

GESTÃO DE RECURSOS HIDRICOS EM BACIAS HIDROGRAFICAS TRANSFRONTEIRIÇAS: Análise do Grau de Atendimento à Demanda de Água na Bacia do Rio Incomáti em Moçambique.

Nordino Martinho Muaivevela¹; José Paulo Soares de Azevedo² & Jander Duarte Campos³

RESUMO O estudo analisa o grau de atendimento à demanda de água na bacia do rio Incomáti em Moçambique, considerando vazões de entrada provenientes dos países a montante e atendendo aos volumes totais anuais da demanda de água acordados no Acordo Provisório de 2002. Desenvolve-se um modelo de otimização solucionado através da técnica de programação dinâmica como ferramenta de apoio. O reservatório de Corumana, localizado na bacia do rio Sabié é operado de forma integrada para atender aos requerimentos de água dos setores consumptivo e ambiental, considerando dois cenários: com e sem um futuro reservatório no rio Incomáti na região de Moamba e permitindo uma transferência artificial de água para a cidade de Maputo. Os resultados mostraram que os trechos desde o reservatório de Corumana até a confluência dos rios Incomáti e Sabié; e desde a confluência dos rios Incomáti e Sabié até o Oceano Índico, o grau de atendimento à demanda é elevado para ambos cenários. Para o trecho desde o local futuro reservatório de Moamba até a confluência dos rios Incomáti e Sabié, durante a época seca o grau de atendimento é fraco e decresce até menos de 10%, considerando a não existência do reservatório de Moamba Major.

ABSTRACT The aim of this study is to analyze the degree of water demands compliance at Incomáti river basin in Mozambique, considering the water inflow from the upstream countries and total annual volume of water demand agreed in the Interim Agreement of 2002. It was developed an optimization model which is solved by employing the technique of dynamic programming as a tool to support analysis. The Corumana reservoir located in Sabié River basin is operated in an integrated manner to attend water requirements for consumptive and environmental uses, considering or not a future reservoir on the Incomáti river in the Moamba Region and allowing an artificial transfer to the city of Maputo. The results showed that in the stretch from the Corumana Reservoir to the confluence of the Incomáti and Sabié rivers, as well as in that from the confluence of the Incomáti and Sabié rivers to the Indian Ocean, the degree of compliance is high. For the stretch between the future Moamba Major Reservoir to the confluence of the rivers Incomáti and Sabié, during the dry season the degree of compliance is quite low, and decreases to less than 10% in the absence of the future Moamba Major Reservoir.

Palavras-chave: Atendimento à Demanda, Incomáti

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, código postal: 21945-970- Rio de Janeiro - RJ, Brasil, tel:+552180471581, email: muaivevela@uem.mz

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, código postal: 21945-970- Rio de Janeiro - RJ, Brasil, email: zepaulo@coc.ufjf.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, código postal: 21945-970- Rio de Janeiro - RJ, Brasil, email: jander@rio.com.br

INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas transfronteiriças interligam usuários de água de diferentes estados soberanos em um único sistema (Calhman, 2008). Esses estados individualmente pretendem obter o máximo de benefícios possíveis advindos do uso dos recursos hídricos nessas bacias (van der Zaag, 2007) e este espírito se manifesta durante o processo de formulação de acordos e convenções internacionais sobre o uso dos recursos hídricos.

O fato do não controle pleno da ocorrência de recursos hídricos em um determinado território associado ao crescente número de usuários, muitas vezes com interesses conflitantes, torna a gestão e planejamento dos recursos hídricos nesse território um assunto complexo. Estes pressupostos são encontrados na parte mais a jusante da bacia do rio Incomáti (em Moçambique) que é partilhada entre a República da África do Sul, Reino da Suazilândia e República de Moçambique. Outro fator não menos importante é a crescente extração de suas águas a montante.

Embora não houvesse um conhecimento profundo sobre o comportamento hidrológico da bacia transfronteiriça do rio Incomáti, a vontade em cooperar entre os países prevaleceu até que um acordo provisório foi assinado em 2002 (Slinger et al., 2010). Essa natureza provisória do acordo, além de prever, estimula estudos individuais e conjuntos a serem realizados a médio prazo para melhor entendimento dos processos hidrológicos, que sirvam como base para um acordo definitivo.

Com a premissa de que mais água estará disponível com a construção de infra – estruturas de armazenamento, os países acordaram o aumento dos volumes de captação de água e define as quantidades admissíveis dessa captação de água por trecho bem como os volumes que devem ser mantidos no canal para fins ambientais.

Recentemente tem sido avançadas sugestões para captação de água em Moçambique que não estão previstas no acordo provisório de 2002.

Este estudo analisa o grau de atendimento⁴ à demanda de água na bacia do rio Incomáti em Moçambique levando em conta a demanda total anual acordada no acordo provisório de 2002 e incorporando as sugestões de captação recentemente avançadas.

⁴ Grau de atendimento – porcentagem em que a demanda é atendida no horizonte de planejamento para cada mês.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia transfronteiriça do rio Incomáti localiza-se na região sudeste do continente Africano e é partilhada entre República da África do Sul, Reino da Suazilândia e República de Moçambique (figura 1). A área de estudo é a sub-bacia hidrográfica do rio Incomáti destacada na figura 2.

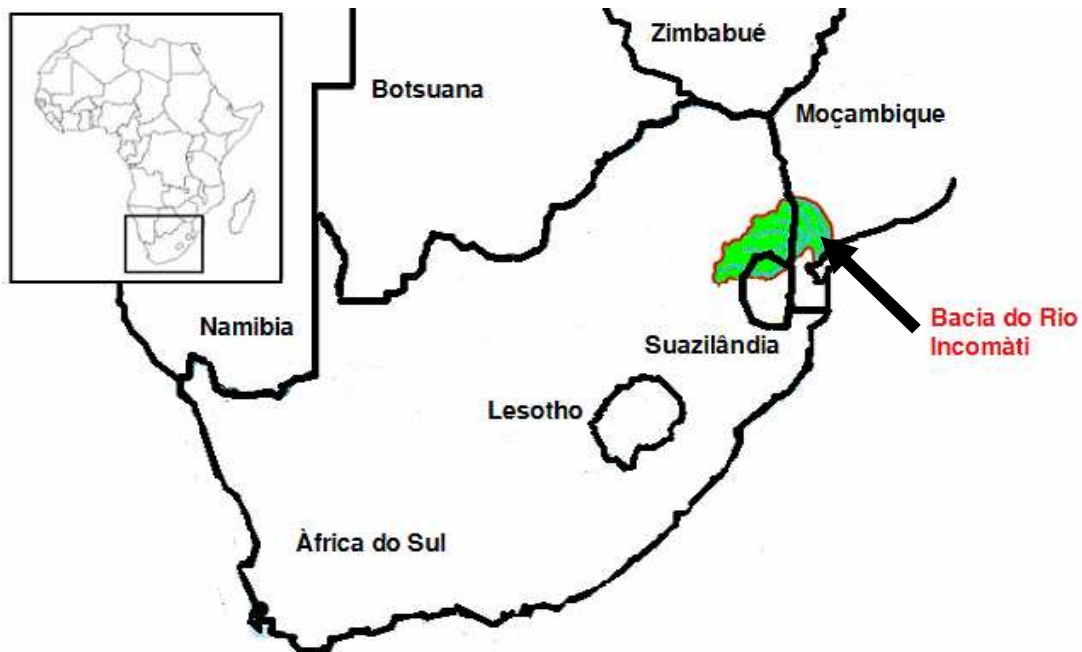


Figura 1 – localização da bacia transfronteiriça do rio Incomáti (adaptado de Vaz & van der Zaag, 2003).

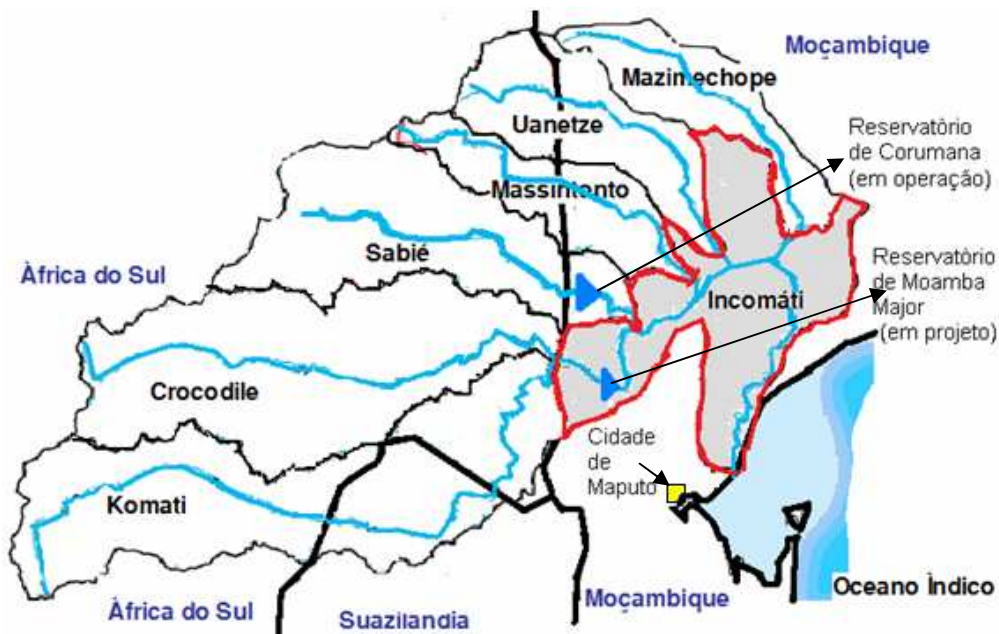


Figura 2 – Principais sub-bacias da bacia transfronteiriça do rio Incomáti, destacando a sub-bacia do rio Incomáti, os reservatórios de Corumana e Moamba Major, bem como a cidade de Maputo (adaptado de Vaz & van der Zaag, 2003).

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi adotado o sistema de recursos hídricos do rio Incomáti em Moçambique e seu principal afluente, conforme ilustrado na figura 3. Neste sistema, o reservatório de Moamba Major está sendo projetado, enquanto que o reservatório de Corumana está em operação.

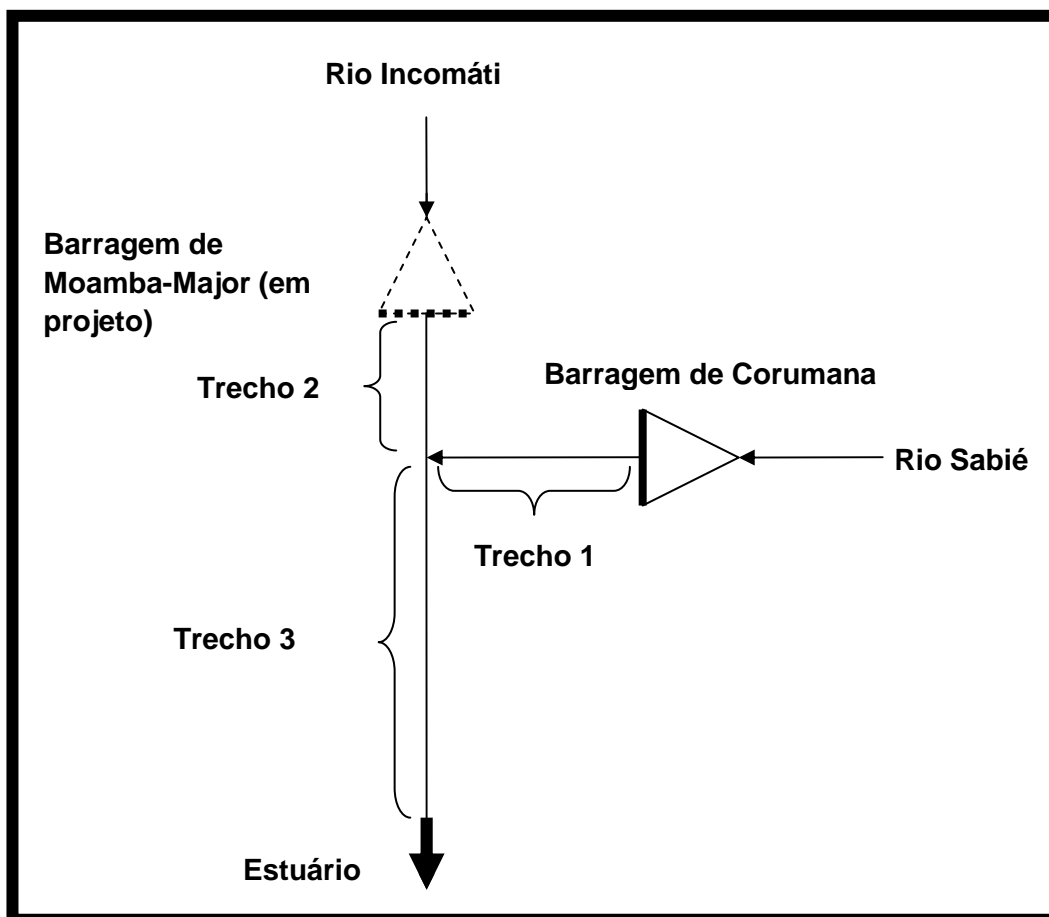


Figura 3- Representação esquemática simplificada do sistema de recursos hídricos na bacia do rio Incomáti em Moçambique, incluindo o seu principal afluente.

Foram considerados três trechos conforme a figura 3 :

- i) trecho 1 - a partir do reservatório Corumana até a confluência dos rios Incomáti e Sabié.
 - ii) trecho 2 - a partir do futuro local do reservatório de Moamba Major até a confluência dos rios Incomáti e Sabié.
 - iii) trecho 3 - a partir da confluência dos rios Incomáti e Sabié até o Oceano Índico.
- Duas alternativas de aproveitamentos foram consideradas, a saber: alternativa 1, envolvendo a construção do reservatório de Moamba - Major e permitindo uma transferência de água artificial a partir deste reservatório para complementar o abastecimento de água à cidade de Maputo;

alternativa 2, sem a construção do reservatório de Moamba - Major e permitindo uma transferência artificial de água a partir do reservatório de Corumana para complementar o abastecimento de água a cidade de Maputo.

Um modelo matemático foi desenvolvido para a minimização dos desvios quadráticos das vazões de água destinadas a atender a demanda consuntiva ou ambiental em relação às metas nos atendimentos desejáveis em todo horizonte de planejamento, conforme as equações que se seguem:

Função multiobjetivo

$$f(t) = \min \sum_{t=1}^T (FCO_t + FEN_t) \quad [1]$$

Onde:

FCO_t - função que descreve o desvio no atendimento à demanda consuntiva no estágio t, dada pela expressão:

$$FCO_t = w_d \cdot \sum_{i=1}^3 \left(\frac{OC_i(t) - DA_i(t)}{OC_i(t)} \right)^2 \quad [2]$$

FEN_t - função que descreve o desvio no atendimento à demanda ambiental no estágio t, dada pela expressão:

$$FEN_t = w_e \cdot \sum_{i=1}^3 \left(\frac{OE_i(t) - B_i(t)}{B_i(t)} \right)^2 \quad [3]$$

A função multiobjetivo acima mencionada está sujeita às seguintes restrições:

1 - Equações da continuidade do volume, desconsiderando as contribuições devido a precipitação, evaporação e outras perdas ou entradas de água no sistema:

$$R_j(t) = S_j(t) + I_j(t) - S_j(t+1) \quad [4]$$

$$DA_i(t) = OC_i(t) \cdot \alpha_i(t) \quad [5]$$

$$B_1(t) = R_1(t) - DA_1(t) \quad [6]$$

$$B_2(t) = R_2(t) - DA_2(t) \quad [7]$$

$$B_3(t) = B_1(t) + B_2(t) - DA_3(t) \quad [8]$$

2 – limites impostos pelas condições físicas dos reservatórios;

Volumes de água armazenados nos reservatórios

$$V_{\min_1} \leq S_1(t) \leq V_{\max_1} \quad [9]$$

$$V_{\min_2} \leq S_2(t) \leq V_{\max_2} \quad [10]$$

Volumes de água descarregados dos reservatórios

$$0 \leq R_1(t) \quad [11]$$

$$0 \leq R_2(t) \quad [12]$$

onde:

j - Índice indicando o reservatório ($j=1$ é reservatório de Moamba Major e $j=2$ è reservatório de Corumana);

i - Índice indicando trecho ($i=1,2,3$; ver Figura 3);

t – intervalo de tempo;

T – Numero de intervalos de tempos;

$S_j(t)$ - Volume de água armazenado no reservatório j no inicio do intervalo de tempo t ;

$\alpha_i(t)$ - Porcentagem da demanda consumtiva atendida no intervalo de tempo t , no trecho i ;

$OC_i(t)$ - Volume de água correspondente à demanda consumtiva no intervalo de tempo t , no trecho i ;

$OE_i(t)$ - Volume de água correspondente à demanda ambiental no intervalo de tempo t , no trecho i ;

$B_i(t)$ - Volume de água destinado ao atendimento à demanda ambiental no intervalo de tempo t , no trecho i ;

$DA_i(t)$ - Volume de água destinado ao atendimento à demanda consumtiva no intervalo de tempo t , no trecho i ;

$R_j(t)$ - Volume de água descarregado no reservatório j durante o intervalo de tempo t ;

$I_j(t)$ - Volume de água afluente no reservatório j durante o intervalo de tempo t ;

$V \max_j(t)$ - Volume de água máximo permitido no reservatório j ;

$V \min_j(t)$ - Volume de água mínimo permitido no reservatório j ;

w_d e w_e - pesos que levam em conta a importância relativa dos objetivos definidos na função multiobjetivo.

O modelo matemático acima descrito é solucionado empregando a técnica de programação dinâmica, cujos alguns fundamentos teóricos serão apresentados ao longo do trabalho.

Os volumes de água afluentes aos reservatórios de Moamba Major e Corumana, correspondem aos volumes totais mensais observados nas estações X3H015⁵ e X2H036⁶, respectivamente, ambas em território sul-Africano. Estes volumes foram extraídos no seguinte endereço eletrônico: <http://www.dwaf.gov.za> e são séries históricas abrangendo o período compreendido entre outubro de 1989 a setembro de 2010, com uma pausa entre outubro de 1999 e setembro de 2001.

As demandas ambientais de água em todos os trechos e consumitiva para os trechos 1 e 2 foram estimadas tendo em conta os volumes anuais alocados no Acordo Provisório de 2002. A estimativa considera que esses valores são igualmente distribuídos ao longo do ano e possuem valor da média em cada mês. A demanda consumitiva para o trecho 3 foi estimada através dos dados sobre os usos fornecidos pela ARA-Sul⁷. O leitor encontrará mais detalhes em Muaievela (2011) e essas informações estão disponíveis para todos os autores deste trabalho.

GENERALIDADES SOBRE A TÉCNICA DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

A programação dinâmica é um procedimento de otimização matemática aplicado a problemas com decisões sequenciadas em vários estágios (intervalos de tempo), obedecendo ao Princípio da Otimalidade (Lanna, 2008). O Princípio da Otimalidade considera que não importa o estado do sistema, as decisões ótimas nos estágios remanescentes não dependem das decisões anteriores. É um dos métodos mais usados em análise de sistemas de recursos hídricos que envolvem múltiplos reservatórios e que devem ser operados para atender múltiplos objetivos. A popularidade e o sucesso dessa técnica podem ser atribuídos à sua característica de permitir que os processos não lineares e estocásticos que caracterizam a maioria dos sistemas de recursos hídricos possam ser

⁵ X3H015 – código da estação hidrométrica de Sabie River @ Lower Sabie Rest Camp na África do Sul

⁶ X2H036 - código da estação hidrométrica de Komati River @ Komatipoort na África do Sul

⁷ ARA-Sul – Administração Regional das Águas do Sul de Moçambique

incluídos em sua formulação (Yeh, 1985), bem como considerações de funções descontínuas (Loucks & van Beek, 2005). A principal desvantagem da programação dinâmica é conhecida como a maldição da dimensionalidade, o que pode ocorrer devido ao seu alto número de combinações possíveis dos estados dos elementos do sistema. Alguns autores desenvolveram técnicas diferentes para superar esses problemas, e alguns deles podem ser encontrados em Yeh (1985) e Mousavi & Karamoutz(2003)

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA RESOLVER O MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

O processo começou com a definição das etapas sequenciais (mensal) do problema no horizonte de planejamento. As variáveis de estado são os volumes de água nos reservatórios e os percentuais da demanda consumtiva atendida enquanto que as variáveis de decisão são os volumes de água descarregados dos reservatórios. Para cada combinação possível tendo em conta as equações de transformação, (equações de continuidade) uma função de retorno é avaliada. Aqui, a função de retorno foi dada pela expressão:

$$L_t(R_t, \alpha_t) = w_e \cdot \sum_{i=1}^3 \left(\frac{OE_i(t) - B_i(t)}{B_i(t)} \right)^2 + w_d \cdot \sum_{i=1}^3 \left(\frac{OC_i(t) - DA_i(t)}{OC_i(t)} \right)^2 \quad [13]$$

Para cada etapa, o valor mínimo da função de retorno é determinado e os estados correspondentes armazenados de forma que quando exigidos na próxima etapa apresentarão os seus valores mínimos anteriores que serão somados ao valor da função de retorno avaliada nesse intervalo e determina-se a mínima soma até aquele momento.

No caso em estudo, o problema é solucionado através de uma função recursiva dada na forma:

$$f_t(S_t, \alpha_t) = \min [L_t(R_t, \alpha_t) + f_{t+1}(S_t^*, \alpha_t^*)] \quad [14]$$

onde:

$f_{t+1}(S_t^*, \alpha_t^*)$ é o retorno ótimo ao final do intervalo t quando o sistema é caracterizado pelos estados S_t^*, α_t^*

Os pesos foram considerados ambos, iguais a 0,5 e permite-se mínimo percentual no atendimento à demanda consumtiva igual a 80%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item, mostram-se os resultados e uma breve discussão, onde para todos os graficos as cores

■ e ■ representam resultados para o cenário que inclui o reservatório de Moamba Major(alternativa 1) e cenário que não inclui o reservorio de Moamba Major (alternativa 2), respetivamente.

Quando se considerou como meta de atendimento à demanda consumtiva em 100%, o trecho 1 apresentou resultados do grau de atendimento à demanda para o caso de usos consumtivos de cerca de 90%, com ligeira vantagem para a alternativa 2, exceto no período de outubro a dezembro. Durante este período de exceção, a alternativa 2 apresentou valores de cerca de 60% (ver Figura 4). Para o caso do grau de atendimento à demanda ambiental(ver Figura 5), a alternativa 2 apresentou resultados ligeiramente superiores em relação à alternativa 1 durante a estação seca (abril-setembro) e vice-versa durante a estação chuvosa (outubro-março). Esse comportamento mostra o esforço adicional empreendido pelo reservatório de Corumana, a fim de manter o fluxo ambiental a jusante da confluência dos rios Incomáti e Sabie. No caso de meta de atendimento à demanda consumtiva em 80%, os resultados mostraram que praticamente todos os meses atingem a meta de atendimento consumtivo para ambas alternativas em consideração, com exceção dos meses de novembro e fevereiro, que mesmo assim apresentaram valores acima de 90% (ver Figura 6), enquanto que para o atendimento a demanda ambiental registraram-se melhorias mantendo o comportamento no caso meta de atendimento em 100% na época seca (ver Figura 7).

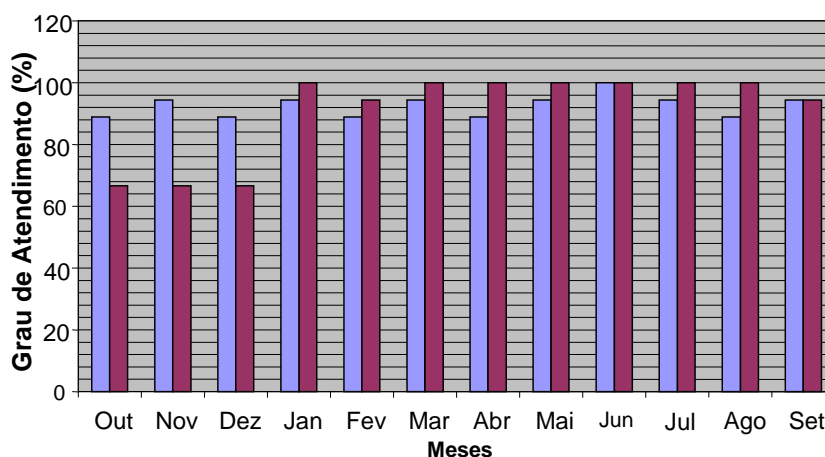


Figura 4 - Grau de atendimento à demanda consuntiva para o trecho 1 com meta em 100%.

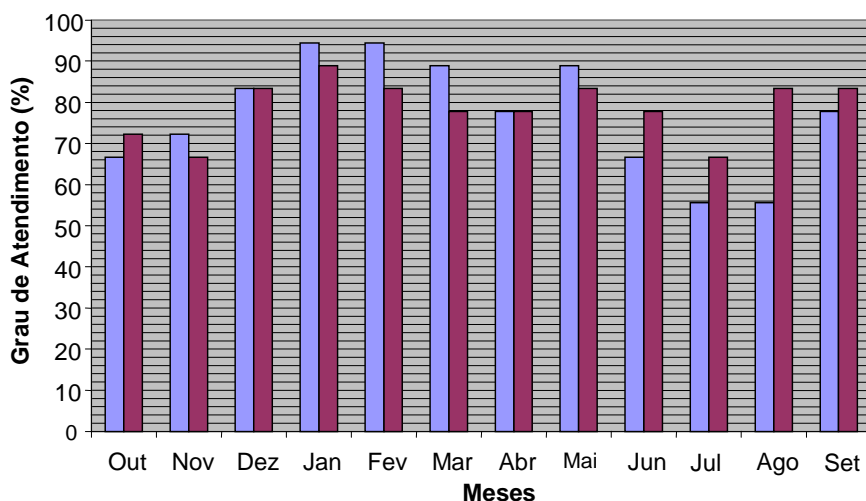


Figura 5- Grau de atendimento à demanda ambiental para o trecho 1 com meta de atendimento consumtivo em 100%.

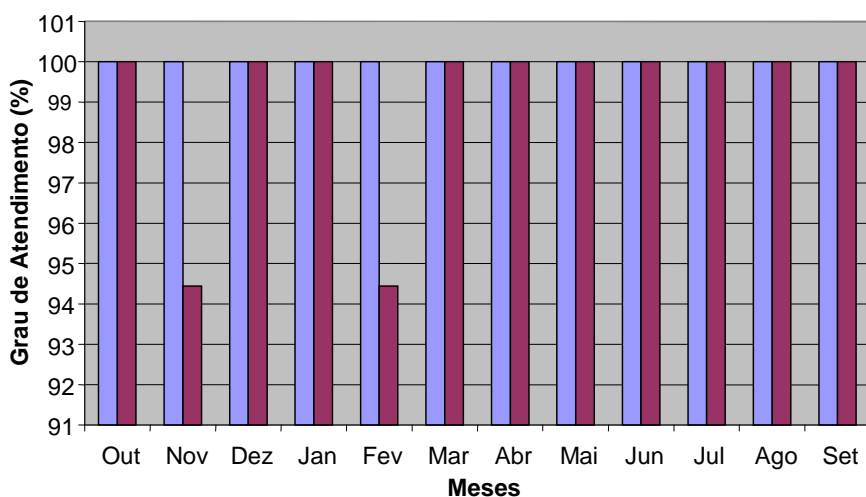


Figura 6 - Grau de atendimento à demanda consumtiva para o trecho 1 com meta em 80%.

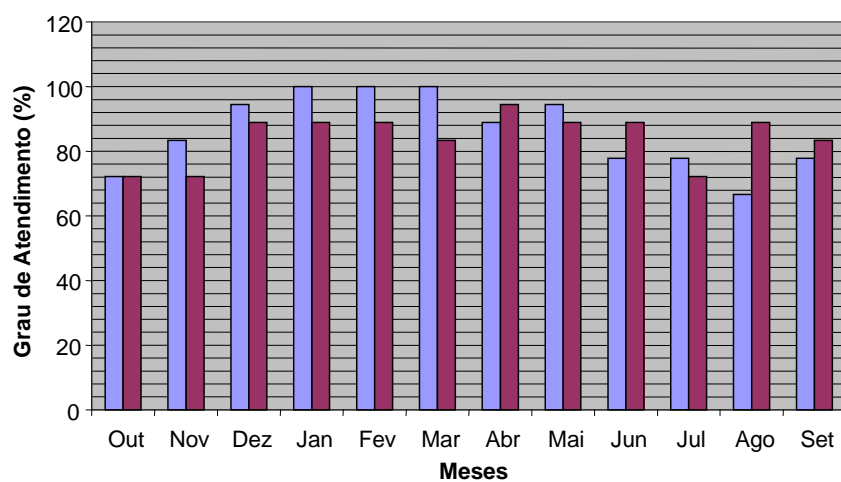


Figura 7 - Grau de atendimento à demanda ambiental para o trecho 1 com meta de atendimento consumtivo em 80%.

Para a meta de atendimento ao setores consumtivos em 100%, os valores do grau de atendimento à demanda consumtiva de água no trecho 2, para a alternativa 2, tenderam a ser iguais

ou maiores do que para uma alternativa 1, com pequenas diferenças nos meses de dezembro a março, enquanto que nos restantes meses, os valores para alternativa 1 apresentaram-se maiores. Nesses restantes meses, as diferenças são bastante significativas entre alternativa 1 e a alternativa 2, quando este último apresentou valores que diminuíram à medida que a estação seca aproximava-se para o final, chegando a valores inferiores a 10% em agosto e setembro (ver Figura 8). Observe na mesma figura 8, que a alternativa 1 apresenta valores acima de 60% em todos os meses. Um comportamento semelhante foi observado no caso da demanda ambiental (ver Figura 9). Quando a meta no atendimento consuntivo foi em 80%, o comportamento não variou muito embora se destaque um ligeiro aumento nos valores (ver Figuras 10 e 11).

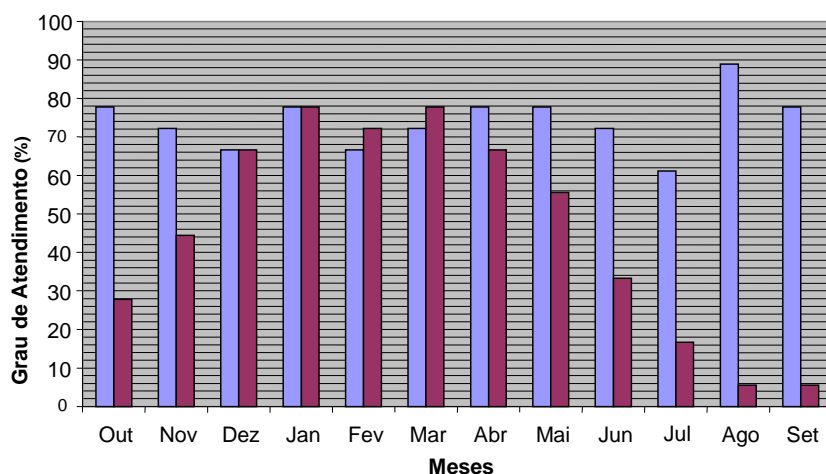


Figura 8 - Grau de atendimento à demanda consuntiva para o trecho 2 com meta em 100%.

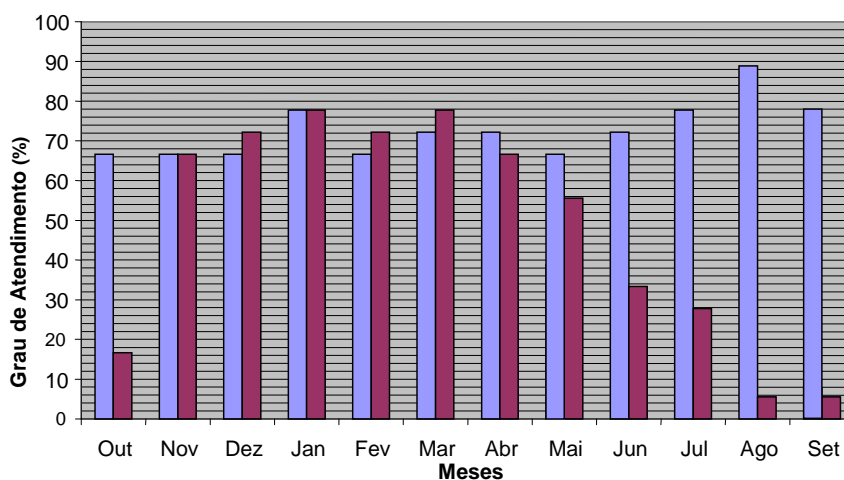


Figura 9 - Grau de atendimento à demanda ambiental para o trecho 2 com meta de atendimento consuntivo em 100%.

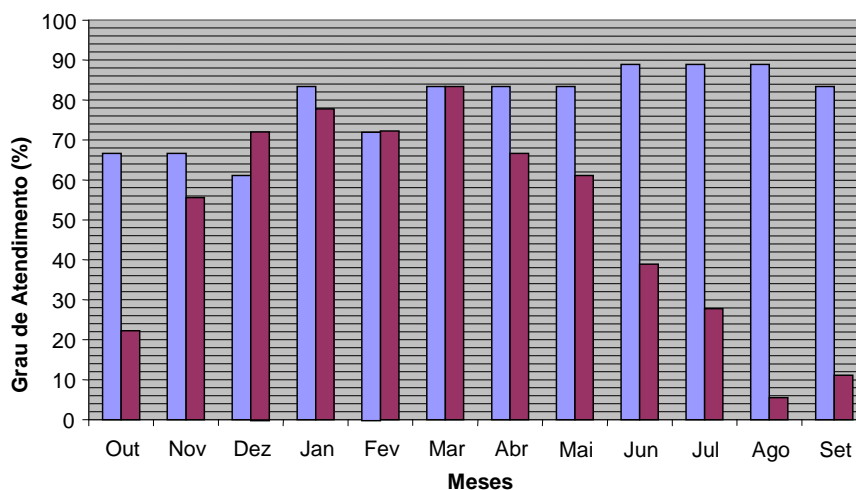


Figura 10 - Grau de atendimento à demanda consumtivo para o trecho 2 com meta em 80 %.

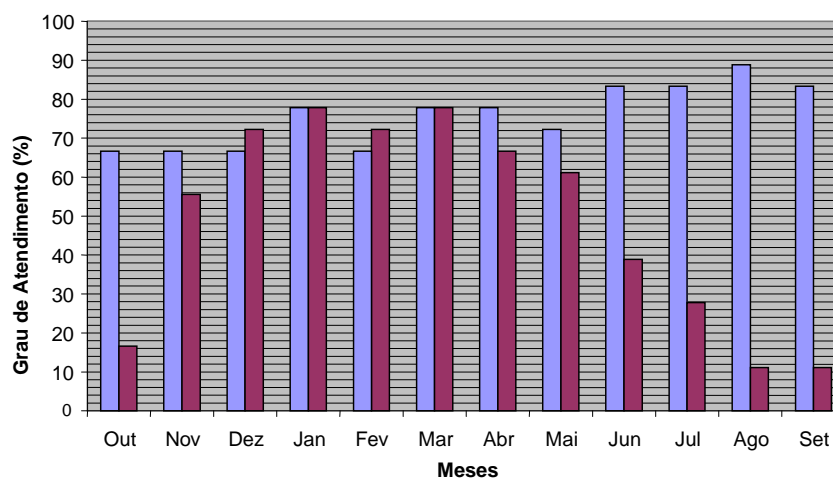


Figura 11 - Grau de atendimento à demanda ambiental para o trecho 2 com meta de atendimento consumtivo em 80%.

Para o trecho 3, os valores do grau de atendimento à demanda consumtiva de água para a alternativa 1 são superiores em relação a alternativa 2, em quase todos os meses com exceção dos meses de fevereiro e março incluindo novembro para a demanda ambiental(ver Figura 12 e 13). Quando comparado com o trecho 2, pode-se observar que a alternativa 2 apresenta melhores resultados, mostrando a importância da gestão integrada do reservatório Corumana para atender às demandas no rio Incomáti na parte mais a jusante, especialmente durante a estação seca. Esse comportamento não variou muito no caso de meta consumtiva em 80% (ver Figuras 14 e 15).

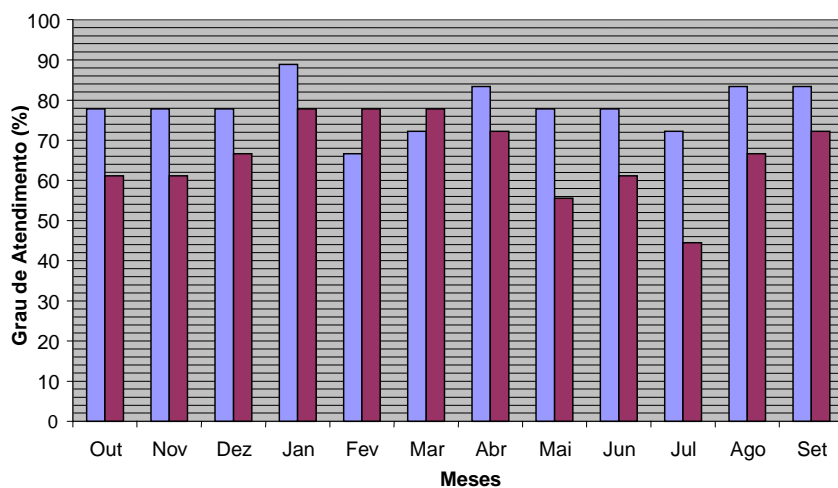


Figura 12 - Grau de atendimento à demanda consumptiva para o trecho 3 com meta de atendimento em 100%.

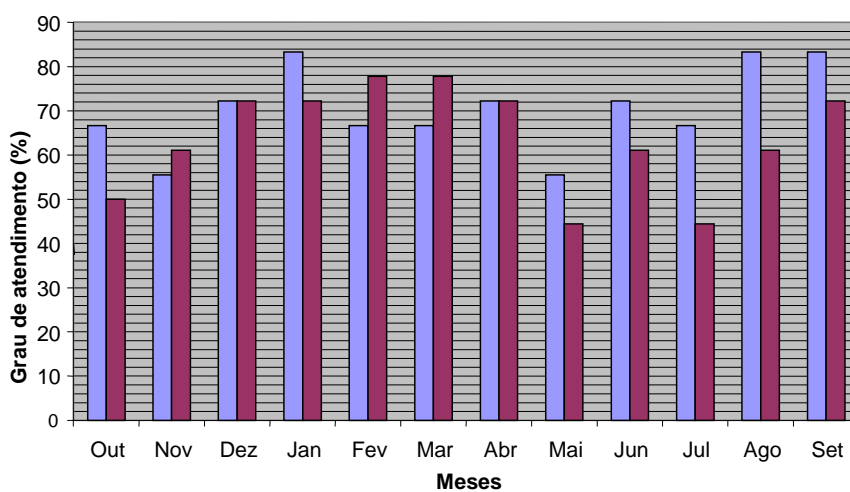


Figura 13 - Grau de atendimento à demanda ambiental para o trecho 3 com meta de atendimento consumptivo em 100%.

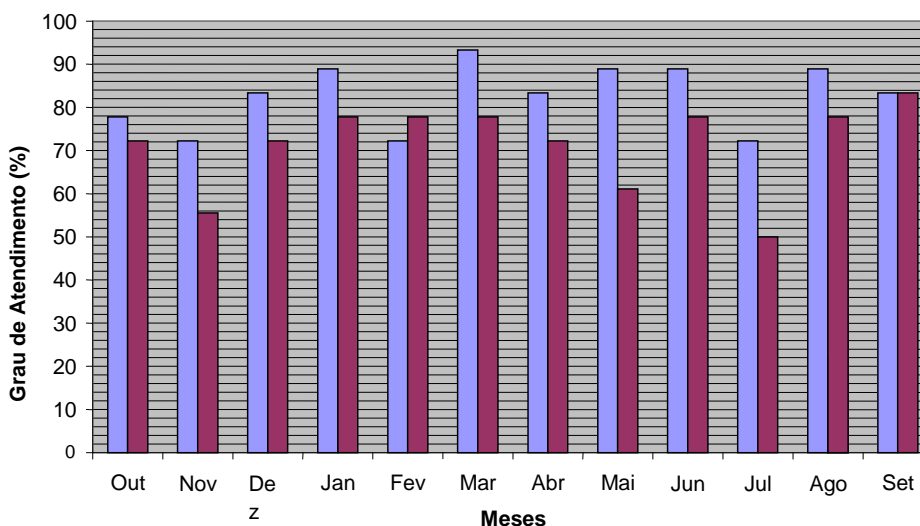


Figura 14 - Grau de atendimento à demanda consumptiva para o trecho 3 com meta de atendimento em 80%.

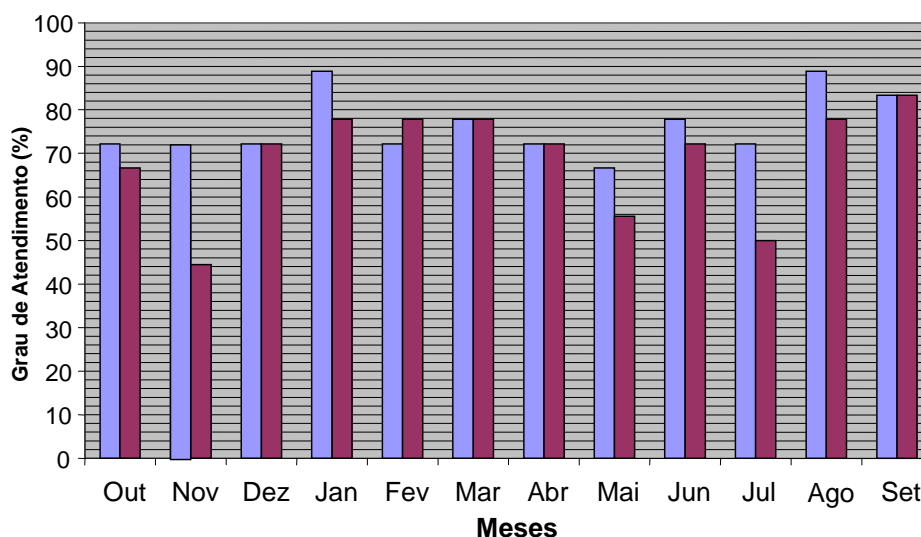


Figura 15 - Grau de atendimento à demanda ambiental para o trecho 3 com meta de atendimento consumtivo em 80%.

As figuras 16 e 17 mostram as variações médias em cada mês do volume armazenado nos reservatórios considerando a alternativas 1 e 2, respectivamente. Como se observa em ambas figuras, os reservatórios podem ser operados considerando um volume de espera no início da estação chuvosa, atingindo o seu valor máximo entre janeiro e fevereiro e decrescendo de forma a manter a máxima quantidade de água possível no início da estação seca. Neste trabalho, a análise foi limitada a aspectos qualitativos, para uma análise quantitativa, será necessário simular equações de regressão múltipla relacionando as descargas dos reservatórios, os volumes armazenados e as afluencias. Para mais informações sobre a técnica de geração quantitativa de regras de operação de reservatórios sugere-se a leitura de Whitlatch, Jr. E.E. & Baskar, N. R.(1978).

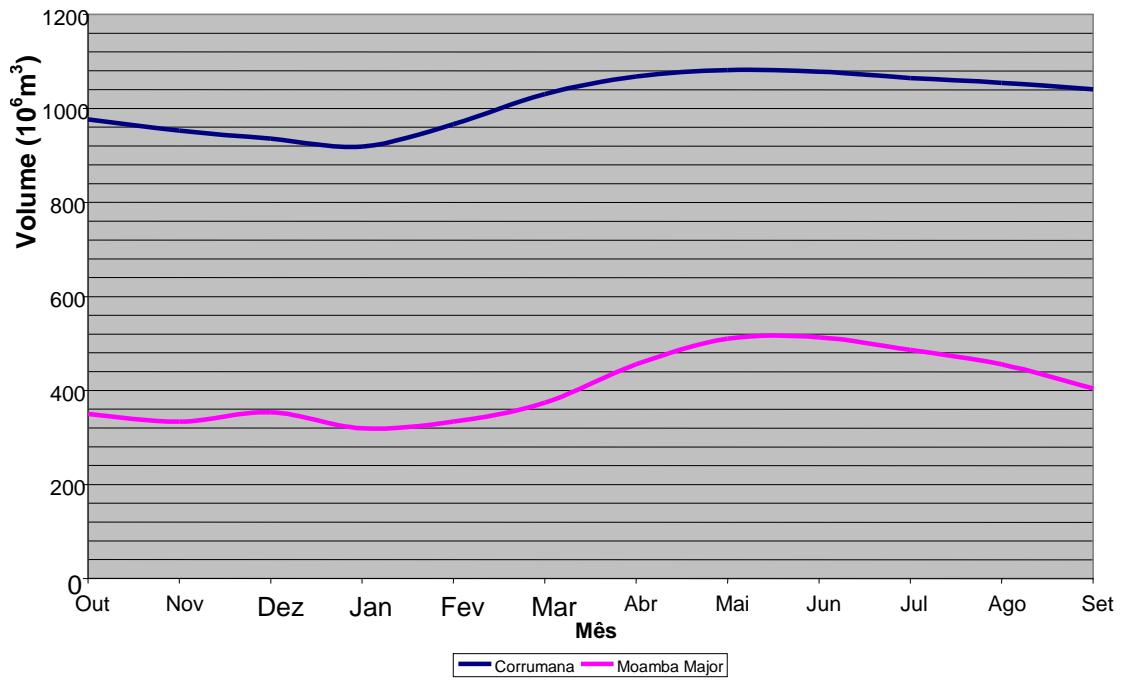


Figura 16- Variação da média dos volumes de água armazenados em cada mês no reservatório de Corumana e Moamba Major para alternativa 1.

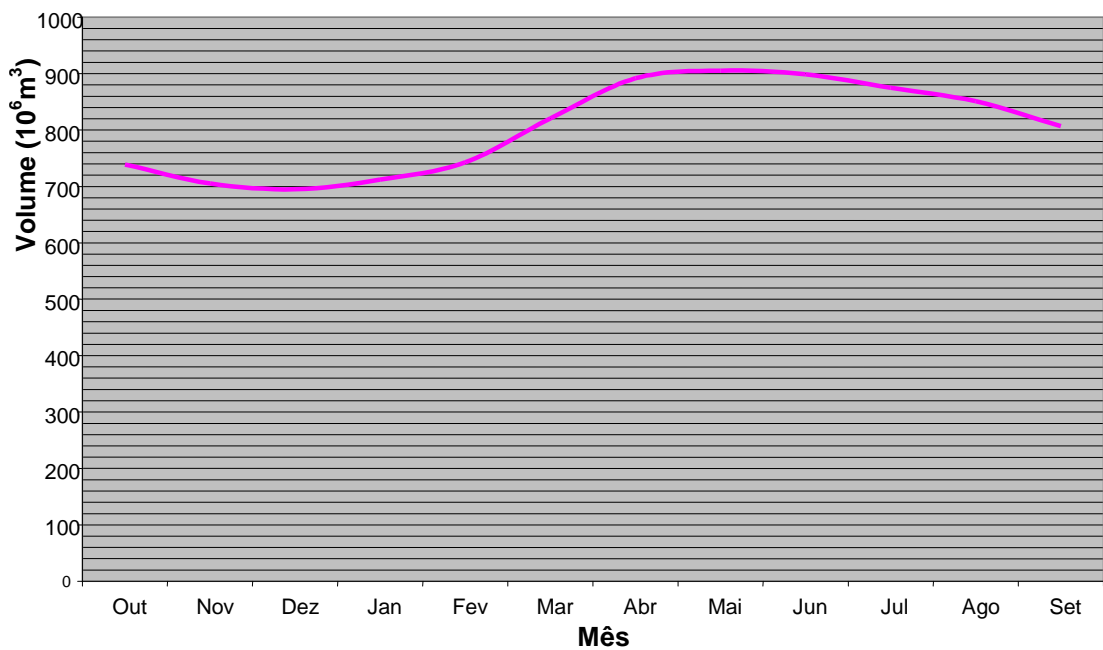


Figura 17 - Variação média dos volumes de água armazenados em cada mês no reservatório de Corumana para alternativa 2.

CONCLUSÃO

No trecho que vai desde o reservatório de Corumana até a confluência dos rios Incomáti e Sabié, ambas as alternativas apresentam valores de graus de atendimentos à demanda consuntiva aproximadamente iguais ou superiores a 90%. A alternativa 1 tende a apresentar maiores valores em relação à alternativa 2 durante a época chuvosa e vice-versa durante a época seca.

No trecho que vai desde o futuro local do reservatório de Moamba Major até a confluência dos rios Sabié e Incomáti (trecho 2), durante os meses de altos escoamentos, que se estendem de dezembro a abril, o cenário que inclui o reservatório de Moamba Major apresenta valores do grau de atendimento à demanda de água tendem a ser iguais ou maiores quando comparados com o cenário que não inclui o reservatório de Moamba Major; no restante dos meses, a consideração do reservatório de Moamba Major fornece resultados bons quando comparados com os da não consideração deste reservatório, onde este último cenário mostra valores que decrescem conforme a estação seca caminha para o fim, atingindo valores abaixo de 10% nos meses de agosto e setembro. No caso da construção do reservatório, os valores de grau de atendimento situam-se numa faixa aproximada entre 65% e 90%.

No trecho que vai desde a confluência dos rios Incomáti e Sabié até ao Oceano Índico (trecho 3), observa-se que os valores do grau de atendimento considerando a construção do reservatório de Moamba Major são relativamente altos, com exceção dos meses de fevereiro e março para demanda consuntiva, incluindo também novembro para a demanda ambiental. Durante a época seca, os resultados mostram que o grau de atendimento à demanda de água é maior que no trecho 2, quando se considera a não construção do reservatório de Corumana. Isto mostra a importância da gestão integrada do reservatório de Corumana, localizado no Rio Sabié, para o atendimento à demanda de água na parte mais baixa do rio Incomáti no estágio atual.

Em geral, os trechos entre o reservatório de Corumana e a confluência dos rios Incomáti e Sabié, e entre a confluência dos rios Incomáti e Sabié até o Oceano Índico apresentaram melhores resultados do grau de atendimento a demanda de água para os cenários descritos e pressupostos

considerados, enquanto que para o trecho a partir do futuro lugar do reservatório de Moamba Major até a confluência dos rios Incomáti e Sabie, o grau de atendimento à demanda de água é muito baixo durante a estação seca, na ausência do reservatório de Moamba Major.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece o apoio financeiro concedido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil através do CNPq, do Ministério da Ciência e Tecnologia de Moçambique, e do departamento de pós-graduação de Engenharia Civil (COPPE / PEC) da UFRJ, que permitiu o desenvolvimento da pesquisa para dissertação do mestrado da qual resultou o presente trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- Barros, M. T. L. de et AL (2002), “*Programação dinâmica aplicada a engenharia de recursos hídricos*”, in *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Org. por Porto, R. La L., ABRH,ed. UFRGS, Porto Alegre-Rs, pp.
- Calhman, O., K., B., 2008, *Gestão de Recursos Hídricos in Bacias de Rios Transfronteiriços - Rio Quaraí / Bacia do Prata*, Tese de D.Sc., COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Lanna, EL, de 2002, "*Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos*", in *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Org. por Porto, R. La L., ABRH,ed. UFRGS, Porto Alegre-Rs, pp.
- Loucks, D., P., van BeeK, E., et al., (2005), *Water Resources Systems Planning and Management An Introduction to Methods, Models and Applications*, Italy, UNESCO, pp.
- Mousavi, S., J., Karamoutz M., 2003 “*Computational Improvement for Dynamic Programming models by diagnosing infeasible storage combinations*”, *Advanced in Water Resources*, v.26, pp. 851-859.

Muaievela, N., M., 2011, Gestão de Recursos Hídricos Transfronteiriços in Bacias de Rios: Análise do Grau de Atendimento à Demanda de Água nd Bacia do Rio Incomáti in Moçambique, Dissertação de M.Sc., COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Singer, H. J. , Hilders, M., Juizo, D., (2010), “*The practice of Transboundary Decision Making on The Incomáti River: Elucidating Underlying factor and their Implications for Institutional Design*”, In <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss1/art1>.

Van der Zaag, P., (2007), “*Asymmetry and Equity in Water Resources Management; Critical Institutional Issues for Southern Africa*”, Water Resources Management, v.21, pp.1993-2004.

Vaz, A. C., van der Zaag, P., (2003), “*Sharing the Incomáti Waters: cooperation and competition in the balance*”, UNESCO – IHP Technical Document / PCCP series number 13. UNESCO, Paris.

Whitlatch, Jr. E.E., Baskar, N. R., 1978, “*Application of Mathematical Optimization Techniques in Reservoir Design and Management Studies*”, in Report N.525x, Water Resources Center,

Engenhering Experiment Station, , The Ohio State University, Columbus, Ohio 43210.

Yeh, WWG, 1985, “*Reserva de Gestão de Operações e Modelos: Um Estado-of-the-Art Review*”, Water Resources Research, v. 21, n.12 (dezembro), pp.1797-1818.