



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

INFLUÊNCIA DE FATORES COMBINADOS DE SECA PROLONGADA, ALTAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL E MODIFICAÇÃO NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO LAGO DESCOBERTO NO DISTRITO FEDERAL (DF).

Fabiano da Silva de Oliveira¹, Diana Jimena Monsalve Herrera², Conceição de Maria Albuquerque Alves³, Guilherme Fernandes Marques⁴.

RESUMO - O lago Descoberto é responsável por quase 60% do abastecimento de água das regiões administrativas do Distrito Federal (DF) e vem sofrendo ao longo dos anos modificações no uso e ocupação do solo e aumento por demanda de água. O presente trabalho visa determinar qual é a influência da combinação desses fatores, combinado com um período de seca, na disponibilidade hídrica do manancial. Foram criados dois cenários, o cenário tendencial com base no ano de 2012 e outro com as modificações no clima e aumento da população e comparados. Os resultados mostraram que os fatores podem levar o lago Descoberto, maior manancial do DF, a um estado crítico e que as modificações no uso e ocupação do solo modelada tem pouca influência relativa neste processo.

ABSTRACT – The Descoberto lake is responsible for almost 60% of the water supply of the administrative regions of the Federal District (DF) and has undergone changes over the years in the use and occupation of land and increased demand for water. The aim of present paper is to determination the influence of the combination of climatic factors, population growth and land use on water availability of Descoberto lake. Two scenarios were created, the usual scenario based on

¹ Estudante de mestrado do programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. E-mail: svfabi@hotmail.com

² Estudante de doutorado do programa de pós-graduação me Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. E-mail: dianajmonsalve@gmail.com

³ Professora do programa de pós-graduação me Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. E-mail: cmaalves@gmail.com

⁴ Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, IPH/UFRGS. E-mail: guilherme.marques@ufrgs.br

the year 2012 and the other with the suggested changes and compared. The results showed that the factors can lead Discovered lake, largest source of DF in a critical state and that changes in the use and occupation of modeled soil has little influence this process.

PALABRAS CLAVES: Sistemas de abastecimento; WEAP; modelagem.

1 - INTRODUÇÃO

Gerenciar os recursos hídricos não é uma tarefa fácil devido a sua importância e aos vários fatores inerentes ao processo. Recentemente, viu-se que eles não poderiam ser tratados de forma isolada surgindo o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídrico (GIRH).

Segundo Loucks *et al.* (2005) dentre vários fatores que contribuíram para o surgimento do gerenciamento integrado de recursos hídricos se encontram os aumentos por demandas de água, industrialização e uso e ocupação desordenado do solo. A coordenação a elaboração de políticas, o planejamento e implementação de uma gestão integrada parece ser o ideal neste contexto, além disso, deve-se analisar de uma forma integrada tanto a modelagem como gerenciamento dos recursos hídricos.

Algumas características fazem do DF brasileiro uma região que requer estudos mais aprofundados no âmbito dos recursos hídricos. Devido à proximidade entre as nascentes existentes na região e as áreas urbanas junto com a sazonalidade das chuvas. Além disso, alguns dos mananciais possuem baixa disponibilidade hídrica e enfrentam grande crescimento populacional gerando conflitos no uso dos recursos hídricos da área.

Neste contexto, buscou-se avaliar a influência da combinação de fatores, tais como, altas taxas de crescimento populacional, longo período de estiagem e mudanças no uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia do lago Descoberto.

O modelo utilizado para atingir o objetivo foi o *Water Evaluation and Planning – WEAP SEI* (2001), que é uma ferramenta capaz de realizar essa integração ao permitir a modelagem de sistemas hídricos (demandas, disponibilidades, elementos de infraestrutura) por meio de uma rede de nós e arcos. O WEAP é capaz de simular a demanda da água numa zona determinada, considerando também elementos regulatórios/legais/institucionais como prioridades e preferências de abastecimento e avaliando as necessidades associadas ao recurso hídrico.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Áreas de estudo

A bacia do Descoberto faz parte da bacia do rio Paraná e está localizada na porção oeste do DF compreendida entre as latitudes 15° 35' e 15° 47' na divisa com o estado de Goiás (GO) no Planalto Central Brasileiro. Com uma área de drenagem total de aproximadamente 433,37 Km².

A área de estudo foi dividida em seis sub-bacias, as dos rios: Descoberto (B_DES), Rodeador (B_ROD), Ribeirão das Pedras (B_RP), Chapadinha (B_CH), Capão Cumprido (B_CP) e Olaria (B_OL), que fazem parte da bacia do lago Descoberto e são afluentes ao Lago homônimo como é apresentado na Figura 1.

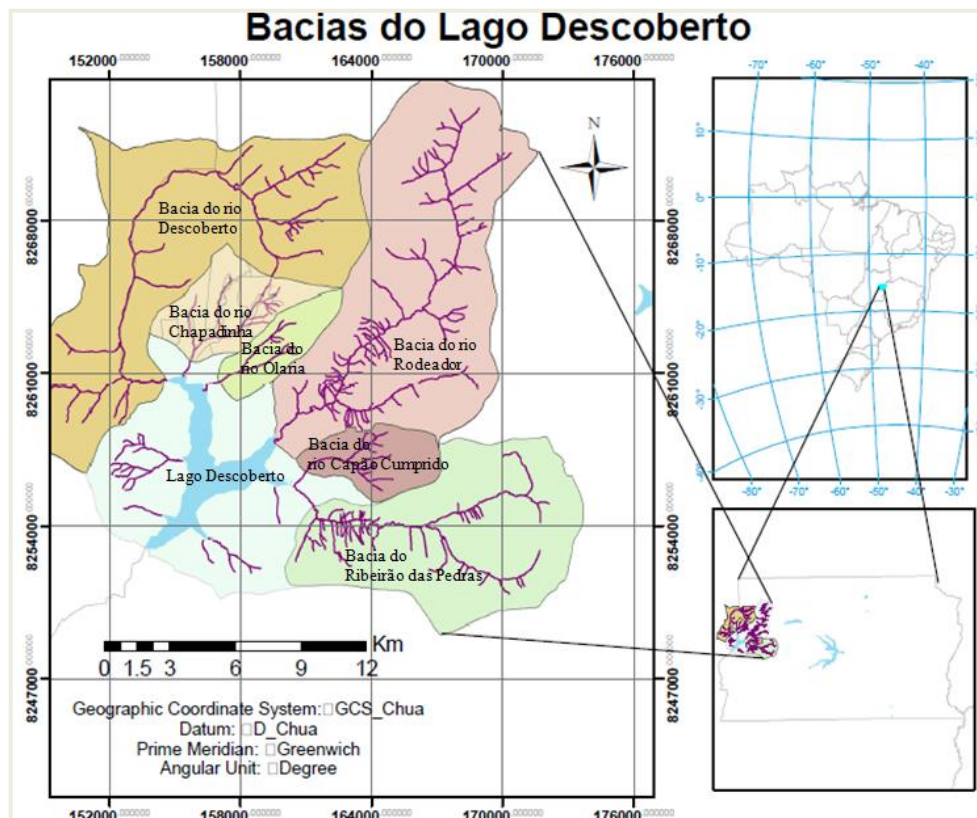


Figura 1 - Mapa da Bacia do Lago Descoberto, caracterizando as seis subbacias consideradas no estudo.

2.2 - Clima

Segundo estudos de Martins *et al.* (2004) as diferenças climáticas observadas no DF estão relacionadas principalmente às variações de temperatura com estações secas e chuvosas bem definidas no inverno e verão devido a penetração de massas de ar frio de altas latitudes sul.

2.3 - Método

Para realizar a simulação no WEAP foi necessário desenhar a rede hídrica conformada pelos rios de cada sub-bacia individualmente. Para cada rio, pertencente a uma sub-bacia determinada foi feita a calibração de vazões do modelo hidrológico que foram avaliadas segundo os valores propostos pelo Moriasi *et al.* (2007), que trabalhou com índices estatísticos de *Nash-Sutcliff*, RSR e

PBIAS (Equação 1, 2 e 3). Essa calibração foi desenvolvida a partir da simulação do modelo hidrológico incorporado ao WEAP nomeado de *Soil Moisture Method* que gerou os parâmetros para o modelo completo, os detalhes e as equações do módulo hidrológico do WEAP podem ser encontrados no Yates *et al.* (2005a) e Yates *et al.* (2005b).

Inicialmente foi feita uma análise de sensibilidade do modelo hidrológico e a partir desta etapa mudanças nos parâmetros até se chegar aos valores finais.

$$NSE = \frac{\sum (Q_o - Q_s)^2}{\sum (Q_o - Q_m)^2} \quad (1)$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum (Q_o - Q_s)^2}}{\sqrt{\sum (Q_o - Q_m)^2}} \quad (2)$$

$$PBIAS = \frac{\sum (Q_o - Q_s)}{\sum Q_{obs}} \quad (3)$$

Onde:

- Q_s - Vazão simulada;
- Q_o - Vazão observada;
- Q_m - Vazão média.

Subsequentemente foi construída a rede hídrica completa com o reservatório e os nós de demandas, como é apresentado na Figura 2.

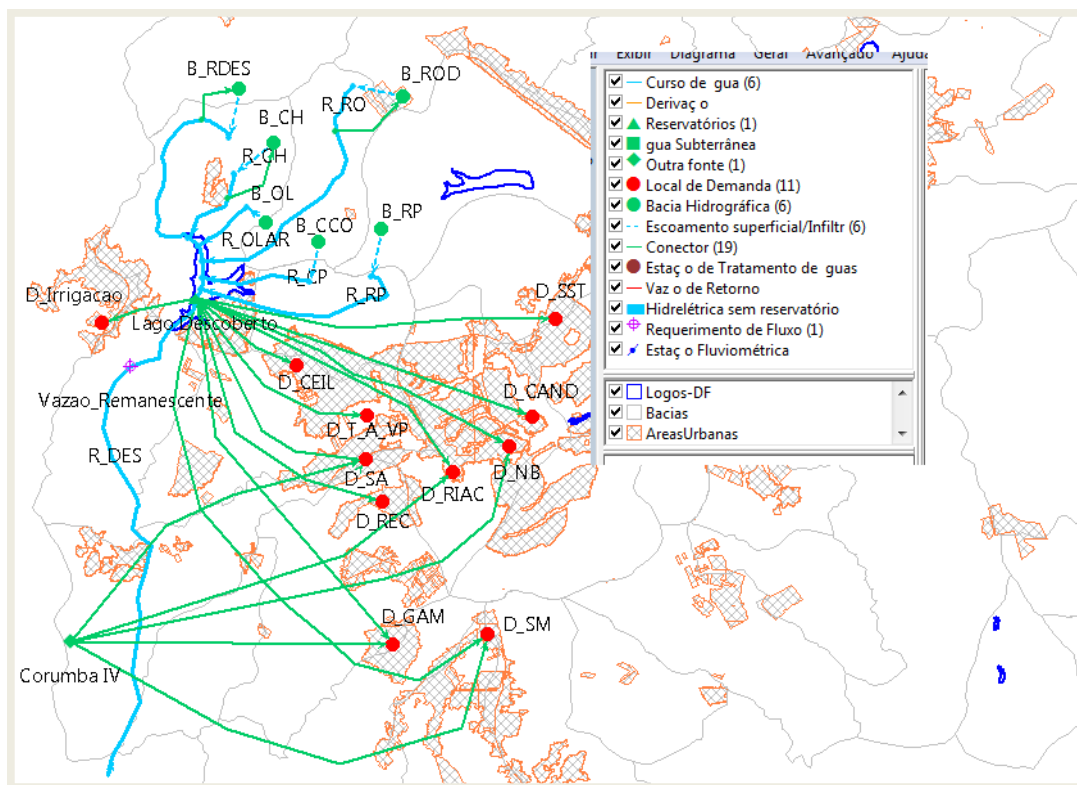


Figura 2 - Rede Hídrica da área de estudo desenhada no WEAP.

Foram introduzidas as informações para cada elemento da rede incluindo os parâmetros calibrados. O reservatório inserido na rede apresenta volume morto na cota 1020 m e um volume máximo na cota 1030 m. Quanto aos nós de demanda foram simulados as seguintes localidades: Ceilândia (D_ CEI), Samambaia (D_ SM), Taguatinga (D_T_A_VP), Recanto das Emas (D_REC), Riacho fundo (D_RIC), Gama (D_GAM), Santa Maria (D_SA), Candangolândia (D_CAND), Núcleo Bandeirante (D_NB) e uma derivação para o subsistema de abastecimento da CAESB Santa Maria-Torto (D_SST).

Foram admitidas restrições ao fornecimento de água para as regiões administrativas de modo que não ultrapassasse a capacidade de tratamento da estação de 6 m³/s e considerado um limite de 5m³/s quando a cota do lago Descoberto atingisse a cota abaixo 1025 m. Uma vazão ecológica foi inserida como um requerimento de fluxo no modelo com uma vazão mínima a jusante no reservatório de 0,56 m³/s.

2.4 - Descrições do modelo hidrológico do WEAP

O modelo hidrológico incorporado ao WEAP é um modelo conceitual simples que considera dois compartimentos de solos, conforme mostrado na Figura 3.

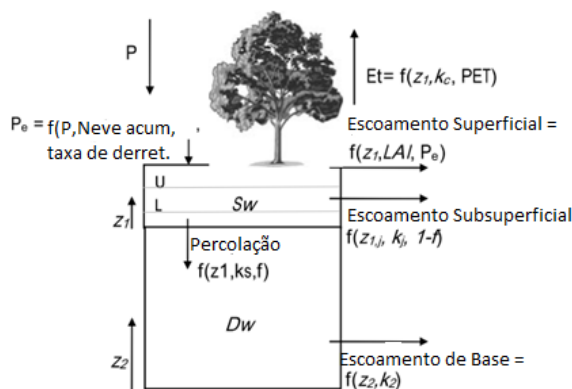


Figura 3- Esquema do modelo hidrológico do WEAP, adaptado de (Yates et.al., 2005b).

O modelo usa funções empíricas (4) que descrevem a evapotranspiração, o escoamento superficial e o escoamento subsuperficial (Yates et al., 2005a).

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = Pe(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - Pe(t) \frac{LAI_j}{z_{1,j}^2} - f_j k_{1j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_{2j} z_{1,j}^2 \quad (4)$$

O total de armazenamento da camada superior e inferior do solo é aproximado por uma estimativa da capacidade de retenção de água (Swj) e (Dw), respectivamente, prescrito para cada fração j da cobertura da terra. A precipitação efetiva (Pe) é em função da precipitação total (P) sobre a fração de solo, da neve acumulada e de sua taxa de derretimento.

O segundo termo na equação (4) é a evapotranspiração da área, e PET é o coeficiente de *Penman-Montieth* para evapotranspiração potencial de referência da cultura e Kcj é o coeficiente da cultura para cada cobertura do solo fracionado.

O terceiro termo representa o escoamento superficial, onde o LAIj é o Índice de Área Foliar, com os valores mais baixos deste parâmetro atribuídos à classe de cobertura produz a resposta maior ao escoamento superficial, tais como solos nus. O termo quarto e quinto são os escoamentos subsuperficial e de base, respectivamente, onde o parâmetro k1j e k2, são estimativas da condutividade hidráulica da camada superior e inferior do solo, nesta ordem, e fj é um parâmetro de ajuste quase físico relacionado ao solo, tipo de cobertura do solo e topografia que fraciona a água, tanto na horizontal, fj ou verticalmente (1 - fj).

2.5 - Cenários

Os cenários propostos foram dois com finalidade de verificar as modificações propostas. Foi simulado um horizonte de planejamento de 2012 até 2030 com intervalos de tempo mensal. A Tabela 1 mostra as características de cada um dos cenários propostos.

Tabela 1 – Características dos cenários simulados.

Cenário	Taxa de crescimento populacional	Pluviometria	Modificação no uso do solo	Identificação do cenário
Tendencial	Proposto Caesb (2013)	2012	Transformação de chácaras em áreas urbanas	A
Exploratório com seca prolongada	1,2% Proposto Caesb (2013)	*2010	Transformação de chácaras em áreas urbanas	B

*Período de estiagem de quase cinco meses.

Para o cenário (B) foi aumentada a população em 20% nos nós de demanda estabelecidos. Esse aumento, em relação ao proposto por Caesb (2013), foi feito com base nos estudos do Zoneamento Econômico-Ecológico do Distrito Federal (SEDUMA, 2012). No uso e ocupação do solo a modificação proposta foi a de transformação de chácaras em áreas urbanas, baseado na tendência, considerada linear, observada para o ano de 2002 e 2010 obtendo aumento da área urbana a uma taxa de 3.45 Km²/ano para todas as subbacias.

3 - RESULTADOS

Os resultados da calibração do modelo hidrológico são apresentados na Tabela 2, mostrando que em geral as bacias de maior tamanho (rio Descoberto e Rodeador) apresentaram melhores resultados estatísticos. O modelo que apresentou melhor eficiência foi o gerado na bacia rio Descoberto, com 1,72 % das vazões superestimadas e um RSR classificado como muito bom para a calibração.

Tabela 2 - Resultados estatísticos da calibração e parâmetros do modelo, considerando o período de 1979 a 2012.

Bacia do rio	AREA (Km ²)	NSE	PBIAS	RSR	Resultados da calibração	Parâmetros calibrados do modelo						
						*Kc	Sw	Dw	*LAI	k1	k2	*f
Descoberto	116	0,76	-1,72	0,49	Muito Bom	0,75	1200	40	2,3	180	150	0,1
Rodeador	112	0,68	-6,14	0,57	Bom	0,62	750	100	9,7	100	2500	1,0
Ribeirão Das Pedras	75	0,64	10,98	0,60	Bom	0,60	3500	30000	3,6	85	0.1	1,0
Chapadinha	21	0,69	14,54	0,55	Bom	0,57	800	20000	10,8	150	150	0,1
Capão Comprido	14	0,49	18,88	0,71	Não Satisfatório	0,50	250	500	13,5	320	90	0,2
Olaria	12	0,60	6,32	0,63	Satisfatório	0,72	2000	30	10,0	70	20	0

*Valores diferentes para cada área de uso e ocupação do solo. Expostos aqui valores médios dos parâmetros.

O modelo que gerou resultados poucos satisfatório em termos estatísticos foi do rio Capão Comprido. Em geral a calibração pode ser considerada boa, sendo uma ferramenta útil para modelagem e estimativas futuras de vazão para a bacia do rio Descoberto.

O comparativo dos volumes totais afluentes ao lago Descoberto no período analisado é ilustrado na Figura 4. Os cenários (A) e (B) mostram como a mudança no regime hidrológico modifica a vazão total afluente ao lago.

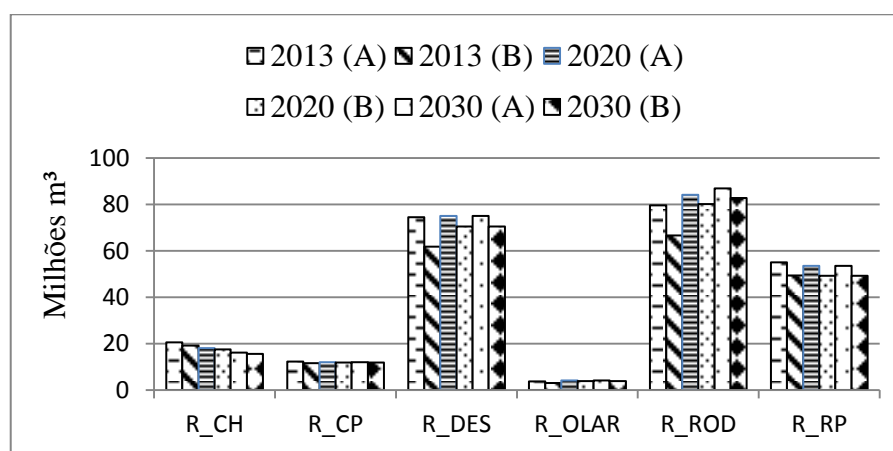


Figura 4 - Vazão em milhões de m³/ano gerado para cada sub-bacia do Lago Descoberto para os cenários (A) e (B) para os anos de 2013, 2020 e 2030.

Para o cenário (A) as bacia do rio Descoberto (R_DES), rio Capão Comprido (R_CP) e Olaria (R_OLAR) não sofreram mudanças nos volumes totais para os anos analisados, mostrando que as mudanças no uso e ocupação do solo não influenciaram nos volumes totais da bacia ao longo da modelagem. Para bacias do rio chapadinho (R_CH) e Ribeirão das pedras (R_RP) as modificações diminuíram os volumes totais e para o rio Rodeador (R_ROD) houve aumento nos volumes.

A bacia do rio Rodeador tem uma área urbana relativamente pequena (menor que 5% da área total da bacia) e quase 47% pertence a áreas de condomínio, o que pode explicar o aumento dos

volumes totais afluentes, enquanto que na bacia do rio Descoberto 18% de sua área é urbana apresentando menores áreas de condomínio.

No cenário (B) existem grandes variações com relação aos volumes totais afluentes para cada ano. Para as bacias dos rios Descoberto e Rodeador houveram acréscimo nas contribuições, enquanto o rio Chapadinho apresentou diminuição do volume. Para as demais bacias houve uniformidade nos valores, notando-se que para um cenário de seca há incremento de vazão para o mesmo cenário.

Na bacia do rio Chapadinho 24% da área é chácara e condomínio ($k_c = 0.95$), enquanto a área urbana ($k_c = 0.75$) corresponde a aproximadamente 32% da área total o que pode explicar a variação no volume.

Comparando os cenários se nota grandes variações nas vazões, com diminuição acentuada nos primeiros anos e menor nos anos posteriores, ou seja, mudanças no clima afetam mais os volumes na situação atual de uso e ocupação do solo.

A comparação dos cenários (A) e (B), indicados na Figura 5 mostra que para as saídas dos reservatórios o volume nos períodos chuvosos diminuíram muito e o volume que se diminui do reservatório nos períodos secos é maior para o cenário (B). Isso indica menor volume disponível a jusante do reservatório nos períodos chuvosos e para abastecimento nos períodos de seca.

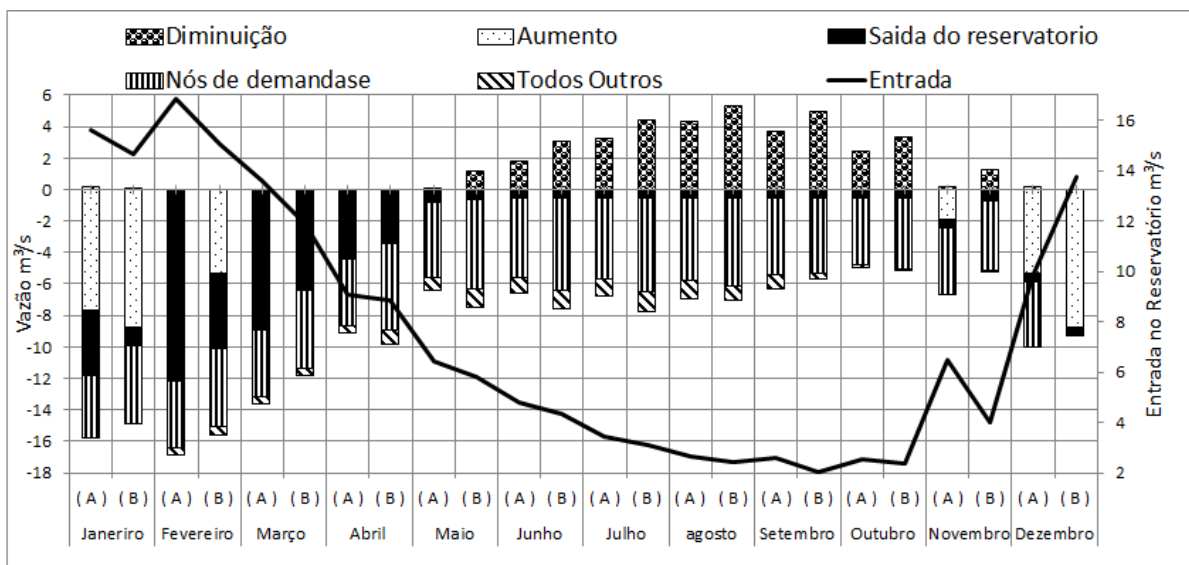


Figura 5 – Balanço hídrico (média mensal) do reservatório do lago Descoberto para os cenários (A) e (B).

No gráfico podem-se observar ainda demandas maiores para os nós nos períodos de seca o que indica demandas maiores para satisfazer a irrigação, além de maior evaporação.

Na Figura 6 podemos verificar uma mudança brusca na cota do reservatório do lago Descoberto nos períodos de estiagem.

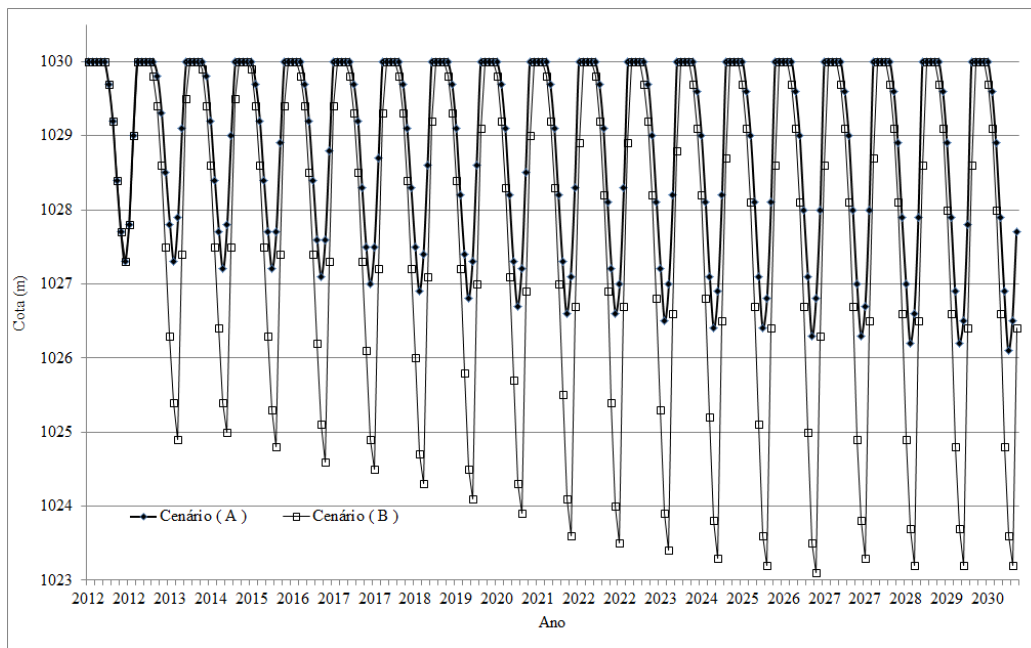


Figura 6 - Cota do reservatório do lago descoberto para os cenários (A) e (B).

Nos anos de 2013 a cota vai de 1027 m no cenário (A) a uma cota 1025 m no cenário (B). No final da modelagem apresenta-se uma mudança de cota de 1026 m no cenário (A) para próximo a 1023 m no cenários (B), pouco acima da cota referente a segunda tomada d'água que esta na cota 1020 m.

4 - CONCLUSÕES

A modelagem mostrou que a combinação de fatores climático, crescimento populacional podem levar o maior manancial do Distrito Federal a uma situação preocupante ao longo do tempo com queda brusca na cota do lago em comparação com um cenário tendencial (A).

As modificações no uso e ocupação do solo, não tiveram influencia significativa na disponibilidade hídrica do lago descoberto, no entanto, outros fatores inerentes ao processo devem ser considerados.

Apesar da proximidade das bacias estudadas, elas tiveram comportamento diferente na modelagem, tanto nos valores dos parâmetros quanto nas respostas às mudanças simuladas, mostrando a necessidade de avaliar cada bacia de forma independente.

O modelo WEAP mostrou-se útil na modelagem, já que teve um bom desempenho mostrando as mudanças no regime hidrológico da bacia, simulando um período maior de estiagem na bacia analisada e modificações no uso e ocupação do solo, sendo uma ferramenta que pode auxiliar nas tomadas de decisão nos processos de gerenciamento de recursos hídricos do Distrito Federal.

Outros estudos devem ser feitos para comprovar os resultados apresentados, além de melhorias na modelagem do sistema, com incorporação de análises não simuladas no presente trabalho, tais como, eficiência econômica e de irrigação e iteração água subterrânea e superficial.

5 - BIBLIOGRAFIA

Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal-ADASA (2011). Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Revisão e atualização. Brasília-DF.

Agência Nacional de águas- ANA (2010). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado volume2. 92 pg. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%202%20-%20Resultados%20por%20Estado.pdf>. Acesso em: 25 abril 2012.

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal- CAESB (2013). Índices de Atendimento na Prestação dos Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário “Adaptação da Metodologia do SNIS para o Distrito Federal”. 26 p.

Loucks, D.P. et al., (2005). Water Resources Systems Planning and Management and Applications, Paris : UNESCO.

Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Liew, M.W.V.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.;Veith, T.L. (2007). "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations". Watershed Simulations, 50,(3), 885-900.

Reatto, A., Martins, E. S, Cardoso, E.A, Spera, S.T, Carvalho Jr., O. A. C. , Guimarães,R, Silva, A. V ,Farias, M. F. R (2003) “Levantamento de reconhecimento de solos de alta intensidade do alto curso do rio Descoberto, DF/GO, escala 1: 100.000” Boletim de pesquisa e desenvolvimento Nº 92. EMBRAPA Cerrados, Planaltina-Distrito Federal.

Stockholm Environment Institute-SEI,(2001). Water Evaluation and Planning-WEAP: User Guide for WEAP21.Boston USA.

Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do DF-SEDUMA(2012). Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal. Plano de Trabalho. Brasília-DF. 124 p.

Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber- Lee, A. & Galbraith, H., (2005a). “Planning Model Part 2 : Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation.” “International Water Resources Association,” 30(4), 501-512.

Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber- Lee, A. & Galbraith, H., (2005b). “WEAP – A Demand- , Priority- , and Preference-Driven Water Planning Model Part 1 : Model Characteristics.” “International Water Resources Association,” 30(4), 487-500.