



Estudo hidrológico combinado com ferramenta GIS para seleção de áreas para implantação de barragem de regularização de vazão para o município de Rio Paranaíba

Marina Fernandes Alvarenga¹, Lineker Max Goulart Coelho²

¹Universidade Federal de Viçosa (alvarengamarinaf@gmail.com)

²Universidade Federal de Minas Gerais (linekermail@gmail.com)

Resumo

Esse trabalho apresenta um estudo de seleção de áreas para implantação de uma barragem de regularização de vazão combinando estudo hidrológico e ferramenta de informações georreferenciadas. Através de estudos de sensoriamento remoto foram determinados os parâmetros de caracterização hidrológica da bacia hidrográfica e selecionou-se duas potenciais áreas para a implantação da barragem de regularização de vazão. Para atender ao volume de água requerido para abastecimento da cidade em estudo uma das áreas avaliadas necessitaria de uma barragem de 20 m de altura, enquanto que para a outra área este valor seria de 5,5 m, sendo esta última a área recomendada para a instalação da barragem. Sendo assim, a metodologia adotada mostrou-se eficaz e atestou, do ponto de vista hidrológico, a viabilidade técnica da construção da barragem em estudo.

Palavras-chave: Barragem de regularização de vazão. Estudo Hidrológico. Informação georreferenciada.

Área Temática: Recursos Hídricos.

Hydrological study combined with GIS tool for selecting areas for a flow regulation dam siting for the city of Rio Paranaíba

Abstract

This paper presents a study for the selection of areas for the location of a flow regulation dam combining hydrological studies with geographic information tool. From remote sensing studies, hydrological parameters for the basin were determined and two potential areas for siting the flow regulation dam were selected. To meet the water supply requirements of the city in study one of the areas evaluated would require a dam with 20 m of whereas for the other this value would be 5,5 m, that is why the latter area it is recommended. Thus, the methodology adopted shows to be efficient and it attested, in terms of hydrology, the technical feasibility of construct the evaluated dam.

Key words: Flow regulation dam. Hydrological study. Georeferencing information.

Theme Area: Water Resources.



1 Introdução

Rio Paranaíba é uma cidade da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba no estado de Minas Gerais que possui aproximadamente 11.885 habitantes (IBGE, 2010). Em seu território se encontram as principais nascentes do Rio Paranaíba, pertencendo à Bacia do Rio Paraná e a Sub Bacia do Rio Paranaíba. Localiza-se próxima aos municípios de Carmo do Paranaíba, São Gotardo e Serra do Salitre.

No ano de 2006 foi implantado em Rio Paranaíba o *campus* universitário da Universidade Federal de Viçosa, o que gerou um crescimento rápido, acentuado e desordenado da cidade. Esse crescimento sem planejamento gerou diversos problemas urbanos, um deles é a falta de água para o abastecimento da população nos períodos de seca. No ano de 2014 a situação se agravou devido a um período prolongado de seca que atingiu praticamente todo o país.

O barramento de cursos d'água para a formação de lagos artificiais constitui uma das mais antigas técnicas para aumentar as disponibilidades hídricas para atendimento de demandas por água pela sociedade. As barragens são dotadas de mecanismos de controle com a finalidade de obter a elevação do nível de água ou criar um reservatório de acumulação de água ou de regularização de vazões (ATLAS, 2011).

O objetivo desse trabalho é analisar a viabilidade técnica da construção de uma barragem de controle de vazão como solução para a falta de água para o abastecimento urbano de Rio Paranaíba através de estudos hidrológicos e ferramentas de informação georreferenciada. Isso será feito por meio do:

- Levantamento da demanda atual sobre o sistema de abastecimento de água da cidade.
- Determinação por sensoriamento remoto de possíveis pontos para a construção da barragem.
- Estudo hidrológico desses pontos e suas respectivas bacias de contribuição.
- Cálculo do volume de reservatório necessário da barragem que atenda às necessidades de abastecimento de água de Rio Paranaíba.

2 Metodologia

A princípio foi feito o levantamento da demanda de água, foram utilizados dados referentes ao atual sistema de captação e abastecimento da cidade fornecidos pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), concessionária responsável pelo abastecimento de água da cidade de Rio Paranaíba.

Para o estudo hidrológico e hidráulico primeiramente foi determinada uma série histórica de dados pluviométricos da região. Para essa determinação foram analisados dados de estações pluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA), que possuíam séries históricas longas e próximas à localidade de estudo, e comparadas com séries históricas locais, porém recentes, para análise de consistência (ANA, 2014).

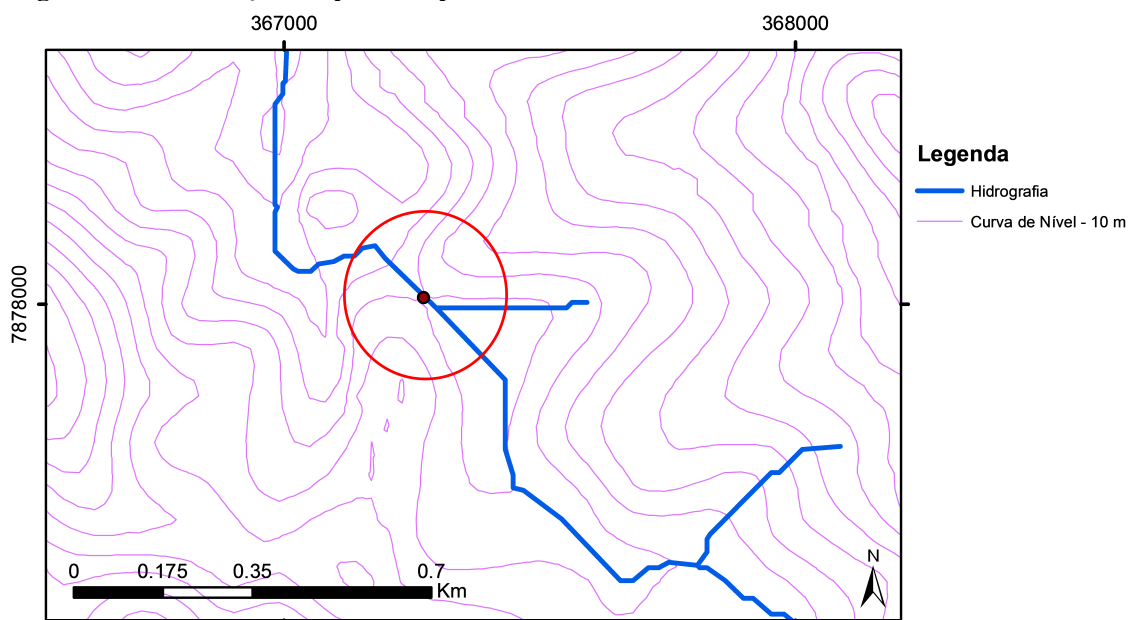
A determinação da bacia de contribuição e seus parâmetros foi feita por sensoriamento remoto pela metodologia desenvolvida por Faria Filho (2007) utilizando dados de modelo digital de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no site Topodata e os recursos do *software* ArcGIS 10.1.

A partir do modelo digital de elevação foram geradas as curvas de nível do terreno, determinadas as direções de escoamento e os pontos de escoamento acumulados, que condizem com os pontos de fluxo de rios. Os pontos de exutório de estudo foram



determinados observando a existência de estreitamentos do relevo, aproximação de curvas de nível de um mesmo valor, próximo aos pontos dos rios. A Figura 1 exemplifica um ponto de estreitamento do relevo em um mapa topográfico.

Figura 1 - Localização de possível ponto de estudo, observando o estreitamento do relevo.



Após definidos os pontos de estudo, as bacias de contribuição são definidas por ferramenta do *software* que analisa os pontos de divisa da direção de escoamento. Depois de delimitada a área de drenagem, foram determinados, no próprio *software*, os parâmetros geométricos da mesma.

Pelo *software* ArcGis obteve-se, além do traçado, os valores de área e perímetro da bacia, elevações dos pontos de nascentes, exutório e ponto mais elevado, e os comprimentos dos rios e da bacia de contribuição. Pela análise de imagens de satélite foram determinadas as áreas com diferentes usos e ocupações do solo com suas respectivas quantificações. Com esses dados foram calculados os demais parâmetros de análise como fator de forma, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, sinuosidade do curso d'água principal, declividade da bacia, declividade do curso d'água principal e tempo de concentração.

Tendo definido o exutório e a bacia de contribuição, foram determinadas as curvas Cota \times Volume e Cota \times Área para esse ponto. Os dados dessa curva foram obtidos por procedimento executado no ArcGis a partir dos dados *raster* do modelo de elevação e da área da bacia de contribuição.

Para cada valor atribuído à altura da soleira da barragem era executado o seguinte procedimento:

- Criação de um arquivo *raster* com os pontos do interior da bacia de contribuição com o valor de cada ponto igual ao da altura da soleira da barragem. Arquivo: "Bacia".
- Operação *raster* entre o arquivo do modelo de elevação (arquivo: "MDE") e o arquivo "Bacia", que determina os pontos do modelo de elevação com valores inferiores aos valores da soleira. (Arquivo: "Espelho")
- Conversão do arquivo *raster* "Espelho" para vetorial para determinação da área ocupada por esses pontos, sendo essa, a área de inundação para a altura da barragem analisada.



- Em seguida por operação *raster* que determina a diferença entre os valores do arquivo “Espelho” com os valores do arquivo “MDE” ponto a ponto, é definida a profundidade de cada ponto. Arquivo: “Profundidade”
- Em seguida é feito o produto entre o arquivo *raster* “Profundidade” e a área ocupada por cada ponto para determinação do volume armazenado em cada ponto.
- Para determinação do volume total de acumulação de água é feita a soma dos volumes de cada ponto.

O tempo de concentração da bacia de estudo foi estimado pelas seguintes formulações: Fórmula de Kirpich; Escoamento Superficial SCN, 1975; Método NRCR, 1972; Fórmula Califórnia Curverts Practice; Fórmula de Dooge e Fórmula de Bransby-Willians, a primeira proposta por Tucci (2013) e as demais apresentadas por Tomaz (2013). O valor final utilizado no estudo foi a média encontrada nos métodos desprezando os valores de máximo e mínimo, visando a média com menor desvio padrão entre os valores considerados.

A evaporação da região foi estimada pelos métodos de Penman e Thorthwaite apresentados por Tucci (2013) e pelo método de Linacre citada por Leitão e outros (2007).

O dimensionamento do volume útil do reservatório foi estimado pelos métodos do Balanço Hídrico, que consiste na diferença entre o somatório das vazões que contribuem positivamente ao reservatório e o somatório das vazões de retirada, e do Diagrama de Massas ou Diagrama de Rippl, que é um diagrama de volumes acumulados que afluem ao reservatório, método detalhado por Lopes e Santos (2002).

3 Resultados

O sistema de abastecimento de água da cidade de Rio Paranaíba, em fevereiro de 2015, possuía capacidade média de produção de 2,2 milhões de litros de água por dia e reservação de 834 mil litros para o abastecimento de aproximadamente de 11.000 habitantes com produção média de 53.717 m³ por mês e consumo médio de 42.248 m³ por mês.

A série histórica de dados pluviométricos utilizada no estudo foi da estação da Agência Nacional das Águas localizada na cidade de Carmo do Paranaíba, e teve a consistência dos seus dados comprovada pela comparação com os dados da estação da cidade de Serra do Salitre e com a estação local pertencente à empresa Cooxupé.

Pelos dados analisados do modelo digital de elevação foram determinados dois possíveis pontos de exutório para construção da barragem, e por isso foram estudadas duas bacias de contribuição, para determinação de qual ponto é mais viável para construção.

O primeiro ponto, de coordenadas UTM 369530 m e 7878859 m ou 19° 10' 46.29" S e 46° 14' 26.69" O, é o mais próximo à Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade, 1.06 km de distância, localizado no afluente imediato do atual rio de captação, porém apresenta um relevo íngreme o que prejudica na obtenção de um grande volume de acumulação para o reservatório. O segundo ponto, de coordenadas UTM 367271 m e 7878018 m ou 19° 11' 12.98" S e 46° 15' 44.61" O, localizado a 2.57 km de distância da ETA, apresenta um relevo mais favorável à construção de uma barragem possuindo uma depressão a montante do ponto escolhido. Sendo assim as duas bacias que contribuem para estes pontos serão avaliadas.

As Figuras 2 e 3, criadas com apoio do *software Google Earth*, apresentam a representação gráfica dos diferentes usos do solo obtidos por meio das informações do sensoriamento remoto para as bacias 1 e 2 correspondentes aos pontos 1 e 2, respectivamente. Nota-se uma predominância de áreas de cultivo e vegetação natural o que contribui para porcentagens elevadas de superfície permeável para as bacias em estudo.



Figura 2 - Representação gráfica do uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica 1.

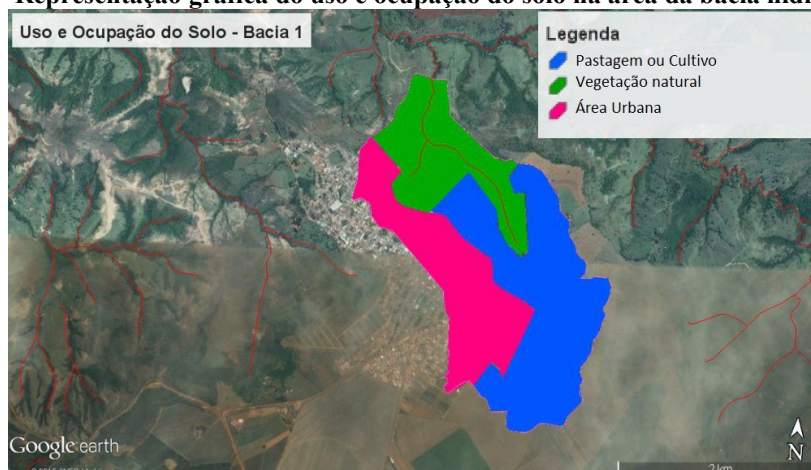
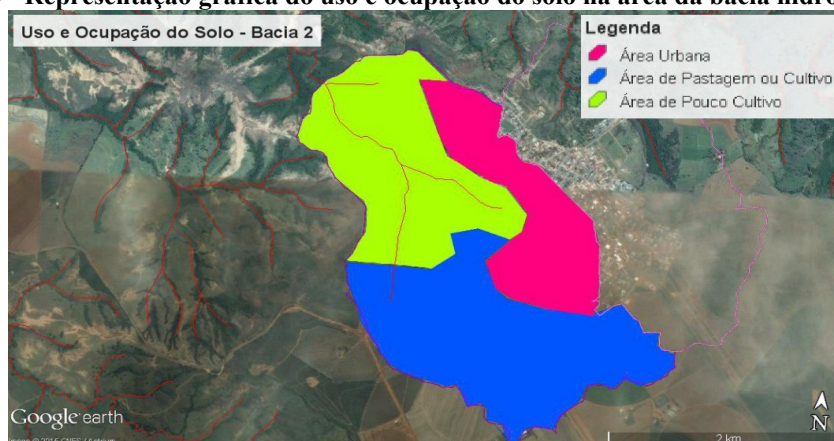
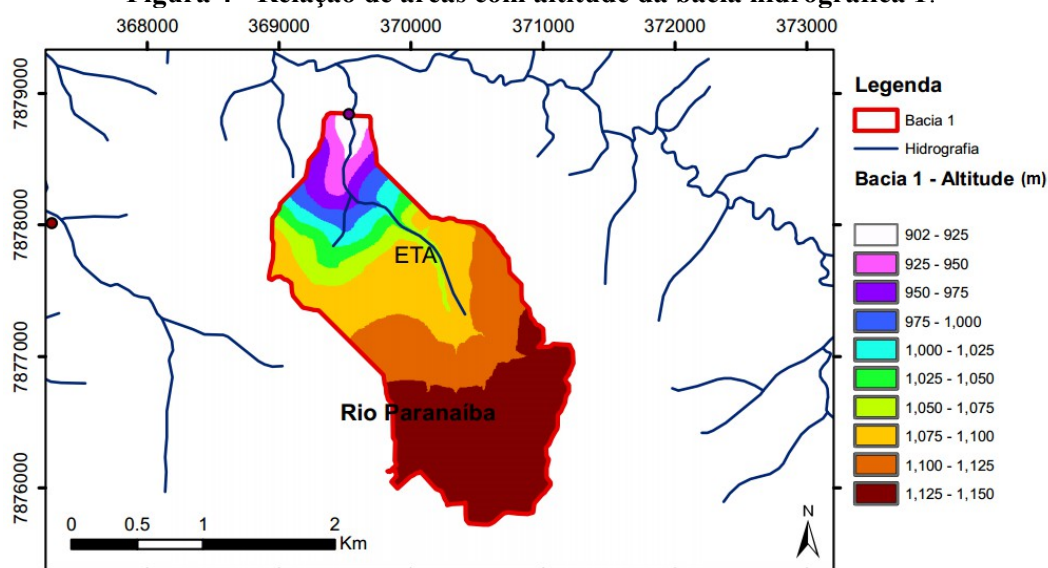


Figura 3 - Representação gráfica do uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica 2.



As Figuras 4 e 5 apresentam a relação entre as áreas e as altitudes de cada bacia, apresentando também a hidrografia local. E a Tabela 1 apresenta os dados e parâmetros geométricos de cada bacia em estudo.

Figura 4 - Relação de áreas com altitude da bacia hidrográfica 1.



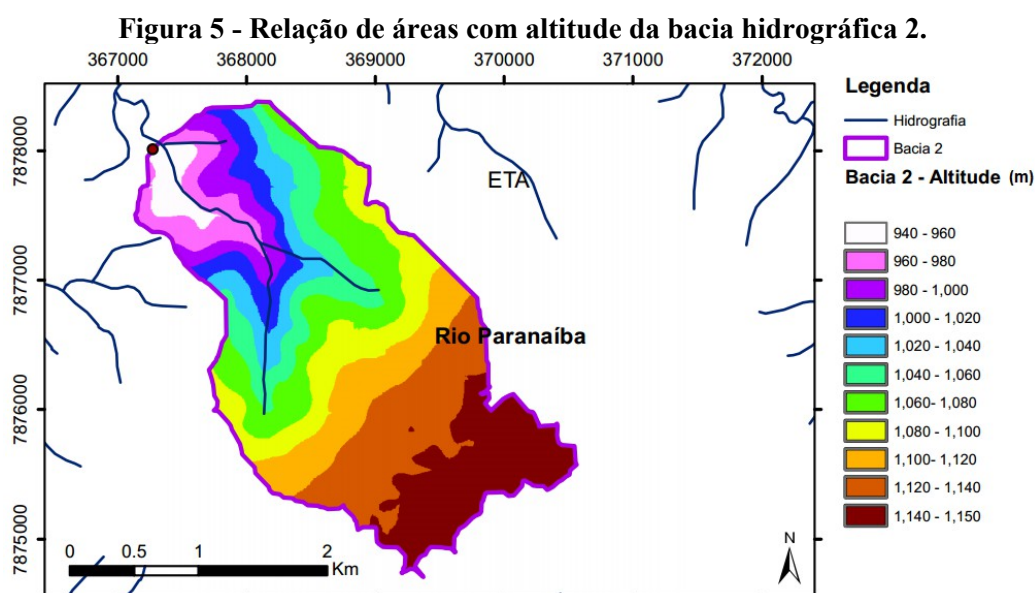


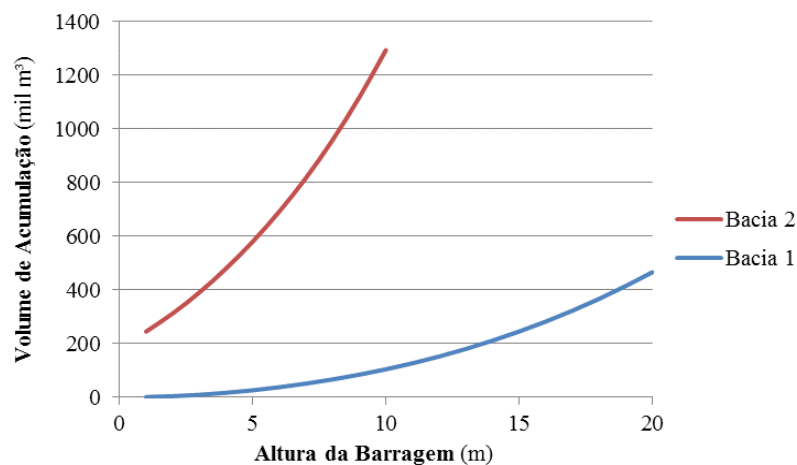
Tabela 1- Dados e parâmetros das bacias de contribuição em estudo.

	Bacia 1	Bacia 2	Unidade
Área da Bacia (A):	3,66	6,23	km ²
Perímetro da Bacia:	9,45	12,59	km
Elevação Exutório:	902	950	m
Elevação Nascente do Rio Principal:	1087	1066	m
Elevação Nascente do Rio Menor:	1032	1060	m
Maior Elevação da Bacia:	1147	1147	m
Comprimento do Rio Principal (Lc):	2,00	2,55	km
Comprimento dos Rios Secundários:	0,42	1,50	km
Comprimento da Bacia:	3,27	3,73	km
Distância em Linha Reta da Nascente do Rio Principal ao Exutório	1,74	2,25	km
Fator de forma:	0,915	0,958	
Coefficiente de compacidade:	1,383	1,412	
Densidade de drenagem:	0,661	0,650	km-1
Sinuosidade do curso d'água principal:	1,149	1,133	
Declividade da bacia:	0,075	0,053	m/m
Declividade do curso d'água principal:	0,093	0,045	m/m

A Bacia 2 apresentou relevo favorável, menor declividade próximo ao exutório e maior área de contribuição. Para as bacias analisadas foram determinadas as curvas que relacionam a provável altura da barragem com o volume possível de acumulação de água e a respectiva área de ocupação da lâmina d'água. Para a Bacia 1 que não há um aumento significativo da área de inundação e do volume de acumulação com o aumento da altura da barragem. Considerando a altura de 20 metros, o volume de acumulação nesse ponto seria inferior a 470 mil m³, sendo um volume baixo para uma altura elevada quando comparado com a Bacia 2 que atinge um volume superior a esse para uma altura de 4 metros. A Figura 6 mostra as curvas de Altura da Barragem × Volume de Acumulação das bacias de estudo.



Figura 6 - Curvas Altura da Barragem × Volume de Acumulação



Foi determinado que para a Bacia 1 o tempo de concentração é de aproximadamente 43,5 minutos e para a Bacia 2 de 57,8 minutos. Com a determinação do hidrograma unitário, do hietograma de projeto e do hidrograma de projeto foi observado que a precipitação da Bacia 2 é superior ao da Bacia 1, e a Bacia 2 apresenta uma vazão de pico maior que a Bacia 1, porém o tempo de pico também é maior. Ou seja, o ponto 2 recebe um maior volume de água que o ponto 1, porém o tempo necessário para que toda água atinja esse segundo ponto é maior que o tempo gasto para atingir o ponto 1.

Para o cálculo do volume foi considerada a perda por evaporação de acordo com a Equação de Penman, com valores de média mensal de 133,4 mm/mês e total anual de 1600,5 mm, pois apresentou um valor médio intermediário entre os três métodos. Considerando que o Método de Thorthwaite é mais utilizado para estimar a evapotranspiração e os demais para a evaporação em águas superficiais, foram utilizados os valores do método de Penman, que por apresentar resultados com valores maiores que o de Linacre, a estimativa é mais favorável à segurança que esse segundo.

O volume útil necessário determinado pelo Método do Balanço de Massa para a Bacia 1 é de 470.696 m³, valor superior ao valor máximo arbitrado que seria para a cota de 20 m um volume de 466.546 m³, o que torna esse ponto inapropriado para a construção da barragem. Pelo Diagrama de Rippl o volume útil necessário é de 430.710 m³, valor inferior ao calculado anteriormente de 470.696 m³, porém esse método não considera o limite de volume acumulado no reservatório para a altura especificada, por isso o volume calculado é menor.

Para a Bacia 2 foi determinado pelo Método do Balanço de Massa que uma altura de barragem igual a 5 metros atingiria o volume útil requerido de 516.853 m³, sendo que para essa altura o volume de acumulação é 580.516 m³ ocupando uma área de 106.108 m². Prevendo um aumento na demanda de 15%, estimado para 2030, seria necessária uma altura de barragem de entre 5 a 6 metros para armazenar um volume útil de 596.147 m³, sendo o volume máximo possível de ser armazenado à 6 metros de 692.644 m³ em uma área de 118.566 m².

4 Conclusão

Neste trabalho foi feita a análise hidrológica da viabilidade técnica da construção de uma barragem para o abastecimento urbano do município de Rio Paranaíba. Foram analisados dois possíveis pontos favoráveis à construção da mesma, sendo que o primeiro ponto se mostrou inviável para a construção, pois seria necessária uma altura de barragem de 20 metros



para um volume não satisfatório. Foi determinado que o segundo ponto localizado nas coordenadas 19° 11' 12.98" S e 46° 15' 44.61" O é a localização ideal para a construção da barragem. A altura ideal para o nível de água para o volume útil da barragem é de 5,5 metros, pois além de atender a demanda atual atenderia a um provável crescimento populacional até 2030. Sendo assim possível armazenar um volume de 636.580 m³.

Desta forma, hidrologicamente, fica determinada a viabilidade técnica da construção de uma barragem para resolver o problema de falta de água para o abastecimento urbano da cidade de Rio Paranaíba. Entretanto, antes da realização de um projeto em si e da construção da mesma, outros estudos devem ser realizados, tais como: a viabilidade social, econômica e ecológica da construção da barragem neste ponto, sendo portanto, temas recomendados para trabalhos futuros.

Referências

ANA, Agência Nacional de Águas. **HidroWeb**. Séries Históricas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em: nov. 2014.

ATLAS digital das águas de minas - **Roteiro básico para o dimensionamento de pequenas barragens de terra no estado de MG**. 2011. Disponível em: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html>. Acesso em: 27 nov. 2014.

FARIA FILHO, R. F., **Avaliação do Potencial Hidráulico em Bacias Hidrográficas Por Meio de Sistemas de Informação Geográficas**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2007

GPRH, Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos, **Plúvio 2.1**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>> Acesso em: fev 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Informações Completas, Minas Gerais, Rio Paranaíba**, Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=315550&search=minas-gerais|rio-paranaiba>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

LEITÃO, M. de M. V. B. R. et al, **Avaliação do Desempenho de Diferentes Métodos de Estimativa da Evaporação Para Duas Regiões da Paraíba**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v 11, n 6, p. 585-593. Campina Grande, PB, 2007.

LOPES, J. E. G. e SANTOS, R. C. P. **Capacidade de Reservatórios**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2002.

TOMAZ, P. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. Capítulo 3 - Tempo de concentração. 2013.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4 ed, 5ª reimp. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 2013.