

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS GRANDES RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS NO REGIME DE CHUVA E NAS CARACTERÍSTICAS DA ECONOMIA HÍDRICA DE UMA BACIA DEGRADADA : ESTUDO DE CASO DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE FURNAS NO RIO GRANDE / MG

*Arthur Benedicto Ottoni¹; Aloisio Caetano Ferreira²; Claudio Nogueira Neto³; Fernando das
Graças Braga da Silva⁴; Denis de Souza Silva⁵*

Resumo – O trabalho sintetiza as transformações no Setor Elétrico para aumentar a disponibilidade de energia no mercado após a 2ª metade do século passado, realçando a influência no regime de chuva da bacia hidrográfica na seção do barramento das Usinas implantadas, enfatizando como estudo de caso a Usina Hidrelétrica de Furnas, localizada no rio Grande/MG, após o início da operação do seu reservatório. Através de análise dos dados fluviométricos e pluviométricos na região próxima a esta Central, antes e depois da construção do barramento, o trabalho caracterizou as mudanças no regime de chuva da bacia, relacionando estas mudanças aos Indicadores de Economia Hídrica da bacia representados pelo Rendimento Hidrológico e pelos Indicadores de Perenidade Hídrica.

Abstract – The paper summarizes the changes in the Electricity Sector to increase the availability of energy in the market after the 2nd half of last century, highlighting the influence on the rainfall regimes of the river basin section of the bus of the plants in place, emphasizing how the case study Hydroelectric Furnas, located in the Rio Grande / MG, after the initial operation of the reservoir. Through data analysis and fluviometric rainfall in the region close to this plant before and after the construction of the bus, the study characterized the changes in rainfall regimes of the basin, these changes relating to Economic Indicators Water basin represented by the Income and Hydrological Durability Indicators for Water.

Palavras-Chave – Regime Hidrológico, Degradação Hidrológica, Rendimento Hidrológico.

1 - INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais essenciais à vida, a água útil (disponibilidades hídricas) apresenta-se como o mais significativo para a manutenção da vida no planeta, dado as suas características de usos múltiplos.

¹ Professor Adjunto Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Av. BPS nº 1303 – Bairro Pinherinho, CEP 37500-903, Itajubá- MG, Fone: (035)3629-1483, Fax: (035) 3622-3596, Email: arthurotoni@unifei.edu.br

² Pesquisador GPRH – UNIFEI, Av. BPS nº 1303 – Bairro Pinherinho, CEP 37500-903, Itajubá- MG, Fone: (035)99696300, Fax: (035) 3622-3596, Email: aloisio80@gmail.com

³ Pesquisador GPRH – UNIFEI, Av. BPS nº 1303 – Bairro Pinherinho, CEP 37500-903, Itajubá- MG, Fone: (035)99440930, Fax: (035) 3622-3596, Email: claudionogue@yahoo.com.br

⁴ Professor Adjunto Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Av. BPS nº 1303 – Bairro Pinherinho, CEP 37500-903, Itajubá- MG, Fone: (035)3629-1401, Fax: (035) 3622-3596, Email: fernandobraga@unifei.edu.br

⁵ Pesquisador GPRH – UNIFEI, Av. BPS nº 1303 – Bairro Pinherinho, CEP 37500-903, Itajubá- MG, Fone: (035)99677300, Fax: (035) 3622-3596, Email: denisdesouza@gmail.com

As disponibilidades hídricas são inerentes aos ecossistemas continentais (bacias hidrográficas), também considerados como de características multi-objetivas, devido aos seus recursos naturais. Os usos antrópicos da água na bacia estão representados pelas seguintes proporções: 63% para irrigação, 18% para abastecimento humano, 14% usos industrial, e 5% para dessedentação de animais.

Porém, devido à forma não sustentável como o Homem conduziu o uso e ocupação do solo da bacia, seus recursos hídricos, na atualidade, encontram-se em escassez nas épocas de estiagem e com enchentes nos períodos chuvosos, ocasionando sérios problemas de ordem ambiental, social e econômica.

Atualmente, a escassez hídrica das bacias, associada à sua exploração para produção de energia, irrigação e suprimento da água para os grandes centros urbanos, demandam uma forte articulação/gestão entre a base de pesquisa e o conhecimento científico acumulado, assim como as ações de gerenciamento e engenharia nesta Unidade de Gestão. A Lei 9433/97 foi criada com este objetivo: gerenciamento dos recursos hídricos da bacia. Sem esta articulação, que leve em conta a qualidade e quantidade de água (respectivamente, segundo a Lei 9433/97, representados pelas figuras do “poluidor pagador” e “consumidor pagador” que recebe uma “outorga para o uso da água”), muito pouco avanço conceitual pode ser realizado. Além disto, é preciso levar em conta não somente o sistema aquático, mas a bacia hidrográfica na qual ele se insere e os usos (em conjunto) da água nesta Unidade de Gestão (rios, lagos naturais e reservatórios). Sem este conceito, há pouca probabilidade de um gerenciamento efetivo do Sistema.

O Brasil é um país cujo potencial hídrico é favorável à implantação de reservatórios hidrelétricos, dada as suas características topográficas, climáticas, e da extensa rede de drenagem (Regiões Hidrográficas - % de áreas): Amazônica (A=44,63%), Tocantins–Araguaia (11,36%), Atlântico Nordeste Ocidental (2,98%), Parnaíba (4,04%), Atlântico Nordeste Oriental (3,37%), São Francisco (7,52%), Atlântico Leste (4,4%), Atlântico Sudeste (2,7%), Paraná (10,33%), Paraguai (12,92%), Uruguai (2,05%), Atlântico Sul (2,18%). Dessa forma, no passado procurou-se suprir as necessidades de abastecimento de água, irrigação e, principalmente, fornecimento de energia elétrica, dentre outras, por meio dessa alternativa (usos múltiplo no reservatório).

Inicialmente, a construção de Usinas Hidrelétricas e a reservação de água para diversos fins através dos reservatórios hidrelétricos, foi o principal propósito: nos anos 60 o potencial energético no Brasil era em torno de 5000Mw, e, 40 anos depois (década de 90), devido a forte demanda por energia, o Sistema Elétrico ficou ampliado para cerca de 55000Mw. O período foi marcado pelo desenvolvimento do Setor Elétrico a partir dos grandes reservatórios hidrelétricos, em geral de Alta e Média Queda, de Regularização Anual e Plurianual: Ilha Solteira (3444Mw; CESP; 1963-78; H=47m; rio Paraná); Jupia (P=1551Mw; CESP; 1963-74; H=23m; rio Paraná); Paulo Afonso IV

(P=2463Mw; CHESF; 1979;H=115m); Sobradinho (P=1950;CHESF; 1973-79;H=30 m ;Rio São Francisco); Itumbiara (P=2082Mw; FURNAS;1974-80;H=106m;rio Paranaíba);Tucuruí I(1ª Fase) (P=8000Mw; ELETRONORTE; 1976-84;H=76 m; rio Tocantins), Furnas(P=1216Mw ;FURNAS; 1957-1963; H=127m;rio Grande)(SIPOT-Sistema de Informação do Potencial Energético Brasileiro;ELETROBRAS;1997) , dentre outros . Embora que os reservatórios à época tenham causado grandes impactos ambientais para população local, devido as desapropriações , dentre outros impactos , os usos múltiplos desses sistemas (reservatórios hidrelétricos) diversificaram-se, ampliando a importância econômica e social local(e regional)desses ecossistemas artificiais, e, ao mesmo tempo, produzindo e introduzindo novas complexidades no seu funcionamento. Esta grande cadeia de reservatórios implantados no período teve, portanto, um enorme significado econômico, ecológico, hidrológico e social, e , em muitas regiões do País, esses ecossistemas foram utilizados como base para o desenvolvimento regional, como por exemplo, o reservatório da UHE de Furnas no rio Grande /MG, onde , na sua área de 1440 km², ele responde pelo abastecimento d'água de 34 municípios que compõem a sua bacia hidráulica , pela irrigação de culturas locais, além da recreação (lazer) realizada por pousadas e hotéis ali localizados. Em alguns projetos houve planejamento inicial e uma preocupação com a inserção regional; em outros casos, este planejamento foi pouco desenvolvido. Entretanto, devido as pressões por usos múltiplos, estudos intensivos foram realizados com a finalidade de ampliar as informações existentes e promover uma base de dados adequada que servisse como plataforma para futuros desenvolvimentos .O Setor Elétrico também melhor estruturou-se às demandas relacionadas aos impactos ambientais causados pelos reservatórios.

2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – CICLO HIDROLÓGICO

O Ciclo Hidrológico na bacia hidrográfica caracteriza o percurso que a água realiza em seus diversos estados físicos no solo , sub-solo e atmosfera da mesma . Ele é representado pelo Modelo “Chuva x Vazão”

$$I \times B = O \quad (1)$$

onde:

I= regime de chuvas da bacia(variável em função da localização geográfica , do relevo, e de condições climáticas inter-continentais - El Nino e La-Nina);

B=características da bacia (**físicas**: solo, relevo, geologia, características dos cursos d'água, área de drenagem ; **bióticas** :coberturas florísticas ; **antrópicas**: usos e ocupação do solo);

O = regime hidrossedimentológico dos cursos d'água da bacia e hidrológico do lençol freático.

O Ciclo Hidrológico inicia-se com o processo pluviométrico (regime de chuvas-I). As trocas energéticas desenvolvidas para a gênese do processo pluviométrico são baseadas principalmente no mecanismo da insolação. A ação da insolação na bacia (função da sua localização) intensifica os processos de evaporação da água nas suas superfícies líquidas (lagos, rios) e do solo pela evapotranspiração da água do solo pelos vegetais. A umidade atmosférica (vapor d'água) da bacia provem desta água evapo-transpirada, além da recebida do oceano (caso das bacias litorâneas) e da umidade residual de bacias vizinhas.

O vapor d'água da atmosfera é transportado (por convecção térmica) pelas circulações atmosféricas para maiores altitudes, que, dependendo das condições meteorológicas (ponto de orvalho no nível de condensação), se condensa, formando micro-gotículas, as nuvens. Quando essas atingem determinadas dimensões (e peso), elas tornam-se mais pesadas e precipitam-se, sendo que a forma de precipitação mais relevante para a hidrologia é a que ocorre na forma de chuva (precipitação pluviométrica).

A água que atinge o solo poderá percorrer diversos caminhos, em função das condições da bacia (**B**) (relevo, depressões do terreno, geologia, solo, nível de saturação de água do solo). Uma parte da água irá infiltrar (**I**) até o ponto em que a superfície do solo não esteja saturada. À medida que as partes mais profundas do solo começam a ficar saturadas, há um decréscimo da infiltração (**I**), até atingir a taxa de saturação, gerando assim o escoamento superficial (**ES**) com maior intensidade da água precipitada. A parcela de água infiltrada no solo não aproveitada pela vegetação (água de adesão), percola para o lençol freático, onde irá abastecer o escoamento de base (subterrâneo), este responsável pela alimentação dos rios assim como pela manutenção do nível de perenidade em água superficial de calha fluvial da bacia ao longo do ano hidrológico (variável **O** do Modelo). Portanto, o nível de perenidade em água da bacia vai depender das condições de exaustão do lençol aquífero.

Nesse contexto a vegetação tem um papel importante, pois ela contribui para a obstrução e retenção do escoamento superficial (**ES**), favorecendo ao aumento da infiltração (**I**) durante o processo pluviométrico, e também diminuindo o impacto das gotas de água na superfície do terreno (parcela da interceptação vegetal do ciclo hidrológico), reduzindo a erosão do solo.

Com isso pode-se fazer uma relação entre a quantidade de cada componente do ciclo (balanço hídrico). De acordo com Righetto (1998), a equação hidrológica é:

$$Q_e - Q_s = V(t) \quad (2)$$

Onde:

Q_e - vazão de entrada;

Q_s - vazão de saída;

V - volume armazenado na bacia ou no sistema hídrico.

A Figura 2.1 ilustra o ciclo hidrológico e o balanço hídrico a ele envolvido.

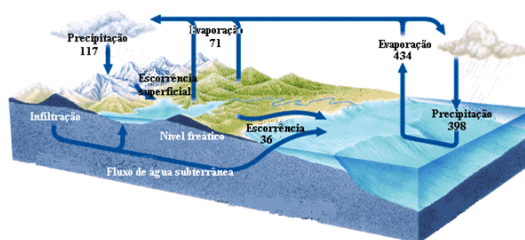


Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico (Fonte: <http://geodinamica.no.sapo.pt>)

2.2 – BACIA HIDROGRÁFICA

Bacia Hidrográfica em uma seção é a área continental onde a água precipitada se dirige a um único ponto de saída (representado pela seção). Ela é limitada pela linha de cumiada (divisor de águas), que a separa das bacias vizinhas.

Os rios que compõem as bacias hidrográficas (na seção considerada) são abastecidos pelo escoamento superficial das encostas e planícies no período chuvoso e pelo escoamento subterrâneo (bacia hidrogeológica) nos de estiagem.

O processo de degradação da bacia inicia-se a partir da evolução no uso e ocupação do seu solo. Em geral, o primeiro nível dos impactos se dá pela retirada das coberturas florísticas, que vai dando lugar para as atividades antrópicas. No Brasil, verifica-se que a seqüência natural desta ocupação no tempo é o desflorestamento, pastagem, agricultura intensiva, início de urbanização (vilas, igrejas, praças, arruamentos), urbanização intensiva e urbanização-industrialização (residências multi-familiares, comércio, indústrias). Os objetivos das atividades do antropismo vai definir o nível (intensidade) dos impactos ambientais sobre a bacia. Dependendo do nível dos impactos, esta transformação poderá ser lenta (ao longo do tempo; mais comum), ou rápida (praticamente pontual caso da atividade de mineração). À medida que a fixação (antrópica) na bacia vai ocorrendo, a sua infra-estrutura vai assim aumentando.

Desta evolução, resultam no tempo as bacias com características rurais, rurais – urbanas e as com grande diversificação de uso e ocupação do solo, as bacias urbano-industriais. Através dos conceitos utilizados em Ecologia das Mesetas Homeostáticas (Figura 2.2) (ODUM; 1988), que reporta a evolução no tempo de qualquer Fator Ambiental, e considerando-se como Fator Ambiental as disponibilidades hídricas da bacia (água útil), pode-se assim classificar as bacias hidrográficas a partir das suas disponibilidades hídricas como Bacia Natural Florestada, Rural, Rural-Urbana, Urbana-Industrial. Estas transformações ocorrem principalmente devido a alteração do balanço hídrico de dois componentes do ciclo hidrológico: escoamento superficial de encosta (ES) (aumento) e a infiltração (I) (redução). De acordo com os conceitos das Mesetas Homeostáticas,

verifica-se que o uso e ocupação do solo ao longo do tempo, como anteriormente referido, vai transformando (no tempo) a bacia de “bacia natural” até “bacia urbana – industrial”. Vão assim ocorrendo retroações positivas na bacia, que indicam o aumento no seu nível de impactos ambientais (deterioração das disponibilidades hídricas). Um grande percentual das bacias brasileiras estão enquadradas como “bacias rurais” e “bacias rurais – urbanas”, enquanto que as bacias urbanas (que cortam as grandes cidades) podem ser enquadradas como “urbano-industriais”. As retroações negativas, opostamente, referem-se à recuperação do Fator Ambiental (no caso as disponibilidades hídricas da bacia) através de intervenções realizadas na mesma (no caso, estímulo à produção de água através do incentivo às áreas de Reserva Legal, manejo hídrico da bacia através de obras nas encostas e planícies para redução dos escoamentos superficiais de encosta - ES e aumento da infiltração - I).

A retroação (+) pode assim ser analisada como a evolução de uma bacia do Tipo I (Natural Florestada) para uma bacia do tipo IV (Urbano-Industrial) (degradação ambiental), se opondo à retroação (-), que evolui (Fator Ambiental disponibilidade hídrica) de uma bacia do tipo IV, para uma do tipo I (regeneração ambiental).

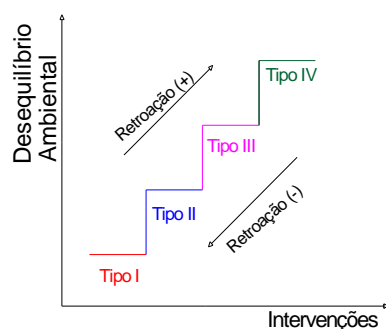


Figura 2.2 – Mesetas Homeostáticas

A classificação das Bacias Hidrográficas é baseada assim no balanço hídrico entre as taxas de infiltração (I) e de escoamento superficial (ES), principais alterações ocorridas no ciclo hidrológico da bacia decorrentes do (mal) uso e ocupação do solo ao longo do tempo. Em função das características dos escoamentos superficial e subterrâneo, que irá alterar este balanço hídrico para quaisquer eventos pluviométricos, pode-se assim definir os respectivos hidrogramas representativos dos tipos de bacia (Figura 2.3)

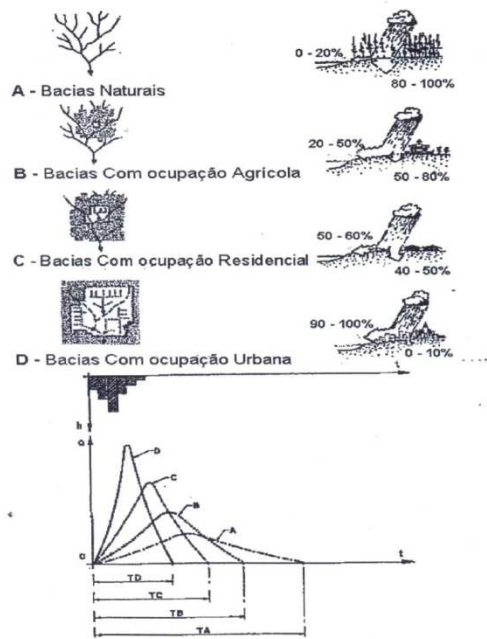


Figura 2.3 – Tipos de Bacias Hidrográficas

Portanto, com a evolução do uso e ocupação do solo de uma bacia no tempo, na sequência do tipo I (Bacia Natural) para a do tipo IV (Bacia Urbano- Industrial), conforme Figura 2.3, verifica-se: aumento da vazão de pico (ΔQ_p), diminuição do tempo de permanência (Δt) da água (precipitada) na bacia, gerando maior escoamento superficial e redução do escoamento de infiltração, e diminuição do tempo de permanência do escoamento na bacia (onde o evento pluviométrico foi gerado). Decorrente desses fatores, a bacia terá menor retenção de água e o regime hídrico será afetado de maneira significativa, deteriorando assim os parâmetros de quantidade (e qualidade pelo aumento dos sedimentos devido a maior erosão da bacia) de água disponível nos corpos hídricos superficial e subterrâneo que drenam a bacia, como veremos a seguir.

2.3 - Indicadores de Regime Hidrológico

Como referido anteriormente, com o uso e ocupação do solo da bacia (antropismo) a mesma vai tendo com o tempo a seguinte seqüência evolutiva: Bacia Natural, Bacia Rural, Bacia Rural-Urbana e Bacia Urbano-Industrial. O tempo desta evolução depende do grau (intensidade) do impacto ambiental da bacia (uso e ocupação do solo).

A partir da Curva de Permanência de Vazões (Decrescente) obtida para uma série hidrológica com “n” anos de dados de vazão em um curso d’água pode-se caracterizar as vazões características do mesmo: Q_5 : vazão de enchente; Q_m : vazão média; Q_{95} : vazão mínima; Q_{50} : vazão mediana.

Obtidas as vazões características do curso d’água, pode-se caracterizar qualitativamente o seu regime hidrológico através dos Indicadores de Perenidade.

De acordo com OTTONI (2009), ao utilizar-se os Indicadores de Perenidade Hídrica, analisa-se as tendências da bacia estudada para enchentes e estiagens, sendo que, para Bacias Naturais Florestadas (de referência), as vazões extremas de enchente(Q_5) e de estiagem(Q_{95}) estão próximas à vazão média(Q_m), e, neste caso, a relação entre as mesmas está próximo da unidade(1,000). Portanto, quanto mais regular for o regime hidrológico do curso d'água (Bacia Natural Florestada), mais próximos da unidade são os Indicadores do Regime fluvial (P, p, m), que crescem com a irregularidade do regime (devido principalmente ao antropismo, que altera o balanço hídrico entre ES - aumento e I - redução), ou seja: $Q_{m\acute{a}x} \approx Q_{m\acute{e}dia} \approx Q_{m\acute{i}n}$ (Bacia Natural).

A partir da FIGURA 2.3, verifica-se que, para uma Bacia Natural, o regime hidrológico do curso d'água é mais estável(I=80-100% ; ES=0-20%), ou seja, seu Hidrograma é mais “achatado”. Com isso as diferenças entre os valores de $Q_{m\acute{a}x}$, $Q_{m\acute{e}dio}$ e $Q_{m\acute{i}n}$ são pequenas, e o regime fluvial é mais regular (escoamento subterrâneo potente), ao contrário das Bacias Rural, Rural-Urbana e Urbano Industrial, que têm, respectivamente, seus escoamentos superficial (ES) e a infiltração(I) gradativamente aumentados e reduzidos, sendo também seus Hidrogramas gradativamente mais “pontudos”. Os Indicadores de Perenidade são representados:

- Indicador de Enchente (P) - é a relação entre as vazões máxima(Q_5) e média (Q_m), onde este indicador aplica-se aos **estudos de enchentes**.

$$P = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{Q_{m\acute{e}dia}} \quad (3)$$

- Indicador de Estiagem (p) – utilizado para **estudos de estiagens**, ele é a relação entre as vazões média (Q_m) e mínima(Q_{95}).

$$p = \frac{Q_{m\acute{e}dia}}{Q_{m\acute{i}n}} \quad (4)$$

- Indicador de Amplitude Máxima (m) – é o produto entre os dois Coeficientes(p, P). Ele indica a suscetibilidade da bacia às **flutuações hidrológicas de enchente e estiagem**.

$$m = P * p = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{Q_{m\acute{i}n}} \quad (5)$$

A relação $\frac{\bar{Q}}{Q_{50}}$ é também considerada um indicador do regime fluvial da bacia (razão). Para

rios com regime regular (Bacia Natural), esta relação está na ordem de 1,10 a 1,20. O conhecimento da evolução destes indicadores no tempo em uma seção fluviométrica é o primeiro passo para se reabilitar (recuperação ambiental) as condições hidrológicas pretéritas da bacia (retroações negativas), sendo portanto o regime hidrológico do rio um indicador da degradação ambiental da

bacia hidrográfica. Outro indicador do regime hidrológico da bacia é seu rendimento hidrológico, como a seguir descrito.

2.4 - Rendimento Hidrológico

Além dos Indicadores de Perenidade da bacia, outros parâmetros podem caracterizar a sua economia hídrica. Segundo OTTONI (2010) “a Economia hídrica da bacia corresponde a capacidade dela transformar a água nela precipitada (produtividade pluviométrica) durante o ano hidrológico em água útil de calha fluvial (disponibilidades hídricas-água útil)”.

O rendimento hidrológico caracteriza assim a produtividade da bacia hidrográfica em “produzir” água útil de calha fluvial para os Sistemas de Recursos Hídricos (Centrais Hidrelétricas, Irrigação, Abastecimento D’Água, Navegação Fluvial) a partir dos deflúvios precipitados na bacia. Através desse parâmetro é possível analisar as perdas hídricas da bacia (evapotranspiração, escoamento superficial) (OTTONI;2010). O rendimento hidrológico da bacia é analisado em um ano hidrológico, e está classificado de três formas:

- rendimento hidrológico de base (r_{hb}): caracteriza o potencial de água subterrânea da bacia. Ele representa o percentual do deflúvio de base (DB) em relação ao deflúvio total de calha (DT).

$$r_{hb} = DB/DT \quad (6)$$

- rendimento hidrológico superficial(r_{hs}): caracteriza o potencial de água superficial da bacia. Representa o percentual do deflúvio superficial (DS) em relação ao deflúvio total de calha (DT).

$$r_{hs} = DS/DT \quad (7)$$

- rendimento hidrológico global (r_{hg}): corresponde ao somatório dos rendimentos superficial e de base. Representa o percentual do deflúvio pluvial (DPI) precipitado na bacia que foi transformado em deflúvio de calha fluvial(DT).

$$r_{hg} = DT/DPI \quad (8)$$

Conforme referido no item 2.1, quando ocorre o processo pluviométrico, uma parte dos deflúvios serão infiltrados (I) no solo e outra serão escoados superficialmente(ES), até alcançar os terrenos mais baixos das encostas representados pela calha fluvial do curso d’água. Decorridos um intervalo de tempo após o início da precipitação, o nível d’água do rio começa a se elevar. Esse intervalo de tempo ocorre em função das retenções superficiais (retardamentos) provocadas pelas condições (naturais) da bacia (variável **B** do Modelo) (interceptação vegetal, relevo, depressões do terreno, tipo de solo, e grau de umidade do solo), que tendem a aumentar o tempo de concentração(t_c) da bacia. A ação antrópica ao longo do tempo (retroações positivas) altera essa estrutura (natural) do solo da bacia, e a bacia vai tendo seus índices de impermeabilidade alterados

(crescentes), modificando também o balanço hídrico entre o ES (aumento) e a I(redução). O Hidrograma nos anos hidrológicos em uma seção fluviométrica da bacia, ao longo do tempo, vai alterando, conseqüência da alteração deste balanço hídrico, conforme representado na FIG. 2.3.

Com isso, a parcela de água que deveria ser infiltrada está escoando superficialmente, gerando, no ano hidrológico, enchentes no período chuvoso (perdas d'água da bacia onde ocorreu o processo pluviométrico) e carências hídricas no de estiagem. Portanto, quanto maior for o impacto ambiental (nível de impermeabilização do solo da bacia) sobre a bacia (retroações positivas, aumento no nível de impermeabilização do solo da bacia), mais intenso será o escoamento superficial de encosta e calha fluvial (ES) e menos intenso será a parcela da infiltração (I) que recarrega o lençol freático (escoamento de base ou subterrâneo). Conforme a bacia vai sendo impactada, seu Hidrograma vai se alterando, de tal forma que os valores das vazões extremas máxima e mínima distanciam-se entre si e também com relação a vazão média, como mostrado na FIG 2.4. Os deflúvios superficiais (DS) aumentam e os de base (DB) reduzem-se (FIG 2.4).

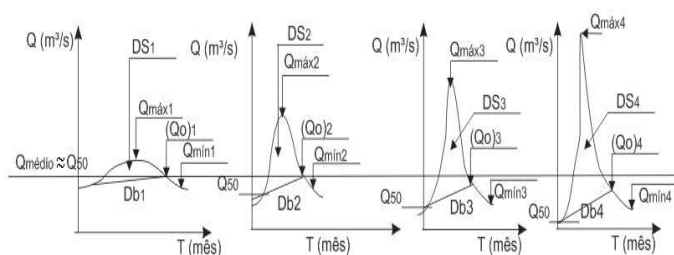


Figura 2.4 – Variações do Hidrograma característico

A explicação é que a bacia perde água precipitada no período chuvoso, que se escoam superficialmente pelas encostas e calha fluvial, podendo gerar enchentes, ao passo que os lençóis aquíferos tendem a perder recarga (pela redução da infiltração) e a operar, seguidamente, ano após ano, em cotas mais baixas, repercutindo, na estiagem, para a alimentação da calha fluvial do curso d'água que drena a bacia, que, por receber menos água dos lençóis aquíferos, têm os seus níveis d'água (e vazões de calha) também deplecionados, o que acarreta em estiagens(carência hídrica) mais frequentes e críticas. Com isso os rendimentos superficial (r_{hS}) aumentam e os de base(r_{hB}) diminuem, e o nível de perenidade (em água útil) do curso d'água diminui, comprometendo a operação dos Sistemas de Recursos Hídricos implantados na bacia.

3- ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE FURNAS NA PLUVIOMETRIA E NOS INDICADORES DE REGIME FLUVIAL DA BACIA

3.1-Introdução

O local do estudo será o reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, este em operação na Bacia do rio Grande, Minas Gerais, no trecho médio deste curso d'água conhecido como

“Corredeiras das Furnas” . A Usina Hidrelétrica de Furnas , com uma potência nominal de 1.216 MW e um reservatório de 1.440 Km² que abrange 34 municípios no seu entorno, pela sua localização geográfica, é uma das mais importantes do País(Sistema Elétrico), tratando-se de uma Grande Central de Regularização Plurianual para as Usinas em operação neste curso d’água localizadas a jusante. Tendo em vista o porte do reservatório da Usina, será avaliado as possíveis alterações climáticas regionais (regime de chuva) provocadas pelo reservatório da Central, assim como suas influências no regime fluviométrico da bacia. Nesse contexto foi determinado que a área a ser utilizada nos estudos fosse compreendida pelas Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH) designadas pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) em GD1(Bacia do Alto rio Grande) , GD2 (Bacias dos rios das Mortes e Jacaré), GD3(Bacia do reservatório de Furnas), GD4(Bacia do rio Verde), GD5(Bacia do Rio Sapucaí) e GD6(Bacias dos afluentes mineiros dos rios Mogi-Guaçu/Pardo), estas denominadas no trabalho por **Região 1** (Figura 3.1) , que abrange toda a bacia do rio Grande a partir da seção da UHE de Furnas. Foi determinado o regime pluviométrico da bacia do rio Grande na seção da UHE de Furnas.



Figura 3.1 – Localização do Reservatório de Furnas

Tomando-se por referência as informações da bacia do rio Sapucaí (GD5), e considerando-se que as demais são homogêneas a do GD5 , pode-se caracterizar os seguintes usos do solo (aproximados) da bacia hidrográfica em relação a UHE Furnas(Vida Meio Ambiente ; Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí-Relatório Executivo;2010): **área urbanizada:1,5%; florestas:13% ; pastagem:36,9% ; agricultura: 45,8%** (áreas onde a imagem esta coberta por nuvens:2,8%).A bacia do GD5 abrange 48 municípios. Portanto, estamos caracterizando a bacia em estudo como do Tipo II(Rural) com transição para do Tipo III(Rural-Urbana). Foi também determinado o regime pluviométrico da região do GD3(Bacia do reservatório de Furnas) , chamada no trabalho de **Região 2**, que abrange apenas a região do “Entorno da Represa de Furnas” .

O período de análise dos dados foi dividido em duas etapas: um antes da construção da barragem (T1) e outro após o início da operação (T2). Isso foi realizado para que pudéssemos determinar quais foram as alterações hidro-meteorológicas que a Usina ocasionou à bacia.

Como a Usina Hidrelétrica de Furnas começou a ser construída em 1957 e a sua geração iniciou-se em 1963, foi utilizado o ano de 1965 como fronteira entre os períodos “antes e depois”. Dessa forma, pode-se garantir a análise da influência do espelho d’água do reservatório nos regimes pluviométricos e fluviométricos da Região de interesse.

3.2 - Rede Pluviométrica

A determinação do regime pluviométrico foi realizada para as duas Regiões descritas acima. Para a realização do preenchimento de falhas foi utilizado o Método da Regressão Linear, sendo este adotado para as duas Regiões de interesse, bem como os dois períodos em questão.

Segundo TUCCI (2001), o método da regressão linear é o mais apropriado e esta pode ser simples ou múltipla. A regressão linear simples consiste em correlacionar as precipitações do posto com falhas com um outro posto vizinho, de acordo com a expressão:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (9)$$

y_i – Precipitação mensal do posto com falha;

X_i – Precipitação mensal do posto com dados;

β_0 e β_1 - parâmetros ajustados na regressão e ε é o erro aleatório do ajuste do modelo, que, por hipótese, deve seguir uma distribuição normal com média zero e variância desconhecida σ^2 .

A regressão linear múltipla relaciona o posto com falhas com vários postos vizinhos, de acordo com a expressão:

$$y = x_{1i} + a_1 x_{2i} + \dots + a_{n-1} x_{ni} + a_n \quad (10)$$

y – precipitação mensal do posto com falhas;

n – numero de postos;

a_0 ; a_1 ; a_n = parâmetros ajustados na regressão;

x_{1i} , x_{2i} ; x_{ni} – precipitação mensal dos postos vizinhos.

Para a aplicação do método adotou-se como critério mínimo a obtenção de um ajustamento cujo coeficiente de correlação fosse superior a 0,8000, assim como a existência de pelo menos oito pares de eventos mensais entre as estações. Em alguns postos foi possível correlacionar um intervalo maior de eventos do que o intervalo de interesse, e dessa forma chegar a resultados mais precisos.

Para o cálculo da precipitação equivalente mensal de cada Região, utilizou-se o método dos Polígonos de Thiessen, o qual atribui um fator de ponderação aos totais precipitados em cada posto proporcional à área de influência de cada um. Esse método foi utilizado nas duas Regiões de análise. Com isso foi possível determinar a altura de chuva equivalente média anual em cada Região

por período, onde a média aritmética resultante será a altura de chuva média equivalente para os períodos T1 e T2 de interesse para as duas Regiões.

- Região 1

Para essa Região foram analisadas mais de 100 estações pluviométricas, das quais apenas 11 foram utilizadas. O período de interesse foi compreendido de 1942 até 1965 (antes ;T1) e de 1966 até 1999 (depois;T2), sendo utilizadas as mesmas estações para os dois períodos em questão.

Os valores dos fatores de ponderação encontram-se no Tabela 3.1 a seguir.

Tabela 3.1 – Fator de ponderação para a região 1 - Factor of balance for region 1

Número	Estação	Código	Áreas (Km²)	Fator de Ponderação
1	Ibertioga	2143008	4126,41	0,0718
2	Baependi	2144004	6145,13	0,1069
3	Cristina	2245065	6461,27	0,1124
4	Borda da mata	2246029	11633,42	0,2023
5	Santana do Jacaré	2045004	3709,97	0,0645
6	Candeias	2045020	4315,78	0,0751
7	Barroso	2143006	4506,88	0,0784
8	Usina do Couro do Cervo	2145007	3976,25	0,0691
9	Coqueiral	2145032	3383,03	0,0588
10	Três Pontas	2145043	6137,17	0,1067
11	Usina Santana	2046011	3107,30	0,0540
			57502,61	

- Região 2.

No caso da Região 2, para os períodos “antes-T1 e depois-T2” utilizamos estações pluviométrica diferentes, tendo os seguintes intervalos de tempo: “antes”(T1) de 01/1942 até 12/1957 e “depois”(T2) de 01/1976 até 12/2002 .A falta de dados na série pluviométrica compreendida entre 12/1958 a 12/1975 resultou na exclusão de várias estações, gerando assim uma impossibilidade de análise do período inteiro(global), resultando em possíveis exclusões de períodos de Trens de Anos Secos ou de Anos Úmidos nesse intervalo de tempo.

Portanto esta Região terá dois quadros correspondentes aos fatores de ponderação para cada período, onde estes valores encontram-se no Tabela 3.2 e 3.3 a seguir.

Tabela 3.2 – Fator de ponderação para região 2 “antes” - Factor of balance for region 2 “before”

Antes				
Número	Estação	Código	Área (km²)	Fator de Ponderação
1	CRISTAIS	2045003	5282,27	0,3227
2	GUAPÉ	2045028	2314,36	0,1414
3	PORTO CARRITO	2046005	3271,75	0,1999
4	SERRANIA	2146000	1378,26	0,0842
5	PARAGUAÇU	2145022	1578,10	0,0964
6	MACHADO	2145002	875,30	0,0535
7	CAMPESTRE	2146023	1670,00	0,1020
			16370,05	

Tabela 3.3 – Fator de ponderação para região 2 “depois” - Factor of balance for region 2 “later”

Depois				
Número	Estação	Código	Área (km²)	Fator de Ponderação
1	FORMIGA	2045021	3120,47	0,1906
2	CANDEIAS	2045020	1906,21	0,1164
3	COQUEIRAL	2145032	4367,85	0,2668
4	CACHOEIRA POÇO FUNDO	2146029	2292,46	0,1400
5	JUREIA	2146027	3523,49	0,2152
6	MUZAMBINHO	2146030	877,03	0,0536
7	GUAXUPE ANA / CESP	2146026	286,25	0,0175
			16373,76	

3.3 - Rede Fluviométrica

Para os estudos fluviométricos foram analisados os principais cursos d'água que abastecem o reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, sendo realizado o somatório de suas vazões (como a vazão total afluente ao reservatório). O rio Formiga não foi analisado, pois não existem estações fluviométricas neste curso d'água. Sendo assim, os principais cursos d'água que drenam em direção ao reservatório e que entraram no balanço hídrico foram: Rio das Mortes, Rio Sapucaí, Rio Verde, Rio Machado, Rio Muzambo, Rio Cervo, Rio Jacaré, Rio Grande.

As estações utilizadas na rede fluviométrica foram as mesmas durante os dois períodos (antes-T1 / depois-T2). O preenchimento de falhas foi realizado de duas formas distintas:

- Transposição de Vazões;
- Correlação de Vazões entre as estações fluviométricas;

“A Transposição consiste num conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou insuficientes” (TUCCI, 2001, p.573).

A Transposição de vazão foi realizada através das áreas de drenagem de cada posto, de acordo com a expressão abaixo:

$$Q_{FLx} = \frac{A_x}{A_1} \times Q_{FL1} \quad (11)$$

Onde: A_x - área de drenagem da estação sem dados; A_1 - área de drenagem da estação com dados; Q_{FLX} - vazão transposta; Q_{FL1} - vazão da estação utilizada (com dados).

A correlação de Vazões entre as estações consiste em correlacionar graficamente uma estação com outra e dessa forma ter como resultado uma expressão do tipo:

$$Q_{FL1} = a \times Q_{FL2}^b \quad (12)$$

Onde

Q_{FL1} - vazão da estação a ser ajustado;

Q_{FL2} - vazão da estação com dados certos;

a, b - coeficientes da reta.

Para a utilização deste método, foi utilizado como critério mínimo o ajustamento cujo coeficiente de correlação fosse maior que 0,8000.

3.4 - Indicadores de degradação Hidrológica

Conforme metodologia apresentada no item 3.3, e através das Curvas de Permanência de Vazões (Decrescentes) dos 2 períodos por Região (Figuras 3.2 e 3.3) foi possível determinar os Indicadores de Regime Hidrológico (Quadros 3.4 e 3.5 em anexo).

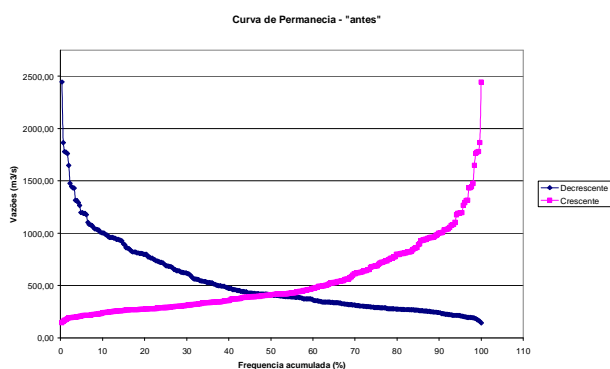


Figura 3.2 – Curva de Permanência para a somatória dos rios – “antes”

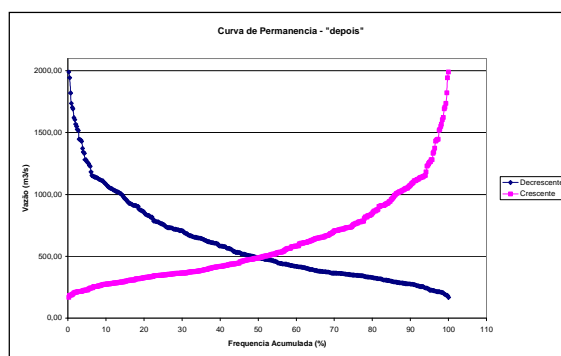


Figura 3.3 – Curva de Permanência para a somatória dos rios – “depois”

Tabela 3.4 – Vazões características da somatória

Curva decrescente		
	Antes	Depois
$Q_{média}$	535,44	595,60
$Q_{50\%}$	413,26	487,14
$Q_{5\%}$	1189,03	1245,00
$Q_{95\%}$	212,87	230,00

Tabela 3.5 - Indicadores Hidrológicos

Indicadores de regime hidrológico		
	Antes	Depois
P	2,22	2,09
p	2,52	2,59
m	5,59	5,41
$Q_{medio}/Q_{50\%}$	1,30	1,22

3.5 - Rendimento Hidrológico

Para a caracterização do rendimento hidrológico(r_h), inicialmente determinamos, através das séries de vazões anuais nos Postos Fluviométricos dos rios que afluem ao reservatório selecionados, os Trens de Anos Secos, para os períodos “antes- T1 e depois T2”, confrontando os Hidrogramas Anuais da série de vazões afluentes ao reservatório com os respectivos Hietogramas das precipitações anuais para os mesmos períodos.

O período utilizado para verificar os Trens de Anos Seco foi de 1942 até 1999.

Sendo assim foi possível determinar os Trens de Ano Secos :

- “Antes”(T1): 1951, 1952, 1953 e 1954;
- “Depois”(T2): 1990, 1991,1992 e 1993.

Vale ressaltar que os anos de 1969, 1970, 1971 se caracterizam como Trem de Anos Secos. Este período, no entanto, não foi utilizado, pois os anos estão próximos “da fase de final de construção e início de operação da Usina “. Sendo assim, foram selecionados para o período T2 os anos de 1990, 1991, 1992 e 1993 para caracterizar de forma consistente a influência do reservatório no rendimento hidrológico global da bacia a partir das séries extremas de anos secos.

A análise acima descrita somente pôde ser realizada para Região 1, pois na Região 2 os Trens de Ano Secos entre os Hidrogramas e Hietogramas não foi coincidentes.

Os deflúvios pluviais anuais foram calculados em relação as áreas de drenagens das bacias das estações fluviométricas, através das alturas equivalentes de chuvas anuais nestas áreas precipitadas. A partir dos deflúvios fluviais e pluviais acumulados, foi possível construir os gráficos de deflúvios pluviais e fluviais acumulados para calcular o rendimento global fluvial, conforme Figuras 3.4 e 3.5 a seguir.

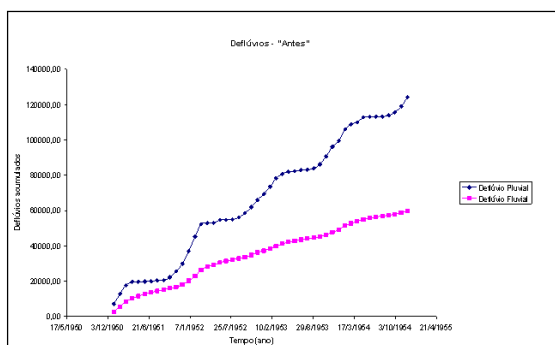


Figura 3.4 - Deflúvios acumulados “antes”.

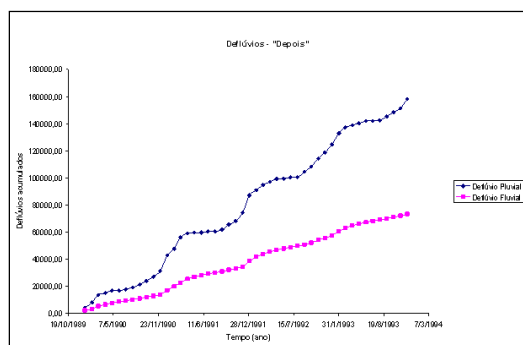


Figura 3.5 – Deflúvios acumulados “depois”.

3.6 - Análise do Período Global

Visando analisar a bacia hidrográfica da Região 1 como um todo, será realizada na mesma uma análise do período global. Para a pluviologia foi utilizado o intervalo de 1942 a 1999, e para a análise fluviologia foi utilizado o período de 05/1940 a 12/2002.

3.6.1- Pluviologia

Para o cálculo da precipitação média na área de drenagem correspondente a cada uma das estações pluviométricas, utilizou-se o mesmo procedimento anteriormente descrito. Portanto, a altura de chuva equivalente do período que precipitou na Região 1 foi de **1385,91** mm.

3.6.2 – Fluviologia : Indicadores de Regime Hidrológico

Para a determinação das vazões que afluem ao reservatório, foi realizado o mesmo procedimento acima descrito.

Dessa forma, a Figura 3.6 mostra a Curva de Permanência de Vazões (Decrescente) do período global e as Tabelas 3.5 e 3.6 mostram respectivamente as vazões características e os Indicadores de Regime Hidrológico do período global. Analisando essa duas Tabelas, verifica-se que a Região 1 está tendo maior chance à estiagem, pois o parâmetro p(Indicador de Estiagem) esta maior que o parâmetro P(Indicador de Enchente), quando comparado a referência da unidade (vazão média).

3.6.3 - Rendimento Hidrológico global

Para a determinação do rendimento hidrológico global, foi utilizado o período de 01/1942 a 12/1999, haja vista os períodos de coincidência entre a pluviologia e a fluviologia.

Como o Trem de Anos Secos mais expressivo para este período ocorreu entre 1951 e 1954, o rendimento hidrológico será o mesmo daquele determinado anteriormente, ou seja , 48,20 %.

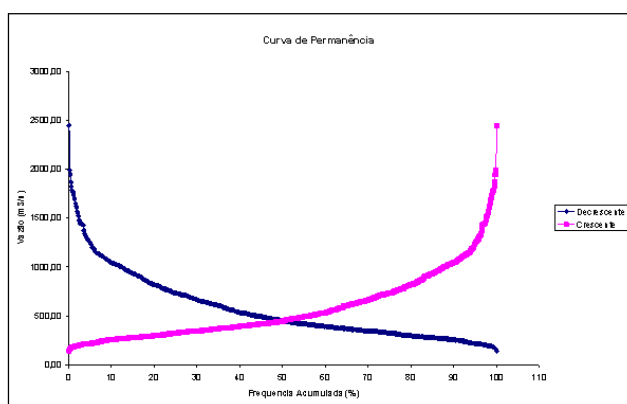


Figura 3.6 – Curva de Permanência para o período global

Tabela 3.5 – Vazões características da somatória

Tabela 3.6 – Indicadores Hidrológicos

Curva decrescente	
Q_{média}	570,95
Q_{50%}	446,09
Q_{5%}	1257,11
Q_{95%}	218,64

Indicadores de Regime Hidrológico	
P	2,20
p	2,61
m	5,75
Q_{médio}/Q_{50%}	1,28

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os índices pluviométricos encontrados para as Regiões 1 e 2 demonstram que o regime de chuva regional (GD-1 a GD-6) foi alterado após a construção da Usina Hidrelétrica de Furnas, pois, para a Região 1, os índices pluviométricos (do período T2) tiveram um aumento de 1317 mm(T1) para 1434 mm(T2), o que acarretou num aumento de 8,8%. Já na Região 2 verifica-se que o índice de pluviométrico passou de 1223 mm(T1) para 1461 mm(T2), o que acarretou em 18,5% de aumento.

Percebe-se que, na Região 2 (e possivelmente adjacências), onde o reservatório está inserido, o aumento da precipitação foi maior. Outro aspecto importante para análise é que na Região 1 não foram encontradas estações pluviométricas próximas ao reservatório que tivessem dados da série inteira (completas). Por isso, quando aplicado o Método Thiessen para as estações utilizadas nesta Região, o fator de ponderação atenuou a diferença percentual, quando comparado com a Região 2. Com este aumento do índice pluviométrico (regime de chuvas), a vazão média do somatório dos rios que afluem ao reservatório passou de 534,44 para 595,60 m³/s, tendo assim uma diferença de 11,44 %.

Quando comparados os aumentos percentuais de chuva com o de vazão, fica claro que para na Região 1 o aumento de chuva foi inferior ao de vazão, o que não estaria correto. A justificativa é que o fator de ponderação utilizado no método de Thiessen atenuou o índice de pluviometria na região de maior evaporação, que é a o reservatório (Região 2). Mas fica também claro que, quando o aumento de vazão média na Região 1 é comparado com o aumento do índice de chuva para a Região 2, esse aumento torna-se viável, mesmo tendo em vista que a vazão gerada na bacia ocorre em detrimento de uma área de drenagem maior, mas isso apenas justifica que a vazão aumentou por influência do aumento de chuva, em função de uma mudança climática regional (alteração do regime de chuvas).

Através dos indicadores de regime hidrológicos, observou-se que a bacia compreendida pelas áreas do GD1, GD2, GD3, GD4, GD5 e GD6 de modo geral conseguiu absorver esse aumento do índice de chuva, pois o parâmetro m (amplitude de vazões), passou de 5,59 para 5,41, o que mostra que as flutuações hidrológicas diminuíram, notadamente com relação as enchentes, possivelmente em função de ações de retroações negativas (regeneração ambiental) realizadas nas bacias no período.

Os valores dos parâmetros P (2,22 para 2,09) e p (2,52 para 2,59), respectivamente de enchente e estiagem, mostram que a vazão extrema máxima diminuiu e a extrema mínima ficou ligeiramente mais crítica (em relação a vazão média). Isso demonstra que a bacia tende a maior suscetibilidade à estiagens, principalmente quando os índices de chuva da bacia forem críticos (baixo índice de chuva), podendo-se caracterizar na bacia uma tendência a carência hídrica que pode vir a comprometer o volume útil do reservatório em operação.

Outro aspecto relevante que justifica a diminuição do parâmetro m (amplitude de vazões) é que existem regiões dentro da bacia do rio Grande, como é o caso do Rio Muzambo e Machado, que, mesmo com o aumento dos índices pluviométricos, influíram numa melhora dos coeficientes de perenidade diagnosticados para a bacia como um todo. Isso se explica pelo fato dessas mini-bacias não possuírem um alto grau de degradação (ocupação).

Devido ao fato de não terem sido identificadas estações mais próximas ao início das afluições ao reservatório, em todos os rios afluentes não pôde-se analisar os Indicadores de regime hidrológico específico nesta área residual. Isso poderia influir nos valores aqui encontrados, pois se estas regiões estivessem em condições de degradação acentuadas, os resultados dos parâmetros P, p e m seriam mais críticos (mais afastados da unidade).

Isso também pode ser observado através do rendimento hidrológico, pois para o período de “antes” (T1) o rendimento hidrológico da bacia do reservatório era de 48,20%, passando em T2 para 46,36%, tendo um decréscimo de 3,81%. Mesmo com o índice de chuva na bacia aumentado e a flutuação hidrológica (parâmetro m) ter diminuído, o coeficiente p aumentou, caracterizando que a bacia representativa da Usina de Furnas tem vazões mínimas menores que as encontradas antes da construção do reservatório e assim o volume de água que precipitou na bacia gerou menos vazão na calha (água útil), o que mostra que a bacia teve um aumento das perdas d’água, justificando dessa forma o decréscimo do rendimento hidrológico global.

Vale salientar que o presente trabalho visa não apenas demonstrar resultados da pesquisa, mas também começar a inferir até que ponto o aumento do índice pluviométrico é benéfico ou maléfico para a bacia. A análise mais conclusiva sobre a degradação do regime hidrológico da bacia deve ser feita entre as alterações do regime pluvial e a do balanço hídrico entre os regimes de água subterrânea e superficial, estes representados pelos indicadores de rendimento hidrológico superficial (rh_s) e subterrâneo (rh_b).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG – Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais pelo apoio dado a participação em eventos.

BIBLIOGRAFIA

a) Livros:

- ANDRÉ, R.G.B; MARQUES, V.S. (1974). Introdução a Meteorologia, Jaboticabal, São Paulo.
- BANDINI, A. Hidrologia. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, São Paulo.
- GARCEZ, L.N. (1967). Hidrologia; São Paulo, Ed. Edgard Bliicher.
- MAKSOUH, H., Características funcionais e físicas das bacias fluviais. Rio de Janeiro, Centro Panamericano de Aperfeiçoamento para Pesquisas de Recursos Naturais.
- NIMER, E., (1979), Climatologia do Brasil, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, SUPREN, IBGE, Rio de Janeiro, 421p.
- OCCHIPINTI, A.G.(1989). Hidrometeorologia In: Engenharia Hidrológica. Rio de Janeiro ABRH, Ed da UFRJ. 404p.
- ODUM, E.P.(1988).Fundamentos de Ecologia. Fundação Caloustre
- PFASFTETTER, O. 1957. Chuvas intensas no Brasil. Rio de Janeiro DNOS 419p.
- RIGHETTO, A.M.; (1998). Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos: EESC/USP 840p.
- RAMOS, F., (1989), Hidrologia, Cap 1, In: Engenharia Hidrologia, vol. 2, coleção ABRH.
- SOUZA, D. J. R. - Hidrotécnica Continental. Tese de Livre Docência da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 1974.
- TUCCI, C.E.M.; (1993). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre, Ed..Universidade 943p.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A., (1975). Hidrologia Aplicada; São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 245p.

b) Teses e Monografias:

- DIAZ, O., 1987. Precipitação de projeto e regionalização de hidrogramas unitários para bacias urbanas brasileiras. Porto Alegre: UFRGS – Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Diss. De mestr. Engenharia Civil;
- OTTONI, A. B. (2002) “Estudos e modelo Físico Hidrodinâmico da soleira de Admitância Individual”. Monografia de Doutorado, Rio de Janeiro, RJ; COPPE/UFRJ.
- OTTONI, A. B. ; (1996); “Ações Sanitárias e Ambientais em Bacias Hidrográficas: Preceitos Básicos”. Tese de M.Sc.; ENSP / FIOCRUZ; Rio de Janeiro; RJ; Brasil;
- OTTONI, A.B.(2010),Apostila Curso de Otimização Operacional de Reservatórios-COOR, FUNDAÇÃO GOGÉ, Rio de Janeiro, RJ

c) Outros

- AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS - <http://www.ana.gov.br>
- OTTONI, A. B. Notas de Aula da Disciplina de Hidrologia. UNIFEI, Itajubá/MG, 2004.