Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SOLO, EM PONTA GROSSA-PR, SOB DIFERENTES CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

NEVES, Gabriela Leite - gabriela.leiteneves@usp.br
Universidade de São Paulo / USP

VIRGENS FILHO, Jorim Sousa das - jvirgens@uepg.br
Universidade Estadual de Ponta Grossa / UEPG

LEITE, Maysa de Lima - mleite@uepg.br
Universidade Estadual de Ponta Grossa / UEPG

MAUAD, Frederico Fabio - mauadffm@sc.usp.br
Universidade de São Paulo / USP

RESUMO: O objetivo desse estudo foi analisar o impacto das possíveis mudanças climáticas na disponibilidade hídrica do solo no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná. Séries de dados climáticos diários foram simuladas utilizando a ferramenta PGECLIMA_R, o qual considerou os cenários climáticos projetados no quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC-AR5). Ao estimar a evapotranspiração e o balanço hídrico e ao analisar os índices climáticos, comparou-se o saldo hídrico mensal do período base (1980-2009) com anos simulados de 2039, 2069 e 2099, nos diferentes cenários climáticos. Observou-se que o município de Ponta Grossa não demonstrou deficiência hídrica no período histórico, porém os resultados indicam que com o possível aquecimento global, poderá ocorrer uma redução no índice hídrico até o final de 2099.

PALAVRAS-CHAVE: IPCC; balanço hídrico; cenários climáticos.

SOIL WATER AVAILABILITY, IN PONTA GROSSA-PR, UNDER DIFFERENT GLOBAL CLIMATE CHANGE SCENARIOS

ABSTRACT: The objective of this study was to analyze the possible impact of climate change on water availability in the city of Ponta Grossa, Parana State, Brazil. Daily climatic data series were simulated using the PGECLIMA_R tool, considering the climate scenarios designed fifth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR5). Through the estimating of the evapotranspiration and the water balance and climate indices, it was compared the monthly water balance of the base period (1980-2009) with simulated years 2039, 2069 and 2099, in different climate scenarios. It was observed that the city of Ponta Grossa showed no water deficit in the historical period, however, the results indicate that with possible global warming, there may be a reduction in moisture index to the end of 2099.

KEYWORDS: IPCC; water balance; climate scenarios.

1.INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes e necessários à manutenção da vida e ao desenvolvimento dos setores econômicos. Devido à grande demanda mundial da água, o conhecimento da disponibilidade hídrica se torna fundamental, já que o recurso deve estar disponível de forma a atender os múltiplos usos da água.

Conforme relatório da ANA-Agência Nacional de Águas (ANA, 2012) sobre as perspectivas ambientais brasileiras, a agricultura irrigada é considerada o

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

maior usuário de água doce. O grande consumo dos recursos hídricos nesse setor se deve ao fato da água ser imprescindível às funções metabólicas das plantas e quando não está suficientemente disponível no solo, há a necessidade da irrigação para que ocorra o desenvolvimento das culturas (PIRES et al., 2008). Sendo assim, a determinação hídrica do solo é fundamental para o correto planejamento e gerenciamento de um sistema de irrigação.

De maneira geral, a determinação da disponibilidade hídrica do solo é realizada pela estimativa do balanço hídrico, com o qual se contabiliza as entradas e as saídas de água do solo, que se comporta como um sistema. Segundo Pereira et al. (2007) o principal componente de entrada de água no sistema é a precipitação pluvial. A evapotranspiração (ET) é o principal componente de saída, principalmente em períodos secos, sendo que em períodos chuvosos, a drenagem profunda também se torna uma componente de saída de água, controlando a quantidade de água no solo.

A ET é a perda da água para atmosfera pelos processos de evaporação da água do solo e da vegetação úmida e também da transpiração das plantas. Quando a perda de água ocorre em condições sem restrição hídrica e em uma superfície natural gramada, a ET é definida como Evapotranspiração Potencial (ETP) e quando a perda da água se dá em qualquer condição de umidade e de cobertura vegetal é denominada Evapotranspiração Real (ETR) (PEREIRA et al., 2007).

A estimativa da ET, assim como do balanço hídrico do solo, permite o diagnóstico da quantidade e frequência de água utilizada nas irrigações, o que se torna essencial ao manejo sustentável dos recursos hídricos (SILVA et al., 2012).

Segundo Marengo (2008), a ocorrência de mudanças climáticas pode provocar impactos nos componentes do balanço hídrico, principalmente na precipitação pluviométrica e na ET, a qual é afetada diretamente pela alteração da temperatura do ar. Assim as modificações no clima podem ser responsáveis por impactar a disponibilidade hídrica.

O termo "mudanças climáticas" é definido pelo IPCC-Intergovernamental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) como uma mudança no clima ao longo do tempo, resultante de uma variabilidade natural ou da atividade humana. Segundo o IPCC, as atividades humanas que emitem gases de efeito estufa (GEE), são responsáveis pelo aumento das concentrações desses gases e consequentemente pelo aumento da temperatura do ar na atmosfera terrestre. Essa elevação das temperaturas do ar associada ao aumento das concentrações atmosféricas dos GEE, resulta no processo definido como "aquecimento global" (IPCC, 2013).

O quinto relatório do IPCC (IPCC-AR5) publicado em 2013, (IPCC, 2013) propôs quatro diferentes cenários de mudanças climáticas, denominados de RCPs–Representative Concentration Pathways (Vias de Concentração Representativa). Os cenários são baseados nas emissões dos gases de efeito estufa e também em aspectos como demografia, desenvolvimento socioeconômico, e mudança na tecnologia. As projeções de aumento na temperatura do ar sugeridas a partir desses cenários estão nas faixas de 0,3°C a 1,7°C (RCP2.6), 1,1°C a 2,6°C (RCP4.5), 1,4°C a 3,1°C (RCP6.0) ou 2,6°C a 4,8°C (RCP8.5).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O impacto das mudanças climáticas na quantidade de água do solo foi um tema abordado por Carvalho e Stipp (2004) no Estado do Paraná, Brasil, onde os pesquisadores avaliaram o balanço hídrico de quarenta municípios do Estado, monitorando as temperaturas médias e a distribuição das precipitações, durante o período de um ano. Concluíram que, de maneira geral, não ocorrem situações de deficiência hídrica no Estado. Porém variabilidades climáticas, principalmente modificações na temperatura e precipitação, podem mudar este cenário atual de excesso hídrico para déficit hídrico.

Diante da importância para a agricultura e para a sociedade em geral a respeito do conhecimento da futura disponibilidade hídrica frente às mudanças climáticas, várias pesquisas foram conduzidas com o objetivo de quantificar os parâmetros envolvidos na estimativa da quantidade de água, as quais colaboram com políticas ambientais de uso e gerenciamento dos recursos hídricos.

Um estudo realizado por Liberato e Brito (2010) teve como objetivo investigar os possíveis impactos de cenários futuros das mudanças climáticas nos componentes do balanço hídrico da Amazônia Ocidental. Os resultados mostraram que o aumento de temperatura previsto nos cenários do IPCC é capaz de aumentar a evapotranspiração real, produzindo uma redução da umidade do solo.

Coutinho e Morais (2012), com o objetivo de investigar as possíveis alterações nas condições hídricas no município de São José de Mipibu – RN em decorrência do aquecimento global observaram que o balanço hídrico sofrerá impacto, visto que a elevação da temperatura provocará aumento na evaporação.

Resultados obtidos por Santos e Sentelhas (2012) demonstraram que nos cenários avaliados, independentemente do aumento ou redução da precipitação, houve um aumento na ETP, ETR e déficit de água em todas as regiões analisadas no Estado de São Paulo.

Horikoshi e Fisch (2007) realizaram um estudo do balanço hídrico atual e disponibilidade hídrica futura no município de Taubaté, Estado de São Paulo. Ao analisarem cenários futuros climáticos, os pesquisadores concluíram que o aumento na temperatura, associado ao aumento da precipitação, será responsável pelo aumento do déficit de água e redução do excedente hídrico.

Em pesquisas de impacto de mudanças climáticas sobre agroecossistemas, um aspecto importante é quantificar o efeito do aquecimento global sobre a disponibilidade hídrica do solo da qual, por exemplo, depende o desenvolvimento vegetal de uma cultura (STRECK E ALBERTO, 2006). Neste contexto, modelos de simulação de dados climáticos, baseados em séries históricas são aplicados em estudos agronômicos e hidrológicos, afim de avaliar as produções agrícolas e a utilização dos recursos hídricos, principalmente no que se refere ao uso destinado à irrigação (RICKLI et al., 2008).

Os modelos utilizados em estudos agronômicos e hidrológicos geram séries de dados diários com padrões estatisticamente semelhantes aos padrões dos dados históricos. Esses modelos são denominados geradores estocásticos e são utilizados como uma ferramenta computacional capaz de gerar informações mudando os cenários com base na saída de modelos climáticos globais (SEMENOV, 2008).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Geradores estocásticos de séries climáticas têm sido propostos por diferentes pesquisadores como, o CLIGEN (NICKS e HARP,1980), o WGEN (RICHARDSON e WRIGHT, 1984), o LARS-WG (SEMENOV e BARROW, 1997), sendo que no Brasil destaca-se o PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013).

Assim, pesquisas interdisciplinares usando os geradores de dados climáticos têm sido conduzidas (BAE et al., 2011; CHEN et al., 2011; FATICHI el al., 2011; ZHANG et al., 2011), objetivando avaliar os efeitos das alterações climáticas em escala espacial local, supondo que as principais fontes de incertezas climáticas estão ligadas aos modelos de circulação global da atmosfera (GCM's) e cenários de emissões de gases de efeito estufa.

O município de Ponta Grossa, assim como o Estado do Paraná, tem a agricultura como um dos pilares da sua economia. Diante do fato que as alterações do clima influenciam diretamente o regime hídrico dos agroecossistemas, esse trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de simulação computacional utilizando o gerador climático PGECLIMA_R, os possíveis impactos das mudanças climáticas globais na disponibilidade hídrica do solo no município de Ponta Grossa, PR, até o final do século XXI.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi conduzida no Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada - LECA, da Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG no Estado do Paraná, Brasil, onde se procedeu a organização dos dados meteorológicos, cedidos pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Os dados diários foram coletados de uma estação meteorológica (altitude de 850 m, latitude 25°5'37S e longitude 50°03'35W), no município de Ponta Grossa, Paraná. Este município está localizado na Região Centro-Leste do Estado do Paraná, Brasil (Figura 01) e apresenta clima subtropical, úmido, classificado segundo Köppen como Cfb (MAACK, 2012).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

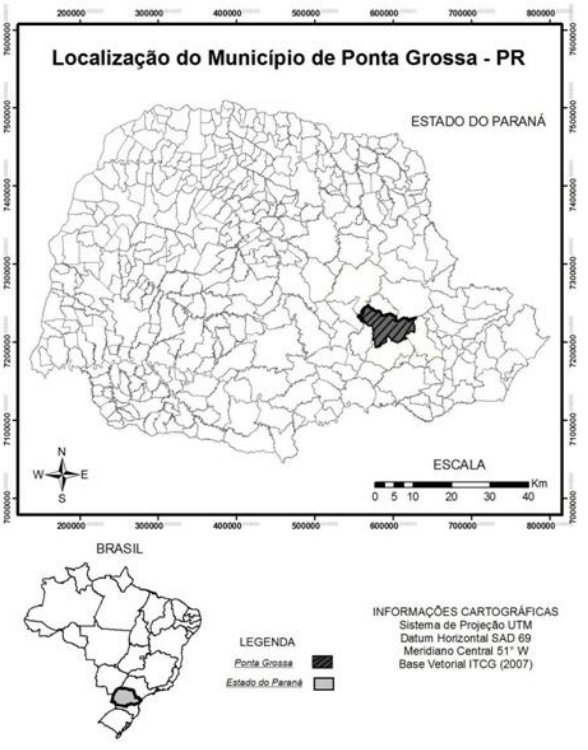


Figura 01- Cartograma de localização de Ponta Grossa-PR. Fonte: Elaborado por Elisana Milan e Gabriela Leite Neves.

A série de dados climáticos utilizados consistiu de registros diários de precipitação pluviométrica (PREC) em milímetros (mm), temperatura máxima (TMAX) e mínima (TMIN) do ar, em graus Celsius (°C), de um período de observação de 30 anos, 1980 até 2009. Para proceder às estimativas das médias anuais, os dados de PREC, TMAX e TMIN foram organizados em planilhas eletrônicas, e separados mensalmente. A partir dos dados de temperatura média do ar (TMED) estimou-se a evapotranspiração potencial (ETP) por meio do método de Thornthwaite (1948), que tem como variáveis de entrada apenas a (TMED), e as coordenadas geográficas do local, fato que justifica a escolha dessa metodologia.

Considerando a ETP estimada e os dados de PREC e com o intuito de determinar a disponibilidade hídrica, empregou-se o método de Thornthwaite e Mather (1955) para a elaboração do balanço hídrico climatológico (BHC). A escolha deste método de estimativa de BHC deve-se a disponibilidade dos dados climáticos e por ter sido desenvolvido para regiões de clima úmido (PEREIRA et al., 2007).

Seguindo as etapas e as considerações da metodologia, calculou-se o armazenamento de água no solo (ARM), o negativo acumulado (NAc), a alteração de água no solo (ALT), a evapotranspiração real (ETR), a deficiência hídrica (DEF) e o e excedente hídrico (EXC). O nível da capacidade de água disponível (CAD) utilizado foi de 100mm.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Para caracterização do regime hídrico do estado do Paraná, também foram calculados os índices climáticos de aridez (I_a), de umidade (I_u) e hídrico (I_h).

O I_a caracteriza-se por indicar a escassez hídrica expressa em percentagem em função da DEF e da ETP, ambas anuais, estimado por meio de:

$$Ia = 100 * (DEF / ETP) \quad (1)$$

O I_u representa o excedente hídrico expresso em percentagem em função do EXC e da ETP, ambos anuais, e estimado segundo a expressão:

$$Iu = 100 * (EXC / ETP) \quad (2)$$

Tendo em vista que ocorrem períodos de excesso e falta de água em épocas diferentes ao longo do ano, os índices I_a e I_u são relacionados em um único índice, o I_h que é calculado da seguinte forma:

$$Ih = Iu - 0.6 * Ia \quad (3)$$

Para a simulação das séries de dados climáticos diários no período de 2010 a 2099 foi utilizado o gerador de dados climáticos PGECLIMA_R, levando-se em consideração as alterações projetadas pelo quinto relatório do IPCC (IPCC, 2013). Projetou-se então um aumento de 1,7°C na temperatura média global no melhor cenário (C1) e um acréscimo de 4,8°C para o pior cenário (C2). As alterações na precipitação pluviométrica foram projetadas tendo em vista um aumento de 3% para cada variação de 1°C no primeiro cenário (C1) e um aumento de 5% para cada variação de 1°C no segundo cenário (C2). Após a geração da série simulada para cada cenário, os dados foram organizados com a finalidade de obter valores mensais de TMED e PREC em cada ano simulado, 2039, 2069 e 2099.

A partir dos valores mensais de PREC e TMED de cada ano, estimou-se a ETP e o BHC, conforme descrito anteriormente. Com os valores estimados de EXC, DEF e ETP calculou-se os valores dos índices climáticos para os cenários futuros, os quais foram comparados com os índices climáticos nas condições atuais de Ponta Grossa, objetivando verificar mudanças nos componentes do balanço hídrico climatológico, em função dos diferentes incrementos de temperatura média do ar decorrentes das possíveis mudanças climáticas globais.

Foram elaborados gráficos que auxiliaram na análise dos impactos das mudanças climáticas no regime hídrico do solo, comparando o saldo hídrico mensal do período base (1980-2009) com os anos simulados de 2039, 2069 e 2099, nos diferentes cenários climáticos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PERÍODO DE 1980 A 2009

Os elementos meteorológicos temperatura máxima (TMAX) e mínima (TMIN) do ar, precipitação (PREC) e evapotranspiração potencial (ETP) encontram-se na tabela 01. Observa-se que durante o período de 1980 a 2009 os menores valores de TMAX foram registrados nos meses de maio, junho e julho e de TMIN em junho, julho e agosto. Os maiores valores tanto de TMAX quanto de TMIN, foram registrados nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. As temperaturas médias anuais foram de 23,9°C para TMAX e de 13,7 °C para TMIN, resultando em uma temperatura média anual de 18,8 °C. O mês mais frio (julho) apresentou temperatura média de 14,6ºC, e o mês mais quente (janeiro), apresentou temperatura média de 22,4ºC. Os valores encontrados concordam com a classificação segundo Köppen como Cfb, em que a temperatura média no mês mais frio encontra-se abaixo de 18°C (mesotérmico), a temperatura média no mês mais quente acima de 22°C e a temperatura média anual de aproximadamente 19°C.

Com relação à PREC, nota-se que este elemento climático variou de 74,4mm a 187,3mm para os meses de agosto e janeiro, respectivamente, e o total de precipitação média anual foi de 1636,1mm. O período mais seco correspondeu aos meses de abril, julho e agosto, com precipitação de 105,5mm, 106,0mm e 74,4mm, respectivamente. O período mais chuvoso ocorreu nos meses de janeiro, fevereiro e outubro e apresentou precipitação de 187,3mm, 162,8mm e 166,8mm, respectivamente.

Quanto a ETP, verificou-se que o maior valor ocorreu no mês de janeiro (113,3mm) e o menor valor no mês de junho (37,6mm).

Tabela 01 - Temperatura máxima (TMAX) e mínima (TMIN) do ar, precipitação pluviométrica (PREC) e evapotranspiração potencial (ETP) registrados no município de Ponta Grossa, PR, no período de 1980 a 2009.

MÊS	TMAX	TMIN	PREC	ETP
	°C	°C	mm	mm
Jan	27,4	17,4	187,3	113,3
Fev	27,1	17,6	162,8	98,8
Mar	26,4	16,6	137,1	96,6
Abr	24,4	14,4	105,5	71,8
Mai	21,1	11,3	144,4	48,6
Jun	19,8	9,8	126,9	37,6
Jul	19,9	9,4	106,0	37,7
Ago	21,6	10,4	74,4	46,5
Set	21,9	11,8	151,6	52,9
Out	24,1	13,7	166,8	73,4
Nov	26,2	15,2	120,1	90,1
Dez	26,8	16,6	153,1	106,3
TOTAL			1636,1	873,7

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

MÉDIA	23,9	13,7	72,8

O balanço hídrico anual do período de 1980 a 2009 é apresentado na tabela 02. Observa-se que não houve valores de negativo acumulado, visto que o volume de precipitação em todos os meses foi superior a ETP, e a diferença (PREC-ETP) foi maior que zero, sendo a diferença total de 762,3mm, valor que representa o excedente hídrico total. O EXC variou de 27,9mm para o mês de agosto a 98,7mm, para o mês de setembro.

Assim, no período analisado e nas condições climáticas atuais, o município de Ponta Grossa não apresentou deficiência hídrica, ao contrário, apresentou excedente total de 762,3mm. Isto concorda com os resultados obtidos por Carvalho e Stipp (2004), que usando o mesmo método de estimativa, observaram que, no geral, o Estado do Paraná não apresenta deficiência hídrica, e que o município de Ponta Grossa apresenta balanço hídrico sem déficit e com um excedente de até 798,26mm, para um CAD de 100mm.

Tabela 02 - Estimativa do balanço hídrico anual referente ao período de 1980 a 2009 para CAD= 100mm, no município de Ponta Grossa, PR.

MÊS	ETP	(PREC-ETP)	Nac	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
		mm		mm	mm	mm	mm	mm
Jan	113,3	74,0	0,0	100,0	0,0	113,3	0,0	74,0
Fev	98,8	64,0	0,0	100,0	0,0	98,8	0,0	64,0
Mar	96,6	40,5	0,0	100,0	0,0	96,6	0,0	40,5
Abr	71,8	33,7	0,0	100,0	0,0	71,8	0,0	33,7
Mai	48,6	95,8	0,0	100,0	0,0	48,6	0,0	95,8
Jun	37,6	89,3	0,0	100,0	0,0	37,6	0,0	89,3
Jul	37,7	68,3	0,0	100,0	0,0	37,7	0,0	68,3
Ago	46,5	27,9	0,0	100,0	0,0	46,5	0,0	27,9
Set	52,9	98,7	0,0	100,0	0,0	52,9	0,0	98,7
Out	73,4	93,3	0,0	100,0	0,0	73,4	0,0	93,3
Nov	90,1	30,0	0,0	100,0	0,0	90,1	0,0	30,0
Dez	106,3	46,8	0,0	100,0	0,0	106,3	0,0	46,8
TOTAIS	873,7	762,3			0,0	873,7	0,0	762,3
MÉDIAS	73,0				0,0	73,0	0	63,5

3.2 CENÁRIOS FUTUROS

A tabela 03 apresenta os valores médios anuais da TMED para o período histórico (HIST) e para os cenários e períodos simulados. Observa-se que a alteração na temperatura do ar ocorre de forma gradual ao longo dos anos, sendo que os aumentos projetados de 1,7°C e 4,8°C ocorrem de forma total apenas no ano de 2099.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 03 - Valores anuais de TMED para o período histórico (HIST) e para os cenários simulados (aumentos de 1,7°C e 4,8°C), no município de Ponta Grossa, PR.

	Temperatura média (TMED) °C			
	1980-2009	**2039**	**2069**	**2099**
HIST	18,8			
1,7	--	19,1	19,9	20,3
4,8	--	20,3	21,9	23,4

As figuras 02 e 03 apresentam a distribuição anual da temperatura média para o período histórico e para os anos simulados conforme o cenário projetado. Para um aumento de 1,7°C, a temperatura média variou de 14,5°C a 22,9°C para o ano de 2039, de 15,7°C a 23,6°C para o ano de 2069 e de 16,2°C a 24,2°C para o ano de 2099. Para o aumento de 4,8°C, a temperatura média variou de 16,3°C a 23,9°C para o ano de 2039, de 17,6°C a 25,6°C para o ano de 2069 e de 19,1°C a 27,0°C para o ano de 2099. É importante destacar que o PGECLIMA_R gerou as simulações com base na distribuição dos dados históricos, mantendo assim os padrões e as características mensais climáticas do município de Ponta Grossa, fato que pode ser observado pela semelhança das tendências das curvas para o período histórico e para os simulados em cada cenário. Observa-se ainda o aumento gradativo da projeção na temperatura, onde no C1 e períodos 2039, 2069 e 2099, os aumentos foram de aproximadamente 2%, 5% e 7%, respectivamente, na temperatura média em relação à média histórica. Por sua vez, no C2, os aumentos em relação à média histórica foram de 8%, 14% e 20%, nos períodos de 2039, 2069 e 2099 respectivamente, que são compatíveis com os percentuais relativos às projeções do IPCC.

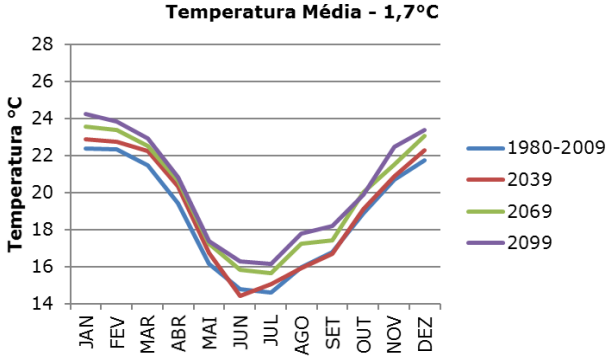


Figura 02 - Distribuição anual da Temperatura Média para o período histórico (1980-2009) e para os anos simulados (2039; 2069; 2099) considerando um aumento de 1,7°C, no município de Ponta Grossa, PR.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

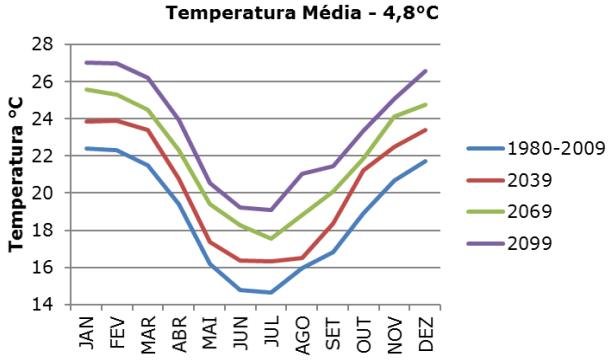


Figura 03 - Distribuição anual da Temperatura Média para o período histórico (1980-2009) e para os anos simulados (2039; 2069; 2099) considerando um aumento de 4,8°C, no município de Ponta Grossa, PR.

Considerando-se os cenários C1 e C2, ou seja, aumento de 1,7°C e aumento de 4,8ºC na temperatura do ar, obteve-se valores totais anuais (Tabela 04) e os extratos do balanço hídrico para os anos simulados de 2039, 2069 e 2099 (Figuras 04 a 09). Verifica-se que o aumento da temperatura do ar, tanto no C1 quanto no C2, foi responsável pelo aumento da ETP em termos de valores totais, em todos os cenários e períodos analisados. No entanto, a PREC e o EXC apresentaram aumento ou redução nos diferentes cenários e períodos.

Tabela 04 – Total anual de PREC, ETP e EXC para o período 1980-2009 (HIST) e para os cenários simulados C1 e C2, no município de Ponta Grossa, PR.

	1980-2009	2039	2069	2099
PREC (mm)				
HIST	1636,1			
C1	--	1824,7	1640,7	1607,2
C2	--	1673,7	2006,8	2064,1
ETP (mm)				
HIST	873,7			
C1	--	890,4	930,4	958,4
C2	--	963,6	1078,7	1232,3
EXC (mm)				
HIST	762,3			
C1	--	934,3	710,4	649,8
C2	--	715,6	928,0	850,3

3.3 PERÍODO DE 2039

Em relação ao período de base de 1980 a 2009, constata-se que a PREC total teve um acréscimo de 188,7mm, a ETP total um acréscimo de 16,7mm e o EXC total, um acréscimo de 172,0mm (Tabela 04).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Analisando mensalmente pode-se observar que para o período de 2039, no C1, o EXC variou de 6,6mm no mês de novembro, a 157,9mm no mês de setembro (Figura 04). Em relação ao balanço hídrico histórico, as reduções no EXC ocorreram em torno de 13 a 27% em 5 meses (janeiro, fevereiro, abril, novembro e dezembro).

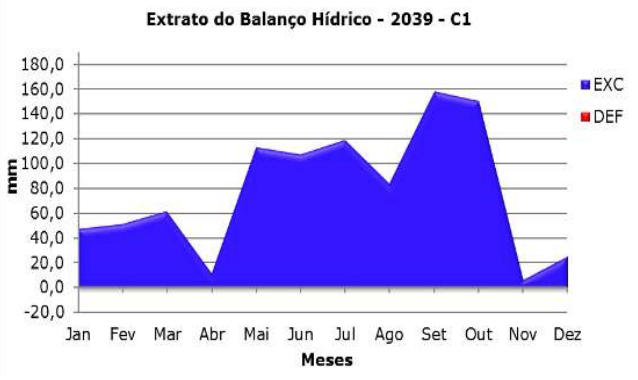


Figura 04 - Extrato do balanço hídrico para o período simulado de 2039 com aumento de 1,7ºC na temperatura (C1), para o município de Ponta Grossa, PR.

No período de 2039, C2, em comparação ao período histórico (1980-2009), pode-se observar que para os valores totais, houve um aumento de 37,7mm na PREC, um aumento de 89,9mm na ETP e uma redução de 46,8mm no EXC (Tabela 04).

O EXC variou de 0mm nos meses de março e abril, a 135,7mm no mês de setembro (Figura 05), sendo que ocorreram reduções, em relação ao período histórico, de 1 a 63% em 6 meses (fevereiro, março, abril, julho, outubro e dezembro) (Figura 05).

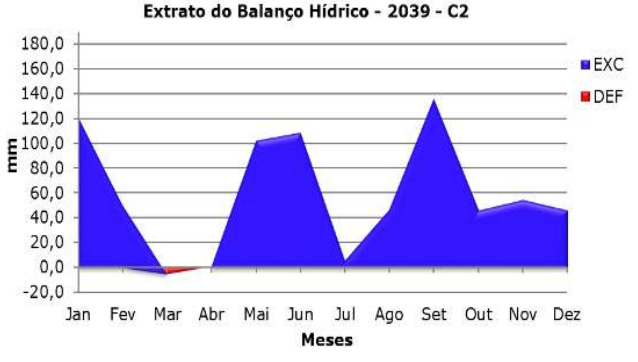


Figura 05 - Extrato do balanço hídrico para o período simulado de 2039 com aumento de 4,8ºC na temperatura (C2), para o município de Ponta Grossa, PR.

Resultados semelhantes foram encontrados por Horikoshi e Fisch (2007) para o ano de 2039, em que o acréscimo de 0,5°C na temperatura do ar provocou um aumento do EXC total, bem como o acréscimo de 0,8°C foi responsável pela redução do EXC total e aumento do DEF, em relação ao período histórico.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

No primeiro cenário analisado pelos autores, assim como no C1 simulado neste trabalho, houve aumento na demanda evapotranspirativa em função do aumento da temperatura, porém houve um maior aumento na PREC, assim a diferença (PREC – ETP) ficou maior, resultando no aumento do EXC.

No entanto, no C2, o aumento se deu em maior proporção na ETP, o que reduziu a diferença (PREC – ETP), reduzindo assim o EXC total. Adicionalmente observa-se que no mês de março a ETP apresentou valores maiores que a PREC, provocando um déficit de 5,4mm e um EXC de 0mm nos meses de março e abril.

3.4 PERÍODO DE 2069

No C1, o EXC variou de 0mm nos meses de março e abril, a 138,8mm no mês de setembro (Figura 06). A PREC total apresentou um acréscimo de 4,7mm, a ETP total um acréscimo de 56,7mm e o EXC total, uma redução 51,9mm, em relação ao período de 1980 a 2009 (Tabela 04).

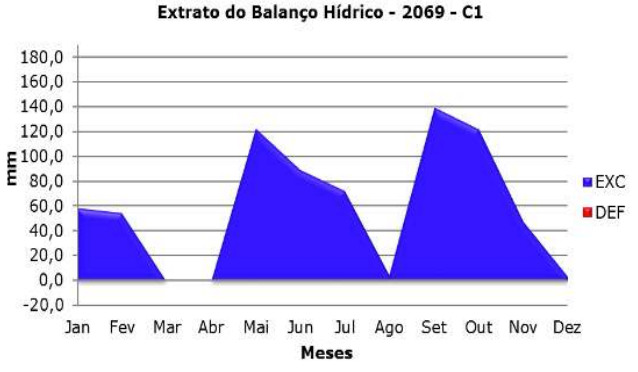


Figura 06 - Extrato do balanço hídrico para o período simulado 2069 com aumento de 1.7ºC na temperatura (C1), para o município de Ponta Grossa, PR

Para C2, o excedente hídrico variou de 0mm no mês de novembro, até 151,7mm no mês de maio (Figura 07).

Em comparação ao período histórico (1980-2009), observa-se um aumento de 370,7mm na PREC total, 205,0mm na ETP total e 165,8mm no EXC total (Tabela 04).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

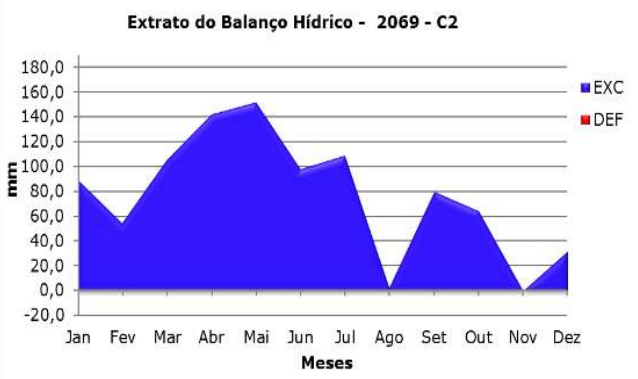


Figura 07 - Extrato do balanço hídrico para o período simulado 2069 com aumento de 4,8ºC na temperatura (C2), para o município de Ponta Grossa, PR.

Verifica-se que para esse período, em relação ao período histórico, houve redução do EXC total no primeiro cenário e aumento no segundo. No C1, a redução do EXC ocorreu em sete meses (janeiro, fevereiro, março, abril, junho, agosto e dezembro), sendo que as reduções variaram de 10 a 40%. Para o mês de março, a PREC não foi suficiente para atender a demanda evaporativa, ocasionando um DEF de 0,10mm.

No entanto, é importante ressaltar que no C2, mesmo com o aumento do EXC total em relação ao período histórico, houve redução de 10 a 30% em seis meses (fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro).

Observa-se que reduções no EXC e na PREC foram simultâneas, e em conjunto com o aumento da temperatura, resultaram em maiores valores de ETP, reduzindo assim a diferença (PREC – ETP). As reduções mensais na PREC ocorreram devido a variabilidade mensal no município de Ponta Grossa, PR, assim, mesmo com projeção de aumento na média da PREC, ocorreram reduções mensais.

Santos e Sentelhas (2012) demonstraram que no ano de 2060, o incremento de 4°C, independentemente do aumento ou redução na PREC, poderá ser responsável pela redução EXC total e pelo aumento do DEF total, em diferentes regiões do Estado de São Paulo. Os autores justificam a redução no saldo hídrico nos locais analisados (Araçatuba, Assis, Jaboticabal, Piracicaba) pela climatologia regional, caracterizada pela redução de eventos de chuva durante os meses de inverno.

3.5 PERÍODO DE 2099

Para o período de 2099, no C1, o excedente hídrico variou de 0mm nos meses de abril e novembro, a 148,4mm no mês de outubro (Figura 08). A PREC total teve uma redução de 28,9mm, a ETP um acréscimo de 84,7mm, e o EXC uma redução de 112,6mm, em relação ao período de 1980 a 2009 (Tabela 04).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)



Figura 08 - Extrato do balanço hídrico para o período simulado de 2099 com aumento de 1,7ºC na temperatura (C1), para o município de Ponta Grossa, PR

No C2, o excedente hídrico variou de 0mm, nos meses de novembro e dezembro, a 180,4mm no mês de setembro (Figura 09). Houve um aumento de 428,0mm na PREC total, 358,6mm na ETP total e 88,0mm no EXC total, em comparação ao período histórico (1980-2009).

Nota-se que, em relação ao período histórico, o EXC total apresentou redução para C1 e aumento para C2. No C1 o EXC reduziu 3 a 61% em 9 meses (exceto julho, outubro e dezembro). No C2 houve redução de 2 a 47% em sete meses (janeiro, fevereiro, março abril, agosto, novembro e dezembro).

Ressalta-se que a PREC, devido sua variabilidade, apresentou reduções mais evidentes nos meses de abril e novembro, não suprindo a demanda evaporativa, resultando em déficits de 0,2 e 0,8mm nesses meses, o que não ocorreu no período histórico analisado.

Por outro lado, no C2, o EXC total aumentou, em relação ao período histórico, devido ao aumento total da PREC, no entanto, houve reduções nos meses de novembro e dezembro. Assim nestes meses, a ETP ficou maior que a PREC, resultando em déficits de 0,7 e 0,9mm, totalizando um DEF de 1,6mm (Figura 10).

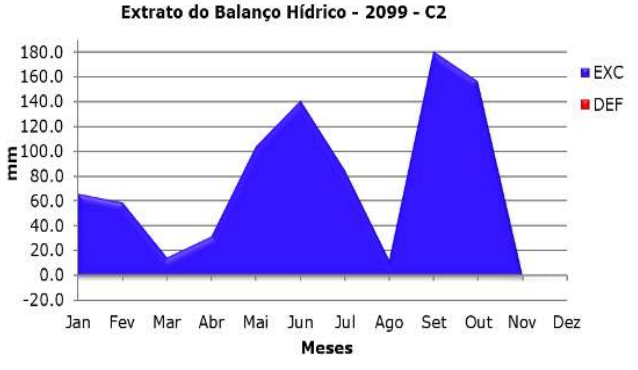


Figura 09 - Extrato do balanço hídrico para o período simulado 2099 com aumento de 4,8ºC na temperatura (C2), para o município de Ponta Grossa, PR.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Coutinho e Morais (2012) observaram que com aumento de 1,5°C e 3,0°C na temperatura e 20% na PREC, houve redução do EXC em dois meses, enquanto que o déficit hídrico aumentou consideravelmente em sete meses. Os autores concluíram que com o aumento da temperatura do ar, mesmo aumentando PREC, houve um impacto de déficit hídrico no BHC no município de São José de Mipibu–RN.

É importante ressaltar que o município de Ponta Grossa, PR, para o período histórico, não apresentou déficits de água. Por sua vez, para o período de 2099, nos dois cenários simulados (C1 e C2), observa-se que a PREC, em alguns meses não fui suficiente para suprir a demanda hídrica, apontando assim uma deficiência hídrica. Em outros casos, o EXC também sofreu reduções em alguns meses em relação ao período histórico, indicando diminuição da disponibilidade hídrica para o município de Ponta Grossa, PR.

3.6 ÍNDICES CLIMÁTICOS

A tabela 05 apresenta os valores dos índices climáticos calculados para o período histórico e para os anos simulados frente aos cenários.

Para o período histórico (1990–2009), o Ia foi nulo, os Iu e Ih foram de 87,5. Seguindo a classificação climática de Thornthwaite, o município de Ponta Grossa, para o período histórico, é classificado como B4, ou seja, tipo de clima úmido, pois o Ih está no intervalo entre 80 e 100, e subtipo r (pouco ou nenhuma deficiência hídrica).

Para os cenários simulados, observa-se que, de maneira geral, em relação ao período histórico, houve aumento do Ia para todos os cenários e períodos analisados, exceto para 2039 no C1, em que a projeção de aumento da temperatura não foi suficiente para aumentar o DEF e consequentemente a escassez hídrica.

Os Iu e Ih também apresentaram reduções em relação ao período histórico em todos os cenários e períodos analisados, exceto para 2039 no C1, sendo que as maiores reduções do Ih ocorreram em 2099.

Resultados semelhantes foram observados por Liberato e Brito (2010) que, ao analisarem o impacto do aumento de 3,0ºC e 1,8ºC na temperatura média do ar apontaram uma redução no índice hídrico na Amazônia Ocidental até 2100.

Observa-se que, para o período de 2099, o aumento da temperatura e consequentemente na ETP, independentemente das alterações mensais que ocorreram na PREC, foi responsável por reduções nos índices hídricos de aproximadamente 30% em relação ao período histórico. Dessa forma, esse índice mostrou que apesar de ocorrer variabilidade na PREC e no EXC em diferentes períodos ao longo do ano, o comportamento hídrico do município de Ponta Grossa, PR poderá apresentar no futuro uma possível redução da disponibilidade hídrica, considerando possíveis alterações do clima.

No entanto, caso ocorra a mudança climática até o final do século XXI o município de Ponta Grossa será classificado como B3, tipo de clima úmido, mas ainda subtipo r (pouco ou nenhuma deficiência hídrica).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 05 - Índices climáticos para o período histórico (1980-2009) e para os anos simulados de 2039, 2069, 2099, para o município de Ponta Grossa, PR.

I_a	1980-2009	2039	2069	2099
HIST	0,00			
C1	--	0,00	0,01	0,10
C2	--	0,56	0,00	0,13
I_u				
HIST	87,25			
C1	--	104,93	76,35	67,80
C2	--	74,26	86,03	69,00
I_h				
HIST	87,25			
C1	--	104,93	76,35	67,74
C2	--	73,93	86,03	68,93

4. CONCLUSÕES

De modo geral, o município de Ponta Grossa, no Estado do Paraná, apresenta pouco ou nenhuma deficiência hídrica. Nos cenários futuros, observa-se que um aumento da temperatura do ar, será responsável pelo aumento da evapotranspiração potencial e, mesmo com aumento da precipitação pluvial, o índice hídrico sofrerá uma redução até 2099. A simulação de alteração climática para o município de Ponta Grossa demonstra que mesmo com os futuros cenários de aquecimento global, é provável que não haverá um déficit hídrico pronunciado, pois o município está em uma região com alto regime pluviométrico. Neste contexto, é importante que o estudo do impacto das mudanças climáticas no balanço hídrico do solo seja aplicado para outras localidades do Estado do Paraná, o qual apresenta variabilidade na precipitação pluviométrica, que pode acarretar possíveis impactos negativos na quantidade de água do solo.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Araucária de apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico do Paraná pelo auxílio financeiro ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) pela cessão dos dados meteorológicos históricos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional das Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012. 215 p.

BAE, D.; JUNG, I.; LETTENMAIER, D. P. Hydrologic uncertainties in climate change from IPCCAR4 GCM simulations of the Chungju Basin, Korea. Journal of Hydrology, v.401, p.90–105, 2011.

CARVALHO, S. M.; STIPP, N. A. F. Contribuição ao estudo do balanço hídrico no Estado do Paraná: Uma proposta de classificação qualitativa. Geografia, Londrina, v.13, n.1, p.57-71, 2004.

CHEN, J.; BRISSETTE, F. P.; LECONTE, R. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. Journal of Hydrology, v.401, n.3-4, p.190–202, 2011.

COUTINHO, M. D. L; MORAIS, M. D. C. Balanço Hídrico da Climatologia Média e de Cenários Climáticos em São José de Mipibu – RN. Revista Brasileira de Geografia Física, n. 3, p. 694-707, 2012.

FATICHI, S.; IVANOV, V. Y.; CAPORALI, E. Simulation of future climate scenarios with a weather generator. Advances in water resources, n. 34, p. 448–467, 2011.

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP,Brasil. Revista Ambiente e Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Taubaté, v.2,n.2, p.33-46. 2007.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535 pp.

LIBERATO, A. M.; BRITO, J. I. B. Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia Ocidental. Revista Brasileira de Geografia Física, v.3, n.3, p.170-180, 2010.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. 4.ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. 526p.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. Estudos avançados, v. 22, n.63, p.83-96, 2008.

NICKS, A. D.; HARP, J. F. Stochastic generation of temperature and solar radiation data. Journal of Hidrology, v.48, p. 1-17, 1980.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia Agrícola. Edição Revista e Ampliada. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – USP, Piracicaba, 2007. 125p.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI E.; CALHEIROS, R. O.; BRUNINI, O. Agricultura Irrigada. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, v.1, n.1, p.98-111, 2008.

RICHARDSON, C.W.; WRIGHT, D.A. W. A model for generating daily weather variables. USDA-ARS ARS-8, 1984. 80p.

RICKLI, L. I.; CATANEO, A.; VIRGENS FILHO, J. S. Comparação de três métodos para estimativa dos parâmetros da distribuição gama em dados diários de precipitação pluviométrica. Energia na Agricultura (UNESP. Botucatu. Impresso), v. 23, p. 53-61, 2008.

SANTOS, D. L.; SENTELHAS, P. C. Climate Change Scenarios and Their Impact on the Water Balance of Sugarcane Production Areas in the State of São Paulo, Brazil. Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 7-17, 2012.

SEMENOV, M.A.; BARROW, E.M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate changes scenarios. Climatic Changes, Amsterdam, v.35, p.397-414, 1997.

SEMENOV, M. A. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research, v. 35, p.203-212, 2008.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M. de; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.47, n.9, p.1218-1226, 2012.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. Ciência Rural, v.36, n.2, p.424-433, 2006.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical review, v.38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publications in climatology, New Jersey: Drexel Institute of technology. 104p. 1955.

VIRGENS FILHO, J. S.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, M. L.; TSUKAHARA, R.Y. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do Estado do Paraná. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.33, n.3, p.538-547, 2013.

ZHANG, H.; HUANG, G. H.; WANG, D.; ZHANG, X. Uncertainty assessment of climate change impacts on the hydrology of small prairie wetlands. Journal of Hydrology, v.396, p.94–103, 2011.