



IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS RESPOSTAS HIDROLÓGICAS DO RIO IPOJUCA (PE) – PARTE 2: CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA

*Ítalo Francis da Silva¹,
Ranyére Silva Nóbrega²,
Josiclêda Domiciano Galvêncio³*

Artigo recebido em 21/08/2009 e aceito para publicação em 31/08/2009.

RESUMO

Neste trabalho foi analisado os impactos do aumento de 1° C de temperatura na evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do rio Ipojuca (PE). Os resultados obtidos indicam que o comportamento da evapotranspiração acompanha a tendência de aumento de temperatura tanto durante os períodos de menor disponibilidade hídrica quanto nos de maior. Já para a vazão, a uma tendência de diminuição durante o período de maiores vazões; para o período de menor vazão foram observadas tendências variáveis. Apesar dos resultados obtidos serem para um modelo hidrológico de dois parâmetros, a tendência de modificação na vazão deve indicar certa preocupação com relação aos recursos hídricos da região, já que resultados de outros pesquisadores indicam mudanças no comportamento da vazão relacionados a diferentes efeitos antrópicos.

Palavras-chaves: Aumento de Temperatura, Escoamento Superficial, Evapotranspiração.

IMPACT OF THE CLIMATIC CHANGES IN ANSWERS HYDROLOGICS OF RIVER IPOJUCA (PE) - PART 2: SCENES OF TEMPERATURE INCREASE

ABSTRACT

This work was analyzed the impacts of the increase of 1° C temperature in evapotranspiration and flow in river basin Ipojuca (PE). The results indicate that the behavior of evapotranspiration follows the trend of temperature increase during both periods of low water availability in much higher. As for flow rate, a declining trend during the period of higher flows, for the period of lower flow trends were observed variables. Although the results obtained are for a hydrologic model for two parameters, the trend of change in flow should indicate some concern regarding water resources in the region, since the results of other researchers indicate changes in the behavior of flow related to different anthropogenic effects.

Key words: Temperature increase, runoff, evapotranspiration

1 Graduando do curso de Bacharelado em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). (italo.francis02@hotmail.com).

2 Professora Adjunta do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). (josicleda@pq.cnpq.br).

3 Professor Adjunto do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). (rs_nobrega@yahoo.com.br).

INTRODUÇÃO

O sistema físico solo-atmosfera-oceano está integrado, e o conhecimento de processos de realimentação são extremamente importantes para o entendimento da resposta climática sobre a Terra e os seus efeitos nos humanos. Variabilidades climáticas podem inicialmente modificar os recursos hídricos locais e o albedo da superfície (por exemplo), de forma que o processo pode provocar pequenas ou até grandes modificações na temperatura, precipitação e evaporação, entre outros parâmetros. Do mesmo modo, modificações na temperatura e precipitação também irão acarretar em modificações nos recursos hídricos, afetando o abastecimento humano, geração de energia e agricultura (NÓBREGA, 2008).

De fato, as respostas dos ciclos energéticos e hidrológicos sobre a superfície têm um papel crítico na determinação dos impactos da variabilidade e mudanças climáticas.

Utilizando-se da prerrogativa de que o aumento na quantidade de CO₂ produz uma elevação da temperatura da baixa atmosfera num modelo de escala logarítmica, vários eventos foram organizados no sentido de discutir a problemática da mudança climática global e assim foi implantado, em 1988, pelo Programa das Nações Unidas *Silva, I. F.; Nóbrega, R.S.; Galvíncio, J. D.*

para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC, com os objetivos de: (1) avaliar as informações científicas existentes sobre a mudança do clima, (2) avaliar os impactos ambientais e socioeconômicos da mudança do clima e (3) formular estratégias de resposta a esses impactos (MARENGO, 2006).

Em seu Quarto Relatório de Avaliação (IPCC IR4), divulgado em novembro de 2007, é citado que as mudanças climáticas globais atuais estão relacionadas diretamente as atividades humanas no planeta. No mesmo relatório também são apresentadas as projeções climáticas até o fim do século, impactos, evidências e algumas estratégias de mitigação e adaptação, mas em escala global. Os mapas produzidos pelo IPCC mostram claramente a tendência de aquecimento no Nordeste do Brasil, mas os resultados da precipitação não são tão claros. De um modo geral, o que tem se observado são variações interdecadais de períodos relativamente mais secos ou chuvosos na região, com períodos de aproximadamente 25-30 anos, alternando épocas mais ou menos chuvosas (MARENGO, 2006), podendo ser explicada, possivelmente pela variabilidade natural do clima na forma de

variações decadais nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical.

Quando se refere estas mudanças, as previsões globais para o século XXI são de aumento de temperatura entre 1,4 e 5,8°C (IPCC, 2001). Simulações de modelos globais, com diferentes cenários, corroboram com aumento na média das concentrações de vapor d'água na atmosfera, e também com aumento nas precipitações no século XXI. Prevê-se, ainda, aumento de nove a 88 cm do nível médio do mar no período de 1990 a 2100. Para o Brasil, o IPCC-2001 prevê para o século XXI um aumento de 4 a 4,5°C na temperatura média do ar nas regiões Sul, Sudeste, Norte, Nordeste e Centro-Oeste e um possível aumento de 10% a 15% nas precipitações de outono. Existe ainda indicação de possibilidade de secas durante o verão (MARENGO e CAMARGO, 2008; MARENGO, 2006).

Os resultados obtidos na primeira parte desta pesquisa, não foram observadas tendências significativas na precipitação ao longo do período estudado. No entanto, o relatório do IPCC (2001) indica aumento na temperatura para o Nordeste do Brasil, com cenários que podem variar de 1,4 a 5,8°C.

Diante disto e da tendência de aumento na temperatura discutida acima, o objetivo desta parte do estudo é analisar

como a alteração da temperatura irá afetar o escoamento na bacia do rio Ipojuca (PE), subsidiando informações para a tomada de decisões e gerenciamento de recursos hídricos com vistas aos cenários de aumento de temperatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Região em estudo

Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca

Localização: A bacia hidrográfica do rio Ipojuca está totalmente localizada dentro do estado de Pernambuco. Constitui-se na Unidade de Planejamento Hídrico UP3, estando inserida nas microrregiões do vale Ipojuca, de Vitória de Santo Antão e de Suape. Os trechos superior, médio e sub-médio da bacia estão localizados nas regiões do Sertão (pequena porção) e Agreste do estado, enquanto que o trecho inferior tem a maior parte de sua área situada na zona da Mata Pernambucana, incluindo a faixa litorânea do estado de Pernambuco e desaguando no oceano Atlântico (Figura 1).

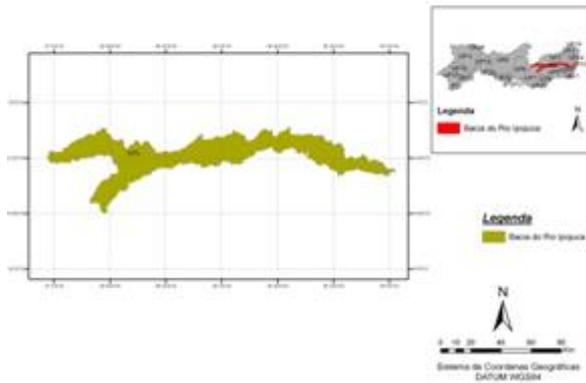


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Ipojuca (PE).

A bacia hidrográfica do rio Ipojuca faz divisão ao Norte com a bacia hidrográfica do rio Capibaribe (UP2), ao Sul com as bacias hidrográficas dos rios Una (UP5) e Sirinhaém (UP4), a Leste com o segundo e terceiro grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos GL2 (UP15) e GL3 (UP16) e o oceano Atlântico e a Oeste com as bacias hidrográficas dos rios Ipanema (UP7) e Moxotó (UP8).

Área: Sua área cobre uma superfície de 3.433,58km, correspondendo a 3,49% do total do estado, e seu perímetro é de 749,6km. Na área da bacia estão parcialmente inseridos os espaços territoriais de 24 municípios, dos quais 12 possuem suas sedes nela incluídas. Os quatro municípios com maiores áreas pertencentes à bacia hidrográfica são: Pesqueira (606,79km²), Caruaru (387,62km²), São

Caetano (262,37km²) e Sanharó (235,45km²) (CONDEPE, 2005).

Rede Hidrográfica: O rio principal da bacia (rio Ipojuca) nasce nas encostas da serra do Pau d'Arco, no município de Arcoverde, a uma altitude de aproximadamente 900m. Seu percurso, de 323 km, é orientado na direção oeste-leste, com regime fluvial intermitente até seu médio curso. Entre as áreas pertencentes aos municípios de Gravatá e Chã Grande, torna-se naturalmente perene. O rio Ipojuca banha diversas sedes municipais, destacando-se Sanharó, Belo Jardim, Tacaimbó, São Caetano, Caruaru, Bezerras, Gravatá, Primavera, Escada e Ipojuca (CONDEPE, 2005).

Relevo: Na porção Leste da bacia observam-se duas formas de relevo bastante distintas; a planície costeira, com altitudes inferiores a 100m e um conjunto de morros e colinas, com altitudes inferiores a 300m encontrados nas proximidades do planalto da Borborema, este planalto ocupa uma área que representa mais de 70% da bacia do rio Ipojuca, tendo seu início nas proximidades do município de Chã Grande. Nas áreas situadas sobre o planalto da Borborema, entre os municípios de Chã Grande e Belo Jardim, observam-se algumas superfícies mais ou menos planas, com altitudes

variando entre 400 e 700m. Na porção oeste da bacia, nas áreas pertencentes aos municípios de Poção, Pesqueira, Sanharó e Belo Jardim, encontram-se as superfícies mais antigas e mais elevadas, já bastante trabalhadas pelo processo erosivo, com altitudes que variam entre 800 e 1.000m (CONDEPE, 2005).

Geologia: A maior parte da área da bacia do rio Ipojuca é representada por rochas cristalinas e cristalofilianas do pré-cambriano, cuja unidade litoestratigráfica dominante é o Complexo Migmatítico-Granitóide, onde os granitos e granodioritos são predominantes sobre os migmatitos, sendo estes do tipo estromático, nebulítico e epibolítico. Atravessando toda a unidade hídrica, seguindo a direção leste-oeste, encontra-se uma extensa falha transcorrente dextrógira, que recebe o nome de Lineamento Pernambuco. Essa falha separa os gnaisses para o sul e os granitos dominantes ao norte, prolongando-se para oeste até áreas do município de Arcoverde. Outro maciço, o granítico-diorítico, ocorre ao sul da falha, indo do município de São Caetano até áreas do município de Chã Grande (CONDEPE, 2005).

Clima: Os trechos médio e sub-médio da bacia estão localizados na região Agreste do estado de Pernambuco. Do ponto de vista

climático, essa região é considerada intermediária entre as áreas de clima úmido (Zona da Mata) e de clima seco (Sertão), apresentando características ora de uma, ora de outra. Assim, nas áreas mais próximas ao Sertão (trechos superior e parte do médio) o clima é quente e seco, e o período mais chuvoso vai de fevereiro a junho (chuvas de verão/outono), já no trecho sub-médio (mais próximo da Zona da Mata), a estação chuvosa se estende de março a julho (chuvas de outono/inverno). O trecho inferior da bacia (cuja maior parte se localiza na Zona da Mata, nela incluída a faixa litorânea) apresenta características de clima quente e úmido, com médias pluviométricas superiores a 1.000mm anuais, alcançando mais de 2.000mm nas áreas litorâneas. O período chuvoso dura seis meses, indo de março a agosto (CONDEPE, 2005).

Vegetação: A vegetação dominante apresenta diferenças fisionômicas em consequência dos fatores edafoclimáticos, podendo, de uma maneira geral, ser considerada como uma caatinga “agrestina”, caracterizando-se pela presença de espécies xerófilas, decíduas, em grande número composta por espinhos e abundância de Cactáceas e Bromeliáceas. Nas áreas mais elevadas e expostas aos ventos úmidos (os alísios de sudeste) ocorrem os “brejos de altitude” (destacando-se como áreas de

nascentes), sendo considerados ecossistemas diferenciados daqueles predominantes nas áreas mais baixas ou menos expostas. Nesses brejos observa-se a presença da mata serrana, atualmente com elevado estado de degradação sendo substituída pela policultura. Nas áreas mais úmidas da bacia, encontra-se a vegetação de Mata Atlântica, que hoje se encontra bastante reduzida pela ação devastadora do homem. No litoral são encontrados os manguezais (CONDEPE, 2005).

Dados utilizados

Foram utilizados cinco postos pluviométricos: Pesqueira, Caruaru, Poção, Sanharó e São Caetano. Cada uma com séries concomitantes de dados entre (1963-1992), com exceção dos anos de 1964, 1965, 1968, 1979 e 1984, ou seja, uma série de 25 anos de dados.

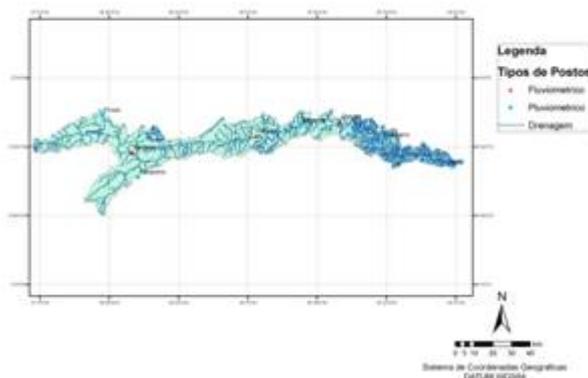


Figura 2: Rede de drenagem e localização dos postos pluviométricos, fluviométricos

Para calibração do modelo hidrológico foi utilizada a vazão observada na seção transversal de Caruaru, durante o período de 1974 a 1976.

Modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído

Xiong e Guo (1997, 1999) propuseram e desenvolveram um modelo de balanço hídrico mensal de dois parâmetros. O modelo foi testado em 100 pequenas e médias bacias na China e comparado com outros modelos de balanço hídrico, incluindo o modelo Belgium (VANDEWIELE *et al.*, 1992) e o modelo mensal de Xinanjiang (ZHAO, 1992). O modelo de balanço hídrico mensal de dois parâmetros provou ser completamente eficiente em simular o escoamento superficial mensal com uma estrutura simples. Mostrou-se também que o modelo de balanço hídrico de dois parâmetros é comparável a outros modelos de balanço hídrico relativamente complexo (XIONG e GUO, 1997, 1999). Devido a sua simplicidade e elevada eficiência no desempenho, o modelo mensal de balanço hídrico de dois parâmetros pode ser facilmente e eficientemente incorporado nos estudos de mudanças climáticas e nos programas de planejamentos dos recursos hídricos.

Estrutura e parâmetros do modelo de dois parâmetros

A evapotranspiração real mensal pode ser calculada por:

$$E_t = CEP_t \tanh \left[\frac{P_t}{EP_t} \right] \quad (1)$$

Em que, E_t é a evapotranspiração real mensal, EP_t é a taxa de evaporação, P_t é a precipitação mensal, \tanh é a função tangente hiperbólica e C é o primeiro parâmetro do modelo.

A equação (1) foi obtida do estudo de Guo *et al* (2002) e foi adaptada da fórmula de Ol'dekop (1911) citada após por Brutsaert (1992), que foi muito bem usada no cálculo da evapotranspiração real anual em longo prazo em bacias na China. Na Equação (1), o termo do índice de umidade do solo não aparece diretamente. Entretanto, isto não implica que a umidade do solo é irrelevante na evapotranspiração real, porque em longo prazo, o índice de umidade do solo pode ser refletido por outros dois termos importantes: Precipitação e EP potencial, como consequência do mecanismo de fechamento do sistema solo-planta-atmosfera.

O escoamento superficial mensal Q é relacionado com o índice de umidade do solo S , que é estimado por:

$$Q_t = S_t \tanh[S_t / S_c] \quad (2)$$

Em que, Q_t é o escoamento superficial mensal, S_t é a quantidade de água no solo e S_c é a capacidade de campo da bacia em milímetros.

De posse das séries de precipitação mensal e evaporação mensal, a evapotranspiração real mensal (E_t) pode ser determinada pela equação (1). A quantidade da água restante dentro o solo será obtida por: $S_{t-1} + P_t - E_t$; após a perda da evapotranspiração E_t , com o S_{t-1} que é o conteúdo de água no fim (t-1) e começo do mês t. A equação (2) será usada para calcular o escoamento superficial (Q_t) no mês t:

$$Q_t = [S_{t-1} + P_t - E_t] \tanh \{ [S_{t-1} + P_t - E_t] / S_c \} \quad (3)$$

Finalmente, o armazenamento de água no solo no mês t no fim de cada mês será calculado de acordo com a lei de conservação de água:

$$S_t = S_{t-1} + P_t - E_t - Q_t \quad (4)$$

Avaliação de impactos climáticos nos Recursos Hídricos.

Como não foram observadas tendências na precipitação, realizaram-se

alterações apenas na temperatura. De forma que, para esta pesquisa, construímos cenários com aumento de apenas 1° C na temperatura justamente para ver como um leve aumento neste parâmetro irá afetar o escoamento superficial da região em estudo, um aumento até abaixo dos cenários do IPCC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de impactos climáticos nos recursos hídricos

Para a realização de cenários de aumento de temperatura, utilizaram-se cinco municípios Caruaru, Pesqueira, Poção, Sanharó e São Caetano com dados meteorológicos no período entre 1963 a 1992.

As Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam as comparações feitas com a evapotranspiração normal, ou seja, sem aumento de temperatura com a evapotranspiração com aumento de 1°C na temperatura no local em estudo. Após o aumento de 1°C na temperatura, verificou-se que, conseqüentemente houve um aumento na evapotranspiração como podemos ver nos gráficos a seguir.

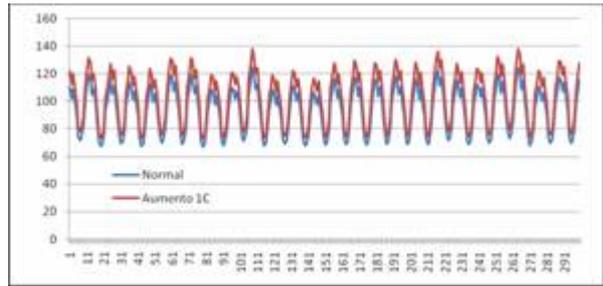


Figura 3: Comparação da evapotranspiração normal com a evapotranspiração após o aumento de 1°C na temperatura para Caruaru no período de 1963 a 1992

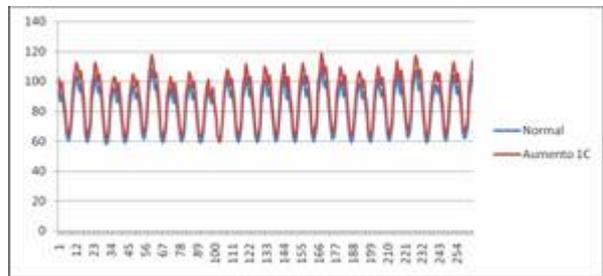


Figura 4: Comparação da evapotranspiração normal com a evapotranspiração após o aumento de 1°C na temperatura para Pesqueira no período de 1963 a 1992

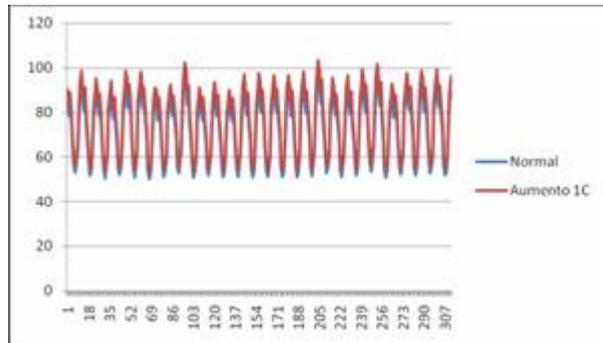


Figura 5: Comparação da evapotranspiração normal com a evapotranspiração após o aumento de 1°C na temperatura para Poção no período de 1963 a 1992

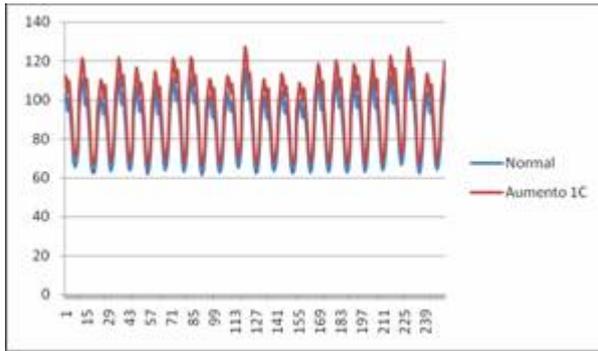


Figura 6: Comparação da evapotranspiração normal com a evapotranspiração após o aumento de 1°C na temperatura para Sanharó no período de 1963 a 1992

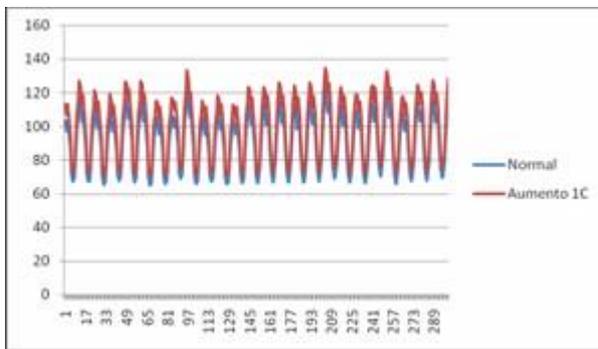


Figura 7: Comparação da evapotranspiração normal com a evapotranspiração após o aumento de 1°C na temperatura para São Caetano no período de 1963 a 1992

Comparou-se também o escoamento superficial normal, ou seja, sem aumento de temperatura com o escoamento superficial com aumento de 1°C na temperatura no local em estudo.

Verificou-se que em alguns casos aconteceu aumento do escoamento superficial, após o aumento na temperatura e em outros casos houve uma redução no escoamento superficial como podemos ver nos gráficos a seguir.

O resultado das simulações foram óbvios com relação à evapotranspiração, como pode ser observado pela equação (1), indicando aumento da mesma acompanhando o aumento de 1°C da temperatura. Obviamente que a evapotranspiração depende da quantidade de água disponível na superfície, mas como aqui não foi alterado o valor da precipitação, o aumento acompanhou a evapotranspiração normal.

No entanto, ao analisar os dados de vazão, não observa-se um comportamento tão semelhante. Em todos os postos há uma variabilidade na simulação para o cenário, com períodos de vazão acima da normal e outros de vazão abaixo, indicando que a resposta do aumento da temperatura não é tão linear na vazão quanto na evapotranspiração.

Pode-se destacar em todos os postos os valores máximos de vazão. Nestes, a vazão para o cenário foi sempre menor que a normal, indicando que com o aumento de 1°C, a vazão foi menor. Este resultado indica uma tendência de que os rios possam secar mais cedo do que o normal.

Já durante os períodos de menor vazão não se observou tendências tão significativas, apresentando períodos de valores menores e outros de valores

maiores, ao comparar o cenário projetado e a vazão normal.

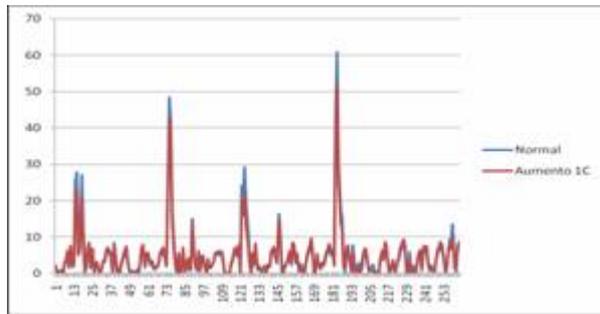


Figura 8: Comparação do escoamento superficial normal com o escoamento superficial após o aumento de 1°C na temperatura para Pesqueira no período de 1963 a 1992

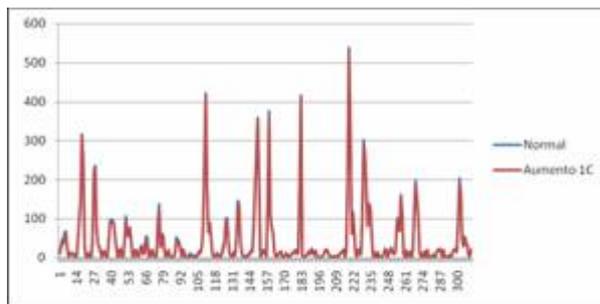


Figura 9: Comparação do escoamento superficial normal com o escoamento superficial após o aumento de 1°C na temperatura para Poção no período de 1963 a 1992

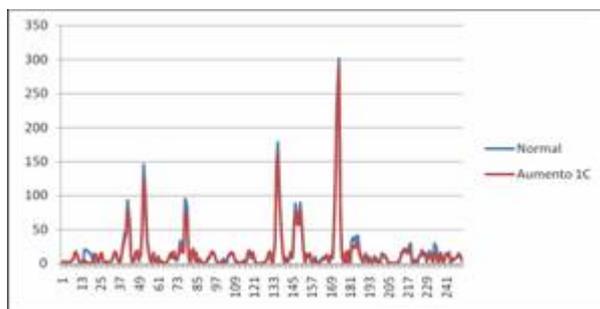


Figura 10: Comparação do escoamento superficial normal com o escoamento superficial após o aumento de 1°C na temperatura para Sanharó no período de 1963 a 1992

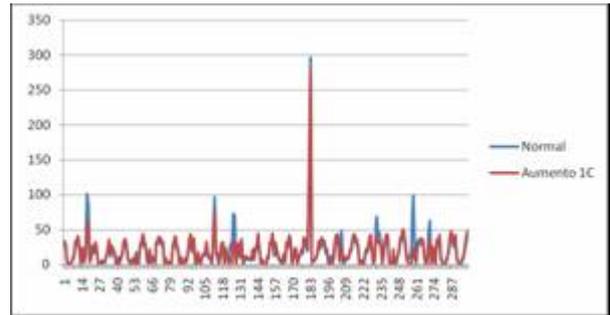


Figura 11: Comparação do escoamento superficial normal com o escoamento superficial após o aumento de 1°C na temperatura para São Caetano no período de 1963 a 1992

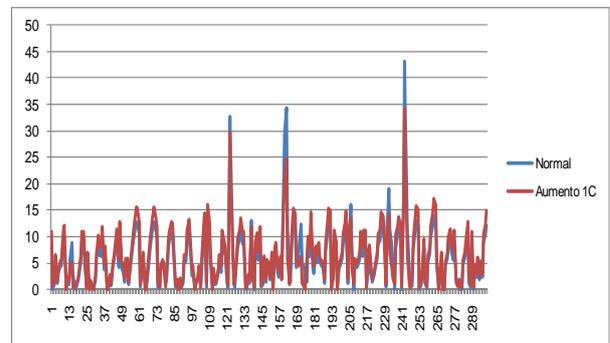


Figura 12: Comparação do escoamento superficial normal com o escoamento superficial após o aumento de 1°C na temperatura para Caruaru no período de 1963 a 1992

Nesta pesquisa foi analisado apenas o cenário de aumento de temperatura e indicou que durante os períodos de cheia dos rios os problemas podem ser maiores com este aumento, por exemplo, na irrigação, geração de energia e dessedentação humana e animal.

De fato foram os resultados obtidos com este modelo de dois parâmetros, e espera-se que com o resultado novos estudos sejam realizados utilizando mais parâmetros

e gerando novos conhecimentos, uma vez que diferentes efeitos antrópicos em conjunto com os cenários de aumento de temperatura, podem trazer transtornos ainda maiores, a saber: compactação do solo para uso agrícola, desmatamento, construção de reservatórios de diferentes portes a montante da bacia (o que aumenta a evaporação) e retirada de água para usos consultivos.

Outra preocupação que devemos ter, principalmente em regiões com muitas represas, como o Nordeste do Brasil, é que ao construir uma barragem, por exemplo, o período de retorno é calculado com dados médios do passado, onde não se projetava alterações no ciclo hidrológico, mas cada vez mais estudos, como este, indicam que o clima não é estacionário, como muitos projetos de recursos hídricos o definiram na em suas concepções, e que a não-estacionaridade do clima pode ocorrer tanto por causas naturais (variabilidade) e por causas antrópicas, e então, estes períodos podem comprometer no futuro os usos da água.

CONCLUSÃO

De acordo com o objetivo proposto, chegamos às seguintes conclusões:

1. O comportamento da evapotranspiração foi o esperado,

Silva, I. F.; Nóbrega, R.S.; Galvíncio, J. D.

acompanhando a tendência de aumento de temperatura tanto durante os períodos de menor disponibilidade hídrica quanto nos de maior;

2. Quanto aos resultados da vazão, observou-se que durante os períodos de maior vazão há uma tendência da vazão diminuir com o aumento da temperatura em todos os postos estudados;

3. Já para durante os períodos de menor vazão, ocorreu variações com períodos simulando aumento de vazão e em outros diminuição de vazão;

4. Apesar dos resultados obtidos serem para um modelo hidrológico de dois parâmetros, a tendência de modificação na vazão deve indicar certa preocupação com relação aos recursos hídricos da região, já que resultados de outros pesquisadores indicam mudanças no comportamento da vazão relacionados a diferentes efeitos antrópicos.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J.O. **Introdução á Climatologia para os Trópicos**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 332págs. 2007.

CONDEPE. **Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca: Série Bacias hidrográficas de Pernambuco**. Governo do Estado de

Pernambuco, Secretaria de Planejamento, Agência Estadual de planejamento e pesquisas de Pernambuco. 64 págs. 2005.

GUO, S.; YIN, A. Uncertainty analysis of impact of climatic change on hydrology and water resource. Sustainability of Water Resource Under Increasing Uncertainty (**Proceedings of Morocco Symposium, July 1997**) 1997, No 240. 1997.

MARENGO, J.A. **Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 201 págs. 2006.

MARENGO, J.A. ; CAMARGO, C. G. C. . **Surface air temperature trends Southern Brazil for 1960-2002**. International Journal of Climatology, v. 28, p. 893-904, 2008.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J. River flow forecasting through conceptual models. **J. Hydrol.** 10, 282–290. 1970.

NÓBREGA, R.N. **Modelagem de Impactos do Desmatamento nos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Jamari (Ro) utilizando dados de Superfície e do TRMM**. Campina Grande, PB: UFCG. 2008. 238 pág. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

SILVA DIAS, P.L.; RIBEIRO, W.C.; NUNES, L.H. **A Contribution to understanding the regional impacts of global change in South America**. USP. São Paulo. 418 págs. 2007.

VANDEWIELE, G.L.; XU, C.; NI-LAR-WIN. Methodology and comparative study

of monthly water balance models in Belgium, China and Burma. **J. Hydrol.** 134, 315–347. 1992.

XIONG, L.; GUO, S. Two-parameter water balance model and its application. **J. Hydrol.** 216, 315–347. 1999.