

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**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**

Sérgio Pinheiro de Freitas

Belo Horizonte

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**

Sérgio Pinheiro de Freitas

Sérgio Pinheiro de Freitas

**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**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Sistemas de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Carlos Barreira Martinez

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2012

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

Aos meus pais Oduvaldo e Marli, exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, saúde, fé e perseverança, sem as quais não seria possível atingir esta conquista.

Ao Prof. Carlos Barreira Martinez pela colaboração, disposição, paciência e ensinamentos compartilhados durante a orientação dessa dissertação.

Ao meu filho Pedro Magno e irmãos Rebeca e Júnior pela compreensão nas horas ausentes, momentos em que foi necessário dedicar maiores esforços para que fosse possível alcançar os objetivos delineados.

Aos colegas da Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda, especificamente aos diretores Mário Cicareli Pinheiro e Rodrigo de Almeida Leite Barbosa, cujos ensinamentos e contribuições foram essenciais para aprimorar a qualidade desse estudo.

Aos amigos Aloysio Portugal Maia Saliba e Márcio Figueiredo de Resende, pessoas importantes durante a caminhada que ajudaram a mostrar os melhores caminhos a seguir.

Em especial, à minha esposa Kellen pela paciência, amizade, companheirismo e por estar presente em todos os momentos com palavras encorajadoras e animadoras, principalmente nas horas de dificuldade em que o mundo parecia desabar. Amo muito você.

Enfim, à todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a elaboração dessa dissertação, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A crescente demanda por produtos minerais no mercado internacional é responsável por um considerável aumento das atividades mineradoras no Brasil. Paralelamente a isso se tem notado uma crescente demanda de energia elétrica pela sociedade brasileira. Dentro desse contexto, emergem atividades concorrentes e que se esbarram e causam interferências cruzadas entre empreendimentos. Tem-se então uma situação de conflito, uma vez que outorgas de uso de água para atividades mineradoras impactam, entre outras, as atividades de geração hidrelétrica.

Quando esse tipo de evento ocorre deve se iniciar um processo de quantificação dos reais impactos sobre a atividade de geração de energia que são oriundos da redução da vazão afluente ao sistema hidrogerador. Esse trabalho apresenta uma metodologia para a análise deste impacto na qual se contabiliza a redução da vazão devido a outorga de uso da água face a disponibilidade hídrica do local. Para isso, propõe-se estudar a redução da energia firme no aproveitamento quantificando-se a redução da vazão devido a retirada de água para o processo de mineração. Ao final do trabalho é apresentado um estudo de caso onde se pode observar a redução real da geração na PCH e o impacto sobre o retorno esperado para esse tipo de atividade.

Palavras-chave: Impacto ambiental, Outorga de água, Pequenas Centrais Hidrelétricas.

ABSTRACT

The increasing demand for mineral products on international market is responsible for a relevant growth in mining activities in Brazil. Besides, it has been noticed a growing demand for electricity by the Brazilian society. Within this context, there are competitive activities raising doubts about the interference between these enterprises. For that reason, a conflict situation is presented once the granting of water use for mining activities causes impact in hydroelectric generation activities.

When this type of event occurs an analyze process begins in order to quantify the real impact on the activity of power generation that come from reducing the influent flow to the hydro generator system. This project presents a methodology to analyze this impact, where it calculates the reduction of flow due to the granting of water use in face of local water availability. For this it is proposed to study the reduction of the firm energy quantifying the reduction in flow due to water withdrawal for the mining process. At the end of the project it is presented a case study where a real reduction in the generation of SHP can be observed as well as the impact on the expected return for this type of activity.

Keywords: Environmental impact, Granting of water, Small Hydro Power

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	5
2.1 Objetivo geral.....	5
2.2 Objetivos específicos.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 As atividades de mineração.....	6
3.2 A geração da energia elétrica	8
3.2.1 Breve histórico.....	8
3.2.2 Tipos de geração de energia elétrica	11
3.2.3 Perfil da matriz energética.....	15
3.3 O uso e consumo de água	19
3.3.1 O caso específico da mineração.....	20
3.3.2 Geração de energia	28
3.3.3 Outros usos.....	29
3.4 Gerenciamento dos recursos hídricos	36
3.5 Regionalização de vazões.....	38
4. ARCABOUÇO LEGAL	44
4.1 Mineração.....	44
4.2 Setor elétrico	46
4.3 Gestão dos recursos hídricos	48
5. MATERIAIS E MÉTODOS	51
5.1 Impacto da mineração sobre a aflúncias de vazões.....	51
5.1.1 Captação em reservatórios de regularização.....	51
5.1.2 Captação direta no curso de água.....	54
5.2 O impacto sobre o bloco de energia gerada.....	54
5.3 Impacto econômico	57
6. ESTUDO DE CASO: PCH BICAS.....	61
6.1 Seleção da área de estudo	61
6.2 Histórico e características do aproveitamento hidrelétrico	62
6.3 Usuários outorgados na bacia hidrográfica.....	63
6.4 Estudos hidrológicos	65
6.4.1 Metodologia do balanço hídrico	66
6.4.2 Metodologia da curva regional de vazão média de longo termo.....	67
6.5 Estudos energéticos	70
6.5.1 Metodologia.....	70
6.5.2 Variáveis consideradas.....	71
6.5.3 Impacto na geração de energia	73
6.5.4 Impacto econômico.....	75
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
APÊNDICE A – CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA HIDROGRÁFICA PELO MÉTODO DAS ISOIETAS	93

APÊNDICE B – SÉRIE DE VAZÕES AFLUENTE À PCH BICAS REGIONALIZADA PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO	96
APÊNDICE C – SÉRIE DE VAZÕES AFLUENTE À PCH BICAS REGIONALIZADA PELO MÉTODO DA CURVA REGIONAL	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Trajetória do PIB brasileiro.....	3
Figura 3.1 – Possíveis fontes e locais de consumo de água.....	7
Figura 3.2 – Empregos comuns dos bens minerais na sociedade moderna	8
Figura 3.3 – Geração elétrica por fonte no mundo	16
Figura 3.4 – Oferta de energia elétrica no Brasil.....	18
Figura 3.5 – Esquema de utilização de água em mineração de ferro.....	21
Figura 3.6 – Lavra por desmonte hidráulico.....	24
Figura 3.7 – Situação sem a utilização do sistema de abatimento de particulados	25
Figura 3.8 – Situação com a utilização do sistema de abatimento de particulados	25
Figura 3.9 – Corte esquemático de uma célula de flotação	26
Figura 3.10 – Umectação de vias em mineração	27
Figura 3.11 – Histograma de mão de obra para a fase de implantação.....	28
Figura 3.12 – Retirada e consumo de água por tipo de uso	30
Figura 3.13 – Crescimento da área irrigada no Brasil	31
Figura 3.14 – Estimativa aproximada das quantidades de água por usos domésticos.	32
Figura 3.15 – Esquema de série de vazões e vazão média.....	40
Figura 3.16 – Exemplo de curva regional de vazão média de longo termo com ajuste de distribuição matemática	42
Figura 5.1 – Composição da tarifa de energia	59
Figura 6.1 – Área de interesse	62
Figura 6.2 – Pontos outorgados na bacia do rio Gualaxo do Norte até a PCH Bicas	65
Figura 6.3 – Localização das estações fluviométricas	69
Figura 6.4 – Curva Regional de Vazão Média de Longo Termo.....	69
Figura 6.5 – Impacto econômico máximo acumulado causado no período 1 - 2008 e 2011 (R\$/ano) – referido ao Intervalo de 4 anos mais críticos – cenário 3.....	78
Figura 6.6 – Impacto econômico mínimo acumulado causado no período 1 - 2008 e 2011 (R\$/ano) – referido ao Período crítico considerado pelo setor elétrico – cenário 1	79
Figura 6.7 – Impacto econômico máximo acumulado causado no período 2 - 2012 a 2027 (R\$/ano) - referido ao Intervalo de 4 anos mais críticos – cenário 3.....	79
Figura 6.8 – Impacto econômico mínimo acumulado causado período 2 - 2012 a 2027 (R\$/ano) – referido ao Período crítico considerado pelo setor elétrico – cenário 1	80
Figura 6.9 – Valor máximo de indenização em valor presente, período 2 (2012 a 2027) – referenciadas ao Intervalo de 4 anos mais críticos – cenário 3.....	82
Figura 6.10 – Valor mínimo de indenização em valor presente período 2 (2012 a 2027) – referenciadas ao Período crítico considerado pelo setor elétrico – cenário 1.	82
Figura 6.11 – Custo de indenização antecipada para 15 anos de avaliação e taxa de retorno de 12% a.a.	83
Figura A.1 – Mapa de isoietas na região de interesse.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classificação das PCH quanto à potência instalada e queda de projeto.....	11
Tabela 3.2 – Capacidade instalada de geração hidrelétrica no mundo	17
Tabela 3.3 – Geração elétrica por energético – GWh.....	17
Tabela 3.4 – Empreendimentos em operação e construção no Brasil.....	19
Tabela 3.5 – Consumo <i>per capita</i>	32
Tabela 3.6 – Efetivos dos rebanhos no Brasil ao final de 2010.....	34
Tabela 3.7 – Consumo de água por espécies de animais	34
Tabela 3.8 – Exemplos de variáveis na regionalização	39
Tabela 6.1 – Outorgas superficiais na área de interesse	64
Tabela 6.2 – Análise de deflúvio da estação de referência	67
Tabela 6.3 – Vazão Média de Longo Termo – Balanço Hídrico Regional.....	67
Tabela 6.4 – Estações fluviométricas selecionadas na área de abrangência dos estudos.....	68
Tabela 6.5 – Vazões médias (m ³ /s).....	74
Tabela 6.6 – Energia Assegurada (kWh).....	74
Tabela 6.7 – Diferença percentual na energia assegurada (%)	74
Tabela 6.8 – Diferenças na energia assegurada (kWh).....	76
Tabela 6.9 – Valor do impacto econômico total com taxa de retorno de 12% a.a ao final do período 1 (2008 a 2011).....	80
Tabela 6.10 – Valor do impacto econômico total com taxa de retorno de 12% a.a no período 2 (2012 a 2027) para o 15º ano	81
Tabela 6.11 – Custo de indenização antecipada para 15 anos de avaliação e taxa de retorno de 12% a.a.	83
Tabela A.1 – Estações pluviométricas selecionadas na área de abrangência dos estudos	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA – Avaliação de Impactos Ambientais

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CF – Constituição Federal

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

DRDH – Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica

ELETOBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FUNAI – Fundação Nacional do Índio

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

GCOI – Grupo Coordenador para Operação Interligada

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de Águas

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

LI – Licença de Instalação

LO – Licença de Operação

LP – Licença Prévia

MINTER – Ministério do Interior

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

MRE – Mecanismo de Relocação de Energia

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PIB – Produto Interno Bruto

PMB – Produção Mineral Brasileira

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SIN – Sistema Interligado Nacional

SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNGRH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UHE – Usina Hidrelétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

A: área do reservatório

CT: custo total no período

Def: déficit na geração de energia

E: energia média gerada ao longo do período

EA: energia assegurada

EF: energia firme

F: fator multiplicador

$f_{d_{med}}$: fator de disponibilidade média das unidades geradoras

F_p : fator de permanência

$f_{p_{crit}}$: fator de permanência crítico

FRC: fator de recuperação de capital

H: altura de queda líquida máxima

H_b : queda bruta do aproveitamento

h_{ref} : altura de queda líquida usada como referência para o projeto da turbina

I: volumes afluentes ao reservatório

IP: indisponibilidade programada

K: constante que depende da aceleração da gravidade e da massa específica da água

N: número de intervalos t

O: volumes retirados do reservatório

P: potência disponível

PD_{med} : potência média disponível ou capacidade média de geração

Perda: diferença na energia assegurada

PI: potência instalada

P_{max} : potência máxima instalada no empreendimento hidrogerador

Q: vazão mensal da série de vazões no período de análise

Q_{ADM} : vazão adimensional

Q_e é a vazão de engolimento das tubulações

$Q_{Estação}$: vazão média mensal na estação de referência

Q_{Local} : vazão média mensal no local da PCH

Q_m é a vazão média (m^3/s)

Q_{MLT} : vazão média de longo termo

$Q_{MLT_Estação}$: vazão média de longo termo da estação de referência

Q_{MLT_Local} : estimativa da vazão média de longo termo da seção de referência

Q_{mm} : vazão média de longo termo em mm

Q_{ref} : vazão turbinada de referência

Q_t : vazão do intervalo de tempo t

REC: receita

t: número de horas operadas por ano

tar: tarifa

taxa: taxa de retorno esperada para o investimento

TEIF: taxa equivalente de indisponibilidade forçada

$\Delta v/\Delta t$: variação do volume no tempo

η é o rendimento dos equipamentos

1. INTRODUÇÃO

O uso de recursos hídricos no mundo sempre resultou em interferências entre as diversas atividades da sociedade. No Brasil esse tipo de interferência foi notado já no final do século XIX e originou um conjunto de ações que culminaram com a promulgação do Código de Águas (BRASIL, 1934), em que o artigo 36 já previa ser “permitido a todos usar de quaisquer águas públicas...”.

Nesse mesmo artigo, o parágrafo 2º previa que “O uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, conforme as leis e regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem”. Ainda no art. 43 estava previsto que “As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa...” (BRASIL, 1934).

Com o passar dos anos, o crescimento acelerado do número de habitantes e o aumento da urbanização foram alguns dos responsáveis pelo incremento significativo na demanda por produtos e serviços tais como abastecimento público, saneamento básico, energia elétrica, produtos derivados de minerais, entre outros. Esse aumento significativo foi responsável por exigir maiores quantidades de água a custos compatíveis, e proporcionou a busca por facilidades nos acessos às fontes existentes.

Naquela época, o Código de Águas regulamentava a necessidade de concessão administrativa para alguns usos da água, já antevendo a possibilidade de conflitos futuros. Esses conflitos tornaram necessário criar procedimentos de gestão dos recursos hídricos com objetivo de compatibilizar as demandas de atividades concorrentes quanto ao uso dos recursos hídricos.

Porém, essa necessidade deve ser respaldada por um conjunto de conhecimentos e ações amplamente compreendidos pela sociedade e pelo meio técnico. Neste sentido, foi aprovada a Lei 9.433, de 8 de janeiro 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, cujo inciso IV do art.1 prevê que “a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas”.

Embora tenha caráter legal, muitas vezes o uso múltiplo acaba por incorrer em conflitos de interesse, de modo que o uso de água para uma determinada atividade impacta diretamente na outra. Esse conflitos tendem a ser agravados nos casos em que as atividades envolvem

grandes somas de recursos e os impactos geram prejuízos, podendo ser contabilizados em termos econômicos.

Recentemente, o impulso da atividade mineradora no Brasil vem tornando as suas demandas progressivamente maiores, tornando o setor um consumidor importante a considerar na gestão de recursos hídricos (MAGALHÃES *et. al.*, 2010). Além disso, o próprio setor minerador apresenta demanda vultosa de energia elétrica que, num país cuja base geradora é eminentemente hídrica, contribui para acentuar os conflitos entre esse setor e o setor de geração de energia.

Este trabalho analisa o conflito oriundo da utilização dos recursos hídricos decorrentes das atividades de extração de minério para a produção de bens que são utilizados pela sociedade e da utilização desses recursos para a geração de energia em empreendimentos hidrelétricos, atividades consideradas essenciais para o desenvolvimento do país.

Particularmente, a indústria da mineração possui especificidades na utilização e consumo de água que podem provocar modificações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH aprovou a Resolução n° 29, cujo art. 2° relaciona os usos e as interferências nos recursos hídricos causados pela mineração e sujeitos à outorga. Dentre eles, citam-se:

- Derivação ou captação de água superficial ou extração de água subterrânea para consumo final ou insumo do processo produtivo;
- Lançamento de efluentes em corpos de água;
- Desvio, retificação e canalização de cursos de água necessários às atividades de pesquisa e lavra;
- Barramento para decantação e contenção de finos em corpos de água;
- Barramento para regularização de nível e vazão;
- Sistema de disposição de estéril e rejeitos;
- Aproveitamento de bens minerais em corpos de água;
- Captação de água e lançamento de efluentes relativos ao transporte de produtos minerais.

Apesar do volume de água expressivo movimentado pela mineração, grande parte pode ser classificada como utilização apenas, ou seja, após passar pelo processo produtivo retorna ao curso de água quase que integralmente em termos de volume. A parcela efetivamente subtraída do sistema, ou seja, que não retorna ao recurso hídrico, é denominada consumo e é responsável por caracterizar a mineração como uso consuntivo.

A necessidade de gerenciar os recursos hídricos no setor da mineração fica evidenciada quando comparada a crescente demanda por produtos minerais no mercado internacional ocorrida nas últimas duas décadas, sendo responsável pelo aumento considerável das atividades mineradoras no Brasil.

Estima-se que o crescimento da Produção Mineral Brasileira – PMB – entre os anos de 2000 e 2008 tenha sido de aproximadamente US\$ 20 bilhões, o que corresponde a um aumento de 250% (IBRAM, 2010). Excepcionalmente no ano de 2009 houve um declínio ocasionado pela crise mundial ocorrida neste período, entretanto, já no ano seguinte (2010) houve uma recuperação e a PMB atingiu cerca de US\$ 40 bilhões. A FIG. 1.1 apresenta estimativa da trajetória da PMB desde o ano de 1978 na qual pode-se observar o crescimento mais acentuado a partir do ano 2000.

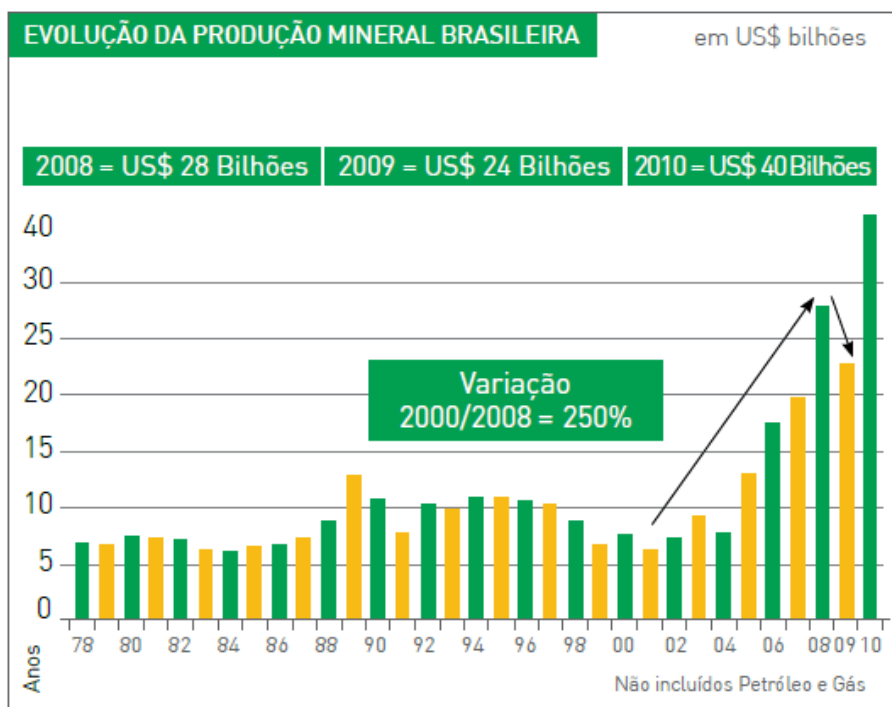


Figura 1.1 – Trajetória da PMB brasileira

Fonte: IBRAM, 2010

Por outro lado, o aumento do número de habitantes e a urbanização crescente tem provocado um aumento da demanda por energia elétrica no Brasil, provocando a necessidade da ampliação do parque gerador afim de garantir o fornecimento de energia para a sociedade.

Devido ao fato da geração de energia no Brasil ser constituída por empreendimentos hidrogeradores, ou seja, ser fortemente dependente da vazão que aflui às usinas para a geração de energia, qualquer atividade que possa interferir no regime temporal ou quantitativos pode ser tratado como atividade impactante.

Empreendimentos hidrelétricos que operam com reservatórios a fio de água, tais como a maioria das Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH, são os mais afetados por modificações na série de vazões afluentes uma vez que não possuem reservatórios com capacidade de equalizar a vazão a ser turbinada.

Destaca-se que a geração de energia não é caracterizada como atividade de uso consuntivo, pois praticamente toda a água utilizada no processo de geração retorna ao curso de água natural.

Assim, pelo fato das atividades de mineração e geração de energia serem consideradas essenciais para o desenvolvimento do país e caracterizadas como concorrentes quando relacionadas ao recurso hídrico, torna-se necessário avaliar e quantificar os possíveis impactos decorrentes dessa interferência cruzada visando estabelecer medidas que possam minimizar ou evitar prejuízos para as partes interessadas nos recursos hídricos.

2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral deste trabalho consiste em apresentar uma metodologia que permita mensurar quantitativamente o impacto no bloco de energia assegurada de empreendimentos hidrelétricos, especificamente as PCH que podem não operar junto ao Sistema Nacional Interligado – SIN, ocasionado por derivações de água a montante dos empreendimentos para consumo em atividades de mineração.

2.2 *Objetivos específicos*

A energia assegurada em empreendimentos hidrelétricos é calculada com base no período crítico definido pelo setor elétrico brasileiro e com a utilização de séries hidrológicas, as quais possuem incertezas incorporadas devido aos parâmetros utilizados no estudo de regionalização como, por exemplo, a ocupação do solo, a variabilidade climática, a topografia, o uso da água na bacia com caráter consuntivo entre outros.

O período crítico do setor elétrico para o SIN foi determinado entre os anos de 1949 e 1956 com base no sistema operando de forma interligada. Entretanto, para aproveitamentos trabalhando de forma isolada e que não estejam interligados ao sistema elétrico, pode haver diferenças no período crítico (SANTOS *et al.*, 1997). Assim, os objetivos específicos correspondem às ações desenvolvidas de modo a alcançar com plenitude o objetivo geral, sendo compostos por:

- Apresentar técnicas diferenciadas de regionalização de vazões para obtenção de séries de vazões afluentes ao empreendimento hidrogerador;
- Determinar os valores de energia assegurada para cada série de referência no período crítico do sistema elétrico e avaliar a possibilidade de outros períodos críticos;
- Avaliar as vazões outorgadas a montante do empreendimento para uso consuntivo e a finalidade de uso de modo a identificar usuários de mineração com potencial para impactar na geração de energia de PCH;
- Elaborar estudo de caso para uma Pequena Central Hidrelétrica que possua derivações a montante para uso em atividades de mineração, neste caso a PCH Bicas;

-
- Estimar quantitativamente o impacto financeiro ao empreendimento devido à redução na geração da energia da PCH em estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *As atividades de mineração*

As atividades de mineração podem ser consideradas fator importante no crescimento da economia do Brasil desde o período colonial, impulsionando o processo de expansão e consolidação do território nacional (CHINAGLIA, 2007).

A partir do final do século XX, a atividade de extração mineral passou a ter o reconhecimento como um dos setores básicos da economia nacional, responsável por uma fatia expressiva do Produto Interno Bruto – PIB, e garantindo milhares de empregos diretos e indiretos.

Porém, várias etapas desenvolvidas durante o processo de extração e beneficiamento do minério interferem diretamente ou indiretamente com o meio ambiente, em particular com os recursos hídricos, provocando modificações na qualidade e/ou quantidade do recurso.

Pode-se notar que a utilização e consumo de água nas atividades de mineração acontecem desde a implantação até o fechamento do empreendimento, principalmente, quando se utiliza o processo de separação a úmido. Algumas atividades concernentes à mineração que demandam água são: (i) Desmonte hidráulico; (ii) Aspersão de vias para controle de emissão de particulados; (iii) Lavagem de equipamentos e transporte de materiais; (iv) Processo de flotação; (v) Lavagem do minério; (vi) Concentração gravítica; (vii) Processos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos; (viii) Preparação de reagentes.

Segundo ANA (2006), a partir da segunda metade da década de 1970, quando se firmaram as discussões relacionadas à questão ambiental, o setor da mineração buscou o aprofundamento de estudos voltados ao gerenciamento ambiental com enfoque nos recursos hídricos, ganhando relevância o conhecimento sobre a origem da água e em especial a natureza das fontes responsáveis pelo seu abastecimento, as quais podem ser classificadas em subterrâneas, superficiais e águas de recirculação.

Na grande maioria dos casos as águas superficiais estão mais acessíveis e possuem padrões de qualidade aceitáveis para o processo de beneficiamento, dispensando a necessidade de

tratamento, além de menor custo de captação e adução, tornando-a como fonte mais atrativa. Diante dessas características, a crescente demanda por fontes de águas superficiais gera competição pelo recurso e, em alguns casos, pode levar à escassez.

O consumo da água nas atividades de mineração pode variar segundo o tipo de mineral explorado, as tecnologias envolvidas no processo de lavra e beneficiamento, a taxa de produção etc. Em alguns casos, a parcela hídrica retornável é nula, reduzindo as vazões naturais nas seções fluviais localizadas a jusante da captação. A FIG. 3.1 apresenta as possíveis fontes de água, que podem ser utilizadas em qualquer etapa da mineração, além de algumas utilidades nas etapas de lavra, beneficiamento e transporte do minério que utilizam ou consomem água.

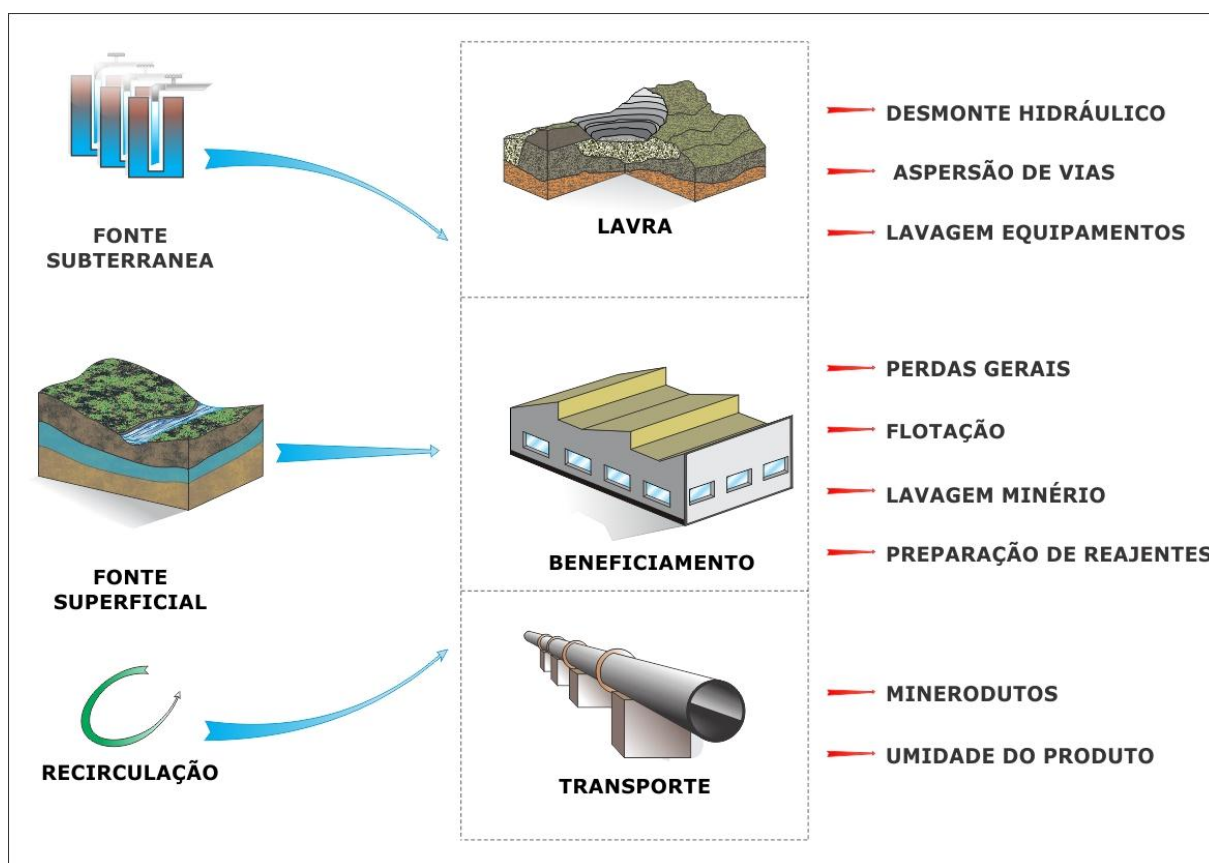


Figura 3.1 – Possíveis fontes e locais de consumo de água

A mineração provê à humanidade um elevado número de matérias primas e insumos, imprescindíveis à manutenção da vida, ao conforto e ao progresso da civilização. Embora muitas vezes passe despercebido aos olhos da sociedade moderna, existe grande dependência da humanidade à produção de minerais (TANNO *et al*, 2003). A FIG. 3.2 apresenta o emprego dos minerais para a sociedade moderna.





































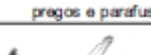
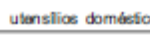


Construção	    
Agricultura	    
Medicina	   
Clência e Tecnologia	    
Trans- portes	    
Comuni- cações	    
Manufa- turados	    
Bens de Consumo	  
Artes	  

Figura 3.2 – Empregos comuns dos bens minerais na sociedade moderna
(Fonte: National Energy Foundation, 1995)

3.2 A geração da energia elétrica

3.2.1 Breve histórico

Historicamente, no final do século XIX a civilização humana passou a dispor de tecnologia, materiais e equipamentos que lhe permitissem a construção de sistemas para condução de água com capacidade de suportar altas pressões. Essa tecnologia aplicada as turbinas hidráulicas e a equipamentos elétricos viabilizaram o início da era da eletricidade. A geração de hidroeletricidade no Brasil iniciou-se no ano de 1883 com a implantação do primeiro aproveitamento na Mineração Santa Maria em Diamantina – MG, denominado Ribeirão do Inferno (CARNEIRO, 2010). Em 1887, foi posta em funcionamento a Hidrelétrica do

Ribeirão dos Macacos, de propriedade da "Cia. de Mines d'Or du Paris", localizada em Honório Bicalho, atualmente município de Nova Lima (MG). Estes aproveitamentos eram propriedade de empresas privadas e tinham como objetivo atender aos próprios interesses comerciais das companhias.

O ano de 1888 marcou o início do serviço público de eletricidade, sendo fundada na cidade de Juiz de Fora (MG), por iniciativa de Bernardo Mascarenhas, a Cia. de Eletricidade, a qual inaugura em 1889 a primeira Usina Hidrelétrica brasileira para serviços de utilidade pública, denominada "Marmelos Zero".

Até a década de 1950 o Brasil se apoiou em centrais hidrelétricas de pequeno porte, pertencentes aos municípios ou a empresas privadas. Atualmente, considera-se como pequena central hidrelétrica os aproveitamentos que possuem potência instalada inferior a 30 MW, porém esta classificação não pode ser estendida para os aproveitamentos daquela época.

A política tarifária de então era baseada no custo histórico, que não incentivava novos investimentos. Este fator, aliado a fatores políticos, fez com que o Estado passasse a ter maior participação no setor. No final da década de 1950, o Brasil construiria a Usina Hidrelétrica - UHE de Furnas, que foi a primeira central hidrelétrica brasileira com mais de 1.000 MW de potência instalada, e que marcava a entrada definitiva do capital estatal no setor elétrico.

Na primeira edição do Manual de Usinas Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 1982), uma Usina Hidrelétrica era considerada uma PCH quando:

- A potência instalada total estivesse compreendida entre 1,0 MW e 10 MW;
- A capacidade do conjunto turbina-gerador estivesse compreendida entre 1,0 MW e 5,0 MW;
- Não fossem necessárias obras em túneis (conduto adutor, conduto forçado, desvio de rio, etc.);
- A altura máxima das estruturas de barramento do rio (barragens, diques, vertedouro, tomada d'água etc.) não ultrapassasse 10 m;
- A vazão de dimensionamento da tomada d'água fosse igual ou inferior a 20 m³/s.

Entretanto, em função das mudanças institucionais e das experiências acumulada ao longo dos anos, a Resolução da ANEEL 394, de 04/12/98 (ANEEL, 1998), estabeleceu que os aproveitamentos com características de PCH são aqueles que têm potência entre 1 MW e 30 MW e cuja área inundada pelo reservatório não ultrapasse 3 km² na cheia centenária, sendo que todas as limitações anteriores foram eliminadas.

Em 2003 a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, alterou a restrição quanto à área alagada pelo reservatório. Caso o limite de área de 3 km² seja excedido na cheia centenária, o empreendimento ainda será considerado PCH se forem atendidas duas condições:

1) Atender à EQ. 3.1:

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{Hb} \quad (3.1)$$

Na qual,

A é a área do reservatório [km²]

P é a potência instalada [MW]

Hb é a queda bruta do aproveitamento [m];

2) Se o reservatório possuir dimensionamento baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica, tendo tal condição comprovada perante à Agência Nacional de Águas – ANA, aos comitês de bacias hidrográficas, aos órgãos de gestão de recursos hídricos e ambientais junto aos Estados.

Segundo o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, as PCH podem ser separadas em dois tipos, quais sejam: (i) usinas a fio d'água e (ii) usinas com reservatório de acumulação (ELETROBRÁS, 2000).

As usinas a fio d'água são aquelas que turbinam, parcial ou totalmente a vazão natural do rio e não possuem capacidade de regularizar vazões, ou seja, armazenar água no reservatório para uso nos períodos de baixa afluência. Nessas usinas toda a vazão afluente ao reservatório ou é desviada para as turbinas ou é despachada pelos vertedores, não havendo variações significativas no nível de água no reservatório.

As usinas com reservatório de acumulação são caracterizadas por barramentos que formam reservatório com capacidade de regularização e por essa razão podem modular descargas e geração de forma a abastecer o setor elétrico.

As PCH podem ser classificadas quanto à potência instalada e queda de projeto, conforme mostrado na TAB. 3.1, considerando-se os dois parâmetros conjuntamente, uma vez que um ou outro isoladamente não permite uma classificação adequada.

Tabela 3.1 – Classificação das PCH quanto à potência instalada e queda de projeto

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA - P (Kw)	Queda de Projeto - Hd (m)		
		Baixa	Média	Alta
Micro	$P < 100$	$Hd < 15$	$15 < Hd < 50$	$Hd > 50$
Mini	$100 < P < 1000$	$Hd < 20$	$20 < Hd < 100$	$Hd > 100$
Pequenas	$1000 < P < 30.000$	$Hd < 25$	$25 < Hd < 130$	$Hd > 130$

Fonte: ELETROBRÁS, 2000

Finalmente, as PCH podem ser também classificadas em de desvio ou de derivação, sendo que:

- As de desvio se caracterizam por desviar o curso de água do curso natural e, após turbinar essa água, restituí-la ao mesmo curso de água de captação;
- As de derivação captam água em um curso de água e a devolvem a outro curso de água.

Apesar de apresentarem maior custo de implantação por energia produzida, as usinas de baixa queda têm se mostrado interessantes do ponto de vista de redução de impactos ambientais quando considerado área inundada, uma vez que permitem dividir a cascata do rio em aproveitamentos que ocupam áreas menores, ou seja, construindo vários aproveitamentos menores no lugar de apenas 1 de grande porte.

3.2.2 Tipos de geração de energia elétrica

A energia elétrica é intensamente utilizada no mundo e pode ser produzida por diversas fontes, de forma que uma classificação possível é renovável e não renovável. Abaixo serão descritas, de maneira sucinta, as principais fontes primárias utilizadas na produção de energia elétrica no Brasil.

ENERGIA HIDRÁULICA

É o tipo de produção de energia mais utilizado no Brasil em virtude da disponibilidade hídrica e da topografia acidentada que determina grandes alturas de queda. Estima-se que 90% da energia elétrica consumida no Brasil seja proveniente de empreendimento hidrogerador.

A geração é realizada em usinas hidrelétricas, nas quais a energia potencial da água é convertida em energia mecânica ao movimentar o rotor de uma turbina hidráulica, acoplada a um gerador. Este gerador converte a energia mecânica da turbina em energia elétrica. As principais variáveis utilizadas na classificação de uma usina hidrelétrica são: altura da queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Apesar de todas as variáveis serem independentes, possuem forte correlações, como a altura da queda d'água e a vazão que dependem do local de construção e, conseqüentemente, determinarão qual será a capacidade instalada. Isso por sua vez, determina o tipo de turbina, barragem e reservatório (ANEEL, 2008).

Neste tipo de geração a ANEEL divide os empreendimentos em grande e médio porte ou em pequenas centrais hidrelétricas de acordo com a potência instalada, sendo:

- Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH): empreendimentos com até 1 MW de potência instalada;
- Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH): empreendimentos com potência instalada entre 1 MW e 30 MW;
- Usina Hidrelétrica (UHE): aproveitamentos com potência instalada superiores a 30 MW.

BIOMASSA

De forma abrangente, a obtenção da energia elétrica a partir da biomassa pode ser entendida como a conversão de uma determinada matéria-prima em um produto intermediário que alimentará uma máquina motriz e produzirá energia mecânica, acionando o gerador para então produzir a energia elétrica. Pode ser gerada a partir da decomposição, em curto prazo, de materiais orgânicos, cujo gás proveniente da decomposição é combustível, sendo queimado para acionar turbinas a vapor e gerar energia.

Em resumo, qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e resíduos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos (ANEEL, 2008).

Nos últimos anos a produção de energia por meio de biomassa transformou-se em estímulos para as usinas de açúcar e álcool, cujo bagaço da cana é considerado como matéria prima na produção.

ENERGIA EÓLICA

É a energia gerada a partir da força do vento que atuando sobre as pás dos equipamentos convertem a energia dos ventos em energia mecânica que acionam os rotores dos geradores para a produção de eletricidade. A quantidade de energia mecânica transferida e, portanto, o potencial de energia elétrica a ser produzida, está diretamente relacionada à densidade do ar, à área coberta pela rotação das pás e à velocidade do vento.

É uma fonte limpa e inesgotável, porém, ainda pouco utilizada. Isso ocorre pois, apesar dos pontos favoráveis como perenidade, grande disponibilidade, independência de importações e custo zero para obtenção de suprimento, possui custo elevado de instalação e operação. Embora o custo esteja cada vez menor, ainda é elevado quando comparado com a geração hidráulica, embora após os leilões 2010/2011 a energia eólica passou a ter mais competitividade.

ENERGIA SOLAR

É considerada uma fonte limpa, ou seja, que não gera poluição nem impactos ambientais. Assim como a energia eólica a energia solar ainda é pouco explorada em virtude dos custos elevados de implantação.

A energia solar ao passar pela atmosfera terrestre, se manifesta sob a forma de luz visível, de raios infravermelhos e de raios ultravioleta. Por meio de equipamentos é possível captar essa luz e transformá-la em alguma forma de energia utilizada pelo homem: térmica ou elétrica.

São os equipamentos utilizados nessa captação que determinarão qual será o tipo de energia a ser obtida (ANEEL, 2008).

No sistema fotovoltaico, a obtenção se dá de forma direta através de células, geralmente feitas de silício que, ao serem atingidas pela luz solar, proporcionam a emissão de elétrons gerando a corrente elétrica contínua.

No caso do sistema heliotérmico, é necessária a construção de usinas em áreas de grande insolação, pois a energia solar atinge a Terra de forma tão difusa que requer captação em grandes áreas. Nesses locais são espalhadas centenas de coletores solares escuros que transformam a energia solar em calor para depois ser transformada em energia elétrica.

DERIVADOS DE PETRÓLEO

O Petróleo é um óleo inflamável formado a partir da decomposição, em milhões de anos, de materiais orgânicos no subsolo. Após o processo de refino, possui como principais derivados o Gás Liquefeito de Petróleo - GLP (ou gás de cozinha), gasolina, nafta, óleo diesel, querosene de aviação e de iluminação, óleo combustível, asfalto, lubrificante, combustível marítimo, solventes, parafinas e coque de petróleo (ANEEL, 2008).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2011), a participação do petróleo na produção mundial de energia elétrica tem diminuído nos últimos anos em decorrência da substituição por outras fontes que acarretam menores impactos ao meio ambiente.

Os derivados mais utilizados são óleo diesel, óleo combustível, gás de refinaria e, com menor frequência, o óleo ultraviscoso, cuja combustão produz o vapor necessário à movimentação das turbinas dos geradores de energia elétrica.

NUCLEAR

A energia nuclear é obtida a partir do elemento químico urânio, cujo processo de desintegração do núcleo gera grande quantidade de luz ou calor, variando de acordo com a velocidade de liberação da energia. A transformação em energia elétrica ocorre nas usinas termonucleares, em que a energia do elemento é liberada lentamente para geração de calor, aquecendo a água existente no interior dos reatores e produzindo o vapor que movimenta as turbinas (ANEEL, 2008).

Embora não produza poluentes diretos, a quantidade de lixo nuclear é um ponto negativo, pois os acidentes em usinas nucleares, embora raros, representam um grande perigo para a sociedade em geral.

TÉRMICA

A energia elétrica é produzida em usinas termoelétricas a partir da energia liberada em forma de calor, normalmente por meio da combustão de algum tipo de combustível fóssil ou de origem vegetal queimado na câmara de combustão. O vapor movimentando as pás de uma turbina que é conectada a um gerador de eletricidade.

Como vários tipos de geração de energia, a termoeletricidade também causa impactos ambientais e contribui para o aquecimento global através do efeito estufa e para a chuva ácida. A queima de gases, por exemplo, libera na atmosfera grandes quantidades de poluentes, além de utilizar, na maior parte das vezes um combustível fóssil que não se recupera.

3.2.3 Perfil da matriz energética

A matriz energética corresponde às fontes de energia passíveis de serem transformadas, distribuídas e consumidas nos processos produtivos. No âmbito mundial a utilização de usinas térmicas convencionais continua sendo responsável pela maior parte da geração de energia elétrica, seguida pelas fontes que utilizam a água na geração.

A FIG. 3.3 apresenta a distribuição da energia elétrica no mundo por fonte de geração nos anos de 1980 e 2008 respectivamente, na qual pode-se notar o crescimento significativo na geração por meio de usinas nucleares, eólica e biomassa.

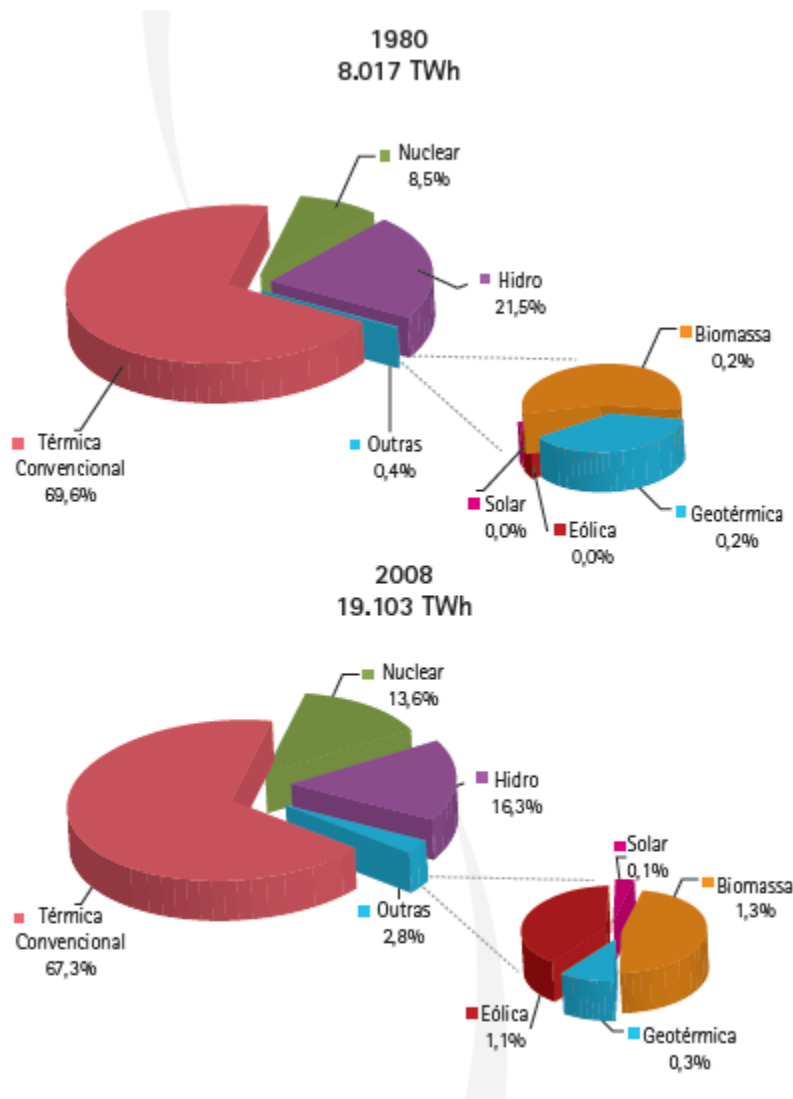


Figura 3.3 – Geração elétrica por fonte no mundo

(Fonte: EPE, 2011)

Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema do tipo hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários (ONS, 2011), embora exista uma crescente participação de usinas térmicas e eólicas na geração.

Considerando a capacidade instalada na geração por meio de hidrelétricas, até o ano de 2008 o Brasil ocupava a 3ª posição no ranking mundial com participação de 9,1% no mercado mundial, atrás apenas da China e dos Estados Unidos. A TAB. 3.2 apresenta a capacidade instalada de geração hidrelétrica nos 10 maiores países mundiais.

	2004	2005	2006	2007	2008	$\Delta\%$ (2008/07)	Part. % (2008)
Mundo	752,4	772,4	795,9	825,2	856,8	3,8	100,0
China	105,2	117,4	128,6	145,3	171,5	18,1	20,0
Estados Unidos	77,6	77,5	77,8	76,9	77,9	0,1	9,1
Brasil	69,0	70,9	73,7	76,9	77,5	0,9	9,1
Canadá	70,7	71,8	72,7	73,3	74,4	0,0	8,5
Rússia	45,5	45,8	46,1	46,8	47,0	0,4	5,5
Índia	32,6	34,2	36,6	38,1	39,3	3,2	4,6
Noruega	26,1	26,4	27,5	27,8	28,2	1,5	3,3
Japão	22,0	22,1	22,2	21,8	21,9	0,1	2,6
França	20,8	20,8	20,8	20,8	20,9	0,2	2,4
Suécia	16,3	16,3	16,2	16,6	16,4	-1,4	1,9
Outros	266,5	269,2	273,7	280,6	283,6	1,1	33,1

Fonte: EPE, 2011

No Brasil a oferta interna de energia elétrica é proveniente de usina hidrelétricas, termelétricas, biomassa, eólica, nuclear, entre outras com grande predominância para aquelas provenientes de fontes hídricas. A TAB. 3.3 apresenta a evolução da geração elétrica por tipo de fonte desde o ano de 2006 e a FIG. 3.4 apresenta a oferta interna de energia elétrica no Brasil para o ano de 2010.

	2006	2007	2008	2009	2010	$\Delta\%$ (2010/09)	Part. % (2010)
Total	419.337	445.044	463.120	462.976	509.223	10,0	100,0
Gás Natural	18.258	15.696	28.778	13.182	36.910	180,0	7,2
Hidráulica (i)	348.805	374.015	369.556	389.858	403.251	3,4	79,2
Derivados de Petróleo (ii)	10.753	12.191	15.628	12.549	14.047	11,9	2,8
Carvão	6.730	6.011	6.730	5.416	6.790	25,4	1,3
Nuclear	13.754	12.350	13.969	12.957	14.523	12,1	2,9
Biomassa (iii)	14.431	17.211	19.199	20.572	25.172	22,4	4,9
Eólica	342	668	1.183	1.238	2.177	75,8	0,4
Outras (iv)	6.263	6.901	8.076	7.205	6.353	- 11,8	1,2

Fonte: EPE, 2011

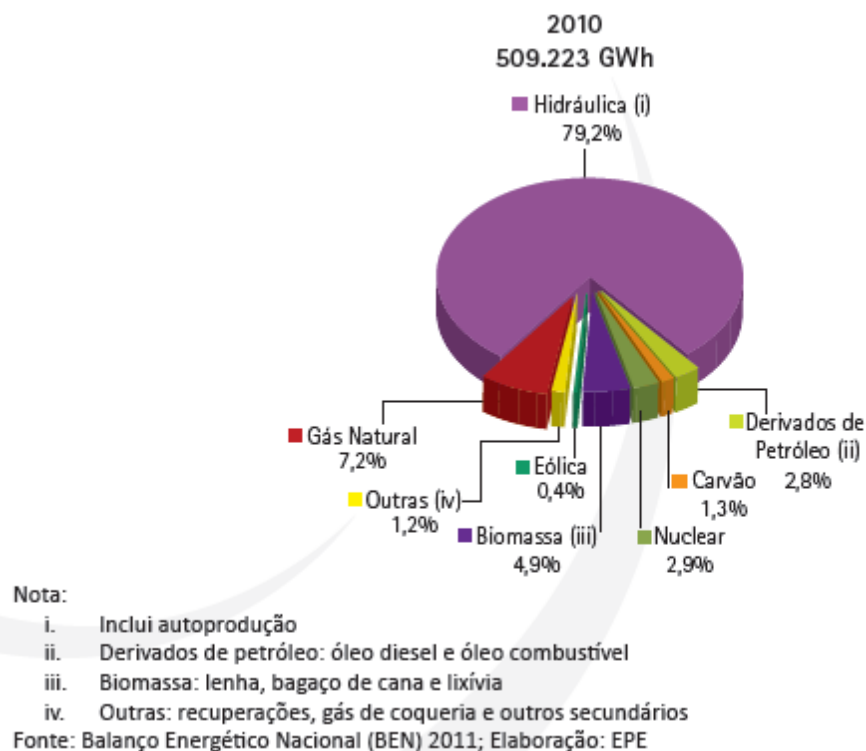


Figura 3.4 – Oferta de energia elétrica no Brasil

Fonte: EPE, 2011

A predominância de energia hidrelétrica no país pode ser creditada à topografia acidentada com grandes desníveis geográficos e, principalmente, à grande quantidade de cursos de água, favorecendo a implantação de empreendimentos dessa natureza e conferindo elevado potencial hidrelétrico.

Outro fator que auxilia na predominância da geração de energia por meio de hidrelétricas é a possibilidade de implantação de grandes reservatórios para acúmulo de água e geração de energia, como é o caso das usinas Tucuruí, Ilha Solteira, Xingó *etc.*, que se encontram em operação.

A transmissão e distribuição da energia elétrica é realizada por meio do SIN, formado por subsistemas interconectados – Sudeste/Centro-Oeste, Sul, Norte, Nordeste e parte da região Norte, que fazem um intercâmbio constante de energia elétrica, no sentido de otimizar a geração energética. Isso é feito levando-se em consideração a diversidade inter-regional e as sazonalidades hidrológicas de armazenamento, as restrições operativas e de transmissão, bem como as variações de carga que caracterizam o mercado consumidor (COSTA, 2010).

Esse sistema é muito útil para interligar as centrais geradoras de energia. Essas centrais são preponderantemente do tipo hidrelétrica e localizadas longe dos centros consumidores. Além disso são fortemente dependentes do regime pluviométrico regional e apresentam oscilações em sua produção de energia ao longo do ano. Esta interligação viabiliza a troca de energia entre regiões, permitindo, assim, obterem-se os benefícios da diversidade de regime dos rios das diferentes bacias hidrográficas brasileiras (PIETRACCI, 2006).

Segundo os dados da EPE (2011), apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica.

A TAB. 3.4 apresenta os empreendimentos em operação e em construção por tipo de geração.

Tabela 3.4 – Empreendimentos em operação e construção no Brasil

Tipo	Empreendimentos em Operação				Empreendimentos em Construção		
	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	372	218.126	215.305	0,18	1	848	0
Central Geradora Eolielétrica	73	1.575.738	1.471.192	1,26	59	1.506.290	4,98
Pequena Central Hidrelétrica	422	3.927.209	3.882.507	3,31	60	723.845	2,39
Usina Hidrelétrica de Energia	180	78.715.663	78.277.779	66,83	13	21.479.800	71,01
Usina Termelétrica de Energia	1.529	32.861.698	31.276.224	26,70	45	5.188.005	17,15
Usina Termonuclear	2	1.990.000	2.007.000	1,71	1	1.350.000	4,46
Total	2.586	119.293.928	117.131.501	100	179	30.248.788	100

Fonte: adaptado de ANEEL, 2012

3.3 O uso e consumo de água

A água tem o seu consumo e aproveitamento praticamente em todas as partes do mundo com finalidades diversas, na qual se pode citar o abastecimento humano, utilidades domésticas, geração de energia, irrigação, navegação e saneamento básico.

Historicamente a água sempre foi um recurso imprescindível para o desenvolvimento das civilizações, estando associada principalmente às necessidades básicas do ser humano e às atividades de produção do setor primário, nas quais se encaixam as indústrias e a agricultura.

Em algumas regiões o cenário de escassez provocado pela má distribuição da água somado ao aumento da demanda acabam por desencadear um cenário de competitividade pelo recurso, gerando conflitos locais ou, até mesmo, regionais de acordo com amplitude da bacia hidrográfica.

Neste trabalho são abordadas de maneira geral algumas atividades que utilizam ou consomem água nas etapas do processo produtivo, com destaque para o setor de mineração por se tratar de consumidor de grande porte e que se encontra em expansão acelerada e com forte crescimento na demanda.

3.3.1 O caso específico da mineração

A necessidade de utilização de água em diversas etapas da cadeia produtiva vem fazendo com que esta seja considerada um dos principais insumos no setor de mineração, aumentando de maneira exponencial a preocupação com o conhecimento das fontes disponíveis para reposição da água consumida.

A água está presente em quase todas as etapas do processo produtivo, desde a etapa de pesquisa mineral – que antecede o estabelecimento de uma mina – seguida pelas etapas de lavra, tratamento do minério até a metalurgia extrativa (CIMINELLI *et al.*, 2006).

As fontes responsáveis pela reposição da água consumida na mineração são basicamente: (i) superficiais; (ii) subterrâneas e; (iii) reciclagem e recirculação.

As fontes superficiais são classificadas como aquelas provenientes de lagos naturais, cursos de água ou barramentos implantados como o objetivo exclusivo de reservação de água. Normalmente são as mais utilizadas nos processos de beneficiamento devido à disponibilidade e, na maioria dos casos, não possuem contaminações significativas que possam afetar o desempenho dos processos, embora a eventual necessidade de tratamento, a escassez e as restrições ambientais possam limitar a utilização e favorecer a busca por outras alternativas (ANA, 2006).

As fontes subterrâneas são viabilizadas nas situações em que a disponibilidade superficial é reduzida, quando existem restrições ambientais quanto à captação e principalmente nas situações em que há a necessidade de rebaixamento do aquífero para permitir as operações de lavra, atividade conhecida como rebaixamento do lençol freático. No entanto, em muitos casos, os sistemas aquíferos não possuem regularidade ou capacidade de abastecimento para atendimento completo às demandas da mineração.

As águas de reciclagem e recirculação são aquelas provenientes das barragens de rejeito ou das etapas internas do processo na qual existe o desaguamento, como filtragem, peneiramento e espessamento.

A FIG. 3.5 apresenta de forma esquemática a utilização de água em minerações de minério de ferro, em que os volumes de água reutilizada atingem índices da ordem de 80% e a água nova é proveniente de captações superficiais ou subterrâneas.

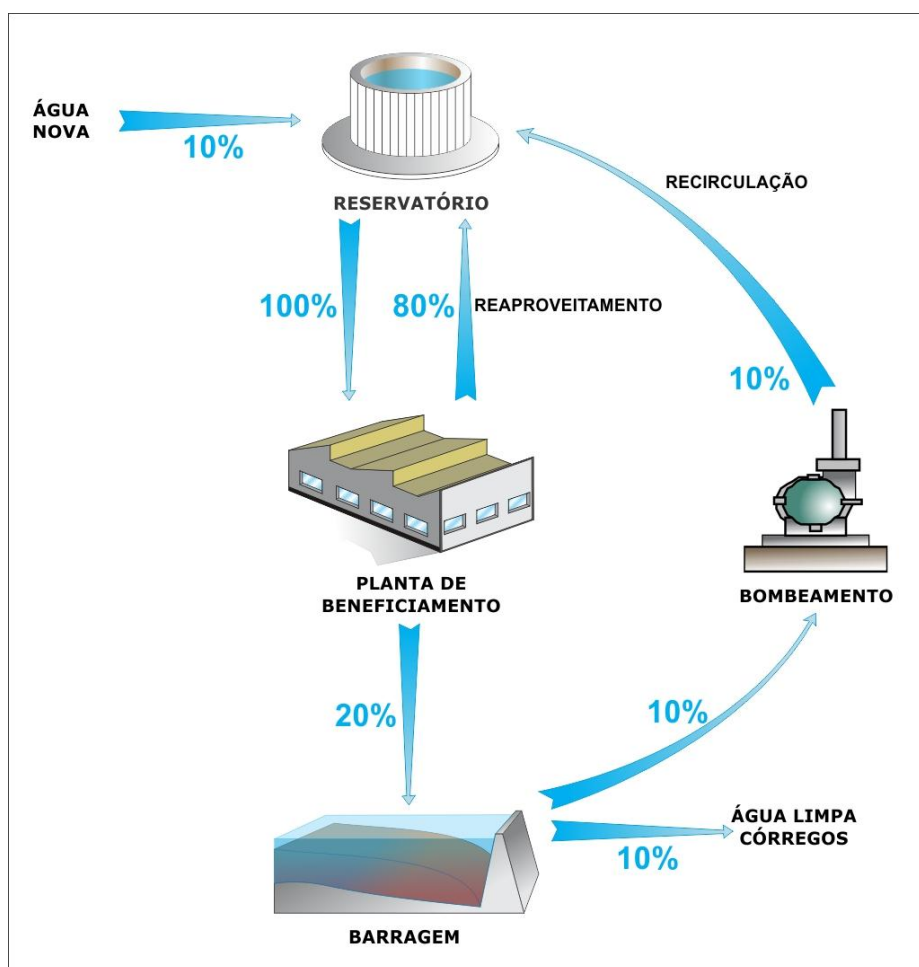


Figura 3.5 – Esquema de utilização de água em mineração de ferro

Fonte: adaptado de ANA, 2006

Nesse sentido, as unidades de processamento de minério buscam maximizar esforços para aumentar o volume de água recirculada com o objetivo de reduzir custos operacionais, minimizar o descarte de efluentes para o meio ambiente e, principalmente, minimizar a necessidade de água nova no sistema.

Porém, mesmo com a otimização da recirculação, o consumo de água na mineração ainda apresenta volumes expressivos quando comparada com o consumo de outras atividades, enquadrando o setor na categoria de consumidor de grande porte.

Enfatiza-se que existem situações particulares nas quais a necessidade de rebaixamento do lençol freático extrai volume de água superior à demanda da mina, cujo excedente é lançado diretamente no curso de água e, desta forma, artificialmente aumenta a disponibilidade hídrica superficial durante a operação da mina. Entretanto, esta situação não é caracterizada como uso consuntivo e não tem interesse para este estudo.

Em termos quantitativos, o volume de água necessário para as atividades de mineração está relacionado diretamente a fatores como: (i) método de lavra; (ii) tipo do minério a ser beneficiado; (iii) processo utilizado no beneficiamento *etc.*

Na fase de pesquisa, a utilização e consumo estão basicamente relacionadas ao abastecimento humano dos pesquisadores e no resfriamento dos equipamentos utilizados nas sondagens. Entretanto, por se tratarem de pequenos volumes, esta fase não será analisada neste trabalho.

De maneira geral, as etapas que mais precisam de água são a lavra e o beneficiamento, sendo este constituído por operações de peneiramento, moagem, filtração, flotação e lavagens diversas, além de usos difusos como umectação de vias, lavagem de caminhões e máquinas e o abastecimento humano dentro das unidades industriais.

Para exemplificar o uso e consumo de água na mineração serão abordadas algumas etapas específicas de lavra e processos de beneficiamento que utilizam ou consomem grande quantidade de água, ressaltando que nem todas as etapas descritas são caracterizadas como obrigatórias nos processos, podendo estar presentes ou não de acordo com o tipo de minério e a tecnologia utilizada.

LAVRA POR DESMONTE HIDRÁULICO

A definição do método de lavra a ser utilizada é uma das decisões mais importantes que devem ser tomada considerando os critérios geológico, social, geográfico e principalmente ambiental, admitindo a premissa de segurança e estabilidade durante o período de operação do empreendimento (PORMIN, 2011).

Pelo fato da mineração ser uma atividade praticada em todo mundo e estar em constante desenvolvimento, as técnicas para extração empregadas sofrem evoluções constantes, seja no método empregado ou apenas nos equipamentos utilizados.

A maioria das minas utiliza mais de um método de lavra na sua operação, visto que um determinado método pode ser mais apropriado para determinada zona do depósito, enquanto em outras áreas seu emprego pode não ser a melhor opção.

O método por desmonte hidráulico é o que utiliza a maior quantidade de água na sua aplicação e consiste no decapeamento do material por meio de um jato d'água em alta pressão levado por mangueiras e direcionado pesadamente na base do talude da frente de lavra, provocando um desmoronamento controlado e a movimentação por gravidade, sendo acumulado num ponto de concentração da polpa (sólido/líquido) assim formada (PORMIN, 2011).

Dentre os minerais que utilizam o desmonte hidráulico na sua extração pode-se citar feldspato, quartzo, mica, turmalina, diamante, ouro e agregados para a construção civil, como brita, areia e cascalho.

Apesar de simples e dispensar a necessidade de mão de obra qualificada, o desmonte hidráulico vem sendo cada vez menos utilizado pelo fato de demandar grandes volumes de água se comparado a outros métodos de extração. A FIG. 3.6 apresenta um exemplo de aplicação da técnica de extração por desmonte hidráulico.



Figura 3.6 – Lavra por desmonte hidráulico

Fonte: IBGE, 2011

BRITAGEM E MOAGEM

A etapa de britagem é utilizada na redução do tamanho das partículas até que os minerais de interesse sejam separados fisicamente dos minerais considerados indesejáveis. Em casos específicos, a redução de tamanho objetiva apenas adequar às especificações granulométricas estabelecidas pelo mercado, como é o caso da fragmentação de rochas como o granito ou calcário para a produção de agregado para a construção civil (brita).

Nos casos em que demandam partículas bem menores, como por exemplo partículas de 0,074 milímetros, o processo de redução é denominado de moagem (PORMIN, 2011).

O processo de beneficiamento de minério pode ser realizado unicamente pela etapa de britagem ou de britagem associada à moagem, sendo os equipamentos utilizados denominados de britadores e moinhos, respectivamente. Entretanto, existem situações que demandam outras etapas além das mencionadas.

Embora as etapas de britagem e moagem possam ser considerados processos físicos que não dependem de água, o atrito entre as partículas acaba por gerar grande quantidade de

particulados finos que possuem grande potencial para ser carreados pela ação dos ventos e ocasionar a contaminação ambiental.

Como forma de mitigar a emissão de particulados, as mineradoras utilizam grande quantidade de água para a aspersão do minério durante estes processos. Nessa etapa, a utilização da água está relacionada principalmente ao controle ambiental.

A FIG. 3.7 e a FIG. 3.8 apresentam o comparativo da emissão de particulados para uma unidade de calcário com a utilização do sistema de abatimento de particulados.



Figura 3.7 – Situação sem a utilização do sistema de abatimento de particulados
Fonte: Fluidjet, 2011



Figura 3.8 – Situação com a utilização do sistema de abatimento de particulados
Fonte: Fluidjet, 2011

FLOTAÇÃO

O processo de flotação pode ser entendido como a separação de partículas suspensas em meio líquido baseada na propriedade da interface sólido-líquido dos elementos. Assemelha-se ao inverso da sedimentação, no qual as partículas acumulam-se na interface líquido-gás das

bolhas de ar, induzidas no meio líquido pelo borbulhamento de gás. Como as bolhas possuem densidade menor que a da fase líquida, acabam subindo para superfície e levando consigo as partículas seletivamente aderidas em função da afinidade da superfície da partícula com a fase gasosa.

A flotação é uma aplicação muito importante, mas bastante complexa, da química de superfície e devido à simplicidade operacional, o processo é largamente utilizado para separar uma grande variedade de sólidos, principalmente minerais. A FIG. 3.9 apresenta um corte esquemático de uma célula de flotação.

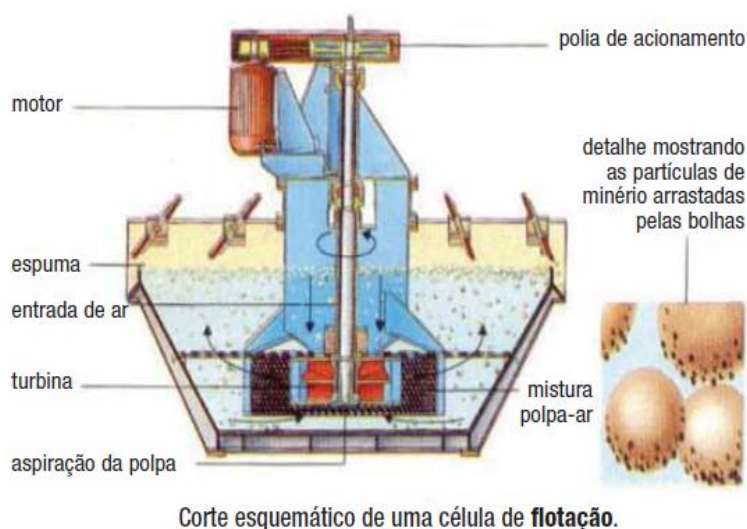


Figura 3.9 – Corte esquemático de uma célula de flotação

Fonte: DNMP, 2007

UMECTAÇÃO DE VIAS

Na mineração existem atividades que podem gerar grande quantidade de particulados finos que, ao serem carreados pela ação dos ventos, podem causar impacto ao meio ambiente. Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, ligado às diversas fases de exploração dos bens minerais (BACCI *et al.*, 2006):

- Abertura da cava: Nas minas a céu aberto, o processo de abertura da cava demanda a remoção da cobertura vegetal, operações de escavações, além das movimentações de terra para carregamento dos equipamentos;

-
- Desmonte de rocha: Nos casos em que o desmonte da rocha é realizado com auxílio de explosivos há a possibilidade de geração de grande quantidade de particulados finos que ao serem lançados na atmosfera podem ser facilmente transportados pelos ventos;
 - Transporte do minério: Quando o transporte do minério entre a área da lavra e o processo é realizado por equipamentos rodoviários, o tráfego destes equipamentos é responsável por grande parte do material particulado gerado na mineração, podendo afetar diversos meios como água, solo e ar, além da população local.

Por se tratar de fontes difusas de geração, existe grande dificuldade na prevenção e controle da emissão de material particulado, o que inibe a utilização de fontes fixas para controle. Assim, são utilizadas fontes móveis (caminhões-pipa) que lançam água através de um canhão aspersor, formando uma camada úmida na superfície que minimiza a geração de poeira pelo tráfego. A FIG. 3.10 apresenta o processo de umectação de vias em mineração.



Figura 3.10 – Umectação de vias em mineração

Fonte: Asperminas, 2012

ABASTECIMENTO HUMANO NAS UNIDADES INDUSTRIAIS

A relevância do consumo de água para abastecimento humano nas unidades industriais está relacionada ao porte da mineração e, conseqüentemente, ao número de empregados. Nos casos de empresas de pequeno e médio porte, o número de trabalhadores nas unidades

industriais geralmente é reduzido e não apresenta consumo de água elevado, podendo ser considerado desprezível quando comparado ao consumo em outros setores.

Porém, nos casos de empresas de maior porte o número de empregados, o consumo por abastecimento pode equiparar-se ao de pequenos núcleos urbanos, de modo que o volume de água consumido diariamente passa a ser representativo no balanço hídrico do empreendimento.

Esse consumo tende a ser maior durante a implantação dos empreendimentos, cujo número de funcionários diretos e indiretos atinge até 5.000 pessoas. A FIG. 3.11 apresenta o histograma de mão de obra para a fase de implantação de um empreendimento minerário.

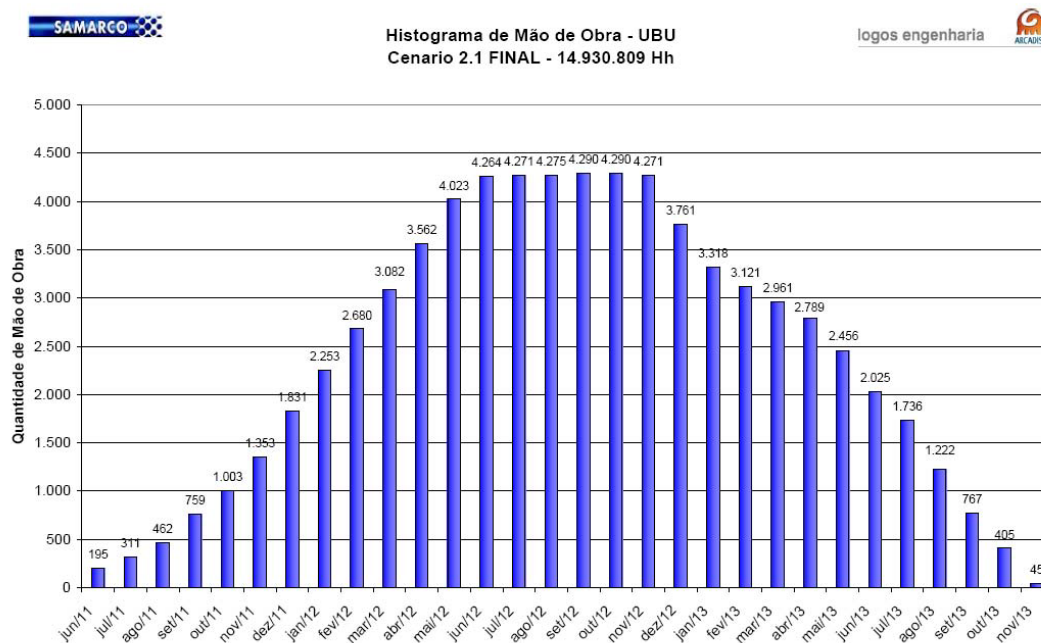


Figura 3.11 – Histograma de mão de obra para a fase de implantação

Fonte: CEPEMAR, 2009

3.3.2 Geração de energia

Na geração de energia elétrica, a água proveniente dos cursos de água ou reservatórios é utilizada para movimentar as turbinas e transformar a energia potencial (energia da água) em energia mecânica (movimento das turbinas).

A água é conduzida por meio de condutos forçados e sua energia é convertida em energia mecânica nas turbinas hidráulicas, que, conectadas a um gerador, são responsáveis por transformar a energia mecânica em energia elétrica.

O potencial hidráulico é proporcionado pelo volume de água no tempo e por desníveis existentes ao longo do curso do rio, podendo esses ser naturais (trechos em cachoeiras) ou artificiais (implantação de barramentos para formação de reservatórios e aumento do desnível).

Assim, pode-se concluir que a geração hidrelétrica está associada à vazão do rio ou volume represado em reservatório e a altura de queda, cujo conjunto de variáveis é responsável pela energia disponível no local. Ou seja, quanto maiores os volumes e a altura de queda, maior é seu potencial de aproveitamento na geração de eletricidade.

As principais variáveis na geração de energia elétrica por meio da utilização da água são: altura da queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Todos são fatores interdependentes, sendo as variáveis altura da queda d'água e vazão dependentes do local de construção. A potência instalada é obtida da altura de queda e vazão, que por sua vez, determina o tipo de turbina, barragem e reservatório.

3.3.3 Outros usos

Além do uso e consumo na mineração, existem outros usos considerados consuntivos que merecem destaque por se tratar de grandes consumidores de água. Assim como acontece em outros países, o maior consumo de água no Brasil está concentrado principalmente na agricultura, sobretudo para a irrigação de culturas. O uso doméstico responde pelo segundo maior consumo de água com aproximadamente 20% da demanda total, seguido pela indústria e pela pecuária.

Além dos usos consuntivos, existem também usos que apesar de serem considerados não consuntivos, merecem destaque por demandar grandes quantidades de água, entre eles o lazer e recreação e a navegação fluvial. A FIG. 3.12 apresenta a retirada total de água e distribuição segundo os usos, os quais são descritos sucintamente na sequência.

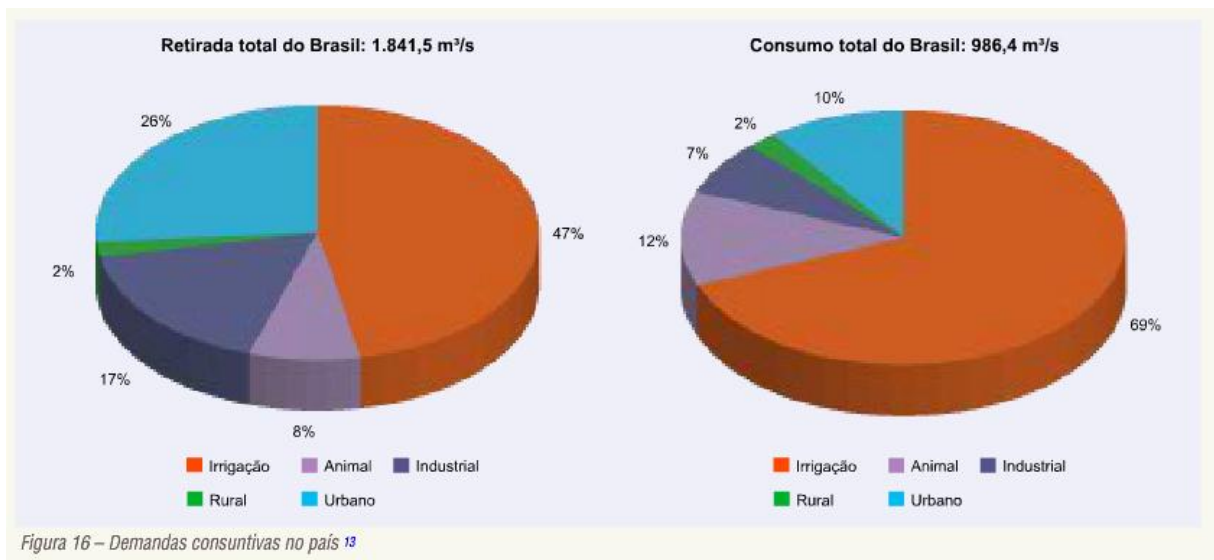


Figura 3.12 – Retirada e consumo de água por tipo de uso

Fonte: ANA, 2012

IRRIGAÇÃO

Segundo (LIMA *et al*, 2003), a irrigação compreende ao conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço com o objetivo de modificar as possibilidades agrícolas de cada região e corrigir a distribuição natural das chuvas.

É o uso de água mais importante do mundo em termos de quantidade utilizada, sendo aplicada principalmente na agricultura para obter melhor produtividade e para que a atividade agrícola esteja menos sujeita aos riscos climáticos. Em algumas regiões áridas, semiáridas, ou com uma estação seca muito longa, a irrigação é essencial para que possa existir a agricultura. No Brasil o uso de água para irrigação vem aumentando a cada ano. (COLLISCHONN & TASSI, 2011). A FIG. 3.13 apresenta a evolução da área irrigada no Brasil entre os anos de 1950 e 1998.

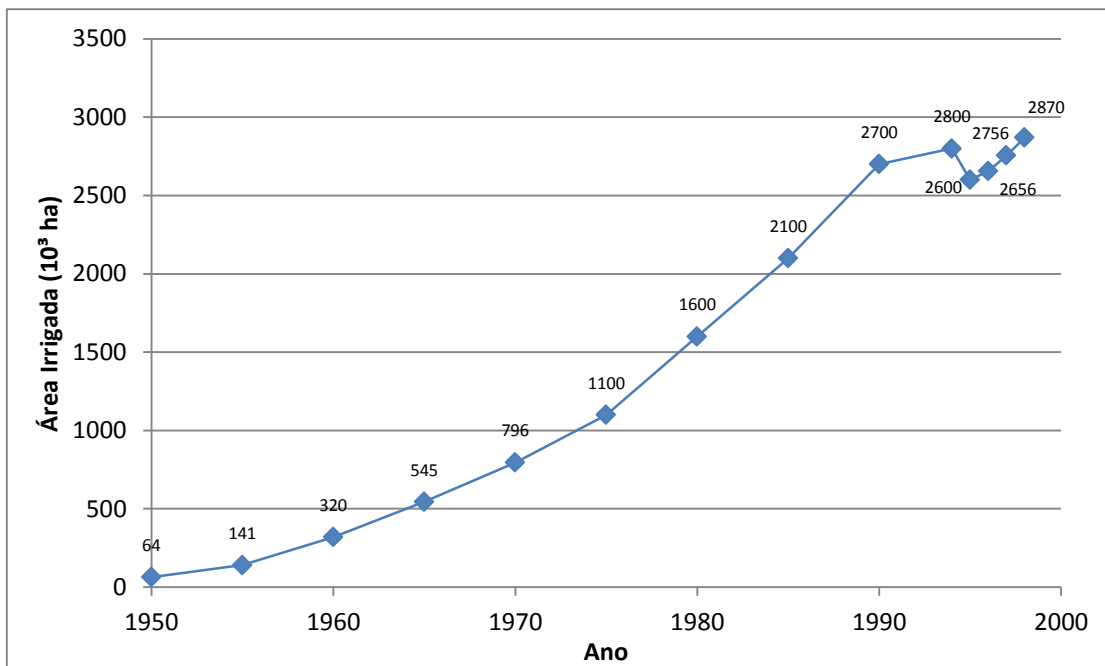


Figura 3.13 – Crescimento da área irrigada no Brasil

Fonte: adaptado de LIMA *et al*, 2003

Ressalta-se que o volume de água utilizado para irrigação está ligado às características da cultura, do clima na região e do tipo de solo local, além das técnicas aplicadas na irrigação.

ABASTECIMENTO PÚBLICO

O uso da água para abastecimento humano é considerado o mais nobre, uma vez que o homem depende de água com qualidade e quantidade satisfatória para satisfazer suas necessidades de alimentação, higiene e outras.

O volume de água necessário para abastecer uma população é obtido levando em consideração diversos aspectos:

- Tipos diferenciados de usos da água (doméstico, comercial, industrial, público, segurança etc.);
- Consumo médio de água por pessoa por dia (consumo per capita);
- Outros fatores que afetam o consumo (hábitos da população, clima, custo, pressão na rede, existência de medição etc.);

A TAB. 3.5 apresenta o consumo *per capita* estimado segundo o número de habitantes de uma cidade considerando o final de plano, ou seja, próximo à saturação.

Tabela 3.5 – Consumo <i>per capita</i>	
População de fim de plano (habitantes)	<i>Per capita</i> Litros/(Habiteante/dia)
Até 6000	de 100 a 150
de 6000 até 30.000	de 150 a 200
de 30.000 até 100.000	de 200 a 250
Acima de 100.000	de 250 a 300

Fonte: ENEGENHARIA E PROJETOS, 2004

Aproximadamente 80% deste consumo retorna das residências na forma de esgoto doméstico, com uma qualidade bastante inferior. A FIG. 3.14 apresenta uma estimativa aproximada das quantidades de água em cada um dos usos domésticos.



Figura 3.14 – Estimativa aproximada das quantidades de água por usos domésticos.
 Fonte: Clark e King, 2005 apud COLLISCHONN & TASSI, 2011

CONSUMO INDUSTRIAL

De maneira geral, a quantidade e a qualidade da água necessária ao desenvolvimento das diversas atividades que consomem água na indústria está relacionada ao ramo de atividade e principalmente à capacidade de produção (CIRRA, 2004).

O ramo de atividade define principalmente a qualidade da água requerida e o porte da indústria, que relaciona a capacidade de produção, define a quantidade de água necessária para cada uso. Assim, uma mesma indústria pode demandar águas com diferentes níveis de qualidade.

Genericamente, pode-se dizer que a água encontra-se na indústria para as seguintes aplicações:

- Consumo humano: Vasos sanitários, vestiários, refeitórios, bebedouros, segurança (proteção contra incêndio, por exemplo) e em outras atividades doméstica com contato humano direto;
- Matéria prima: quando a água será incorporada ao produto final, como por exemplo nas indústrias de cervejas e refrigerantes, produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, alimentos e conservas etc., ou quando é utilizada para a obtenção de outros produtos;
- Como fluido auxiliar: utilizada em atividades como preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem;
- Como fluido de aquecimento e/ou resfriamento: Nestes casos é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de dispositivos que necessitem de resfriamento, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do processo ou danificar algum equipamento;
- Outros usos: rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS

O consumo de água para dessedentação animal está diretamente associado ao efetivo dos rebanhos existentes e ao tipo de criação (extensiva ou intensiva) e, corresponde não somente ao consumo propriamente dito dos animais, mas também a toda demanda de água associada à sua criação.

Segundo IBGE (2010) o efetivo dos rebanhos pode ser dividido em grande, médio e pequeno porte. No grupo de animais de grande porte estão incluídos os bovinos, bufalinos, equinos,

asininos e muares. No grupo de médio porte estão os suínos, caprinos e ovinos; e no de pequeno porte tem-se os galos, frangas, frangos e pintos, galinhas, codornas e coelhos. A TAB. 3.6 apresenta o efetivo dos rebanhos no Brasil no final de 2010.

Tabela 3.6 – Efetivos dos rebanhos no Brasil ao final de 2010

Categoria	Quantidade (cabeças)
Grande Porte	218.518.879
Bovino	209.541.109
Bufalino	1.184.511
Equino	5.514.253
Asinino	1.001.587
Muar	1.277.419
Médio Porte	65.650.123
Suíno	38.956.758
Caprino	9.312.784
Ovino	17.380.581
Pequeno Porte	1.252.131.165
Galos, frangas, frangos e pintos	1.028.151.477
Galinhas	210.761.060
Codornas	12.992.269
Coelhos	226.359

Fonte: adaptado de IBGE, 2010

A quantidade de água consumida varia por espécie animal, época do ano, tipo de manejo e outros. A TAB. 3.7 apresenta quantidade de água consumida por algumas espécies de animais.

Tabela 3.7 – Consumo de água por espécies de animais

Espécie	Consumo (L/Dia/Cabeça)
BOVINOS DE CORTE	
Até 250 kg	18,0
Até 410 kg	32,0
Até 566 kg	46,0
Vacas com bezerras	55,0
Vacas Secas	46,0
Bezerros	9,0
BOVINOS DE LEITE	
Vaca em Lactação	62,0
Vaca e Novilha no final da gestação	51,0
Vaca Seca e Novilha gestante	45,0
Fêmea Desmamada	30,0

Bezerro Lactante (a pasto)	11,0
Bezerro Lactante (baia até 60 dias)	1,0
AVES	
Frangos	0,160
Frangas	0,180
Poedeiras	0,250
Reprodutores(as)	0,320
SUÍNOS	
Até 55 dias de idade	3,0
De 56 a 95 dias de idade	8,0
De 96 a 156 dias de idade	12,0
De 157 a 230 dias de idade	20,0
Leitoas	16,0
Fêmeas em gestação	22,0
Fêmeas em lactação	27,0
Machos	20,0

Fonte: adaptado de PALHARES, 2005

LAZER E RECREAÇÃO

O turismo recreativo é uma das atividades econômicas que mais criam empregos, aumentam a renda e melhoram a qualidade de vida das comunidades interioranas, principalmente em locais passíveis de exploração dos recursos hídricos como lagos naturais e artificiais, cachoeiras *etc.* Porém, o potencial de exploração do recurso está ligado às suas condições quantitativas e qualitativas, principalmente nos casos que as atividades recreativas requerem contato primário, como é o caso da natação, mergulho, além da prática de alguns esportes náuticos.

Grande parte da utilização de água nessa atividade está relacionada à diluição e assimilação de efluentes gerados pelo consumo humano, indústrias, resíduos agrícolas e de mineração e outras atividades poluidoras. Embora esta demanda não implique em alterações quantitativas e temporais do curso de água, deve-se prever uma alocação exclusiva para esta finalidade de modo a não haver prejuízo para as atividades de lazer e recreação.

Essa alocação pode resultar em limitações do uso dos corpos d'água para outras atividades devido às restrições quanto aos padrões de qualidade requeridos, sendo a magnitude decorrente da carga de efluentes lançada no corpo hídrico.

NAVEGAÇÃO FLUVIAL

A rede hidroviária Brasileira oferece condições bem adversas quando se trata de navegabilidade, pois possuem diferenças quanto ao calado, largura, curvaturas, presença de corredeiras, bem como às variações decorrentes do ciclo hidrológico (ANA, 2005).

Em condições normais os rios brasileiros são navegáveis apenas nos períodos de águas altas, em que existem calado mínimo para viabilizar a utilização em escala comercial da hidrovia. Nos períodos de estiagem o nível de água decresce e não oferecem condições ideais para a passagem das embarcações. Entretanto, através de obras nos canais e, principalmente, da regularização de vazões, essas condições podem ser melhoradas de modo a assegurar a navegabilidade nos períodos de estiagem.

Apesar de o processo de regularização de vazões não abstrair água da bacia hidrográfica, durante os períodos de cheias parte do volume escoado é armazenado em reservatórios para ser liberado de maneira ordenada nos períodos de estiagem e garantir a navegação. Portanto, a necessidade de armazenamento de água pode ser entendida como demanda para esta atividade.

3.4 Gerenciamento dos recursos hídricos

Idealmente, a água deve ser disponível em quantidade e qualidade que atenda ao bem estar da população como um todo, abrangendo as necessidades fisiológicas e o desenvolvimento de suas necessidades. Entretanto, face ao uso excessivo e sem controle, melhorar a governança da água através de gestão integrada de recursos hídricos é reconhecido como uma necessidade crítica em todo o mundo em desenvolvimento (IWMI, 2012).

As possibilidades de conflitos entre usuários decorrem principalmente da combinação entre o crescimento exagerado das demandas localizadas e da degradação da qualidade das águas, derivados dos desordenados processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola.

Desde a década de 1930 o Brasil possui o Código das Águas para legislar sobre esse assunto, entretanto, em vista do aumento das demandas e de mudanças institucionais, as tipificações do referido código não foram suficientes para combater o desequilíbrio hídrico e os conflitos de uso, tampouco de promover meios adequados para uma gestão descentralizada e participativa, exigências dos dias de hoje (SETTI *et al*, 2001).

Assim, pode-se dizer que o marco inicial na gestão dos recursos hídricos foi a Lei 9.433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH – e estabeleceu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SNRH, com a criação posterior da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal encarregada da implementação dessa Política e da coordenação desse Sistema.

Entre os fundamentos da PNRH está a água como um bem de domínio público, cujos usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de animais, além de prever que a gestão deve ser integrada e compartilhada, contrário ao referido no código das águas. Os instrumentos de gestão previstos na Lei são:

- Os planos de recursos hídricos;
- O enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes;
- A outorga de direito de uso;
- A cobrança pelo uso da água;
- O sistema de informação sobre recursos hídricos;
- A compensação aos municípios.

De maneira geral, os sistemas de gestão devem possuir instrumentos que possam ser desenvolvidos e aplicados de forma a atender aos objetivos da comunidade garantindo a sustentabilidade no médio e no longo prazos.

Por outro lado, além do gerenciamento dos recursos hídricos existe a necessidade de proteção ambiental, cujo marco regulatório jurídico ocorreu por meio da Lei 6.938/81, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, e o Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA, como órgão executor (FACURI, 2004).

A partir desta data passou-se a exigir, em nível nacional, o licenciamento ambiental e a Avaliação de Impactos Ambientais – AIA – para atividades efetivas ou potencialmente poluidoras ou utilizadoras dos recursos ambientais, envolvendo tanto o poder público quanto a iniciativa privada.

A outorga de direito de uso, por exemplo, é um instrumento necessário tanto para o órgão gestor dos recursos hídricos como para os processo de licenciamento ambiental, de modo que

os dois sistemas, o ambiental e o de recursos hídricos, devem adotar mecanismos que permitam uma ação articulada e concomitante.

Recentemente, a ANA e o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA – vêm trabalhando em resoluções conjuntas, objetivando a articulação dos seus procedimentos de análise. Porém, a dominialidade do manancial é que determina o ente responsável pela análise – se federal ou estadual – e as condicionantes que determinarão se o licenciamento será feito pelo IBAMA ou pelo órgão ambiental do Estado.

No entanto, a articulação entre os órgãos de meio ambiente e de recursos hídricos dos estados e federação ainda depende de maior fortalecimento institucional e, portanto, se constitui em uma tarefa bastante complexa que, provavelmente, demandará muito tempo para convergir em um único documento.

No caso específico dos empreendimentos hidrelétricos do setor elétrico, cabe à EPE identificar e quantificar os potenciais de recursos energéticos, realizar estudos para a determinação dos aproveitamentos ótimos dos potenciais hidráulicos, obter a licença prévia ambiental – LP – e a declaração de disponibilidade hídrica necessárias às licitações, ficando as demais, ou seja, a Licença de Instalação (LI) e a Licença de Operação (LO) sob a responsabilidade do futuro concessionário.

3.5 Regionalização de vazões

Conforme definido por (TUCCI, 2002), o termo regionalização tem sido empregado na disciplina de hidrologia para designar a transferência de informações de locais que possuem registros para os locais que possuem, desde que dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

Entretanto, analisar a semelhança hidrológica de uma determinada área em relação a outra torna-se uma tarefa bastante difícil e complexa, pois, a caracterização da semelhança depende da combinação de diversos fatores, tais como precipitação e evaporação, radiação solar, condições topográficas, geologia e geomorfologia local *etc.*, informação nem sempre disponível.

Nos empreendimentos ou processo cujas avaliações carecem de registros históricos de vazões, nos quais se enquadra a geração de energia elétrica por meio de aproveitamentos hidráulicos,

a condição ideal é que existam monitoramentos nas seções fluviais de interesse para que os cálculos sejam efetuados com maior grau de confiança. Entretanto, face às incertezas locais dos empreendimentos e os altos custos de implantação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica (TUCCI, 2009), impõe-se a necessidade de buscar outras formas para obtenção dos dados, cujo processo é denominado de regionalização de vazões.

O estudo de regionalização de vazões para determinar as séries naturais afluentes pode ser realizado tanto para os locais em que não existem monitoramento como para aqueles cujo histórico de dados é curto, maximizando a quantidade e, conseqüentemente, a qualidade da informação.

Existem vários métodos para realizar o estudo de regionalização, sendo as principais: (i) funções estatísticas de variáveis hidrológicas; (ii) funções específicas relacionando variáveis ou, (iii) parâmetros de uma função ou modelo matemático (TUCCI, 2002).

Muitas vezes, face à escassez de informações para obtenção dos parâmetros hidrológicos ou a necessidade de respostas imediatas é comum lançar mão de técnicas simplistas, como interpolações lineares diretas de valores em pontos próximos do local desejado ou a utilização de médias aritméticas e médias ponderadas.

Nos casos em que se necessita conhecer a precipitação é comum utilizar técnicas estatísticas como a média ponderada pelo inverso da distância ao quadrado, o método dos polígonos de Thiessen, mapas de isoietas ou uso de métodos geoestatísticos. Caso se tenha grande quantidade de postos pluviométricos, qualquer metodologia mencionada fornece estimativas consideradas aceitáveis para o local desejado.

Para a obtenção de vazões, a técnica simplista de interpolação linear não fornece bons resultados pelo fato de estar sujeita a interferências de outras variáveis como a área de drenagem, o relevo, a variação da precipitação, entre outras. Algumas variáveis explicativas que interferem no método de regionalização estão apresentadas na TAB. 3.8.

Tabela 3.8 – Exemplos de variáveis na regionalização

Variável regionalizada	Variáveis intervenientes
Vazão média	Área da bacia, precipitação
Vazão média de cheia	Área da bacia, precipitação, declividade e comprimento do rio
Vazão mínima	Área da bacia e densidade de drenagem

Fonte: adaptado de TUCCI, 2002

Neste trabalho são apresentadas duas metodologias de regionalização que permitem estimar a variável hidrológica “vazão média” a partir das variáveis área da bacia e precipitação. Essas metodologias são comumente empregadas para a obtenção de série de vazões utilizada no cálculo da energia gerada por empreendimentos hidrelétricos.

Destaca-se que a vazão média pode ser aplicada a diversos contextos de acordo as variáveis empregadas no cálculo. Por exemplo, a vazão média do mês de julho é calculada com base nos valores observados no mês de julho em diferentes anos, porém, a vazão média de enchente corresponde a média dos eventos de cheias anuais, ou seja, apesar de ambas serem vazões médias possuem características distintas.

A variável de regionalização mais comumente utilizada está relacionada com a vazão média de longo termo (Q_{MLT}), definida como a média das vazões da série disponível em determinada seção fluvial. O valor pode ser obtido segundo a EQ. 3.2.

$$Q_{MLT} = \frac{\sum_{t=1}^N Q_t}{N} \quad (3.2)$$

Em que:

Q_{MLT} é vazão média de longo termo [m^3/s];

Q_t é vazão do intervalo de tempo t [m^3/s];

N é o número de intervalos t [adimensional].

A FIG. 3.15 apresentado de forma esquemática uma série hidrológica e a vazão média de longo termo.

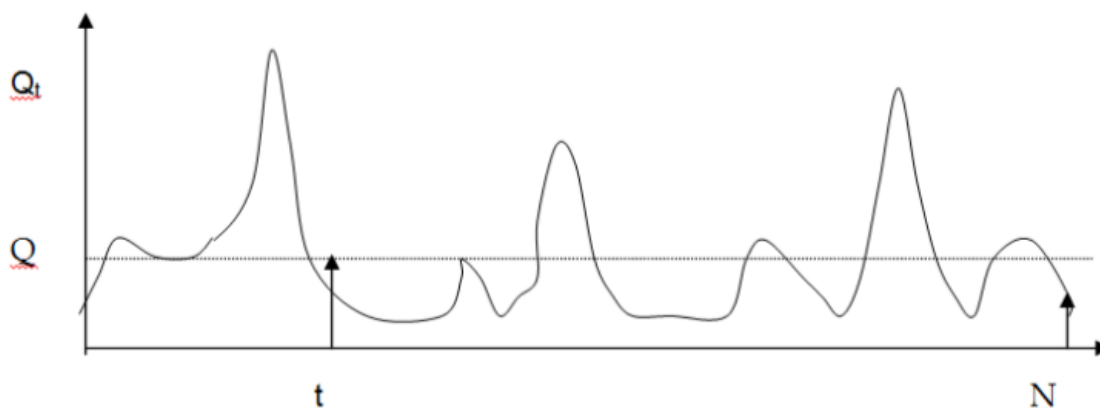


Figura 3.15 – Esquema de série de vazões e vazão média

A vazão média pode ser expressa em m³/s, que é a unidade usual ou em mm, para relacioná-la nas mesmas unidades com a precipitação. O fator de conversão para a vazão média anual de m³/s para mm é realizado com a utilização da área de drenagem conforme apresentado na EQ. 3.3.

$$Q_{mm} = \frac{1000 \times 365 \times 86.400}{A \times 10^6} \times Q_{MLT} = \frac{31536}{A} \times Q_{MLT} \quad (3.3)$$

Em que:

Q_{mm} é o deflúvio médio de longo termo [mm];

A é a área de drenagem [m²].

Curva regional

A metodologia consiste em obter uma curva regional de vazão média de longo termo por meio de correlação matemática entre as vazões médias de longo termo e a respectiva área de drenagem de estações regionais consideradas representativas.

Para tanto é necessário calcular a vazão média de longo termo a partir dos registros diários ou mensais das estações fluviométricas regionais, delimitar o divisor de drenagem da respectiva seção fluvial, correlacionar pares de pontos graficamente e ajustar uma distribuição matemática para definir o comportamento regional das estações.

Essa metodologia tem uma conotação simplista, uma vez que necessita apenas das informações medidas nas estações fluviométricas regionais e do parâmetro de regionalização, que se restringe à área da bacia hidrográfica na seção fluvial em que se deseja conhecer a vazão média.

Entretanto, existe uma complexidade intrínseca relacionada à semelhança hidrológica da área de interesse e na seleção da função matemática para explicar o comportamento regional, ou seja, algumas estações podem ter particularidades que as diferenciam do comportamento regional e a função selecionada pode incorrer em incertezas quanto menor for o número de estações disponíveis.

A FIG. 3.16 apresenta o exemplo de uma curva regional de vazão média de longo termo com o ajuste de uma distribuição matemática utilizando informações de 14 estações fluviométricas.

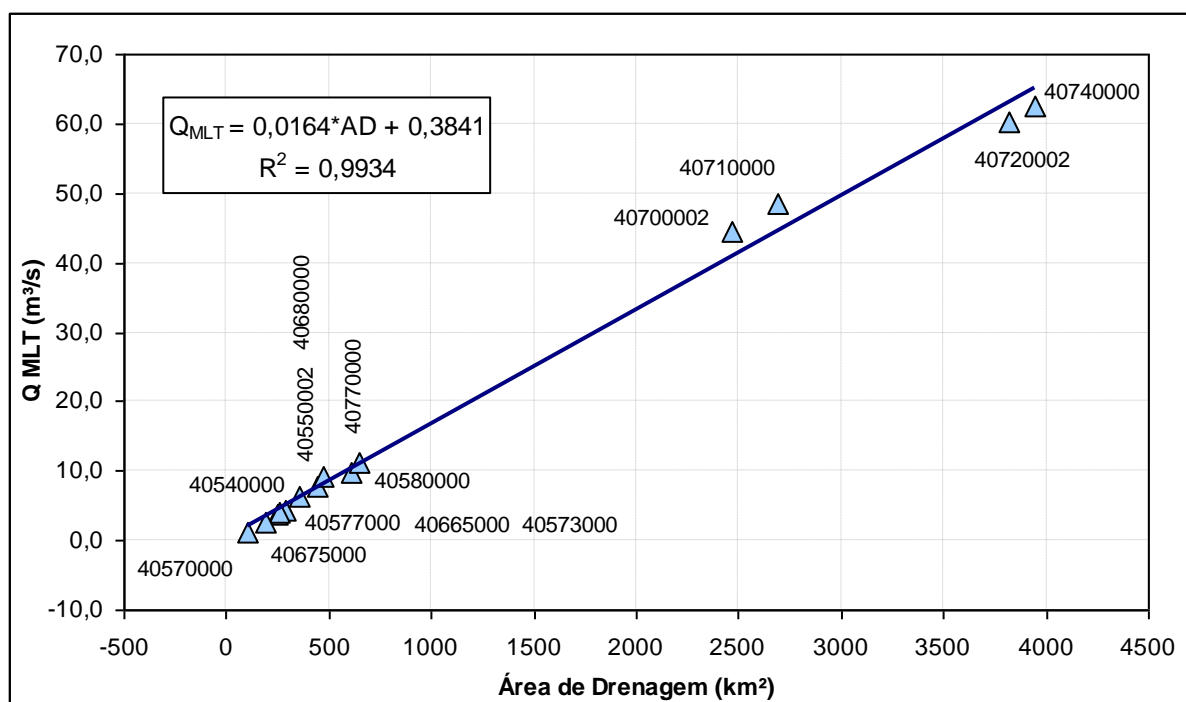


Figura 3.16 – Exemplo de curva regional de vazão média de longo termo com ajuste de distribuição matemática

A partir da equação matemática que correlaciona a vazão média de longo termo e a área de drenagem é possível obter a vazão média em qualquer seção fluvial de interesse, sendo necessário apenas conhecer a área de drenagem.

Balanço Hídrico

Nesta metodologia, a estimativa da vazão média de longo termo é baseada no cálculo indireto de deflúvio utilizando a equação simplificada do balanço hídrico entre a precipitação média anual e as perdas na bacia, que incluem a evapotranspiração, retenções e percolação para camadas mais profundas do subsolo que não contribuem com o fluxo de base. Ou seja, a variável de regionalização consiste nas perdas hídricas da bacia hidrográfica, cujo cálculo é dependente da vazão média de longo termo, da área de drenagem e da precipitação média na bacia.

A seguir são apresentados os passos metodológicos para cálculo da vazão média de longo termo na seção fluvial de interesse com a metodologia do balanço hídrico:

-
- Cálculo da vazão média de longo termo nas estações fluviométricas regionais;
 - Estimativa da área de drenagem através do traçado do divisor de drenagem com auxílio da cartografia disponível;
 - Transformação da vazão média de longo termo em valor de precipitação anual efetiva por meio da divisão da vazão média pela área de drenagem;
 - Cálculo da precipitação média anual na bacia utilizando dados de estações pluviométricas regionais. Para esta etapa deve-se selecionar a metodologia dentre as várias existentes, como polígono de Thissen, área média, mapa de isoietas etc.;
 - Obtenção das perdas na bacia através da subtração da precipitação média anual da precipitação efetiva anual;
 - Correlação entre as perdas das estações regionais e estimativa da perda média na bacia de interesse;
 - Cálculo da precipitação média anual e área de drenagem da bacia de interesse;
 - Estimativa da precipitação efetiva anual na seção de interesse através da subtração entre a precipitação média anual e a perda média;
 - Obtenção da vazão média de longo termo na seção fluvial de interesse por meio da multiplicação da precipitação efetiva anual pela área de drenagem.

Essa metodologia tem uma conotação mais sofisticada, pois, além das informações medidas nas estações fluviométricas regionais, correspondente aos registros diários de vazão e área de drenagem, para o cálculo das perdas nas bacias é necessário obter a área de drenagem e a precipitação média nas bacias.

4. ARCABOUÇO LEGAL

4.1 *Mineração*

A Constituição Federal – CF e as constituições estaduais estabelecem, nos seus respectivos âmbitos, as competências da União, dos Estados e dos Municípios para o envolvimento nas questões referentes ou associadas ao processo de administração e aproveitamento dos recursos minerais.

As atividades ligadas à indústria da mineração estão sujeitas às seguintes:

- Legislação minerária;
- Legislação ambiental;
- Legislação referente a compensações financeiras; e
- Legislações diversas, de forma acessória, análogas às que incidem sobre instalação e operação de empreendimentos de quaisquer setores, no âmbito federal, estadual ou municipal (encargos tributários, trabalhistas, alvarás de funcionamento etc.).

O Código da Mineração (DNPM, 1967), conjugado com a legislação correlata, é o instrumento legal básico que dispõe sobre as formas e condições de habilitação e execução das atividades de pesquisa e lavra de substâncias minerais, sendo sua aplicação de alçada do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, órgão do Ministério de Minas e Energia – MME, que conta com unidades regionais em vários estados.

No Art. 2º do Código é estabelecido os regimes de aproveitamentos de substâncias minerais, sendo enquadrados em:

- **Regime de autorização**, quando depender de expedição de alvará de autorização do Diretor-Geral do DNPM;
- **Regime de concessão**, quando depender de portaria de concessão do MME;
- **Regime de licenciamento**, quando depender de licença expedida em obediência a regulamentos administrativos locais e de registro da licença no DNPM;
- **Regime de permissão de lavra garimpeira**, quando depender de portaria de permissão do Diretor-Geral do DNPM;

-
- **Regime de monopolização**, quando, em virtude de lei especial, depender de execução direta ou indireta do Governo Federal.

O Art. 10 tipifica que a exploração de alguns minerais é regida por leis especiais, sendo: (i) substâncias minerais que constituem monopólio estatal; (ii) substâncias minerais ou fósseis de interesse arqueológico; (iii) os espécimes minerais ou fósseis, destinados a museus, estabelecimentos de ensino ou outros fins científicos; (iv) as águas minerais em fase de lavra; e (v) as jazidas de águas subterrâneas.

Sob o aspecto ambiental, a mineração é classificada como atividade potencialmente poluidora, e como tal, está sujeita, entre outros, ao processo de licenciamento ambiental.

Resumidamente, o licenciamento ambiental é uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente e possui como uma de suas mais expressivas características a participação social na tomada de decisão, por meio da realização de Audiências Públicas como parte do processo (IBAMA, 2011).

Antes de iniciar efetivamente a operação do empreendimento minerário o empreendedor é obrigado a passar por estudos e projetos específicos a fim de obter as licenças LP, LI e LO.

A Licença Prévia é solicitada junto ao IBAMA ou órgão gestor na fase de planejamento ou modificação do empreendimento com o objetivo de aprovar a viabilidade ambiental do empreendimento, incluindo a localização e a concepção tecnológica. Como condicionantes, são estabelecidas todas as questões que devem ser incorporadas ao desenvolvimento do projeto, inclusive a necessidade de outorga para captação de água.

Após o cumprimento de todas as condicionantes abordadas na LP, deve-se solicitar a LI, cuja obtenção autoriza efetivamente a implantação do empreendimento. No caso de existir a necessidade de desmatamento para a implantação das obras é necessário obter previamente a "Autorização de Supressão de Vegetação".

Após a implantação do empreendimento, antes de iniciar a operação é necessário obter a LO, cuja concessão está condicionada à vistoria a fim de verificar se todas as exigências e detalhes técnicos descritos no projeto aprovado foram desenvolvidos e atendidos ao longo de sua instalação e se estão de acordo com o previsto nas LP e LI.

Por se tratar de um empreendimento multidisciplinar, o processo de licenciamento envolve diversos órgãos ambientais como o de gestão do Patrimônio Histórico (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN), das Comunidades Indígenas (Fundação Nacional do Índio - FUNAI), de Comunidades Quilombolas, de controle de endemias (Fundação Nacional de Saúde - FUNASA), entre outros.

Adicionalmente, pelo fato da mineração necessitar de água e se enquadrar em intervenções que alteram a qualidade, quantidade ou regime do corpo de água, está sujeita à outorga de direito de uso dos recursos hídricos conforme estabelecido no Art. 12 da Lei Federal nº 9.433/97.

4.2 Setor elétrico

No Brasil, uma das primeiras normas federais concernentes aos recursos naturais foi o Código de Águas, instituído pelo Decreto 24.643 de 10 de Julho de 1934, que foi posteriormente alterado pelo Decreto-Lei 852 de 11 de novembro de 1938. No Art. 139 do referido decreto consta que “O aproveitamento industrial das quedas de águas e outras fontes de energia hidráulica, quer do domínio público, quer do domínio particular, far-se-á pelo regime de autorizações e concessões instituído neste Código”.

Posteriormente, até a década de 1990 o planejamento da expansão do parque gerador brasileiro teve um enfoque basicamente público, controlado pela Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS, criada em 25 de Abril por meio da Lei 3.890-A. Nessa época a ELETROBRÁS recebeu a atribuição de promover estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações destinadas ao suprimento de energia elétrica do país. A nova empresa passou a contribuir decisivamente para a expansão da oferta de energia elétrica e o desenvolvimento do país.

Em meados da década de 90 houve a abertura do mercado de energia elétrica ao setor privado, promulgado pela Lei nº 9.074, de 07 de Julho de 1995, que estabelece normas para outorga, prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos.

Segundo (HORA, 2008), somente a partir dessa Lei foram dados os primeiros passos na direção de introduzir a competição na geração e na comercialização de energia.

Pode-se dizer que a legislação básica do setor elétrico se formou ao longo de quase 70 anos de história, sendo composta pela soma da Constituição, Leis complementares e ordinárias, Decretos, Portarias interministeriais, Portarias do Ministério de Minas e Energia e do extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, resoluções conjuntas e Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Os marcos da modernização deste segmento são a Lei de Concessões de Serviços Públicos, de fevereiro de 1995 e a Lei 9.427/1996, que trata da criação da ANEEL, sendo atribuída o poder de regular e fiscalizar as atividades setoriais, atuando ainda como poder concedente.

Já no ano seguinte foi promulgada a Lei 9.433/97, que instituiu a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, atribuindo que o direito ao uso dos recursos hídricos deverá ser precedido de uma outorga concedida pelo Poder Público a fim de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, conforme Art. 11 da referida Lei. Ainda na mesma Lei, o inciso IV do Art. 12 determina a necessidade desta outorga para o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos.

Nos aproveitamentos hidrelétricos dois bens públicos são objeto de concessão pelo poder público: o potencial de energia hidráulica e a água. Anteriormente à licitação da concessão ou à autorização do uso do potencial de energia hidráulica, a autoridade competente do setor elétrico deve obter a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica - DRDH junto ao órgão gestor de recursos hídricos. Posteriormente, a DRDH é convertida em outorga em nome da entidade que receber, da autoridade competente do setor elétrico, a concessão ou autorização para uso do potencial de energia hidráulica.

A partir de 2004, com a edição das Leis Federais nº 10.847/04, que autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética, e nº 10.848/04, que dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, o poder regulatório e de decisão do setor foi transmitido ao MME e Ministério do Meio Ambiente - MMA.

Para cálculo do valor energético, em 29/07/98 a ANEEL publicou a Resolução nº 244, que estabeleceu os critérios de cálculo dos montantes de energia e demanda que foram considerados nos Contratos Iniciais. “A energia assegurada das usinas hidrelétricas com motorização de base completa para os anos 1999 a 2002 deve ser considerada como igual a 95% (noventa e cinco por cento) da energia garantida calculada pelo Grupo Coordenador para Operação Interligada – GCOI, exceto da usina de Itaipu”. (BAJAY, 2002).

Em termos de licenciamento ambiental a Resolução CONAMA nº 01/86 estabelece definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental –RIMA em virtude do porte potencial poluidor, tais como barragens para fins hidrelétricos acima de 10MW. A Política Nacional de Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto Federal 99.274/90 complementado pela Resolução CONAMA nº 237/97, estabeleceu o processo de emissão de licenças em três fases, a saber:

“I - Licença Prévia (LP), na fase preliminar do planejamento de atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo;

II - Licença de Instalação (LI), autorizando o início da implantação, de acordo com as especificações constantes do Projeto Executivo aprovado; e

III - Licença de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto nas Licenças Prévia e de Instalação.”

Considerando que o alagamento de grandes áreas tem sido obstáculo para a implantação de novas hidrelétricas, as PCH's tem se caracterizado como alternativas para fornecer energia para pequenos centros urbanos e regiões rurais por apresentarem menores proporções e, conseqüentemente, menores impactos (BRASIL, 2008).

4.3 Gestão dos recursos hídricos

Até a década de 1930 não existia legislação específica para a gestão do recursos hídricos, uma vez que a abundância de água na terra a caracterizava como inesgotável e com direito a todos. O início da preocupação com a gestão dos recursos hídricos ocorreu somente no ano de 1934 com a promulgação do Código de Águas através do decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 em que o Art. 36 previa que é “permitido a todos usar de quaisquer águas públicas...”, embora o Art. 43 dizia que “As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa...”.

O Código de Águas foi o documento federativo legal que embasou a gestão dos recursos hídricos até o final da década de 70, período em que entrou em vigor a Lei 6.662, de 25 de

junho de 1979 que definiu a Política Nacional de Irrigação. O Art. 19 da referida Lei descreve que as águas superficiais ou subterrâneas a serem utilizadas para fins de irrigação será supervisionada, coordenada e fiscalizada pelo Ministério do Interior – MINTER e o parágrafo único complementa que deverá existir articulação entre os ministérios visando uma adequada programação para o uso múltiplo das águas públicas.

Com o crescimento da utilização dos recursos minerais, entre eles os recursos hídricos, em 31 de agosto de 1981 entrou em vigor a Lei nº 6.938 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, cujo inciso II do Art. 2 declara sobre a necessidade de racionalização do uso da água.

No ano de 1988 foi realizada a reformulação da Constituição da República Federativa do Brasil e o Art. 20 passou a descrever como bens da União:

“III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;”

Ainda no Art. 21 da constituição é mencionado que compete a União:

“XIX - instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso.”

Ainda no mesmo ano entrou em vigor a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989 que institui a compensação financeira pelo resultado da exploração dos recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, cujo Art. 1 descreve:

“O aproveitamento de recursos hídricos, para fins de geração de energia elétrica e dos recursos minerais, por quaisquer dos regimes previstos em Lei, ensejará compensação financeira aos Estados, Distrito Federal e Municípios, a ser calculada, distribuída e aplicada na forma estabelecida nesta Lei.”

Posteriormente foi promulgada a Lei no 9.433 de 08 de janeiro de 1997 que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, baseada nos seguintes fundamentos:

- A água é um bem de domínio público;

-
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
 - Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
 - A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
 - A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do SNGRH;
 - A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Institui ainda como instrumentos da PNRH: (i) os Planos de Recursos Hídricos; (ii) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; (iii) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; (iv) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; (v) a compensação a municípios; e (vi) o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

No ano de 2000, a Lei 9.984 criou a Agência Nacional de Águas como entidade federal responsável pela implementação da PNRH e pela coordenação do SNGRH.

Enfatiza-se que as Leis e Decretos Federais estabelecem a norma jurídica a ser observada em todo o território nacional, sendo que os Estados e Municípios devem se pautar nestes textos legais, para composição das respectivas normas que atendam as especificidades regionais (IGAM, 2010).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 *Impacto da mineração sobre a afluência de vazões*

A demanda por água nova para utilização nos processos de extração e beneficiamento do minério tem como premissa que a reposição ocorrerá por fontes subterrâneas, através de bombeamento em poços profundos, ou por fontes superficiais, sendo realizada diretamente nos cursos de água ou em reservatórios de barramentos implantados exclusivamente com esta finalidade.

Nos casos em que se utilizam somente fontes subterrâneas, a interferência sobre a afluência de vazões superficiais em uma determinada seção fluvial tende a ser minimizada em virtude do impacto estar relacionado apenas ao escoamento de base e não será abordado neste estudo.

Em relação às fontes superficiais, pelo fato das modalidades de captações implicar em impactos diferenciados na série de afluência aos empreendimentos hidrogeradores serão abordadas de maneira independente.

5.1.1 Captação em reservatórios de regularização

Em hidrologia, a regularização de vazões é utilizada quando se deseja maximizar o aproveitamento do recurso hídrico, na qual se destaca o atendimento às necessidades do abastecimento urbano ou rural (irrigação), abastecimento industrial, aproveitamento hidrelétrico (geração de energia), recreação *etc.*, ou quando se deseja reduzir ao mínimo os riscos associados a eventos naturais extremos, como atenuação de cheias (combate às inundações), controle de estiagens, controle de sedimentos e navegação fluvial (TUCCI, 2002).

Para esse fim é necessário promover-se o represamento das águas, através da implantação de barramentos em seções fluviais previamente determinadas e promover o controle dos escoamentos afluentes e defluentes à estrutura.

No caso específico da mineração, o objetivo da regularização de vazões visa aumentar a disponibilidade hídrica, de modo que o excesso de água no período chuvoso possa ser armazenado no reservatório para ser utilizado nos períodos de menor pluviosidade.

Fisicamente, a vazão máxima passível de ser regularizada corresponde à vazão média em uma determinada seção fluvial, conhecida como vazão média de longo termo – Q_{MLT} . Para se determinar o volume do armazenamento em um reservatório é aplicada a equação do balanço hídrico no reservatório (EQ. 5.1), considerando-se a retirada de água durante um período de estiagem prolongada, normalmente denominado de período crítico:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = I - O \quad (5.1)$$

Na qual:

$\Delta v/\Delta t$ = variação do volume no tempo [m^3/s];

I = volumes afluentes ao reservatório [m^3/s];

O = volumes retirados do reservatório [m^3/s].

Os volumes de entrada no reservatório podem ser resumidos basicamente pelas vazões afluentes e pelo volume precipitado diretamente sobre o espelho de água. As principais variáveis de saída são a evaporação direta no espelho de água, o fluxo residual mínimo a ser mantido para jusante, o vertimento e a vazão bombeada para utilização nas atividades da mineração. As variáveis percolação e infiltração normalmente são desprezadas do balanço hídrico pelo fato de possuírem valores insignificantes quando comparadas às demais variáveis.

Utilizando a equação do balanço hídrico pode-se observar que, mesmo quando a captação no reservatório sendo nula, somente o fato do reservatório trabalhar como regularizador de vazões implica em modificações na série de vazões defluentes. Nesse caso específico, o impacto é apenas temporal, entretanto, poderá implicar em consequências, positivas ou negativas, para os empreendimentos hidrelétricos localizados a jusante da estrutura.

Quando há a regularização de vazões e captações de grande magnitude nos reservatórios, além das modificações temporais na série de vazões deve ser considerado a redução quantitativa do volume de água suprimido da bacia.

Destaca-se que o impacto na série de vazões afluente aos empreendimentos hidrelétricos que estão localizados a jusante dos reservatórios de regularização depende da combinação de diversos fatores tais como: magnitude da área de drenagem, volume de água captada,

capacidade de regularização do reservatório, distância do empreendimento em relação ao reservatório, entre outros.

A avaliação do impacto ocasionado pelo efeito do reservatório de regularização e pelas captações de água na bacia a montante pode ser realizada utilizando-se os seguintes passos metodológicos:

- Passo 1: Obtenção da série de vazões afluentes ao reservatório de regularização. Idealmente, deve-se obter a série de vazões por meio de monitoramento fluviométrico local, entretanto, caso não exista ou o mesmo possua quantidade de informações insuficiente, deve-se utilizar técnicas de regionalização. A técnica de regionalização incorpora imprecisões no cálculo pelo fato de utilizar informações regionais, entretanto, possibilita aumentar a série de dados e incorporar mais precisão nos resultados;
- Passo 2: Obtenção da série de vazões naturais afluentes ao empreendimento hidrogerador de maneira análoga ao reservatório de regularização;
- Passo 3: Cálculo da série de vazões incrementais entre o reservatório e o empreendimento por meio da subtração entre as séries naturais;
- Passo 4: Cálculo das vazões defluentes ao barramento por meio da operação simulada do reservatório. Nessa etapa, além da série natural afluente deverão ser conhecidas as características do barramento e da captação, tais como relação entre a cota, área e volume, nível máximo de água, volume de água captado, tempo de operação da captação, fluxo residual mínimo mantido para jusante etc.;
- Passo 5: Obtenção da série de vazões afluentes ao empreendimento hidrogerador com interferência do reservatório de regularização por meio da soma entre a vazão defluente do reservatório e a vazão incremental obtida no passo 3.

O impacto na série de vazões afluentes ao empreendimento pode ser mensurado comparando a série de vazões naturais com a obtida após o efeito da regularização no reservatório e da captação.

Consideram-se vazões afluentes sem interferências aquelas provenientes do escoamento de base e da precipitação sobre a bacia hidrográfica e que não tenham a interferência de outras estruturas ou captações até a seção fluvial de interesse.

5.1.2 Captação direta no curso de água

Nos casos em que não existem reservatórios de regularização entre a captação de água e o empreendimento hidrogerador, o impacto da captação sobre a série de vazões afluentes pode ser determinado de maneira mais simplista utilizando os seguintes passos:

- Passo 1: Obtenção da série de vazões naturais afluente ao empreendimento hidrogerador por meio de monitoramento ou técnicas de regionalização;
- Passo 2: Obtenção do volume de água captado e tempo de operação do sistema de captação;
- Passo 3: Cálculo da série de vazão afluente ao empreendimento hidrogerador subtraindo a vazão captada da série de vazão natural.

De maneira análoga, o impacto na série afluente ao empreendimento pode ser mensurado comparando a série de vazões natural com a obtida após a subtração da vazão captada.

5.2 O impacto sobre o bloco de energia gerada

A base de cálculo da energia assegurada nos sistemas está calcada nas vazões críticas do sistema, cujos valores são provenientes da série de vazões afluentes ao empreendimento. Assim, o impacto causado pela regularização de vazões e/ou captações para uso consuntivo pode ser obtido por meio da comparação entre as energias obtidas para a série de vazões naturais e para a série de vazões modificada.

O cálculo da potência de um empreendimento hidrogerador tem como ponto de partida a potência instantânea natural disponível em uma determinada seção fluvial, podendo ser calculada pela EQ. 5.2.

$$P = \gamma \times \eta \times h \times Q \quad (5.2)$$

Na qual,

P é a potência disponível ou capacidade instantânea de produção de energia elétrica [W];

γ é uma constante que depende da aceleração da gravidade e da massa específica da água [kg/s².m²];

η é o rendimento do grupo turbina-gerador (valor médio sobre todas as unidades) [adimensional];

h é a altura de queda líquida máxima, correspondente à diferença entre os níveis de montante e de jusante, menos as perdas médias por atrito na tubulação [m];

Q é a vazão máxima passível de ser turbinada pelo conjunto de unidades geradoras [m^3/s].

O cálculo da potência instalada é dependente dos valores de h e Q e podem variar significativamente com o tempo e com a operação da usina. Assim, a potência a ser instalada pode ser calculada segundo a EQ. 5.3:

$$PI = K \times \eta \times h_{ref} \times Q_{ref} \quad (5.3)$$

Na qual:

PI é a potência instalada [W];

h_{ref} é a altura de queda líquida usada como referência para o projeto da turbina, para a qual o rendimento da turbina será máximo [m];

Q_{ref} é a vazão turbinada de referência [m^3/s].

A capacidade de produção de energia elétrica está limitada à potência efetiva total dos geradores e, em períodos específicos, pode ser reduzida pela indisponibilidade forçada e/ou programadas de unidades geradoras. Assim, a potência disponível média é calculada de acordo com a EQ. 5.4:

$$PD_{med} = fd_{med} \times PI \quad (5.4)$$

Na qual,

PD_{med} é a potência média disponível ou capacidade média de geração [MW];

fd_{med} é o fator de disponibilidade média das unidades geradoras [adimensional]

O cálculo da energia produzida ao longo de um determinado período é dependente da evolução dos parâmetros h e Q na mesma base temporal. Entretanto, pode-se utilizar valores médios para os parâmetros η , h e Q e admitir uma potência efetiva média constante ao longo do período. Nesse caso o cálculo da energia média pode ser efetuado pela EQ. 5.5.

$$E = n \times fp \times fd_{med} \times PI \quad (5.5)$$

Na qual,

E é a energia média gerada ao longo do período [MWh];

n é o número de horas do período [h];

f_p é o fator de permanência, que reflete a disponibilidade média anual de vazão e queda líquida na usina através do produto ($h \times Q$) para a produção de energia elétrica [adimensional].

A energia firme de um empreendimento hidrelétrico corresponde à máxima produção contínua de energia que pode ser obtida, supondo a ocorrência da sequência mais seca registrada no histórico de vazões do curso de água em que está instalado. Desta forma, a partir da EQ. 5.5 pode-se definir a energia firme de acordo com a EQ. 5.6.

$$EF = n \times f_{p_{crit}} \times f_{d_{med}} \times PI \quad (5.6)$$

Na qual,

EF é a energia firme [MWh];

$f_{p_{crit}}$ é o fator de permanência crítico, que é computado ao longo do período crítico do sistema de referência [adimensional].

Adicionalmente, a EQ. 5.6 pode ser usada para calcular o fator de capacidade f_c do empreendimento, de acordo com a EQ. 5.7.

$$f_c = \frac{EF}{n \times PI} = f_{p_{crit}} \times f_{d_{med}} \quad (5.7)$$

Substituindo a EQ. 5.3 na EQ. 5.6, tem-se então a EQ. 5.8 para o cálculo da energia firme (EF):

$$EF = n \times f_{p_{crit}} \times f_{d_{med}} \times K \times \eta \times h_{ref} \times Q_{ref} \quad (5.8)$$

De posse da energia firme é possível calcular a energia garantida do sistema que representa a máxima produção de energia que pode ser mantida quase que continuamente pelos empreendimentos ao longo dos anos admitindo o risco de não atendimento de 5%. Ou seja, por definição a energia garantida pode ser assumida como sendo 95% da energia firme.

Desse modo, a determinação da energia garantida independe da geração real e está associada às condições, a longo prazo, que cada usina pode fornecer ao sistema, assumindo um critério específico de risco do não atendimento do mercado (déficit), considerando principalmente a variabilidade hidrológica à qual a usina está submetida. Nos cálculos da energia assegurada, são desconsiderados os períodos em que a usina permanece sem produzir energia por motivo de manutenções programadas e paradas de emergência.

A energia assegurada, utilizada como referência nos contratos de compra e venda, é calculada a partir da energia garantida, na qual deve-se subtrair a taxa equivalente de indisponibilidade forçada, consumo próprio e reserva de potência conforme a EQ. 5.9.

$$EA = PI \times t \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) \quad (5.9)$$

Na qual,

EA é a energia assegurada [MWh];

TEIF é a taxa equivalente de indisponibilidade forçada [adimensional];

IP é a indisponibilidade programada [adimensional].

Assim, o impacto decorrente da redução de vazões devido ao uso consuntivo a montante do local em que está implantado o empreendimento hidrelétrico pode ser obtido pela diferença entre as energias asseguradas calculadas utilizando as vazões naturais do curso de água e após a subtração da vazão captada.

5.3 Impacto econômico

Uma vez que as concessionárias do setor elétrico são responsáveis pela garantia do abastecimento de energia elétrica com continuidade e qualidade satisfatória, é necessária a cobrança de tarifas com capacidade de abranger os custos decorrentes desde a geração da energia até a disponibilização para o consumidor final.

Por se tratar de um insumo essencial no dia a dia da sociedade, a ANEEL é órgão federal responsável por regulamentar as tarifas de energia elétrica visando promover o equilíbrio entre o interesse público e o econômico-financeiro das concessionárias que prestam os serviços de geração e transmissão de energia.

A tarifa de energia elétrica é a composição de valores calculados que representam cada parcela dos investimentos e operações técnicas realizados pelos agentes da cadeia de produção e da estrutura necessária para que a energia possa ser utilizada pelo consumidor. Basicamente, é representada pela soma de todos os componentes do processo industrial de geração, transporte (transmissão e distribuição) e comercialização de energia elétrica, acrescidos os encargos direcionados ao custeio da aplicação de políticas públicas. (ANEEL, 2007)

Entre outros objetivos, os custos que compõe a tarifa de energia elétrica visa principalmente:

- Garantir o fornecimento de energia elétrica;
- Assegurar aos prestadores de serviços ganhos suficientes para cobrir os custos operacionais eficientes;
- Remunerar adequadamente os investimentos imprescindíveis para a expansão da capacidade;
- Assegurar a qualidade de atendimento.

A receita inicial das concessionárias de distribuição é dividida em duas parcelas, sendo a **Parcela A** composta pelos “custos não gerenciáveis” que são: (i) a Compra de Energia; (ii) os Custos de Transmissão (transporte de energia) e; (iii) os Encargos setoriais. Estes são custos cujo montante e variação não estão sob o domínio ou influência da concessionária.

A **Parcela B** refere-se aos “custos gerenciáveis”, correspondente aos custos próprios da atividade de distribuição e de gestão comercial dos clientes, que estão sujeitos ao controle ou influência das práticas gerenciais adotadas pela concessionária, ou seja, distribuição de energia, manutenção da rede, cobrança das contas, centrais de atendimento e remuneração dos investimentos.

A FIG. 5.1 apresenta a composição da tarifa de energia do serviço de distribuição

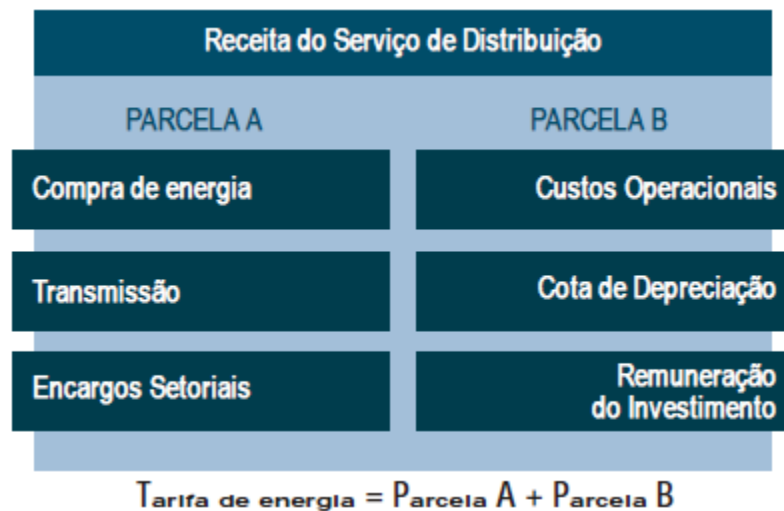


Figura 5.1 – Composição da tarifa de energia

Fonte: ANEEL, 2007

Segundo disposição da ANEEL, os consumidores são identificados, para efeito da aplicação das tarifas, por classes e subclasses de consumo em:

- Residencial;
- Industrial;
- Comercial, serviços e outras atividades (e.g. serviços de transporte, comunicação, telecomunicação e outros afins);
- Rural;
- Poder Público (e.g. atividades do Poder Público – esferas federal, estadual e municipal);
- Iluminação Pública;
- Serviço Público (e.g. água, esgoto e saneamento);
- Consumo Próprio (fornecimento destinado ao consumo de energia elétrica da própria empresa de distribuição).

Geralmente, as tarifas de fornecimento de energia elétrica são definidas com base na demanda de potência e no consumo efetivo, denominada também como estruturação tarifária binômia.

A demanda de potência é medida e expressa em kW e corresponde à potência elétrica solicitada pelo consumidor à empresa distribuidora durante o período de fornecimento

mensal. O consumo efetivo é medido em termos de energia e expresso em kWh, o qual corresponde ao real consumo ao longo do período faturado.

Assim, a receita proveniente da geração está ligada diretamente à quantidade de energia produzida por unidade de tempo, ou seja, corresponde ao produto entre a energia produzida e a tarifa vigente (EQ. 5.10).

$$REC = EA \times TAR \quad (5.10)$$

Na qual;

REC é a receita [R\$];

EA é a energia assegurada [kWh];

Tar é a tarifa [R\$/kWh].

Por outro lado a quantidade de energia produzida está relacionada com a potência instalada, que é diretamente proporcional aos fatores de rendimento do conjunto gerador, altura de queda e vazão (ver EQ. 5.2).

Nesse sentido, pode-se afirmar que a energia deixada de ser produzida devido à redução da vazão representa em perdas financeiras para a concessionária, sugerindo a existência de impacto econômico na receita total.

6. ESTUDO DE CASO: PCH BICAS

6.1 *Seleção da área de estudo*

Em virtude do grande número de empreendimentos energéticos que se enquadram na modalidade de PCH, a seleção da área para a realização do estudo de caso buscou identificar um aproveitamento implantado em bacia hidrográfica que possua potencial para o desenvolvimento de atividades que demandem o uso “consuntivo” de água, incluindo as atividades minerárias.

Para tanto, foi realizada uma pesquisa junto à ANEEL para identificação das bacias hidrográficas com elevado índice de empreendimentos em fase de estudo, inventário ou que se encontram em operação.

Paralelamente, buscou-se junto ao banco de dados dos órgãos federais e estaduais gestores dos recursos hídricos as regiões com alto número de solicitações de processos de outorga, com foco principal para aquelas cuja a modalidade está inserida como uso consuntivo.

O empreendimento selecionado que atende às premissas e critérios foi a PCH Bicas, implantada no rio Gualaxo do Norte e cuja área de drenagem possui usuários outorgados com diversas finalidades, incluindo atividades de mineração.

A bacia do rio Gualaxo do Norte localiza-se na parte alta da bacia hidrográfica do rio Doce com nascente localizada nas proximidades da serra do Espinhaço, município de Mariana-MG. O curso de água principal se desenvolve predominantemente no sentido oeste-leste por uma extensão aproximada de 78 km desde a nascente até a seção de implantação da PCH, abrangendo uma área de drenagem de 197 km² que se desenvolve parcialmente nos municípios de Barra Longa, Mariana e Ouro Preto.

A FIG. 6.1 apresenta a localização da área de abrangência dos estudos com a indicação das seção fluvial de implantação da PCH Bicas.

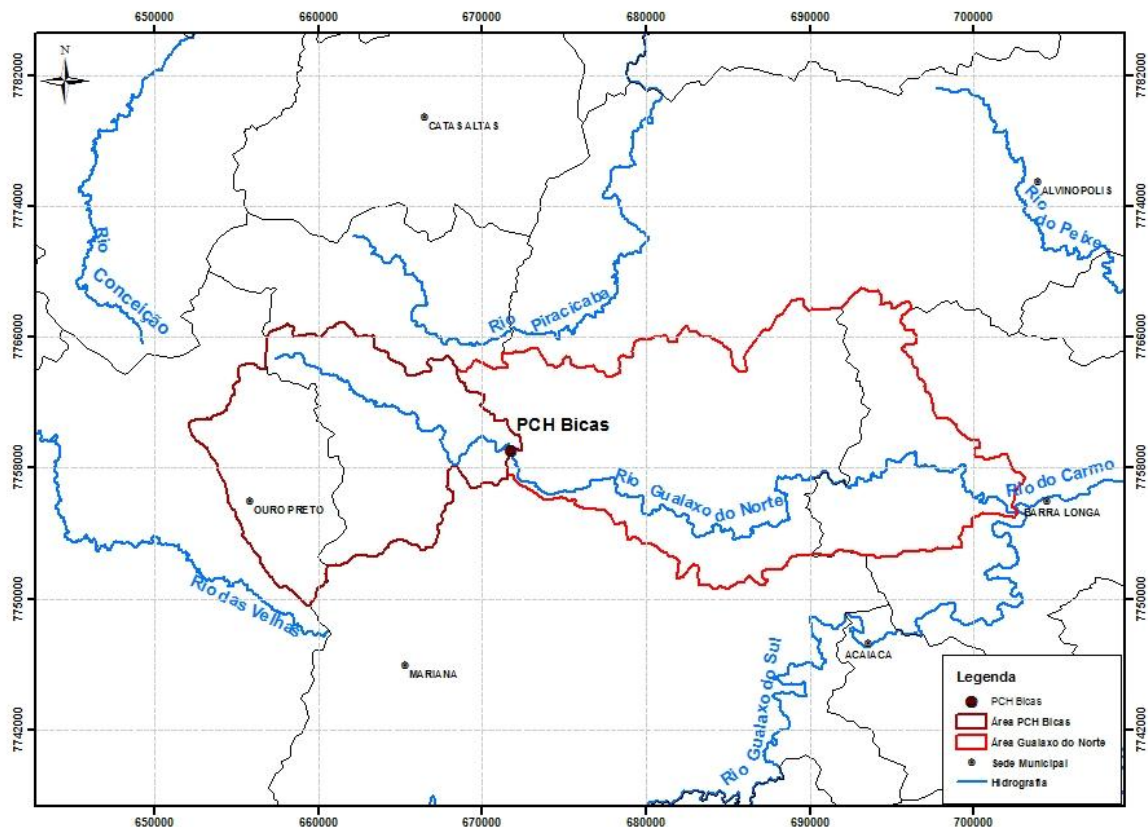


Figura 6.1 – Área de interesse

6.2 Histórico e características do aproveitamento hidrelétrico

Em 1940 foi concedido à empresa Companhia Minas da Passagem, por meio do Decreto n° 5.500 de 10 de abril de 1940, por um período de 30 anos, o aproveitamento da energia hidráulica da cachoeira denominada Bicas, situada no rio Gualaxo do Norte na seção de coordenadas geográficas 20° 15' 15" S e 43° 21' 15" W, distrito de Camargos e município de Mariana – MG. Posteriormente, o Decreto n° 79.875, datado de 27 de junho de 1977, prorrogou o prazo da concessão por mais 30 anos.

O empreendimento iniciou a operação comercial no ano de 1942 com a partida das unidades geradoras n.º 1, n.º 2 e n.º 3. No ano de 1959 a usina foi repotenciada e entrou em operação a unidade geradora n.º 4, cuja capacidade instalada total é de 1.560 kW.

Segundo informações obtidas junto ao Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro - SIPOT (ELETROBRAS, 2007), a PCH Bicas opera no sistema a fio d'água, ou seja, não possui reservatório para regularização de vazões, com altura de queda bruta de 43 m entre os níveis normais de água a montante e a jusante.

De acordo com a Resolução Homologatória da ANEEL nº 106, de 20 de Abril de 2004, a energia assegurada é de 1,23 MW para sua participação no Mecanismo de Relocação de Energia – MRE.

6.3 Usuários outorgados na bacia hidrográfica

Para que seja avaliado corretamente o impacto na geração de energia elétrica decorrente da diminuição da vazão causada por captações superficiais, é necessário conhecer todas as derivações para usos consuntivos a montante do empreendimento.

Entretanto, para que sejam conhecidas todas as derivações a montante é necessário realizar o cadastramento de usuários na bacia, que além de ser uma tarefa onerosa e que demanda bastante tempo, torna-se complexa uma vez que alguns usuários operam as captações de forma intermitente e podem omitir informações com receio de serem cobrados pelo consumo.

Assim, admitiu-se a hipótese que as derivações na bacia correspondem somente àquelas que possuem processo de outorga junto ao órgão gestor dos recursos hídricos.

A TAB. 6.1 apresenta as outorgas superficiais localizadas na área de abrangência dos estudos, indicando o número e ano da portaria, o requerente, a finalidade de uso, as coordenadas, a vazão outorgada e a validade com base no levantamento feito no Instituto Mineiro de Gestão de Águas – IGAM, em consulta ao endereço eletrônico em junho de 2011.

Apesar de algumas outorgas sugerirem estar com o prazo de validade vencido, foram consideradas válidas pelo fato dos processos de renovação de outorga ter prazo dilatado para análise e publicação, dificultando atestar sobre a sua validade.

Tabela 6.1 – Outorgas superficiais na área de interesse

Índice	Portaria /Ano	Requerente	Finalidade de Uso	Coordenadas	Vazão Outorgada (m³/h)	Modalidade de Captação	Validade (anos)
1	1230 / 2004	PREFEITURA MUNICIPAL DE MARIANA	Consumo industrial e humano	20°18'57"S 43°27'07"W	4,68	Fio d'água	20
2	2453 / 2004	VALE S.A.	Consumo industrial	20°16'14"S 43°29'38"	396	Com Barramento	5
3	2454 / 2004	VALE S.A.	Consumo humano	20°16'28" S 43°30'51"	10,08	Fio d'água	5
4	1755 / 2005	SAMARCO MINERAÇÃO S.A.	Consumo industrial	20°14'23"S 43°24'22"W	1350	Fio d'água	5
5	1115 / 2006	SAMARCO MINERAÇÃO S.A.	Recirculação de Água	20°13'50"S 43°26'32" W	1000,8	Com Barramento	5
6	27 / 2008	PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO	Abastecimento público	20°19'09"S 43°28'42"W	73,8	Com Barramento	20
7	1940 / 2010	SAMARCO MINERAÇÃO S.A.	Disposição de rejeitos	20°12'49"S 43°28'08"W	0,00	Com Barramento	5

Fonte: ANA, 2011

Ressalta-se que as outorgas com índice 5 e 7 não foram utilizadas nos estudos por não se configurarem como uso consuntivo de água, haja vista que não implicam em supressão de água da bacia.

Na TAB. 6.1 pode-se observar que o valor outorgado para utilização na indústria da mineração é de 1756 m³/h, representando aproximadamente 96% do total outorgado na bacia. Porém, descontando os usos que não se configuram como uso consuntivo e as outorgas em captações com reservatório de regularização a demanda é reduzida para 1350 m³/h.

A posição relativa dos usos consuntivos outorgados na bacia do rio Gualaxo do Norte até a seção fluvial da PCH Bicas está apresentado na FIG. 6.2.

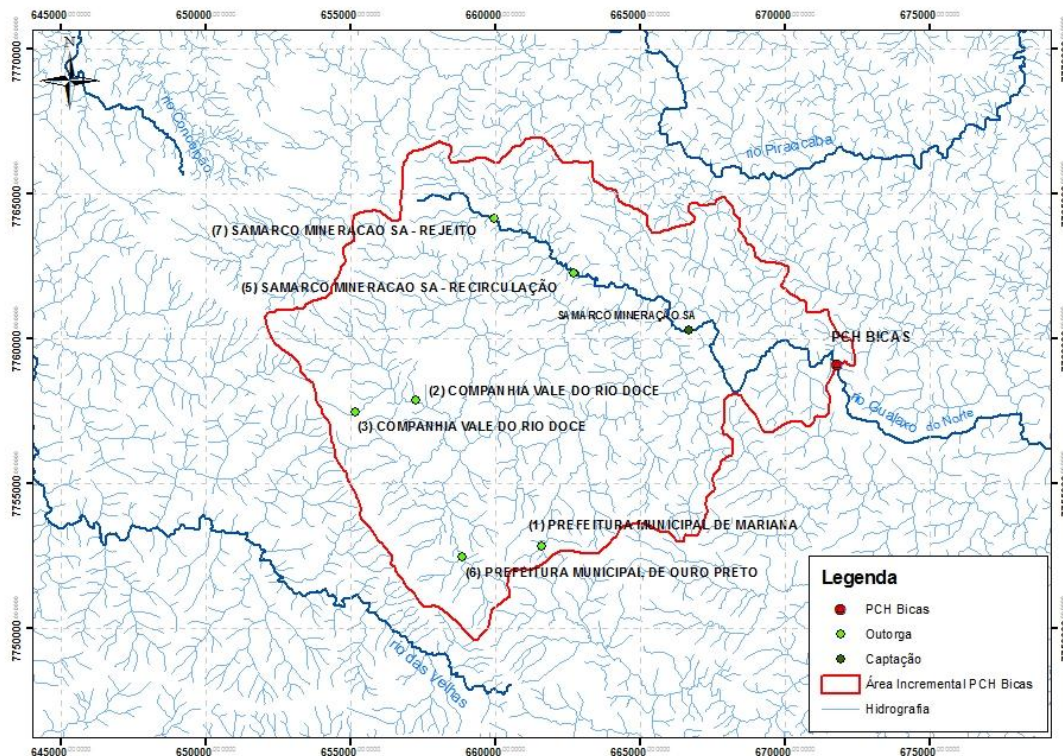


Figura 6.2 – Pontos outorgados na bacia do rio Gualaxo do Norte até a PCH Bicas

6.4 Estudos hidrológicos

Os estudos hidrológicos foram desenvolvidos para determinar a série de vazões médias afluente ao empreendimento, utilizada como referência no cálculo das energias firme, garantida e assegurada.

Pelo fato do empreendimento ter sido implantado na década de 1940, período na qual a legislação não demandava estudos mais elaborados, não foi possível obter a série oficial de vazões do empreendimento junto à ANEEL. Assim, optou-se por desenvolver estudos de regionalização de vazões de forma a calcular a série afluente. Os principais passos metodológicos aplicados no estudo de regionalização foram:

- Passo 1: Seleção de estação fluviométrica considerada representativa para a área de interesse e obtenção da série mensal de dados;
- Passo 2: Análise dos dados a fim de detectar possíveis “outliers” ou falhas e realização de consistência;
- Passo 3: Obtenção da série adimensional, através da divisão dos valores médios mensais pela vazão média de longo termo da estação, conforme EQ. 6.1;

$$Q_{ADM} = \frac{Q_{Estação}}{Q_{MLT_Estação}} \quad (6.1)$$

Na qual,

Q_{ADM} é a vazão adimensional;

$Q_{Estação}$ é a vazão média mensal na estação de referência [m^3/s];

$Q_{MLT_Estação}$ é a vazão média de longo termo da estação de referência [m^3/s].

- Passo 4: Obtenção da série de aflúências médias mensais no local da PCH, a partir do produto entre os valores adimensionais e a estimativa da Q_{MLT} do local (EQ. 6.2).

$$Q_{Local} = Q_{ADM} * Q_{MLT_Local} \quad (6.2)$$

Na qual:

Q_{Local} é a vazão média mensal no local da PCH [m^3/s];

Q_{ADM} é o valor adimensionalizado [adimensional];

Q_{MLT_Local} é a estimativa da vazão média de longo termo da seção de referência [m^3/s].

A estação fluviométrica selecionada como representativa foi Fazenda Ocidente (código ANA - 56337000) pelo fato de a estação estar localizada no mesmo curso de água do aproveitamento, possuir série extensa consistida (entre os anos de 1938 e 2010) e com poucos meses de falhas. O preenchimento das falhas foi feito utilizando o valor médio mensal do histórico.

Segundo as equações acima, as variáveis necessárias para a obtenção da série de vazões regionalizadas consistem nas vazões da estação, vazão média de longo termo da estação e vazão média de longo termo no local da PCH, sendo as duas primeiras obtidas diretamente da estação fluviométrica de referência e a vazão média de longo termo no eixo da PCH obtida utilizando três metodologias distintas de regionalização.

6.4.1 Metodologia do balanço hídrico

Nesta metodologia, a estimativa da vazão média de longo termo baseou no cálculo indireto de deflúvio, utilizando a equação simplificada do balanço hídrico entre a precipitação anual e as perdas médias na bacia, que incluem a evapotranspiração, retenções e percolação para

camadas mais profundas do subsolo que não contribuem com o fluxo de base dos cursos de água.

A estimativa das perdas anuais médias foi baseada nos dados da estação fluviométrica considerada representativa, cujas informações são apresentadas na TAB. 6.2. A variável Q_{MLT} indica a vazão média de longo termo da estação; q_{MLT} , a vazão específica da bacia média de longo termo; P, a precipitação média anual e; D, o deflúvio médio anual.

Tabela 6.2 – Análise de deflúvio da estação de referência

Código ANA	Nome Estação	Curso de Água	Área de Drenagem (km ²)	Q_{MLT} (m ³ /s)	q_{MLT} (L/s.km ²)	P (mm)	D (mm)	Perdas (mm)	Perdas (%)
56337000	Fazenda Ocidente	Rio Gualaxo do Norte	529	12,84	24,27	1605	765	840	52,3

Obs: Período de dados: 1938 a 2010

As precipitações médias anuais nas bacias hidrográficas foram calculadas por meio do mapa isoietas construídas com as precipitações médias anuais de estações pluviométricas regionais, sendo a metodologia e o mapa de isoietas apresentada no Apêndice A.

Admitiu-se como representativo para a bacia hidrográfica da PCH Bicas o mesmo percentual de perdas observado na estação Fazenda Ocidente, cujas perdas correspondem a 52,3 % da precipitação média anual. A TAB. 6.3 apresenta o valor de vazão média de longo termo obtido para a seção fluvial de interesse com a aplicação dessa metodologia.

Tabela 6.3 – Vazão Média de Longo Termo – Balanço Hídrico Regional

Seção de Referência	Área de Drenagem (km ²)	Q_{MLT} (m ³ /s)	q_{MLT} (L/s.km ²)	P (mm)	D (mm)	Perdas (mm)	Perdas (%)
PCH Bicas	197,4	5,35	27,08	1791	854	937	52,3

A série de vazões médias mensais regionalizadas pela metodologia do balanço hídrico está apresentada no Apêndice B.

6.4.2 Metodologia da curva regional de vazão média de longo termo

A definição da variável de regionalização foi obtida por correlação com as variáveis de outras estações fluviométricas em bacias contíguas à do rio Gualaxo do Norte. A estação

denominada Bicas encontra-se no rio Gualaxo do Norte e próxima ao empreendimento, entretanto, está desativada e possui apenas 3 anos de registro, sendo desprezada nos estudos.

A metodologia consiste em estabelecer uma correlação matemática entre as vazões médias de longo termo e respectiva área de drenagem para todas as estações consideradas representativas para a área de estudo, como forma de se obter a curva regional de vazão média de longo termo. A TAB. 6.4 lista as estações fluviométricas utilizadas com os respectivos valores de vazão média de longo termo (Q_{MLT}) e a FIG. 6.3 apresenta a localização das estações em relação à área de estudo.

Tabela 6.4 – Estações fluviométricas selecionadas na área de abrangência dos estudos

Código	Estação	Curso de Água	Área de Drenagem (km ²)	Período de Dados	Q_{MLT} (m ³ /s)	Coordenadas		Entidade responsável
						Latitude	Longitude	
56148000	Furquim	Ribeirão do Carmo	305	09/34 a 02/72	9,97	20°22'00"	43°12'00"	ANA
56155000	Limoeiro	Córrego Cuiabá	13	02/40 a 12/54	1,13	20°32'00"	43°39'00"	ANA
56170000	Vargem do Tijucal	Rib. da Cachoeira	56	08/38 a 12/54	5,04	20°29'00"	43°33'00"	ANA
56182000	Chapada	Ribeirão Falcão	48	07/39 a 12/65	0,920	20°26'00"	43°34'00"	ANA
56240000	Fazenda Paraíso	Rio Gualaxo do Sul	855	06/30 a 10/10	20,0	20°23'15"	43°10'59"	ANA
56335000	Acaiaca	Rio Gualaxo do Sul	1330	09/40 a 12/75	31,8	20°21'00"	43°08'00"	ANA
56335001	Acaiaca - Jusante	Rio do Carmo	1370	07/75 a 10/10	31,6	20°21'41"	43°08'22"	ANA
56337000	Fazenda Ocidente	Rio Gualaxo do Norte	529	06/38 a 09/10	12,9	20°16'02"	43°06'03"	ANA

Fonte: ANA, 2011

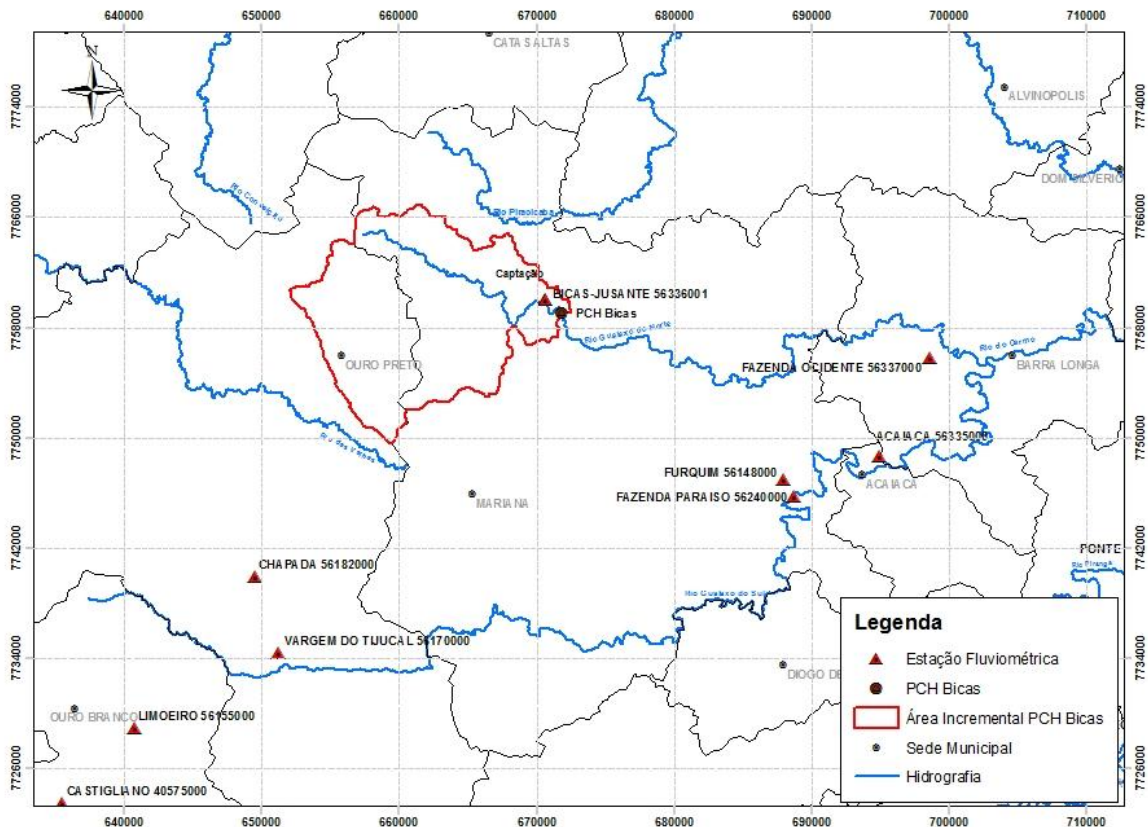


Figura 6.3 – Localização das estações fluviométricas

Para as estações selecionadas as relações regionais entre vazões médias de longo termo e áreas de drenagem apresentaram boa correlação com o ajuste linear, sendo o resultado apresentado na FIG. 6.4.

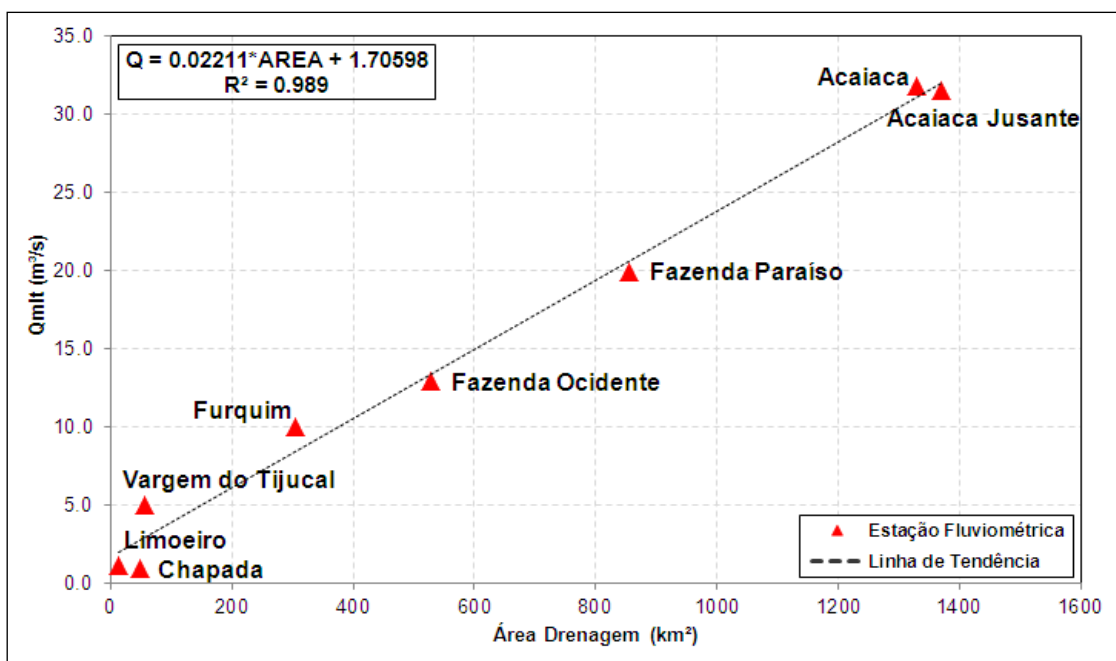


Figura 6.4 – Curva Regional de Vazão Média de Longo Termo

De posse da área de drenagem na seção fluvial da PCH Bicas (197,4 km²) e da equação do ajuste apresentado na FIG. 6.4 obteve-se o valor de 6,07 m³/s de vazão média de longo termo na referida seção. A série de vazões médias mensais regionalizadas pela metodologia da curva regional encontra-se no Apêndice C.

Nota-se que os valores obtidos para a vazão média de longo termo nas duas metodologias possuem a mesma ordem de grandeza, com diferença inferior a 12%.

6.5 Estudos energéticos

Os estudos energéticos foram desenvolvidos com o objetivo de quantificar os impactos na energia assegurada da PCH Bicas decorrentes das captações superficiais consuntivas realizadas a montante do aproveitamento hidrelétrico, em especial as captações para usos industriais em mineração.

6.5.1 Metodologia

Inicialmente admitiu-se que as séries de vazões afluentes obtidas segundo as metodologias de regionalização apresentadas no Item 6.4 correspondem a vazões naturais, ou seja, não possuem interferência de captações a montante. Essa hipótese foi necessária para que exista uma base de comparação.

Na sequência, foram obtidas as séries de vazões incorporando a influência das captações consuntivas a montante, cuja obtenção se deu pela subtração dos valores outorgados nas séries naturais. Para mensuração do impacto das captações decorrentes da mineração e de terceiros, duas séries foram obtidas, sendo a primeira por meio da subtração da série natural o somatório das outorgas de montante e a segunda subtraindo apenas as outorgas de terceiros, sem considerar a mineração. A diferença de vazão entre as duas séries foi considerada como sendo igual ao impacto causado exclusivamente pela mineração.

Para o cálculo das energias firme, garantida e assegurada no estudo hidroenergético, além das características do aproveitamento e da série de vazões afluentes, é necessário definir o período de análise ou período crítico, no qual ocorre a menor geração de energia.

Segundo estabelecido pelo Ministério de Minas e Energia MME (2004), para os sistemas geradores integrantes do SIN, considera-se como período crítico para a região Sudeste o período compreendido entre junho de 1949 e novembro de 1956.

Entretanto, alguns empreendimentos podem trabalhar de forma isolada, não participando do SIN e com autonomia para comercializar de maneira independente a energia gerada. Nestes casos, o período crítico pode ser diferente do setor elétrico e deve ser analisado de forma particular, uma vez que depende de fatores locais como clima, topografia, geologia *etc.*

A fim de se obter uma base de comparação, o cálculo da energia gerada foi realizado para diferentes cenários em termos de período crítico, conforme a seguir:

- **Cenário 1** – Período crítico oficial utilizado pelo setor elétrico, ou seja, entre junho de 1949 e novembro de 1956;
- **Cenário 2** – Período compreendendo a série completa de dados consistidos, ou seja, de janeiro de 1939 a dezembro de 2005. Este intervalo caracteriza a possibilidade de geração média ao longo de todo o histórico;
- **Cenário 3** – Intervalo de 4 (quatro) anos completos e consecutivos ao longo da série de dados consistidos no qual foi registrado o menor histórico de vazões médias. A utilização deste cenário se justifica pelo fato de que alguns contratos entre geradores e consumidores apresentam, em média, duração de 4 anos. Foi observado nas séries de vazões que o período crítico neste cenário ocorreu entre os anos de 1968 e 1971.

6.5.2 Variáveis consideradas

Para efeito de caracterização do potencial de geração de energia da PCH Bicas, considerando os cenários relativos ao período crítico de geração apresentados, foram calculadas as seguintes variáveis, as quais estão apresentadas na sequência: vazão de engolimento (Q_e), déficit na geração, energia firme, energia garantida e energia assegurada.

Vazão de Engolimento

Esta variável é importante para o cálculo da energia gerada pois caracteriza a vazão máxima necessária para geração da energia instalada, cuja estimativa foi realizada pela EQ. 6.3.

$$Q_e = \frac{P_{\max}}{9,81 \times h \times \eta} \quad (6.3)$$

Na qual:

Q_e é a vazão de engolimento das tubulações [m^3/s];

P_{\max} é a potência máxima instalada no empreendimento [kW];

h é a altura líquida de queda [m];

η é o rendimento dos equipamentos [%].

É importante observar que mesmo para a série de vazão natural não é possível gerar a energia instalada em 100% do tempo, pois ocorrem meses em que a vazão afluyente é inferior à vazão de engolimento, o que ocasiona redução na energia gerada.

Déficit na Geração

O déficit na geração de energia, dado em porcentagem, pode ser calculado pela relação entre a vazão média afluyente ao reservatório (EQ. 6.4) e a vazão máxima de engolimento:

$$Q_m = \left(\begin{array}{l} n \\ \sum Q \\ 1 \\ n \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} \text{Se } Q \leq Q_e = Q; \\ \text{Se } Q > Q_e = Q_e. \end{array} \quad (6.4)$$

Na qual,

Q_m é a vazão média [m^3/s];

Q é a vazão mensal da série de vazões no período de análise [m^3/s];

Q_e é a vazão de engolimento [m^3/s];

n é o número de meses do período de análise [adimensional].

Energia Firme, Energia Garantida e Energia Assegurada

De posse da vazão média nos períodos, calculou-se a energia firme para as séries naturais e após as captações para uso consuntivo, correspondente à máxima produção contínua que pode ser obtida considerando a ocorrência do registro histórico de vazões. Pelo fato do empreendimento não possuir reservatório de regularização e ter altura de queda constante, o cálculo pode ser feito conforme EQ. 6.5.

$$E_F = EI \times (100 - Def) \quad (6.5)$$

Na qual,

E_F = é a energia firme no período [kWh];

EI é a energia instalada [kWh];

Def é o déficit na geração [%].

Por definição, a energia garantida corresponde a 95% da energia firme e a energia assegurada pode ser calculada a partir da energia garantida, subtraindo a taxa equivalente de indisponibilidade forçada, consumo próprio e reserva de potência.

Admitiu-se uma indisponibilidade forçada de 3%, consumo próprio de 2% e reserva de potência nula, sendo esta última com base na portaria n° 303 do Ministério de Minas e Energia, o que confere a energia assegurada o valor de 95% da energia garantida.

A diferença entre as energias asseguradas obtidas para as séries natural e a série alterada pelas captações equivale ao impacto na energia gerada ocasionado pela captação consuntiva realizada a montante.

O impacto econômico para um determinado ano pode ser obtido por meio da multiplicação da energia deixada de ser gerada naquele ano pelo valor da tarifa. Em longo prazo os custos devem ser corrigidos em função de taxas de retorno de capital, assim, para evitar estas distorções, os valores são trazidos a valor presente.

6.5.3 Impacto na geração de energia

O cálculo foi realizado considerando as seguintes características da PCH Bicas:

- Potência instalada: 1,56 MW;
- Altura de queda: 43 m;
- Somatório das outorgas consuntivas de montante: 1836 m³/h ou 0,51 m³/s;
- Outorga de captação para mineração na modalidade a fio d'água: 1350 m³/h ou 0,375 m³/s;
- Q_{MLT} obtida por Balanço Regional: 5,35 m³/s;

- Q_{MLT} por Curva Regional: 6,07 m³s.

Aplicando-se a EQ. 6.3 e admitindo-se rendimento dos equipamentos de 84%, obtém-se a vazão de engolimento de 4,40 m³/s, ou seja, mesmo que as vazões afluentes sejam superiores não existe possibilidade de acréscimo na energia gerada. A TAB. 6.5 apresenta os valores de vazões médias para as séries de vazões segundo as metodologias de regionalização nos respectivos cenários. O rendimento de 84% é obtido mediante a composição dos rendimentos adotados para as turbinas hidráulicas (91%) do sistema de adução (95%) e do rendimento elétrico do sistema (97%).

Tabela 6.5 – Vazões médias (m³/s)

Metodologia	Cenário 1 (06/1949-11/1956)			Cenário 2 (01/1939-12/2005)			Cenário 3 (01/1978-12/1971)		
	Série Natural	Todas Outorgas	Outorgas Terceiros	Série Natural	Todas Outorgas	Outorgas Terceiros	Série Natural	Todas Outorgas	Outorgas Terceiros
Balanço Hídrico Curva Regional	4,04	3,77	3,97	3,83	3,55	3,76	3,38	3,01	3,29
	4,22	4,03	4,18	4,03	3,80	3,98	3,64	3,30	3,56

Com os valores de vazão média e vazão de engolimento é possível obter o déficit na geração de energia e conseqüentemente a energia firme (EQ. 6.5). A partir desta, obtêm-se os valores de energia garantida e de energia assegurada. A TAB. 6.6 e a TAB. 6.7 apresentam os valores de energia assegurada e a diferença percentual em relação à série natural, respectivamente.

Tabela 6.6 – Energia Assegurada (kWh)

Metodologia	Cenário 1 (06/1949-11/1956)			Cenário 2 (01/1939-12/2005)			Cenário 3 (01/1978-12/1971)		
	Série Natural	Todas as Outorgas	Outorgas Terceiros	Série Natural	Todas as Outorgas	Outorgas Terceiros	Série Natural	Todas as Outorgas	Outorgas Terceiros
Balanço Hídrico Curva Regional	1292	1207	1271	1226	1137	1204	1082	962	1051
	1350	1289	1337	1290	1216	1272	1166	1057	1138

Tabela 6.7 – Diferença percentual na energia assegurada (%)

Metodologia	Cenário 1 (06/1949-11/1956)			Cenário 2 (01/1939-12/2005)			Cenário 3 (01/1978-12/1971)		
	Todas as Outorgas	Outorgas Terceiros	Mineração	Todas as Outorgas	Outorgas Terceiros	Mineração	Todas as Outorgas	Outorgas Terceiros	Mineração
Balanço Hídrico Curva Regional	6,6	1,6	5,0	7,3	1,8	5,5	11,1	2,8	8,3
	4,5	1,0	3,5	5,7	1,4	4,3	9,4	2,3	7,1

Subtraindo os valores percentuais correspondentes a todas as outorgas daqueles somente de terceiros (TAB. 6.7), encontra-se o impacto decorrente exclusivamente do uso para mineração, cujos valores variam de 8,3% considerando o cenário 3 e a metodologia balanço hídrico de regionalização até 3,5% para o cenário 1 e metodologia da curva regional.

6.5.4 Impacto econômico

Admitiu-se que o impacto econômico refere-se ao custo da energia elétrica não gerada ou que, possivelmente poderia ter sido gerada caso não houvesse a diminuição da vazão afluyente decorrente da captação da mineração.

Assim, o impacto foi obtido adotando a metodologia descrita a seguir:

- Obtenção das diferenças entre as energias asseguradas das séries naturais e considerando todas as captações e somente terceiros;
- Caracterização dos períodos de análise dos estudos, ou seja, para qual período será calculado o impacto econômico;
- Definição das taxas anuais de retorno esperadas, admitindo constantes ao longo de todo o período de análise;
- Definição das tarifas de energia;
- Cálculo do valor econômico considerando a taxa de retorno e as tarifas sugeridas médias.

A diferença entre as energias asseguradas foram utilizadas como base na avaliação do impacto econômico pelo fato de ser a variável mercadológica que determina o limite da comercialização da energia elétrica das usinas, sendo obtida por meio da subtração entre os valores de energia das séries naturais e das séries subtraídas das captações consuntivas. Consideraram-se todas as outorgas e somente aquelas praticadas por terceiros, cujas diferenças encontram-se na TAB. 6.8.

Metodologia	Cenário 1 (06/1949-11/1956)			Cenário 2 (01/1939-12/2005)			Cenário 3 (01/1978-12/1971)		
	Todas	Outorgas	Mineração	Todas as	Outorgas	Mineração	Todas as	Outorgas	Mineração
	Outorgas	Terceiros		Outorgas	Terceiros		Outorgas	Terceiros	
Balanço Hídrico	85	21	64	89	22	77	120	30	90
Curva Regional	61	13	48	74	18	56	109	27	82

Pode-se observar na TAB. 6.8 que o maior déficit decorrente das captações de mineração ocorre no Cenário 3 para a metodologia do balanço hídrico, cujo valor é de 90 kWh e o menor ocorre no Cenário 1 para a metodologia da curva regional, com valor de 48 kWh.

Definição da Taxa de Juros e Taxa Interna de Retorno

As variáveis taxa de juros e taxa de retorno interno foram utilizadas no cálculo do impacto econômico e podem ser definidas como:

- **Taxa de Juros:** compensação paga pelo tomador do empréstimo para ter o direito de usar o dinheiro até o dia do pagamento. O credor, por outro lado, recebe uma compensação por não poder usar esse dinheiro até o dia do pagamento e por correr o risco de não receber o dinheiro de volta (risco de inadimplência);
- **Taxa Interna de Retorno:** taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa.

Analogamente para o caso em estudo, pode-se comparar o empréstimo ou investimento com o impacto econômico já concretizado ou que será ocasionado futuramente, oriundos da redução das vazões afluentes devido à captação para a indústria da mineração.

Assim, a taxa de juros foi utilizada visando corrigir os custos anuais da energia impactada desde 2008 até o presente ano (2012) e posteriormente para identificar o crescimento acumulado do impacto para os próximos 15 anos. O período de análise foi caracterizado de forma a isolar o impacto econômico já concretizado daquele ainda não ocorrido.

A taxa interna de retorno foi utilizada apenas no período futuro com a hipótese de indenizar antecipadamente, ou seja, custo no valor presente, para o impacto que ocorrerá nos próximos

15 anos. Esses dois períodos de análise foram definidos como Período 1 e Período 2, respectivamente.

Uma vez que a composição das taxas depende de fatores externos e variáveis como IOF, COFINS, Imposto de renda e outros, o estudo foi realizado para o intervalo variando entre 9% e 20% a.a., possibilitando flutuações nas taxas. Particularmente, foram calculados os custos para a taxa de 12% a.a., mais comumente empregada pelo mercado.

Definição da Tarifa

A tarifa de energia elétrica representa a soma de todos os custos componentes do processo industrial de geração, transporte (transmissão e distribuição) e comercialização, acrescidos ainda os encargos direcionados ao custeio da aplicação de políticas públicas. Pelo fato dos empreendimentos possuírem estruturas de custos e mercados diferentes e variáveis ao longo do tempo, não foi possível definir um valor de tarifa única para o empreendimento da PCH Bicas.

Assim, o estudo foi realizado para um valor fixo de R\$10,00/MWh de modo a permitir o cálculo para outras valores de modo simples e rápido, como abordado no próximo item. Particularmente, são apresentados os custos para os valores de R\$70,00/MWh e R\$150,00/MWh, sendo estes os valores mínimos e máximos esperados no mercado atual.

Resultados do Cálculo do Impacto Econômico

De posse das diferenças entre as energias asseguradas, valores de tarifa e taxas de retorno esperadas foi possível calcular o custo total do impacto para cada ano e corrigido ao valor presente conforme a EQ. 6.6.

$$CT = \sum_1^k Perda \times t \times tar \times (1 + taxa)^k \quad (6.6)$$

Na qual,

CT é o custo total no período [R\$];

Perda é a diferença na energia assegurada [kWh];

t é o número de horas operadas por ano [adimensional];

tar é a tarifa da energia gerada [R\$/kWh];

$taxa$ é a taxa de retorno do investimento [%];

k é o número de anos definido pela vida útil do projeto ou período de amortização do investimento [adimensional].

Conforme descrito, em virtude da possibilidade de variações no preço da tarifa e na taxa de retorno esperada a avaliação foi feita para taxa de retorno variando entre 9% e 20% ao ano e tarifa única de R\$10,00/MWh. A FIG. 6.5 até a FIG. 6.8 apresentam os resultados para o Período 1 (2008 e 2011) e Período 2 (2012 a 2027) de análise. Essas análises são feitas para cenários de maior impacto (intervalo de 4 anos mais críticos – cenário 3) e menor impacto (período crítico considerado pelo setor elétrico – cenário 1), respectivamente.

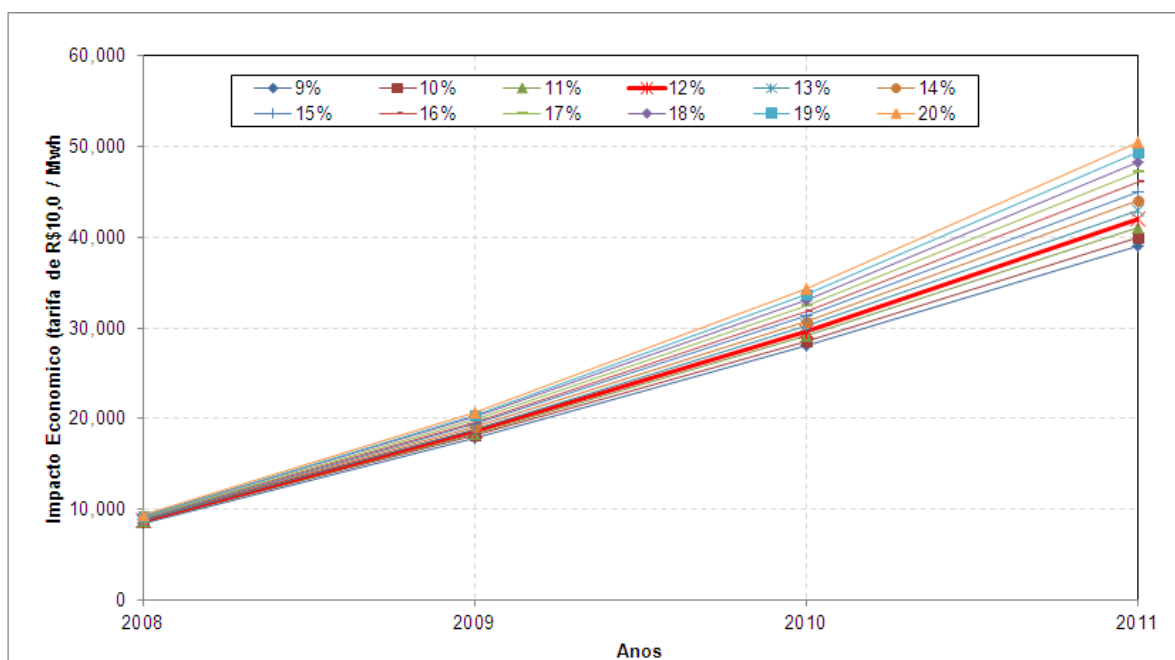


Figura 6.5 – Impacto econômico máximo acumulado causado no período 1 - 2008 e 2011 (R\$/ano) – referido ao Intervalo de 4 anos mais críticos – cenário 3

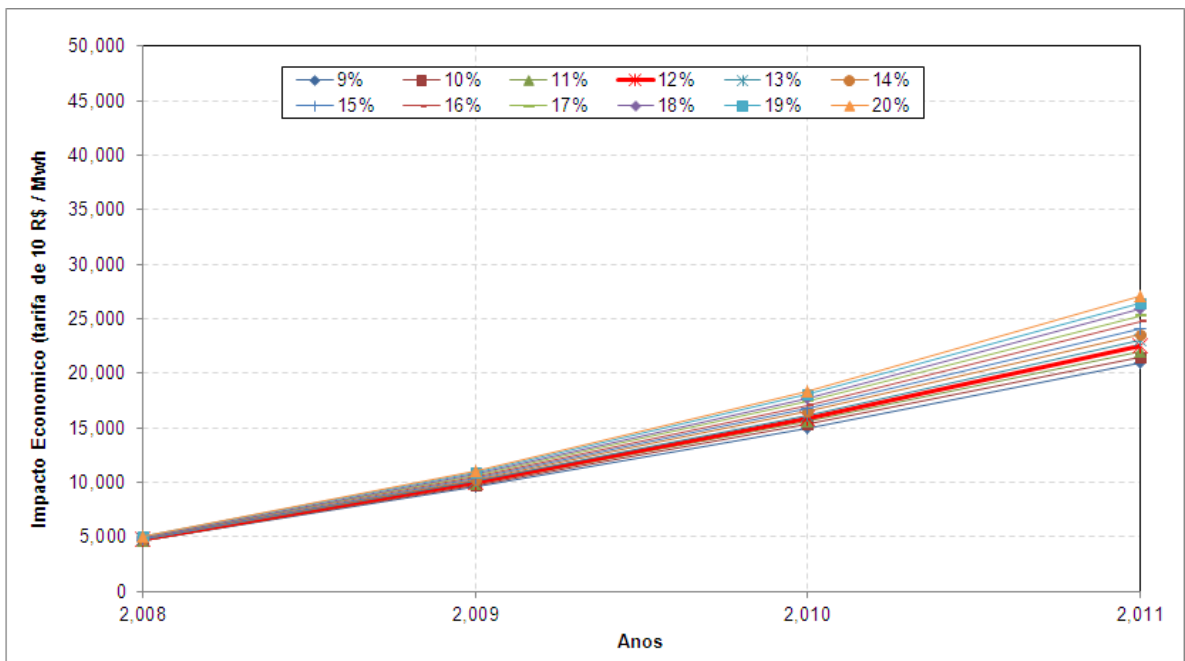


Figura 6.6 – Impacto econômico mínimo acumulado causado no período 1 - 2008 e 2011 (R\$/ano) – referido ao período crítico considerado pelo setor elétrico – cenário 1

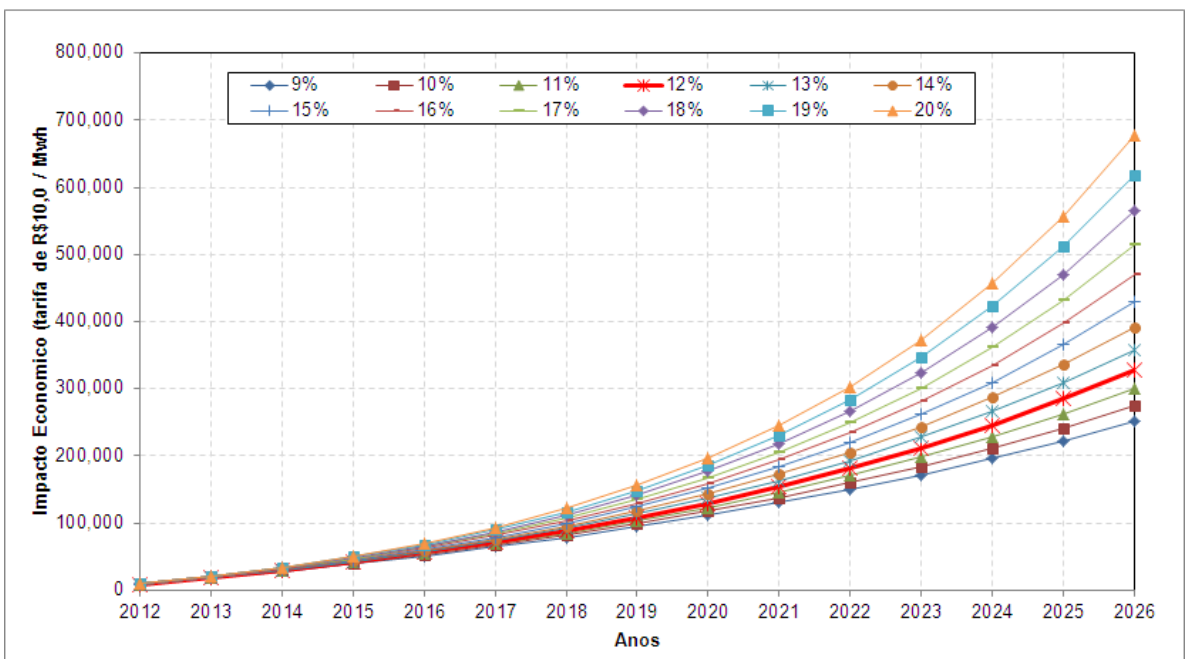


Figura 6.7 – Impacto econômico máximo acumulado causado no período 2 - 2012 a 2027 (R\$/ano) - referido ao intervalo de 4 anos mais críticos – cenário 3

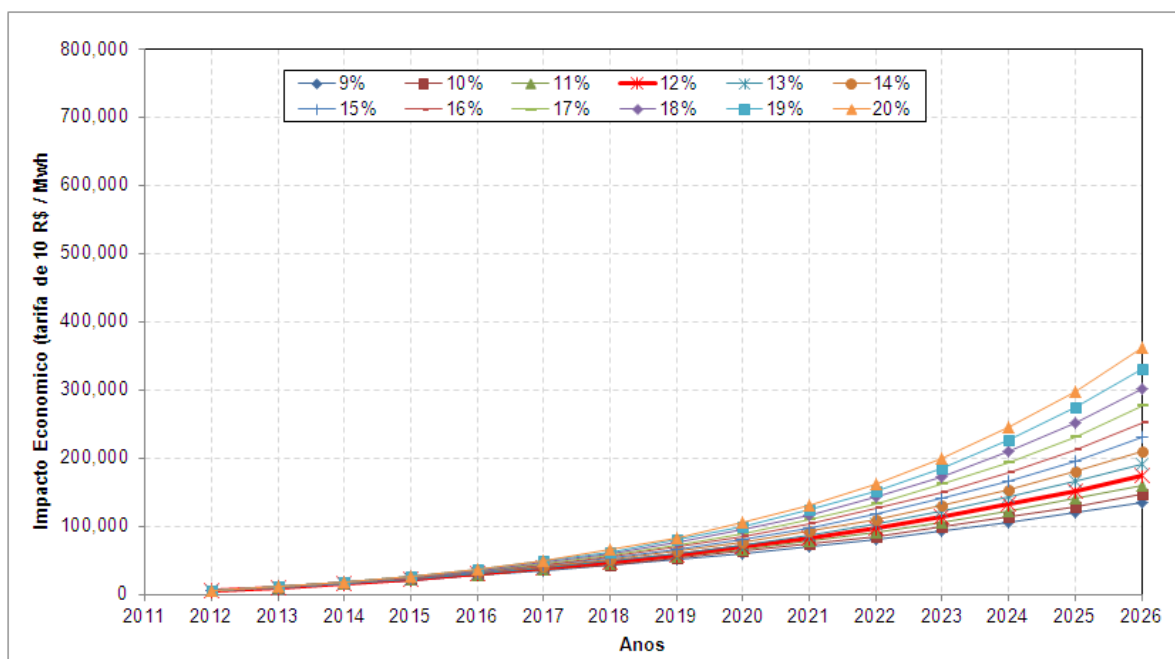


Figura 6.8 – Impacto econômico mínimo acumulado causado período 2 - 2012 a 2027 (R\$/ano) – referido ao período crítico considerado pelo setor elétrico – cenário 1

Ressalta-se que as curvas apresentadas permitem o cálculo para qualquer valor de tarifa, devendo apenas ser multiplicado pelo fator multiplicador (F) da EQ. 6.7, na qual a variável tarifa refere-se ao valor desejado.

$$F = \frac{\text{Tarifa}(R\$/MWh)}{(R\$10,00/MWh)} \quad (6.7)$$

Os custos para a taxa de retorno de 12% a.a. e tarifas de R\$ 70,00/MWh e R\$ 150,00/MWh nos respectivos períodos. A TAB. 6.9 e a TAB. 6.10 apresentam os resultados dessa simulação.

Tabela 6.9 – Valor, em R\$, do impacto econômico total com taxa de retorno de 12% a.a ao final do período 1 (2008 a 2011)

Metodologia	Cenário 1 (06/1949-11/1956)		Cenário 2 (01/1939-12/2005)		Cenário 3 (01/1978-12/1971)	
	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh
Balanco Hídrico	209.894,00	449.772,00	219.698,00	470.780,00	293.899,00	629.784,00
Curva Regional	157.369,00	337.220,00	184.076,00	394.448,00	268.798,00	575.997,00

Tabela 6.10 – Valor, em R\$, do impacto econômico total com taxa de retorno de 12% a.a no período 2 (2012 a 2027) para o 15º ano

Metodologia	Cenário 1 (06/1949-11/1956)		Cenário 2 (01/1939-12/2005)		Cenário 3 (01/1978-12/1971)	
	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh
	Balanco Hídrico	1.637.213,00	3.508.313,00	1.713.685,00	3.672.181,00	2.292.472,00
Curva Regional	1.227.513,00	2.630.385,00	1.435.827,00	3.076.773,00	2.096.681,00	4.492.889,00

Adicionalmente, foram avaliados os custos para a hipótese de uma indenização antecipada do proveniente dos impactos anuais causados durante o período 2, ou seja, o custo dos próximos 15 anos no valor presente. Para tanto, o custo anual foi dividido pelo Fator de Recuperação de Capital - FRC para cada ano, dado pela EQ. 6.8.

$$FRC = \frac{(1 + taxa)^k \times taxa}{(1 + taxa)^k - 1} \quad (6.8)$$

Na qual,

FRC é o fator de recuperação de capital;

taxa é a taxa de retorno do investimento [%];

k é o número de anos definido pela vida útil do projeto ou período de amortização do investimento [anos].

De maneira análoga ao cálculo do impacto econômico acumulado, o estudo para determinação das indenizações devidas compreendeu taxas de retorno variando entre 9% e 20% a.a. e tarifa de R\$10,00/MWh. A FIG. 6.9 e FIG. 6.10 apresentam os resultados para os cenários de maior e menor impacto, respectivamente no período 2 (2012 a 2027).

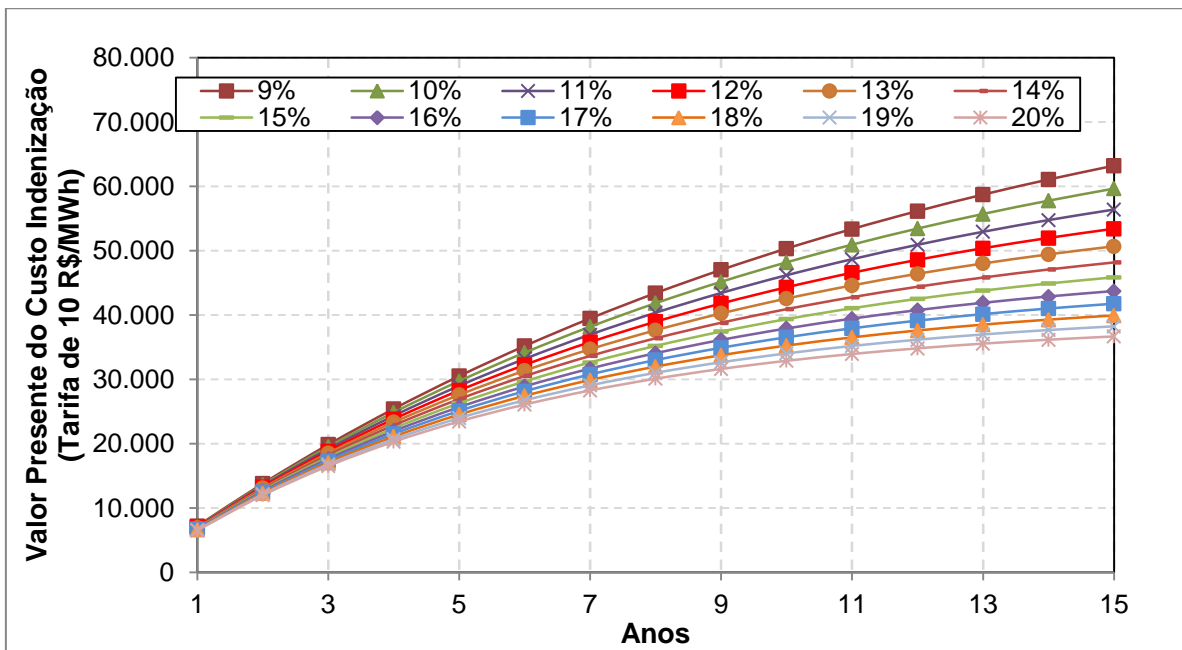


Figura 6.9 – Valor máximo de indenização em valor presente, período 2 (2012 a 2027) – referenciadas ao Intervalo de 4 anos mais críticos – cenário 3

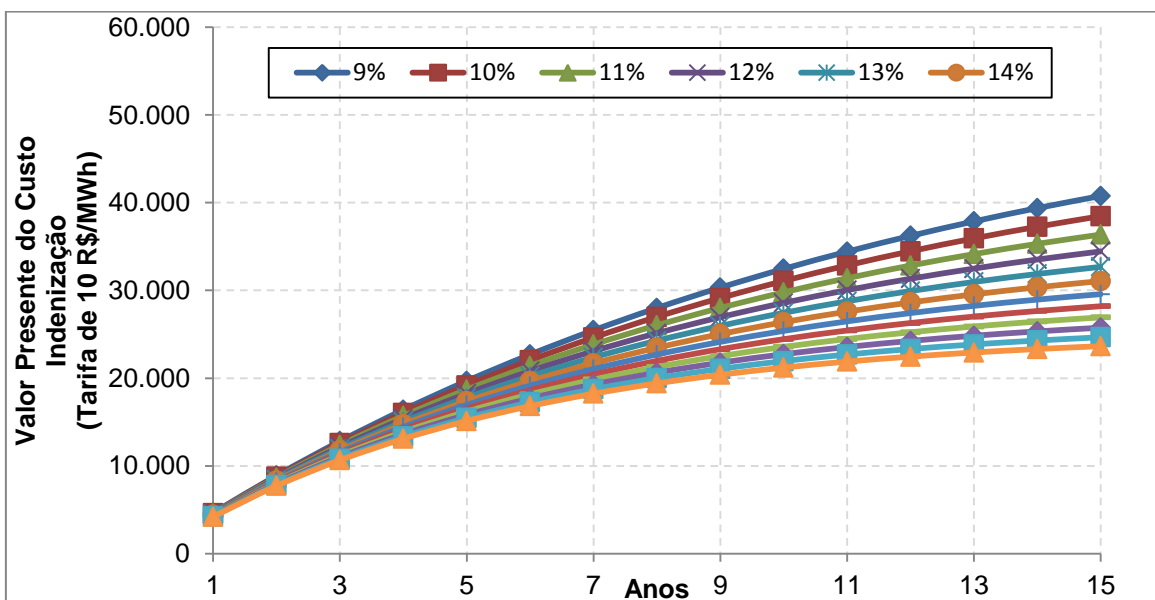


Figura 6.10 – Valor mínimo de indenização em valor presente período 2 (2012 a 2027) – referenciadas ao Período crítico considerado pelo setor elétrico – cenário 1.

O cálculo para as demais tarifas também pode ser realizado com a multiplicação do fator “F” da EQ. 6.7. A TAB. 6.11 e a FIG. 6.11 apresentam os valores de indenização antecipada para o período 2 com taxa de retorno de 12% a.a. e tarifas de R\$70,00/MWh e R\$150,00/MWh.

Tabela 6.11 – Custo de indenização antecipada, em R\$, para 15 anos de avaliação e taxa de retorno de 12% a.a.

Metodologia	Cenário 1 (06/1949-11/1956)		Cenário 2 (01/1939-12/2005)		Cenário 3 (01/1978-12/1971)	
	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh	Tarifa de 70 R\$/MWh	Tarifa de 150 R\$/MWh
Balanço Hídrico	267.065,00	572.282,00	279.539,00	599.012,00	373.952,00	801.325,00
Curva Regional	200.234,00	429.073,00	234.215,00	501.888,00	342.014,00	732.887,00

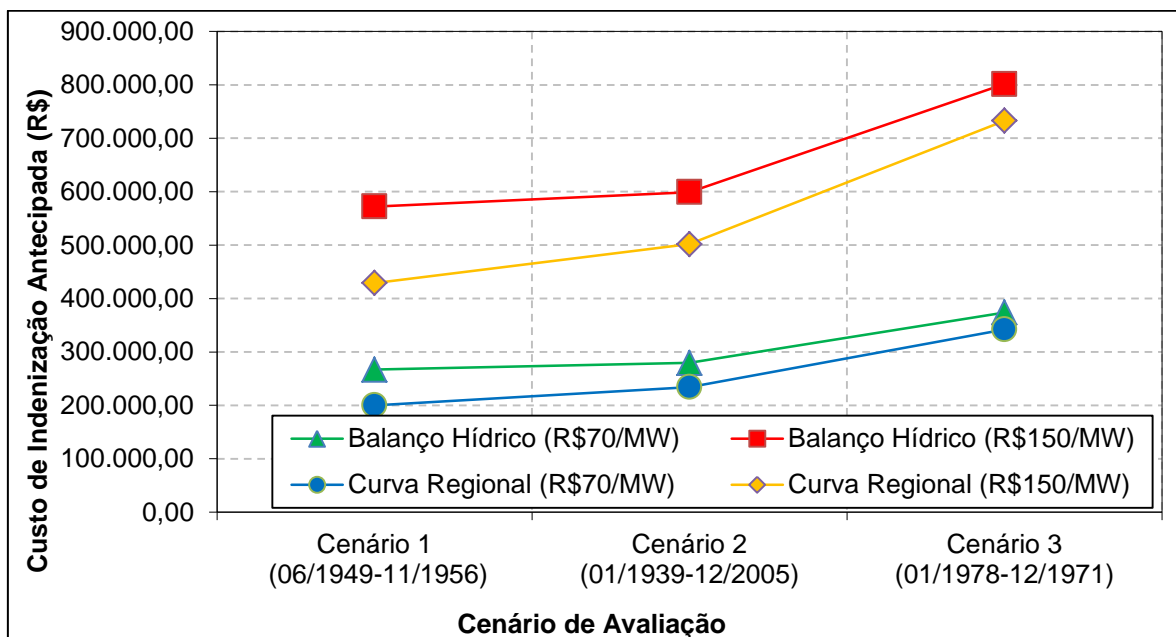


Figura 6.11 – Custo de indenização antecipada para 15 anos de avaliação e taxa de retorno de 12% a.a.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o atual cenário de escassez de energia tem-se um panorama na qual os potenciais remanescentes representam uma grande oportunidade de agregação de blocos de energia ao Setor Interligado Nacional. Devido a isso se tem uma situação em que os investidores privados têm procurado um nicho de negócios principalmente no que diz respeito a implantação de PCH's, entretanto, esses aproveitamentos hidrelétricos estão susceptíveis a interferências de outras atividades relacionadas ao uso do recurso hídrico, de modo que determinar o impacto da retirada de água para fins industriais ou múltiplos sobre a geração de energia de uma usina hidrelétrica, em especial de uma PCH, é de vital importância para que se possa contabilizar as perdas de geração e a consequente redução do bloco de energia gerada.

A contabilização da redução da geração permite avaliar a real interferência de uma atividade econômica e isso é importante uma vez que alguns empreendimentos podem se tornar inviáveis em função do seu impacto sobre a geração em uma cascata de um rio.

Deve-se levar em consideração que o cálculo da energia firme disponível em empreendimentos muito antigos é penalizado pelos seguintes fatos: a) não existem séries de vazões afluentes oficiais, b) não existe monitoramento local. Nesses casos, a simples adoção de metodologias de regionalização diferenciadas pode levar a resultados distintos no valor da energia calculada, sendo difícil julgar a melhor metodologia sem que haja monitoramento local. Deve-se lembrar sempre que o monitoramento deve possuir quantidade de registros satisfatórias para análise e portanto deve fazer parte de um planejamento de médio / longo prazo.

O impacto na geração de energia devido à retiradas para uso consuntivo a montante do empreendimento pode ser considerado uma atividade complexa devido à dificuldade de precisar a vazão captada e o regime de operação dos equipamentos moto-bombas. De maneira simplificada, admite-se que as retiradas compreendem exatamente àquelas constantes nos certificados de outorga dos órgãos competentes, no caso de Minas Gerais, o IGAM.

Entretanto, poderá haver variações significativas no impacto caso as vazões e regimes de operação praticados sejam muito diferentes daqueles constantes nos certificados ou no caso de existirem captações ilegais, ou seja, não regulamentada junto aos órgãos.

No estudo de caso da PCH Bicas, os resultados indicaram que as captações para uso consuntivo na bacia hidrográfica geram impacto na geração de energia variando entre 4,5% e 11,1%, sendo este impacto reduzido para valores entre 3,5% e 8,3% quando considerando somente o uso para as atividades minerárias e desprezando reservatórios de regularização.

Apesar dos percentuais serem de pequena magnitude, refere-se ao impacto localizado no eixo da seção e o efeito na geração pode ser ampliado quando se considera a existência de cascata de PCH's, comumente observada nos rios do Estado de Minas Gerais e no Brasil. Adicionalmente, o impacto pode resultar em grandes perdas financeiras ao longo do período de amortização do empreendimento e quando trazidas a valor presente.

Em termos econômicos, os resultados desse estudo de caso mostraram que o impacto financeiro pode chegar a valores da ordem de R\$ 10.000.000,00 (dez milhões) em 15 anos quando considerada a taxa de retorno de investimento de 20% a.a e tarifas de energia de R\$150,00/MWh. Os valores podem sofrer alterações significativas de acordo com as taxas de retorno e tarifas praticadas pelas concessionárias de energia.

O estudo de caso apresentado foi desenvolvido para apenas duas metodologias de regionalização, porém, existem diversas outras metodologias que podem ser empregadas na obtenção da série de vazões afluente aos empreendimentos e que podem gerar valores distintos de energia assegurada. Assim, sugere-se uma avaliação mais abrangente com a utilização de outras metodologias para que possa quantificar as energias e, se possível, possibilitar a padronização de metodologia de cálculo para os empreendimentos que não possuem série de vazões oficiais junto à ANEEL. Enfatiza-se que todas as captações apresentadas nesse estudo possuem outorga dentro dos limites permitidos pelo órgão gestor dos recursos hídricos do estado de Minas Gerais.

Uma vez que a geração de energia elétrica por meio de aproveitamentos hidráulicos depende diretamente da vazão afluente ao empreendimento, sugere a necessidade de avaliação em conjunto dos órgãos gestores de recursos hídricos e energéticos, tanto municipais quanto federais, minimizando a possibilidade de interferências cruzadas.

Vale lembrar que a indústria, na qual se enquadra o setor de mineração, é considerado o 3º maior consumidor de água com cerca de 7% do total consumido no Brasil, sendo a irrigação e abastecimento público responsável por aproximadamente 81% do consumo total. Isso denota

que em bacias hidrográficas que possuem empreendimentos hidrogerados e com grande potencial para agricultura e criação de animais, o impacto na geração de energia pode ser mais significativo devido ao consumo de água para estas atividades.

Pelo fato da energia assegurada, comumente utilizada nos contratos de compra e venda, ser calculada para o período crítico do sistema elétrico (junho 1949 a novembro de 1956), os empreendimentos com autonomia para comercializar a energia de forma isolada podem ser afetados, uma vez que o período crítico do empreendimento isolado tende a ser diferente do período crítico do setor elétrico. Porém, vale lembrar que se o empreendimento participar do Mecanismo de Relocação de Energia – MRE, os cálculos devem ser obrigatoriamente baseados no período crítico do setor elétrico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 09 de setembro de 2009.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. – Informe 2011*. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2012.

ANA - Agência Nacional de Águas (2005). *Caderno de Recursos Hídricos – Navegação Interior e sua Interface com o Setor de Recursos Hídricos*. Brasília – DF. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2012.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Banco de dados da Agência Nacional de Águas - Hidroweb*. Disponível em: www.hidroweb.ana.gov.br. Acesso em: 15 de junho de 2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração do Brasil*. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em: 20 de março de 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3ª. Edição. Brasília, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Perguntas e respostas sobre tarifas das distribuidoras de energia elétrica*. Brasília, 2007.

ANEEL. RESOLUÇÃO 394, DE 04 DE DEZEMBRO DE 1998. *Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas*. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_federal/RESOLUCAO_ANEEL_394_1998.pdf>. Acesso em 20 de dezembro de 2011.

ASPERMINAS – *Despoeiramento – Estradas de Rodagem*. Disponível em: http://www.asperminas.com.br/despoeiramento_estrada_de_rodagem.php. Acesso em: 15 de janeiro de 2012.

BACCI, D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. *Aspectos e impactos ambientais de pedra em área urbana*. REM - Rev. Esc. Minas, v.1, n.59, p.47-54, jan. mar. 2006.

BAJAY, S. V. *Avaliação da Metodologia de Cálculo de Energia Assegurada de Usinas Hidrelétricas – Relatório Técnico*. Ministério de Minas e Energia - MME, 2002.

BRASIL. DECRETO Nº 24.643, de 10 de julho de 1934. *Código das Águas*. Diário Oficial da União. Brasília, 20 de julho de 1934 – Seção 01. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-24643-10-julho-1934-498122-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 03 de setembro de 2011.

BRASIL; ELETROBRÁS, MME. *Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas*. Brasília, 2000.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*. Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 20 de abril de 2011.

BRASIL. *Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Hidrelétricos no Brasil: Uma Contribuição para o Debate*. Documento do Banco Mundial, volume 1, 2008.

CARNEIRO, D. A. – *PCHs: Pequenas Centrais Hidrelétricas*. Editora Synergia, São Paulo, 2010.

CARRISSO, R. C. C. e CORREIA, J. C. G. – *Classificação e Peneiramento*. In: LUZ, Adão Benvindo da. *Tratamento de Minérios*. 4ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. Capítulo 5, p. 197 a 238.

CEPEMAR – Serviços de Consultoria em Meio Ambiente Ltda. *Samarco Mineração S/A - Rima - Relatório de Impacto Ambiental do Projeto da 4ª Usina de Pelotização em Ponta e Ubu, ES*. Vitória, 2009.

CHINAGLIA, A. *A indústria da mineração e o crescimento do Brasil*. IBRAM, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br>>. Acesso em: 21 de setembro de 2011.

CIMINELLI, Virginia S. T. SALUM, M. J. G., RUBIO, J., PERES, Q. E. C. Água e Mineração. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha (Org.); BRAGA, Benedito (Org.); TUNDISI, José Galizia (Org.). *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. *Introduzindo Hidrologia*. Disponível em: http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila_hidrologia/apostila.html. Acesso em: 22 de março de 2011.

COSTA, J. C. E. *A Remotorização de Usinas Hidrelétricas como Alternativa de Aumento da Oferta de Energia Elétrica no Brasil*. 2010. 196p. Tese de Doutorado. Calor e Fluidos – Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral, 1967. Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. *Código de Mineração*. Brasília, 1967.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral – MME - A mineração e a flotação no Brasil: *Uma Perspectiva histórica*, 2007. 128 p.

ELETRORÁS/DNAEE. *Manual de pequenas centrais hidrelétricas*. Brasília, 1982.

ELETRORAS - *Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas*, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2000.

ELETRORÁS - *Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT)*, Brasília 2007. Disponível em: http://www.eletroras.gov.br/EM_Atuacao_SIPOT/sipot.asp. Acesso em: 15 de novembro de 2011.

ENGENHARIA E PROJETOS. *Manual de Abastecimento de Água – Orientações Técnicas*. Monte Santo de Minas, 2004

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2011*. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: www.epe.gov.br/anuarioestatisticodeenergiaeletrica/forms/anurio.aspx. Acesso em: 20 de fevereiro de 2012.

FACURI, M. F. *A implantação de usinas hidrelétricas e o processo de licenciamento ambiental: A importância da articulação entre os setores elétrico e de meio ambiente no Brasil*. 77p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Recursos Naturais, Pós Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2004.

CIRRA – Centro Internacional de Referência em Reúso de Água / FCTH –Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. *Conservação e Reúso de Água – Manual de*

Orientações para o setor industrial – Volume 1. Organização FIESP/CIESP. São Paulo, 2004.

FLUIDJET – *Comparativo sistema abatimento de pó*. Disponível em: <http://www.fluidjet.com.br/fotos%20sistemas.htm>. Acesso em: 15 de outubro de 2011.

HORA, M. A. G. M. *Metodologia para a compatibilização da geração de energia em aproveitamentos hidrelétricos com os demais usos dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins*. 143p. Tese de Doutorado. Pós Graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

IBAMA, 2011. *Sistema Informatizado de Licenciamento Ambiental Federal* Disponível em: www.ibama.gov.br/licenciamento. Acesso em: 25 de novembro de 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. ***Desmonte hidráulico do material fluvial derivado do granito para extração da cassiterita na lavra Santa Bárbara em Rondônia (RO)***. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/colecao_digital_fotografias. Acesso em: 15 de outubro de 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. ***Produção da Pecuária Municipal 2010***. Volume 38. Rio de Janeiro, 2010.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração - *Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira* – 5ª Edição. 2010 Disponível em: <http://www.ibram.org.br/> Acesso em: 20 novembro 2011.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, 2010.

IWMI – *International Water Management Institute*. Disponível em: <http://www.iwmi.cgiar.org>. Acesso em: 05 de janeiro de 2012.

LIMA, J. E. F. W., FERREIRA, R. S. A., CHRISTOFIDIS, D. *O uso da irrigação no Brasil*. Embrapa, 2003.

MAGALHÃES, L. R.; SCHVARTZMAN, A. S.; SALIBA, A. P. M.; VIANNA, A. P. P.; DINIZ, M. G. M.; SILVA, F. E. O. *Contribuições para revisão do plano diretor de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas: o impacto da mineração no Alto Rio das Velhas*. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió – AL.

MME - Ministério de Minas e Energia (BRASIL). *Garantia física de energia e potência metodologia, diretrizes e processo de implantação*. Nota técnica MME/SPD/05. Brasília: MME, 2004.

NEF – National Energy Foundation. 1995. *Rocks and Minerals: and how we use them*.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em <http://www.ons.org.br>. Acesso em: 12 de dezembro de 2011.

PALHARES, J.C.C. *Estimando o Consumo de Água de Suínos, Aves e Bovinos em uma Propriedade*. EMBRAPA, 2005.

PIETRACCI, B. *Posicionamento estratégico das distribuidoras de energia elétrica no Brasil*. Dissertação: Mestrado em Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-in/PRG_0599.EXE/9861_4.PDF?NrOcoSis=31289&CdLinPrg=pt>. Acesso em: 15 de dezembro de 2011.

PORMIN – Portal de Apoio ao Pequeno Produtor Mineral. *Métodos de Lavra*. Disponível em: http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/metodos_de_lavra.pdf. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

PORMIN – Portal de Apoio ao Pequeno Produtor Mineral. *Beneficiamento de Minérios*. Disponível em: http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/beneficiamento_de_minerio.pdf. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

SANTOS, R. S. F.; SALIBA, A. P. M.; MARTINEZ, C. B. *Seleção de formas de geração/suprimento de energia Elétrica em sistemas elétricos isolados do Brasil*. Congresso Brasileiro de Energia, 1997.

SETTI, A. A., WERNECK LIMA, J. E. F., CHAVES, A. G. M., PEREIRA, I. C. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas. 328 p, 2001.

TANNO, L. C.; SINTONI, A. *Mineração & Município - Bases para planejamento e gestão dos recursos minerais*. São Paulo: IPT, 2003.

TUCCI, C. E.M. *Regionalização de vazões*. 1ª edição. Editora da Universidade. UFRGS, 2002. Porto Alegre 254 p.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS/ABRH, 2009, 943 p.

APÊNDICE A – CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA HIDROGRÁFICA PELO MÉTODO DAS ISOIETAS

Considerado o mais preciso para a obtenção da precipitação média, o método das isoietas baseia-se em curvas de igual precipitação, na qual são traçadas as curvas que unem pontos de igual precipitação.

A dificuldade maior em sua implementação consiste no traçado desta curvas, que requer sensibilidade do analista, pois, deve considerar os efeitos orográficos e a morfologia temporal de modo que o mapa final represente um modelo de precipitação mais real do que o que poderia ser obtido de medidas isoladas.

Após a confecção do mapa calculam-se as áreas parciais contidas entre duas isoietas sucessivas e a precipitação média em cada área parcial, que é determinada fazendo-se a média dos valores de duas isoietas.

Resumidamente, o cálculo da precipitação média pelo método das isoietas pode ser resumido nos seguintes passos:

- Passo 1: Obter os dados pluviométricos nos postos da bacia;
- Passo 2: Traçar as curvas de igual precipitação (ISOIETAS) em procedimento semelhante ao adotado para obtenção de curvas de nível;
- Passo 3: Calcular para cada par sucessivo de isoietas o valor médio da altura de chuva precipitada;
- Passo 4: Calcular as áreas de abrangência entre isoietas sucessivas;
- Passo 5: Calcular a média ponderada dos valores obtidos no passo 3, tomando como peso a área calcula no passo 4. A média obtida corresponde à precipitação média sobre a bacia em análise.

No cálculo da precipitação média na bacia da PCH Bicas, foram levantadas as estações regionais de monitoramento existentes, cujos registros diários consistidos são disponibilizados pela ANA por meio do endereço eletrônico.

Inicialmente, buscou-se o máximo de informações disponíveis para posterior análise de consistência dos dados, com objetivo de selecionar estações representativas para a descrição

do regime pluviométrico na área de abrangência dos estudos. Nesta seleção foram considerados os seguintes fatores: a) a distância à área de estudo; b) o período disponível dos registros de alturas de chuva diárias, e, c) a quantidade de falhas existentes nos históricos. A TAB. A.1 lista as estações pluviométricas localizadas no entorno da área de abrangência com os respectivos valores de precipitação média anual.

Tabela 12 – Estações pluviométricas selecionadas na área de abrangência dos estudos

Código	Nome	Município	Altitude (m)	Precipitação Média (mm)	Disponibilidade de Dados	Coordenadas	
						Latitude	Longitude
2043003	Passagem de Mariana	Mariana	820	1680	01/1941 a 12/1964	-20°23'00"	-43°26'00"
2043007	Vargem do Tejucal	Ouro Preto	1021	1408	03/1941 a 12/1965	-20°20'00"	-43°33'00"
2043008	Monseñor Horta	Mariana	639	1534	03/1941 a 12/1965	-20°21'00"	-43°17'00"
2043009	Acaiaca - Jusante	Acaiaca	423	1390	03/1941 a 05/2010	-20°21'45"	-43°08'38"
2043011	Fazenda Paraíso	Mariana	477	1417	04/1941 a 05/2010	-20°23'24"	-43°10'49"
2043022/ 2043059	Colégio Caraça	Santa Barbara	1300	1970	10/1941 a 12/1965 e 01/1983 a 03/2010	-20°13'00"	-43°34'00"
2043023	Conceição do Rio Acima	Santa Barbara	805	1450	10/1941 a 12/1965	-20°04'00"	-43°35'00"
2043027	Fazenda Ocidente	Barra Longa	462	1414	03/1967 a 05/2010	-20°17'08"	-43°05'56"
2043028	Bicas	Mariana	-	1560	08/1941 a 02/1966	-20°21'00"	-43°14'00"
2043056	Fazenda Água Limpa - Jusante	Ouro Preto	965	1375	01/1984 a 05/2010	-20°18'19"	-43°36'59"

Fonte: ANA, 2011

De posse da precipitação média anual calculada para cada posto foi possível elaborar o mapa de isoietas, apresentado na FIG. A.1.

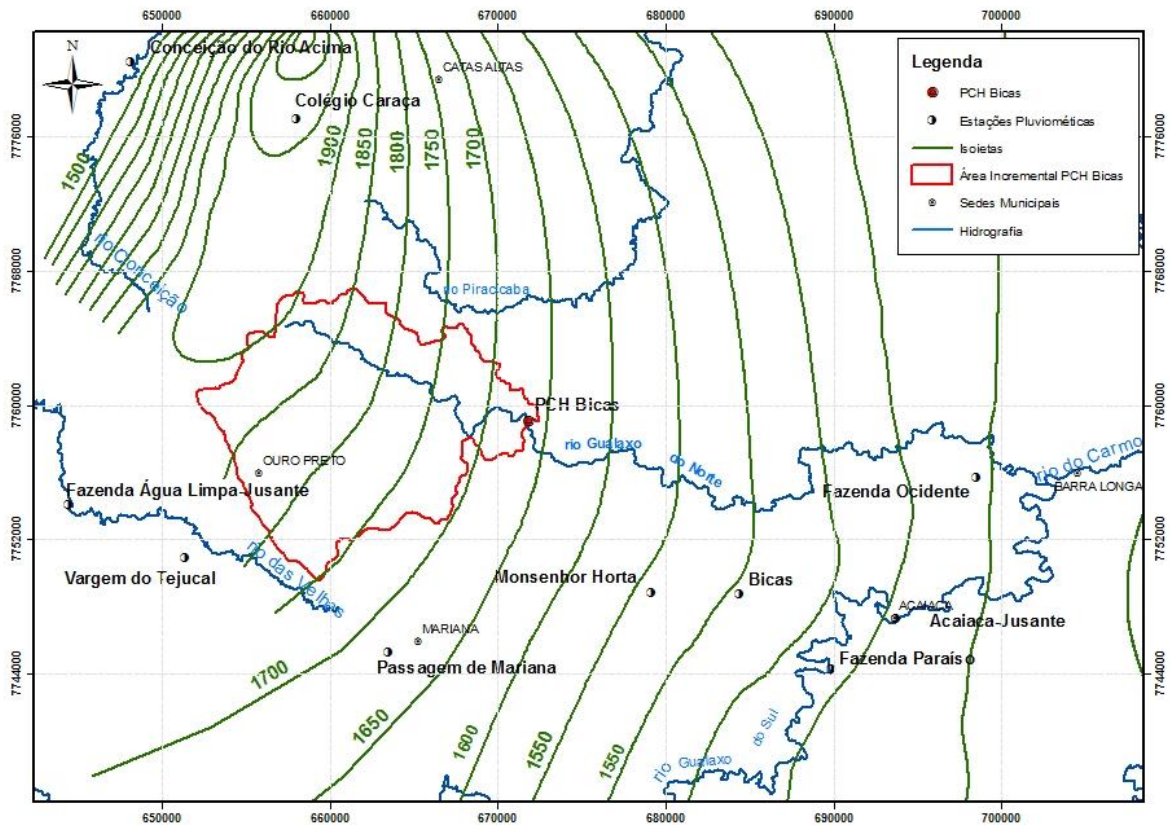


Figura 12 – Mapa de isoietas na região de interesse

APÊNDICE B – SÉRIE DE VAZÕES AFLUENTE À PCH BICAS REGIONALIZADA PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

Resumo de Descargas Médias Mensais (m³/s)

Estação Pch Bicas
Rio Gualaxo do Norte

Área de Drenagem: km² 197.4

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA
1939	8.32	4.67	3.87	3.88	2.97	2.56	2.54	2.27	2.36	2.78	3.01	4.06	3.61	8.32	2.27
1940	6.36	7.74	5.64	3.65	3.14	3.25	3.45	2.94	3.06	3.71	7.89	5.17	4.67	7.89	2.94
1941	6.17	6.21	6.76	5.28	4.74	4.94	5.13	4.44	4.44	5.09	5.60	11.09	5.82	11.09	4.44
1942	8.78	6.25	7.88	7.02	6.46	5.82	5.39	4.85	5.25	5.41	7.14	20.00	7.52	20.00	4.85
1943	15.14	9.25	9.13	6.83	5.40	5.10	4.46	4.50	3.90	4.47	5.46	13.41	7.25	15.14	3.90
1944	7.67	10.06	7.23	6.14	5.60	5.28	5.06	4.79	4.47	4.92	5.60	9.74	6.38	10.06	4.47
1945	18.81	10.14	9.72	8.94	6.22	5.23	4.73	3.99	3.64	3.73	5.61	11.48	7.69	18.81	3.64
1946	11.38	6.12	6.55	6.67	4.26	3.89	3.62	3.19	3.37	3.01	4.86	4.90	5.15	11.38	3.01
1947	8.14	5.33	9.05	4.79	3.60	3.13	2.91	2.88	2.81	2.84	4.11	9.31	4.91	9.31	2.81
1948	5.63	6.51	5.80	3.98	3.77	3.48	3.00	2.74	2.55	2.69	5.69	13.58	4.95	13.58	2.55
1949	10.07	13.53	7.81	6.54	5.17	5.10	4.18	3.74	3.41	4.34	5.09	8.99	6.50	13.53	3.41
1950	6.90	7.05	6.43	5.30	4.19	3.72	3.43	3.12	3.02	3.34	5.58	5.87	4.83	7.05	3.02
1951	5.28	10.72	13.43	7.56	5.52	4.87	4.27	3.92	3.50	3.53	3.25	6.09	5.99	13.43	3.25
1952	9.29	12.78	15.15	7.52	5.85	5.17	4.43	4.21	4.21	4.43	5.64	8.74	7.29	15.15	4.21
1953	6.02	10.01	6.46	6.03	4.68	4.10	3.74	3.32	3.46	3.80	4.74	6.97	5.28	10.01	3.32
1954	4.18	6.14	4.01	3.75	3.27	2.86	2.72	2.40	2.33	2.73	4.03	6.01	3.70	6.14	2.33
1955	9.15	5.74	5.37	5.35	4.84	4.62	4.16	3.90	3.65	4.61	5.47	7.82	5.39	9.15	3.65
1956	5.78	4.13	5.35	4.13	4.05	4.10	3.85	3.83	3.51	3.29	5.33	9.96	4.77	9.96	3.29
1957	7.32	6.16	9.09	5.92	5.15	4.16	3.82	3.35	3.37	2.98	7.47	12.48	5.94	12.48	2.98
1958	8.17	7.31	5.58	5.51	4.51	3.69	3.87	3.16	3.17	3.71	3.42	4.32	4.70	8.17	3.16
1959	4.65	3.15	6.64	3.02	2.49	2.29	2.14	2.00	1.98	3.29	5.70	4.33	3.48	6.64	1.98
1960	7.26	5.42	7.44	3.86	3.52	3.11	2.79	2.48	2.64	2.45	3.83	8.60	4.45	8.60	2.45
1961	14.42	11.53	7.21	5.16	4.62	3.93	3.44	3.04	2.66	2.68	3.71	3.85	5.52	14.42	2.66
1962	9.32	9.25	6.02	4.12	3.50	3.13	2.88	2.61	2.72	3.21	4.09	11.35	5.19	11.35	2.61
1963	4.66	4.02	2.99	2.69	2.39	2.38	2.38	2.42	2.15	2.29	2.57	2.52	2.79	4.66	2.15
1964	15.73	12.00	6.58	4.64	4.04	3.64	3.97	3.58	2.95	5.85	7.04	11.63	6.81	15.73	2.95
1965	10.59	11.72	13.07	7.40	6.03	5.01	4.49	4.18	3.52	5.45	6.79	5.64	7.02	13.07	3.52
1966	11.02	6.66	6.91	4.45	3.85	3.36	3.32	2.91	2.70	3.25	4.84	7.61	5.07	11.02	2.70
1967	8.51	10.29	7.58	5.01	4.13	3.53	3.22	2.92	2.73	2.59	4.66	5.43	5.05	10.29	2.59
1968	6.01	5.56	4.59	3.82	2.86	2.58	2.39	2.32	2.61	3.58	3.96	5.92	3.85	6.01	2.32
1969	6.01	4.54	5.28	3.18	3.03	2.77	2.52	2.45	2.19	3.59	5.56	7.08	4.02	7.08	2.19
1970	9.96	5.02	4.04	4.39	3.17	3.12	3.26	2.84	3.01	4.02	4.93	3.84	4.30	9.96	2.84
1971	3.16	2.34	3.12	2.53	2.03	2.44	2.00	1.84	2.11	3.58	7.67	5.42	3.19	7.67	1.84
1972	3.35	5.49	6.03	4.31	3.14	2.83	3.27	2.80	2.82	3.48	4.43	10.32	4.36	10.32	2.80
1973	8.38	5.23	8.34	4.80	4.17	3.71	3.19	3.02	2.84	4.00	5.79	9.11	5.21	9.11	2.84
1974	8.37	5.30	7.85	6.55	4.53	4.05	3.39	3.20	2.84	3.69	3.07	5.98	4.90	8.37	2.84
1975	8.60	5.96	4.04	3.86	3.19	3.02	3.23	2.67	2.46	3.05	6.82	3.94	4.24	8.60	2.46
1976	3.49	4.59	3.22	2.52	2.31	2.00	2.24	2.04	3.07	4.50	6.28	8.35	3.72	8.35	2.00
1977	9.28	5.86	6.21	5.19	3.72	3.38	3.09	2.71	3.03	3.53	3.72	6.40	4.68	9.28	2.71
1978	7.99	5.24	4.96	4.41	3.72	3.04	2.89	2.47	2.61	3.46	5.10	6.06	4.33	7.99	2.47
1979	13.87	34.18	6.03	6.39	7.98	6.56	5.77	5.00	5.00	4.19	6.36	9.78	9.26	34.18	4.19
1980	14.72	7.66	4.85	7.68	4.57	4.00	3.55	3.30	3.11	2.64	4.12	8.71	5.74	14.72	2.64
1981	6.99	4.27	5.78	4.55	3.36	3.27	2.83	2.67	2.35	3.77	8.67	9.64	4.85	9.64	2.35
1982	15.30	7.38	21.58	7.76	6.00	4.62	4.09	3.74	3.41	3.73	2.73	6.42	7.23	21.58	2.73
1983	11.20	7.75	7.79	7.42	6.10	5.15	4.69	4.04	5.25	9.82	8.19	13.15	7.55	13.15	4.04
1984	6.66	4.98	6.51	4.90	3.92	3.44	3.27	3.45	3.53	3.87	4.02	9.25	4.82	9.25	3.27
1985	21.94	12.69	12.64	8.44	6.51	5.45	4.78	4.22	4.16	4.29	5.04	10.28	8.37	21.94	4.16
1986	12.00	6.87	5.72	4.31	4.12	3.72	3.52	3.56	2.97	2.74	3.93	6.45	4.99	12.00	2.74
1987	5.39	4.25	6.83	5.12	4.67	3.78	3.36	2.96	3.28	2.94	3.44	9.89	4.66	9.89	2.94
1988	6.66	9.58	5.70	5.38	4.17	3.68	3.17	2.95	2.68	3.04	3.99	8.05	4.92	9.58	2.68
1989	4.82	4.92	5.34	3.04	2.74	3.01	2.82	2.54	2.60	3.38	4.19	9.42	4.07	9.42	2.54
1990	4.27	3.35	3.62	3.07	2.94	2.37	2.64	2.44	2.54	2.50	3.37	2.80	2.99	4.27	2.37
1991	12.16	7.84	8.14	5.25	4.14	3.34	2.94	2.56	2.70	3.26	5.08	4.88	5.19	12.16	2.56
1992	16.30	11.71	5.25	4.86	4.63	3.77	3.43	3.30	4.09	4.40	11.86	11.50	7.09	16.30	3.30
1993	7.43	6.23	6.55	6.82	4.51	4.06	3.48	3.33	3.05	3.53	4.12	5.82	4.91	7.43	3.05
1994	10.64	4.76	8.88	6.01	4.82	3.85	3.24	3.21	3.21	3.46	4.14	7.83	5.34	10.64	3.21
1995	3.87	7.08	5.20	4.29	3.58	2.87	2.85	2.72	2.41	3.21	4.09	12.32	4.54	12.32	2.41
1996	6.30	5.25	4.48	4.27	3.98	3.12	2.80	2.62	3.12	3.92	7.11	8.18	4.59	8.18	2.62
1997	24.09	7.92	8.33	8.20	5.54	4.44	3.68	3.23	3.66	4.31	4.29	8.81	7.21	24.09	3.23
1998	6.62	6.39	5.34	3.59	4.76	3.35	3.06	3.35	2.93	4.16	4.83	5.62	4.50	6.62	2.93
1999	5.46	3.42	5.84	3.17	2.81	2.34	2.17	2.17	2.93	2.79	5.40	6.16	3.72	6.16	2.17
2000	5.54	8.44	5.08	3.72	3.19	3.00	2.72	2.54	2.99	2.57	8.35	5.93	4.51	8.44	2.54
2001	6.39	3.22	3.53	2.54	2.54	2.61	2.17	2.27	2.30	2.63	5.35	7.35	3.57	7.35	2.17
2002	26.02	17.78	6.89	4.96	4.27	3.35	3.24	2.99	3.28	2.99	7.52	11.53	7.90	26.02	2.99
2003	25.93	6.44	6.36	4.58	3.63	3.48	3.12	3.07	3.23	3.13	4.36	7.60	6.24	25.93	3.07
2004	14.38	11.38	9.80	16.46	5.91	5.25	4.67	3.96	3.32	3.73	3.69	12.51	7.92	16.46	3.32
2005	8.06	8.51	16.98	5.67	5.08	4.39	4.00	3.60	3.62	3.48	6.38	14.80	7.05	16.98	3.48
Mínima	3.16	2.34	2.99	2.52	2.03	2.00	2.00	1.84	1.98	2.29	2.57	2.52			
Máxima	26.02	34.18	21.58	16.46	7.98	6.56	5.77	5.00	5.25	9.82	11.86	20.00			
Média	9.44	7.60	7.04	5.27	4.24	3.74	3.45	3.16	3.15	3.66	5.23	8.18			
													Qmlt (m³/s)		Específica
													5.347		27.08

APÊNDICE C – SÉRIE DE VAZÕES AFLUENTE À PCH BICAS REGIONALIZADA PELO MÉTODO DA CURVA REGIONAL

Resumo de Descargas Médias Mensais (m³/s)

Estação Pch Bicas
Rio Gualaxo do Norte

Área de Drenagem: km² 197.4

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA
1939	9.45	5.30	4.40	4.41	3.37	2.91	2.89	2.57	2.68	3.16	3.41	4.61	4.10	9.45	2.57
1940	7.22	8.78	6.40	4.14	3.56	3.69	3.92	3.33	3.48	4.22	8.96	5.87	5.30	8.96	3.33
1941	7.01	7.05	7.68	6.00	5.38	5.61	5.82	5.04	5.04	5.77	6.36	12.59	6.61	12.59	5.04
1942	9.97	7.10	8.95	7.97	7.33	6.61	6.12	5.51	5.96	6.14	8.11	22.71	8.54	22.71	5.51
1943	17.19	10.50	10.36	7.75	6.14	5.80	5.06	5.11	4.43	5.08	6.20	15.23	8.24	17.19	4.43
1944	8.71	11.43	8.21	6.97	6.36	6.00	5.75	5.44	5.07	5.58	6.36	11.06	7.25	11.43	5.07
1945	21.36	11.52	11.04	10.15	7.06	5.94	5.37	4.53	4.13	4.24	6.37	13.03	8.73	21.36	4.13
1946	12.92	6.95	7.44	7.57	4.84	4.42	4.11	3.62	3.82	3.41	5.51	5.56	5.85	12.92	3.41
1947	9.24	6.05	10.28	5.44	4.08	3.55	3.31	3.28	3.19	3.22	4.67	10.57	5.57	10.57	3.19
1948	6.39	7.40	6.58	4.52	4.28	3.95	3.40	3.11	2.89	3.05	6.46	15.42	5.62	15.42	2.89
1949	11.44	15.37	8.87	7.43	5.87	5.79	4.74	4.24	3.87	4.93	5.78	10.20	7.38	15.37	3.87
1950	7.83	8.01	7.30	6.02	4.75	4.22	3.89	3.54	3.43	3.79	6.33	6.67	5.48	8.01	3.43
1951	6.00	12.17	15.25	8.58	6.27	5.53	4.85	4.45	3.97	4.00	3.69	6.91	6.81	15.25	3.69
1952	10.55	14.51	17.21	8.54	6.64	5.87	5.03	4.78	4.78	5.04	6.41	9.93	8.27	17.21	4.78
1953	6.83	11.37	7.34	6.85	5.32	4.65	4.24	3.77	3.93	4.32	5.38	7.92	5.99	11.37	3.77
1954	4.74	6.97	4.56	4.25	3.72	3.25	3.09	2.73	2.65	3.10	4.58	6.83	4.21	6.97	2.65
1955	10.39	6.52	6.10	6.07	5.49	5.24	4.72	4.42	4.14	5.24	6.22	8.88	6.12	10.39	4.14
1956	6.56	4.69	6.07	4.69	4.60	4.65	4.37	4.34	3.98	3.74	6.05	11.32	5.42	11.32	3.74
1957	8.31	7.00	10.32	6.72	5.85	4.72	4.34	3.80	3.83	3.39	8.49	14.17	6.75	14.17	3.39
1958	9.28	8.30	6.34	6.26	5.12	4.19	4.39	3.58	3.60	4.21	3.88	4.91	5.34	9.28	3.58
1959	5.28	3.57	7.54	3.43	2.83	2.61	2.43	2.27	2.25	3.73	6.48	4.92	3.95	7.54	2.25
1960	8.24	6.16	8.45	4.38	3.99	3.53	3.17	2.81	3.00	2.79	4.35	9.76	5.05	9.76	2.79
1961	16.38	13.09	8.19	5.86	5.24	4.46	3.90	3.45	3.02	3.05	4.21	4.38	6.27	16.38	3.02
1962	10.59	10.50	6.83	4.68	3.98	3.55	3.27	2.97	3.09	3.65	4.64	12.89	5.89	12.89	2.97
1963	5.29	4.56	3.40	3.05	2.72	2.70	2.70	2.74	2.44	2.60	2.92	2.87	3.17	5.29	2.44
1964	17.86	13.63	7.47	5.27	4.59	4.14	4.51	4.06	3.35	6.65	7.99	13.21	7.73	17.86	3.35
1965	12.03	13.31	14.84	8.40	6.85	5.69	5.10	4.75	3.99	6.19	7.71	6.75	7.97	14.84	3.99
1966	12.52	7.56	7.85	5.06	4.37	3.82	3.77	3.30	3.06	3.69	5.49	8.64	5.76	12.52	3.06
1967	9.67	11.69	8.61	5.69	4.69	4.01	3.65	3.32	3.10	2.94	5.29	6.17	5.73	11.69	2.94
1968	6.83	6.31	5.21	4.34	3.25	2.93	2.71	2.64	2.96	4.06	6.72	4.37	4.37	6.83	2.64
1969	6.82	5.16	6.00	3.61	3.44	3.15	2.86	2.78	2.49	4.08	6.31	8.03	4.56	8.03	2.49
1970	11.31	5.70	4.59	4.98	3.60	3.55	3.70	3.23	3.42	4.57	5.60	4.36	4.88	11.31	3.23
1971	3.59	2.66	3.55	2.87	2.30	2.77	2.27	2.09	2.40	4.06	8.71	6.15	3.62	8.71	2.09
1972	3.80	6.24	6.85	4.89	3.56	3.22	3.72	3.18	3.20	3.95	5.03	11.72	4.95	11.72	3.18
1973	9.52	5.93	9.47	5.46	4.74	4.22	3.62	3.43	3.22	4.54	6.57	10.34	5.92	10.34	3.22
1974	9.50	6.02	8.91	7.43	5.15	4.60	3.85	3.63	3.22	4.19	3.49	6.79	5.56	9.50	3.22
1975	9.76	6.77	4.58	4.39	3.62	3.43	3.66	3.03	2.80	3.46	7.75	4.47	4.81	9.76	2.80
1976	3.96	5.21	3.65	2.87	2.62	2.28	2.54	2.32	3.49	5.11	7.13	9.48	4.22	9.48	2.28
1977	10.54	6.65	7.05	5.90	4.23	3.84	3.51	3.07	3.44	4.01	4.23	7.27	5.31	10.54	3.07
1978	9.08	5.94	5.63	5.00	4.23	3.45	3.28	2.80	2.96	3.93	5.79	6.88	4.92	9.08	2.80
1979	15.75	38.81	6.84	7.26	9.06	7.45	6.56	5.68	5.68	4.76	7.23	11.11	10.52	38.81	4.76
1980	16.72	8.70	5.51	8.72	5.19	4.54	4.04	3.75	3.53	2.99	4.68	9.89	6.52	16.72	2.99
1981	7.93	4.85	6.56	5.16	3.81	3.72	3.22	3.04	2.67	4.28	9.84	10.94	5.50	10.94	2.67
1982	17.38	8.38	24.51	8.81	6.81	5.25	4.65	4.24	3.87	4.23	3.10	7.29	8.21	24.51	3.10
1983	12.71	8.80	8.84	8.43	6.93	5.85	5.32	4.58	5.96	11.15	9.30	14.94	8.57	14.94	4.58
1984	7.56	5.66	7.39	5.56	4.45	3.91	3.71	3.92	4.00	4.39	4.56	10.50	5.47	10.50	3.71
1985	24.91	14.41	14.35	9.59	7.40	6.19	5.43	4.79	4.73	4.87	5.73	11.68	9.51	24.91	4.73
1986	13.63	7.80	6.49	4.89	4.67	4.22	4.00	4.05	3.37	3.11	4.46	7.32	5.67	13.63	3.11
1987	6.12	4.82	7.76	5.81	5.30	4.30	3.81	3.37	3.72	3.34	3.91	11.23	5.29	11.23	3.34
1988	7.56	10.87	6.48	6.11	4.74	4.18	3.60	3.35	3.05	3.45	4.53	9.14	5.59	10.87	3.05
1989	5.48	5.59	6.07	3.45	3.11	3.42	3.20	2.88	2.95	3.84	4.76	10.69	4.62	10.69	2.88
1990	4.85	3.81	4.11	3.49	3.34	2.69	3.00	2.77	2.89	2.84	3.83	3.18	3.40	4.85	2.69
1991	13.81	8.90	9.24	5.96	4.70	3.79	3.34	2.90	3.06	3.70	5.77	5.54	5.89	13.81	2.90
1992	18.51	13.29	5.96	5.52	5.25	4.28	3.90	3.75	4.65	4.99	13.46	13.06	8.05	18.51	3.75
1993	8.43	7.07	7.44	7.75	5.12	4.61	3.95	3.78	3.47	4.00	4.67	6.61	5.58	8.43	3.47
1994	12.08	5.41	10.09	6.82	5.48	4.37	3.68	3.65	3.65	3.93	4.70	8.89	6.06	12.08	3.65
1995	4.39	8.03	5.91	4.88	4.06	3.26	3.24	3.08	2.74	3.65	4.64	13.99	5.16	13.99	2.74
1996	7.15	5.96	5.08	4.85	4.52	3.55	3.18	2.98	3.54	4.45	8.08	9.29	5.22	9.29	2.98
1997	27.35	9.00	9.46	9.31	6.29	5.04	4.18	3.66	4.15	4.89	4.88	10.00	8.18	27.35	3.66
1998	7.52	7.25	6.06	4.07	5.41	3.80	3.47	3.81	3.33	4.72	5.49	6.38	5.11	7.52	3.33
1999	6.20	3.88	6.63	3.60	3.19	2.66	2.46	2.46	3.32	3.16	6.13	7.00	4.22	7.00	2.46
2000	6.29	9.59	5.76	4.23	3.63	3.41	3.09	2.88	3.40	2.92	9.48	6.73	5.12	9.59	2.88
2001	7.26	3.66	4.00	2.88	2.88	2.97	2.46	2.56	2.61	2.98	6.08	8.35	4.06	8.35	2.46
2002	29.54	20.19	7.82	5.63	4.84	3.80	3.68	3.39	3.73	3.39	8.54	13.09	8.97	29.54	3.39
2003	29.45	7.31	7.22	5.20	4.12	3.96	3.55	3.49	3.67	3.55	4.95	8.63	7.09	29.45	3.49
2004	16.33	12.92	11.12	18.69	6.71	5.97	5.30	4.49	3.77	4.23	4.18	14.20	8.99	18.69	3.77
2005	9.15	9.67	19.28	6.44	5.77	4.98	4.54	4.08	4.11	3.95	7.25	16.80	8.00	19.28	3.95
Mínima	3.59	2.66	3.40	2.87	2.30	2.28	2.27	2.09	2.25	2.60	2.92	2.87			
Máxima	29.54	38.81	24.51	18.69	9.06	7.45	6.56	5.68	5.96	11.15	13.46	22.71	Qmit (m³/s)		Específica
Média	10.72	8.63	7.99	5.99	4.82	4.25	3.91	3.59	3.57	4.16	5.93	9.29	6.071		30.75