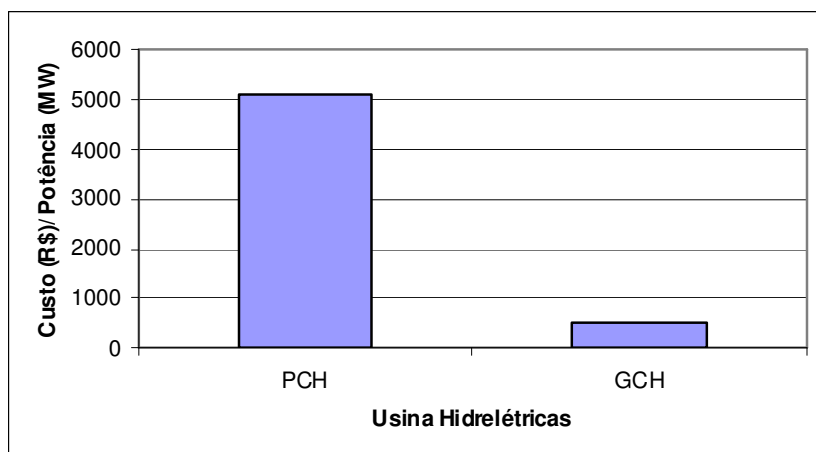


Figura 1 –Somatório da relação custos por potência instalada (R\$/MW)

## 6. CONCLUSÕES

Verificou-se que a produtividade das PCHs, consideradas isoladamente, é bem aquém dos valores obtidos para as GCHs. Tal comportamento se mantém quando considerou-se o somatório das PCHs, ou seja, quando se considerou a cascata de Pequenas Centrais Hidrelétricas.



A estimativa das externalidades agropecuárias avaliadas para as PCHs foi muito superior aos valores obtidos para as GCHs, de modo geral. Isto ocorreu basicamente por que nos casos analisados as PCHs possuíam áreas alagadas próximas as áreas das GCHs e menor potência instalada.

Como estudo inicial verificasse que os aproveitamentos denominados PCHs, segundo resoluções da ANEEL, apresentam menores rendimentos por área e volume alagado pelos seus reservatórios, podendo produzir maiores impactos sobre o meio, como os obtidos com as externalidades agropecuárias.

Sugere-se que novos estudos sejam realizados ampliando-se o número de aproveitamentos analisados e o número de impactos analisados.

Como sugestão de impacto a ser investigado tem-se avaliação das vazões turbinadas e vertidas, considerando as regras operacionais e a extensão da rede de drenagem comprometida pela mesma, avaliando usos existentes e comprometimentos destes com relação à qualidade de água, usos consultivos e não consultivos e ictiofauna.

## **7. AGRADECIMENTOS**

O autor agradece ao analista ambiental Morel Queiroz da Costa Ribeiro e aos professores Carlos Barreira Martinez e Edna Maria de Faria Viana pelo apoio.

## **8. REFERÊNCIAS**

ANEEL. Resolução nº 394, de 04 de dezembro de 1998. *Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas.* <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res1998394.pdf>. Acesso: 22/10/2010.

ANEEL. Resolução nº 652, de 9 de dezembro de 2003. *Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH).* [http://www.aneel.gov.br/biblioteca/remissiva\\_legi.cfm?valida=53734](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/remissiva_legi.cfm?valida=53734). Acesso: 22/10/2010.

BRATRICH, CHRISTINE; BERNHARD, TRUFFER; KLAUS JORDE; JOCHEN MARKARD; WERNER MEIER; ARMIN PETER; MATTHIAS SCHNEIDER E BERNHARD WEHRLI. *Green Hydropower: A new assessment procedure for river management.* River Research and Applications. (2004). 20: 865-882.

ELETROBRÁS. *Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas.* 1982.

FERREIRA, VÍNICIUS VERNA MAGALHÃES. *Avaliação de Externalidades do Setor Hidrelétrico no Estado de Minas Gerais*. Tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte: 2004.192 p.

JAGER, HENRIETTE I. E SMITH, BRENNAUT T. *Sustainable reservoir operation: can we generate hydropower and preserve ecosystem values?* River Research and Applications.(2008). 24: 340-352.

RIBEIRO, MOREL QUEIROZ DA COSTA. *O Licenciamento ambiental de aproveitamentos hidroelétricos: o espaço da adequação*. Dissertação de mestrado do Programa de Pós Graduação em Geografia) IGC da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008. 267 p.

RIBEIRO, MOREL QUEIROZ DA COSTA. *Pequenas Centrais Hidrelétricas. Como conciliar Interesses*. Debate público – Assembléia Legislativa de Minas Gerais – Comissão de Minas e Energia – dezembro de 2009.

ROSIM, SIDNEY OLIVIERI. *Geração de Energia Elétrica: Um enfoque histórico e institucional das questões comerciais no Brasil*. Dissertação do Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia. São Paulo. USP: 2008. 153 p. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-05052008-102427>. Acesso em 30/08/2010 .

PERAZZOLI, MAURICIO; COUTINHO, SOLANGE DA VEIGA E SILVA, JÚLIO C. M. DA. *Sugestão de critérios ambientais para avaliação de impacto ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas na bacia hidrográfica do rio do Peixe – SC*. 2010. PCH Notícias e SHP News. Itajubá. rev. 46. ano 12. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/> Acesso em: 23 mar. 2011.