

DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DE BARRAGEM UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

Roberto José Amorim Rufino Fernandes^{1}; Djalena Marques de Melo¹; Claudio Damasceno de Souza¹; Jean Ricardo da Silva Nascimento¹ & Josélia de Carvalho Leão²*

Resumo: O trabalho teve como objetivo geral realizar o dimensionamento da barragem de Santa Cruz do Piauí a ser construída no rio Itaim, conjuntamente com a implantação de um sistema adutor visando ofertar água em quantidade e qualidade adequadas às cidades de Santa Cruz do Piauí, Picos, Dom Expedito Lopes, Paquetá, Ipiranga do Piauí, São João da Varjota, Santo Inácio do Piauí, Floresta do Piauí e Wall Ferraz. Além do abastecimento humano, a barragem seria importante para viabilizar novos empreendimentos de produção agrícola, aproveitando as excelentes condições locais para a fruticultura irrigada: altos índices de insolação, terras de boa qualidade e razoável infraestrutura viária e elétrica já existente.

Palavras-Chave: Dimensionamento de barragens, Técnicas de geoprocessamento, Vazão regularizada

HYDROLOGICAL SCALING DAM USING GEOPROCESSING TECHNIQUES

Abstract: The objective of this work was to carry out general scaling the dam of Santa Cruz Piauí to be built on the river Itaim, together with the deployment of a pipeline system to supply in water quantity and quality suitable for cities of Santa Cruz do Piauí, Picos, Dom Expedito Lopes, Paquetá, Ipiranga do Piauí, São João da Varjota, Santo Inácio do Piauí, Floresta do Piauí and Wall Ferraz. In addition to the supplies for human consumption, the dam would be important to make new ventures of agricultural production, taking advantage of the excellent local conditions for irrigated horticulture: high rates of sunshine, good land and reasonable road infrastructure and electrical already existing.

Keywords: Scaling of dam, Geoprocessing techniques, Regularised flow.

^{1*} Pesquisador em Geociências no Serviço Geológico do Brasil, Rua Goiás, 312, Ilhotas, Teresina – PI. Roberto.fernandes@cprm.gov.br, djalena.melo@cprm.gov.br, claudio.damasceno@cprm.gov.br, Jean.nascimento@cprm.gov.br.

² Professora do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí, Rua Espírito Santo, 996, Acarape, Teresina – PI. josealialeo@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Encravada no semiárido piauiense, grande parcela da população da região de Santa Cruz do Piauí é atendida com água transportada em carro-pipa, em providências emergenciais adotadas pela Defesa Civil e pelas Prefeituras. Muitas vezes essas águas são captadas em pequenos açudes e não oferecem qualidade para o uso humano, necessitando tratamento convencional para sua melhor adequação, o que normalmente não é feito.

Mesmo as sedes municipais da região, com mananciais subterrâneos, não dispõem de sistema de abastecimento de água confiáveis do ponto de vista quantitativo e qualitativo, conforme foi verificado pelo Estado do Piauí em parceria com a Agência Nacional de Águas - ANA.

Em função das dificuldades de abastecimento, a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMAR/PI propôs a construção de um novo barramento no rio Itaim, mas apesar de indicada como obra prioritária no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí – PERH/PI (SEMAR/PI, 2010), não foi realizado nenhum estudo para dimensionamento hidrológico da barragem, não se tendo, portanto, definidas a capacidade de acumulação e a vazão passível de regularização a partir do barramento.

O objetivo do presente trabalho é realizar o dimensionamento hidrológico da barragem de Santa Cruz do Piauí utilizando técnicas de geoprocessamento aliadas aos dados hidrológicos disponibilizados pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos e os dados topográficos gerados pela missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) dos Estados Unidos no ano 2000 e disponibilizado pela EMBRAPA em seu sítio na internet.

2 LOCALIZAÇÃO DO BARRAMENTO E DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A SEMAR propôs como localização possível da Barragem de Santa Cruz do Piauí um sítio entre as localidades Morro Agudo e Passagem Funda, no município de Picos, aproximadamente nas coordenadas 7°14'35,24" S e 41°36'05,54" W. Tal proposição foi realizada com base em um mapa gerado no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Canindé e Piauí, cuja elaboração parcial se deu entre 1998 e 2000, encontrando-se, ainda, inconcluso.

Buscou-se, inicialmente, confirmar se a localização proposta é a mais adequada analisando-se a distribuição das curvas de nível ao longo do leito do Rio Itaim desde a foz do Rio Guaribas, um de seus principais afluentes, até 20 km a montante do sítio indicado, buscando pontos onde as curvas estão mais próximas, o que conduziria a uma menor extensão do maciço e, em consequência, um menor custo de implantação da obra.

Como informado, trabalhou-se com os dados SRTM disponibilizados pela EMBRAPA em <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>. Os dados topográficos são apresentados na forma de modelo digital de elevações (MDE), com resolução de 90 m, disponibilizados em formato geotiff de 16 bits, em sistema de coordenada geográficas com *datum*

WGS-84, já consistidos e com as falhas do modelo original, como os espelhos d'água, devidamente preenchidas. Os MDEs são fornecidos em recortes compatíveis com a articulação das cartas na escala 1:250.000 do IBGE.

De forma a garantir a cobertura integral da bacia do Rio Itaim até a foz do Rio Guaribas, foram trabalhados os recortes Sb-24-y-a, Sb-24-y-b, Sb-24-y-c, Sb-24-y-d e Sb-24-v-a. As curvas de nível e o local sugerido para o barramento encontram-se na Figura 1.

A delimitação da bacia hidrográfica foi feita a partir do MDE utilizando a extensão “Arc Hydro Tools” versão 2.0³. Na figura 2 encontra-se a bacia delimitada, cuja área de contribuição é de 8.608,93 km² e o perímetro vale 789,34 km. Ainda pode-se observar na Figura 2 o maior percurso percorrido pela água na bacia, que é de 224,63 km.

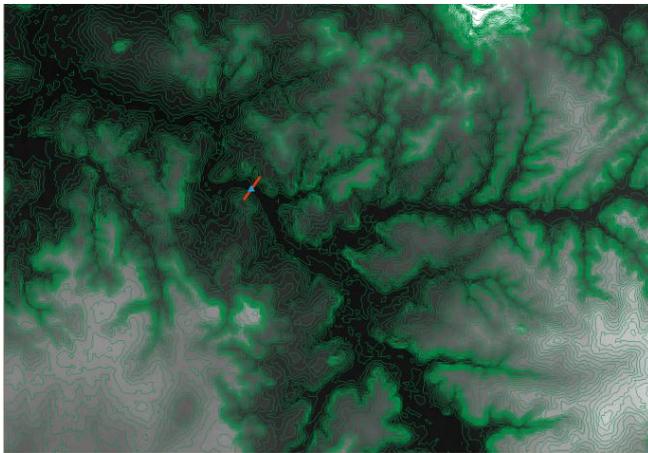


Figura 1 – Curvas de nível e local do barramento

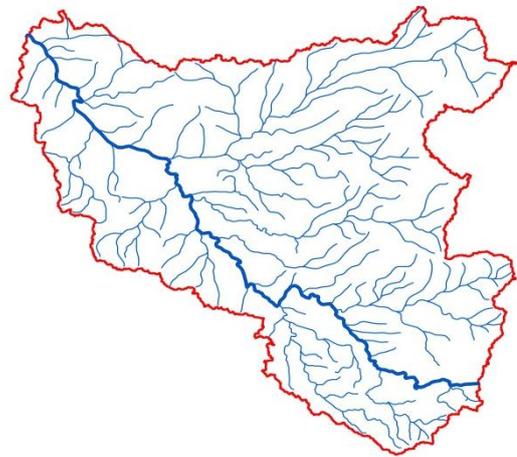


Figura 2 – Bacia hidrográfica

3 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

3.1 Índices Gerais

A bacia foi caracterizada a partir dos seguintes parâmetros: índice de compactidade, fator de forma, ordem e declividade do curso d'água principal, declividade dos terrenos da bacia e densidade de drenagem.

O índice de compactidade (K_c), que relaciona a área e o perímetro da bacia, foi calculado em 2,4. Um coeficiente mínimo igual a 1 corresponderia à bacia circular que é a forma que provocaria as maiores enchentes. Inexistindo outros fatores, quanto maior K_c , menos propensa à enchente é a bacia. Já o fator de forma (F_f), razão entre a largura média da bacia e o seu comprimento, vale 0,17. Valores pequenos de F_f indicam menor propensão à enchentes devido à reduzida possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a extensão da bacia. Admitiu-se o comprimento axial aproximadamente igual ao maior comprimento de fluxo. Através da análise dos índices é possível afirmar que a bacia do Rio Itaim no local do barramento não apresenta grande

³ Disponível em http://downloads.esri.com/blogs/hydro/AH2/ArcHydroTools_2_0.zip

predisposição natural para a produção de enchentes tendo em vista apresentar-se alongada no sentido sudeste-noroeste, o que dificulta a concentração das águas na geração de grandes vazões de pico em função dos diferentes tempos de trânsito.

A classificação dos rios quanto à ordem de drenagem reflete no grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. No presente estudo foi utilizado o critério definido por Horton e modificado por Strahler, o que resultou que o rio Itaim no local de interesse apresenta-se como um curso d'água de 7ª ordem, indicando a grande quantidade de canais identificados, o que se justifica pelo fato de boa parte da bacia estar assente sobre o embasamento cristalino.

A declividade de bacia é um dos fatores mais importantes que controla o tempo de escoamento superficial e a concentração da chuva, apresentando uma importância direta quanto à magnitude das vazões instantâneas. Para a bacia da Barragem de Santa Cruz do Piauí foram determinadas a declividade média da bacia por meio de técnicas de geoprocessamento e a declividade do curso d'água principal pelo método chamado de S1. A declividade média da bacia foi gerada através do ArcGis. Na Figura 3 encontram-se as classes de relevo para a bacia e na Figura 4 a sua distribuição percentual.



Figura 3 - Classes de relevo

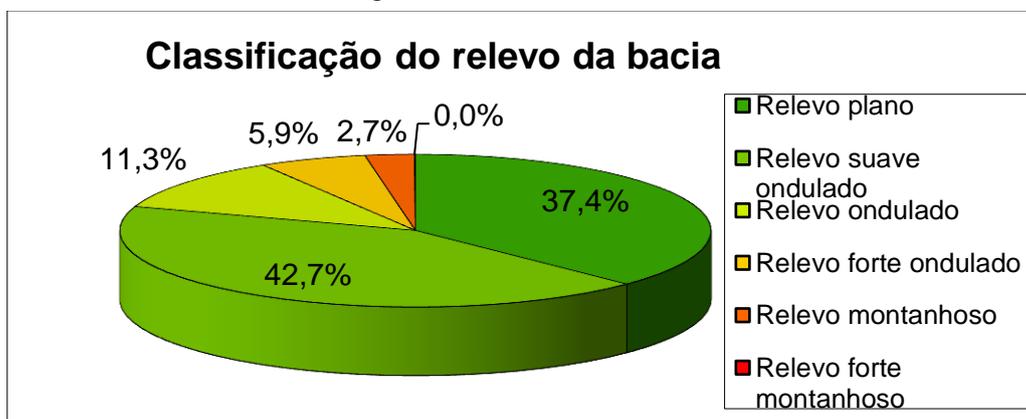


Figura 4 – Distribuição das classes de relevo

Como pode ser observado, cerca de 37% da área da bacia é representada por terrenos planos com declividades inferiores a 3% e praticamente 80% têm declividades inferiores a 8%, indicando que a maior parte da área drenada pelo Rio Itaim até a barragem apresenta relevo plano a suave ondulado. A declividade média da bacia é de 6,04%. Menores declividades conduzem a menores velocidades de deslocamento da água, reduzindo o escoamento superficial direto e facilitando a infiltração da água.

A declividade do Rio Itaim foi calculada através da metodologia denominada S1, onde a diferença de nível entre o ponto mais a montante do curso d'água e o ponto de interesse para o qual a bacia foi delimitada (ΔH) é dividida pelo comprimento do talvegue (L), $S=(\Delta H/L)$. A diferença de cotas foi obtida a partir do MDE considerando o maior comprimento do fluxo observado, $S=(839-177/224.628) = 0,00295$ m/m. Portanto, a declividade média do Rio Itaim até o local do barramento corresponde a, aproximadamente, 3,0 m/km.

A densidade de drenagem (Dd) é a relação entre o comprimento total dos cursos d'água (Lt) e a área de drenagem (A), indicando a eficiência da drenagem na bacia. As bacias com maior densidade de drenagem tenderão a estar mais sujeitas à cheias do que as bacias com menor densidade de drenagem. Para esta bacia a Dd foi de 0,000689 m/m² ou 0,689 km/km², segundo a classificação proposta por Beltrame (1994), a bacia apresenta-se medianamente drenada.

4 PRECIPITAÇÃO MÉDIA

A área em estudo e em seu entorno, dispõe de dados desde outubro de 1962 quando foram instalados diversos postos pela SUDENE. Infelizmente, a operação da maioria destes postos foi descontinuada a partir do início dos anos noventa do século XX. Para a caracterização pluviométrica da bacia optou-se por utilizar as séries de precipitações preenchidas e consistidas no âmbito do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Piauí PERH/PI, concluído pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí – SEMAR/PI em dezembro de 2010.

Tendo em vista a descontinuidade de operação da grande maioria dos postos pluviométricos existentes no Piauí em função da decisão da SUDENE em repassar sua rede de monitoramento para os Estados, o PERH/PI trabalhou com séries de 37 anos de duração (1964 a 2000), tendo realizado o preenchimento e a consistência dos dados a partir do método do Vetor Regional. Os postos com influência na bacia foram determinados pelo método dos polígonos de Thiessen, tradicionalmente utilizados para este fim. A Tabela 2 apresenta a precipitação média da bacia, determinada por meio dos polígonos de Thiessen, para o período de janeiro de 1964 a dezembro de 2000.

Tabela 2 – Precipitação média mensal na bacia da Barragem de Santa Cruz do Piauí

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Média	109,1	106,5	148,9	88,9	18,1	3,6	2,9	0,6	3,7	18,4	45,4	79,7	625,9

5 EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

Com base em dados de evaporação em tanque evaporimétrico tipo Classe A presente na estação climatológica de Picos apresentados na Tabela 3, constata-se que a evaporação média anual na área em estudo está em torno de 2.581,1 mm. Este valor representa uma elevada taxa anual de evaporação, mas está coerente com os valores observados em todo o Nordeste brasileiro.

Tabela 3 – Evaporação em tanque Classe A para a estação Picos

Evaporação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Mensal	133,1	108,9	94,2	117,8	173,4	236,7	256,6	315,3	328,4	318,9	285,5	212,3	2581,1
Diária	4,3	3,9	3,0	3,9	5,6	7,9	8,3	10,2	10,9	10,3	9,5	6,8	7,1

Para a avaliação da ETP na região em estudo foi utilizado o método combinado de Penman-Monteith indicado pela FAO, com excelentes resultados tanto em regiões úmidas quanto áridas. Como dados de entrada são requisitados, para cada mês, as temperaturas médias máximas e médias mínimas, a umidade relativa do ar, o valor médio diário de horas de insolação e a velocidade média dos ventos a 2 metros de altura. Os valores calculados com o auxílio do programa computacional Cropwat 8.0, disponibilizado gratuitamente pela FAO em seu sítio na internet, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Evapotranspiração potencial para a região

Eto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Mensal	147,9	127,7	135,2	132,6	146,3	157,8	182	212,7	222,9	225,1	197,4	179,5	2067,1
Diária	4,8	4,6	4,4	4,4	4,7	5,3	5,9	6,9	7,4	7,3	6,6	5,8	5,7

6 FLUVIOMETRIA

Na bacia do rio Itaim, segundo inventário da Agência Nacional de Águas – ANA, existem dois postos fluviométricos em operação: a estação Maria Preta (34450000), localizada no município de Patos do Piauí, e Santa Cruz do Piauí II (344710000), no município de mesmo nome. A primeira fica a montante do ponto proposto para a implantação da barragem e a segunda a jusante, conforme pode ser observado na Figura 4. A figura também mostra a localização de dois grandes reservatórios na bacia de contribuição da barragem de Santa Cruz do Piauí: Poço do Marruá, no Rio Itaim, com capacidade de acumulação de 293,2 hm³, e Estreito, no Riacho Boa Esperança, com 21,0 hm³.

Tendo em vista a grande capacidade de retenção de escoamentos destes reservatórios, optou-se por avaliar as vazões afluentes ao futuro barramento utilizando o modelo MODSIM em sua versão mais recente, integrada ao AcquaNet, desenvolvida pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão da Universidade de São Paulo – Labsid/USP⁴. Para avaliação das vazões afluentes aos reservatórios Poço do Marruá e Estreito, bem como a vazão gerada na interbacia entre tais barramentos e o sítio da futura barragem de Santa Cruz do Piauí, optou-se por utilizar o medo chuva

⁴ Disponível em <http://www.labsid.eng.br/>

vazão SMAP com os parâmetros calibrados para o posto de Maria Preta (34450000) no âmbito do PERH/PI⁵.

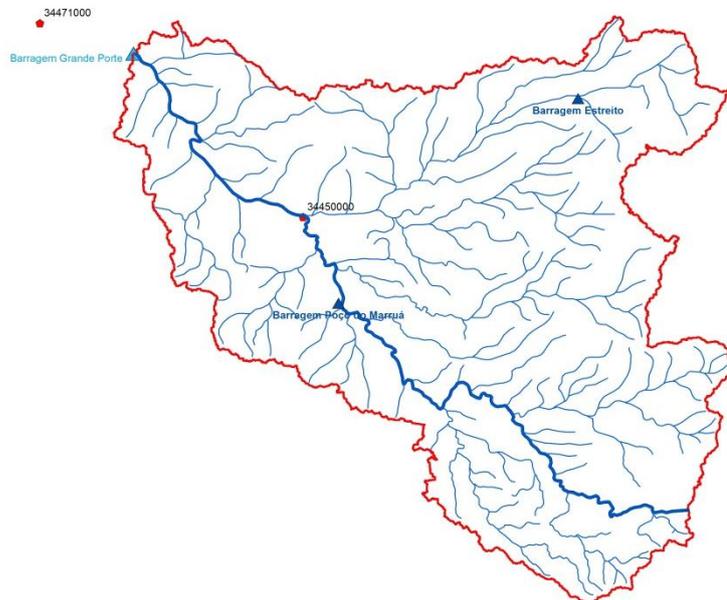


Figura 4 - Localização das estações fluviométricas e barragens de grande porte

Os valores médios das séries pseudo-históricas afluentes às barragens Estreito e Poço do Marruá, bem como as vazões geradas na interbacia estão apresentadas, na Tabela 5. A vazão específica média obtida foi de 1,66 l/s.km² para Estreito, 0,95 l/s.km² para Marruá e 1,66 l/s.km² para a interbacia.

Tabela 5 – Séries pseudo-históricas afluentes às barragens Estreito e Poço Marruá e vazões geradas na interbacia

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Vazões médias afluentes à barragem Estreito (m ³ /s)													
Média	0,74	1,37	3,27	3,34	0,83	0,08	0,03	0	0	0,01	0,02	0,21	0,83
Vazões médias afluentes à barragem Poço do Marruá (m ³ /s)													
Média	3,87	4,99	11,93	9,51	1,71	0,34	0,25	0,01	0	0,12	0,2	1,29	2,85
Vazões médias geradas na interbacia (m ³ /s)													
Média	7,61	15,82	34,82	31,82	5,4	0,71	0,19	0,02	0,08	0,23	0,52	2,82	8,34

O Sistema hidrológico foi representado no AcquaNet pela rede apresentada na Figura 5. Cada barragem existente recebeu uma demanda representando a vazão regularizada com 90% de garantia. O nó de interligação Sitio_Barr recebeu as vazões geradas na interbacia. Inicialmente foi avaliada a vazão regularizada para cada barragem, tendo sido obtidos os valores de 0,41 m³/s para a

⁵ Apresentado no RTP1, Tomo I – Águas Superficiais, página 3-117.

barragem Estreito e 2,01 m³/s para a barragem Poço do Marruá. A vazão total afluyente ao novo barramento foi calculada pelo programa considerando os vertimentos e a vazão de contribuição da interbacia, resultando em um volume afluyente anual médio corresponde a 292,0 hm³, com coeficiente de variação anual de 1,05.

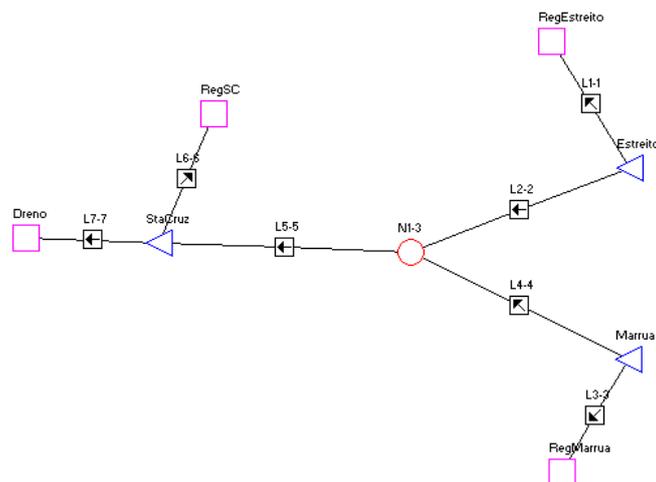


Figura 5 – Rede de fluxo simulada

7 DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO RESERVATÓRIO

O dimensionamento hidrológico do reservatório foi feito por tentativas, a partir da construção da curva de regularização, que apresenta a variação da vazão regularizada com 90% de garantia, no presente caso, contra o volume do reservatório. A altura máxima da barragem foi avaliada em função da topografia no ponto do barramento, que permite a implantação de uma barragem com até 33,0 m de altura total, atingindo a cota 210 m. Considerando uma lâmina máxima de sangria de 2,00 m e uma borda livre de 1,0 m, o volume útil máximo da barragem seria o correspondente à cota 207 m, para uma lâmina d'água máxima de 30,0 m. Na Tabela 6, encontram-se os dados de cota, área e volume obtidos a partir do MDE.

As simulações foram feitas considerando a capacidade de armazenamento desde a cota 187 (89,81 hm³), até a cota 207 (1.187,48 hm³), sempre variando de 2,0 em 2,0 m. Considerou-se como volume mínimo operacional o armazenado na cota 182 m (5,0 m em relação ao fundo do vale), aproximadamente 15,68 hm³. O volume inicial foi admitido igual ao volume mínimo. Para cada capacidade de acumulação foi determinada a vazão regularizada por tentativas, buscando-se o valor demandado para o qual o nível de atendimento informado pelo AcquaNet fosse o mais próximo possível de 90%. O resultado das simulações está resumido na Tabela 7.

Tabela 6 - Relação cota x área x volume

Cota	Área (ha)	Volume (hm³)
177	-	-
179	185,69	1,84
181	588,57	8,73
183	1.102,08	25,21
185	1.627,39	52,25
187	2.185,07	89,81
189	2.675,95	137,85
191	3.213,15	195,69
193	3.804,12	264,94
195	4.469,12	346,37
197	5.226,68	442,15
199	6.052,28	553,72
201	6.980,76	682,14
203	7.964,34	830,04
205	9.006,24	998,03
207	10.136,17	1.187,48
209	11.212,23	1.398,37
210	11.785,23	1.512,20

Tabela 7 – Vazões regularizadas

Cota	Capacidade (hm³)	Qreg (m³/s)
187,00	89,81	2,52
189,00	137,85	3,65
191,00	195,69	4,36
193,00	264,94	5,21
195,00	346,37	5,61
197,00	442,15	6,04
199,00	553,72	6,31
201,00	682,14	6,61
203,00	830,04	6,95
205,00	998,03	7,20
207,00	1187,48	7,51

Como pode ser observado, as vazões regularizadas crescem com o aumento da capacidade de reservação, entretanto, à medida que os volumes vão aumentando, a taxa de variação da vazão regularizada vai diminuindo. A partir do volume 442,15 hm³ (cota 197), a taxa de aumento da vazão regularizada fica inferior a 5%. No presente trabalho, optou-se por considerar o volume de 442,15 hm³ em função das baixas taxas de crescimento da vazão regularizada com 90% de garantia com o aumento do reservatório.

CONCLUSÕES

Demonstrou-se que do ponto de vista hidrológico e considerando a evolução da vazão regularizada com a capacidade de acumulação da barragem, o valor mais indicado para seu volume máximo normal seria de 442,15 hm³, o que permitiria regularizar uma vazão de 6,04 m³/s, que poderia ser usada para abastecer uma população total de 155.881 habitantes e irrigar até 9.591 ha, além de manter uma vazão de 1,208 m³/s no Rio Itaim para a sua perenização. Para a implantação da barragem seria necessário desapropriar cerca de 9.660 ha, incluindo a relocação de praticamente toda a cidade de Itainópolis, que contava em 2010 com 2.530 habitantes.

Para evitar relocações na cidade seria necessário reduzir a altura da barragem em 6,0 m, mantendo o nível máximo operacional na cota 191,0 m. A capacidade máxima de acumulação seria de 195,69 hm³, permitindo a regularização da vazão de 4,36 m³/s com 90% de garantia, o que seria suficiente para o suprimento integral da demanda para abastecimento humano, irrigar cerca de 6.851 ha e manter uma vazão de 0,87 m³/s no Rio Itaim. Nestas condições, a área de desapropriação total, considerando a bacia hidráulica na cota de cheia máxima e a área de preservação permanente, seria de 5.549,34 ha.

REFERÊNCIAS

BELTRAME, A.V. 1994. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação. Ed. da UFSC, Florianópolis, SC, 112p.

EMBRAPA. Brasil em Relevo. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/download/index.htm>. Acesso em dezembro de 2013.

SEMAR – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí. 2010. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Teresina/PI.