



## **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE UM MODELO CLIMÁTICO SIMPLIFICADO AO AUMENTO DAS CONCENTRAÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.**

Limara Katharina de Aguiar Silva<sup>1</sup>, Sandra Isay Saad<sup>2</sup>

### **RESUMO**

Uma forte evidência da importância do estudo climático é a existência do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas que no que lhe concerne se baseiam nos chamados Modelos de Circulação Geral, ferramentas importantes que vêm para realizar simulações do estado atual do clima e realizar projeções analisando possíveis climas futuros em diversos cenários plausíveis. Entretanto, os Modelos de Circulação Geral demandam de vários processos, o que os torna bastante complexos e sua “saída” pode, em muitos estudos, serem interpretados erroneamente e sem o devido cuidado levando o autor a conclusões precipitadas, além de que por serem complexos exigem um desempenho computacional. Dessa forma, foram desenvolvidas outras abordagens de modelagem climática, modelos mais simples que reduzem essa complexidade, que se assemelham das simulações do MCGs, que são mais rápidos e fáceis de manipular e usar em estudos sobre a resposta do sistema climático em relação às forçantes externas e que ainda é possível compreender melhor a relação entre os fenômenos ou controles no clima e mudança climática. Um exemplo desses modelos simplificados capazes de simular as principais características da mudança climática é o GREB, desenvolvido por Dommenget e Flöter, com o intuito de justamente aumentar o conhecimento das relações de causa e efeito da mudança climática. Assim, este trabalho se propôs a realizar testes e avaliar a sensibilidade desse variando a concentração dos gases de efeito estufa e a representação de certos fenômenos ou controles climáticos no clima do Brasil, de Bacias do Nordeste e Sudeste e para um determinado ponto no Nordeste brasileiro. De maneira geral, observando os resultados obtidos com as análises das simulações geradas, viu-se que o modelo possui um bom desempenho computacional e se comporta de forma semelhante a modelos mais complexos gerando resultados bem próximos do esperado para os locais de estudo.

**Palavras-chave:** Modelo de circulação geral, mudanças climáticas, duplicação de CO<sub>2</sub>, GREB.

---

<sup>1</sup>Aluna de graduação do curso de Meteorologia, Departamento de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), UFPG, Campina Grande, PB, e-mail: limarakath@gmail.com

<sup>2</sup>Profa. Adjunta, Mestra em Meteorologia, Departamento de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), UFPG, Campina Grande, PB, e-mail: sandraisaad@gmail.com

# ***SENSITIVITY ANALYSIS OF A SIMPLIFIED CLIMATE MODEL TO INCREASE IN GREENHOUSE GAS CONCENTRATIONS.***

## **ABSTRACT**

Strong evidence of the importance of the climate study is the existence of the Intergovernmental Panel on Climate Change, which, as far as it is concerned, is based on the so-called General Circulation Models, important tools that come to carry out simulations of the current state of the climate and carry out projections analyzing possible future climates in several plausible scenarios. However, the General Circulation Models demand several processes, which makes them quite complex and their “output” can, in many studies, be misinterpreted and without due care, leading the author to hasty conclusions, in addition to being complex require computational performance. That way, other climate modeling approaches were developed, simpler models that reduce this complexity, which is similar to GCM simulations, which are faster and easier to manipulate and use in studies on the response of the climate system to external forcings and that it is still possible to better understand the relationship between phenomena or controls in climate and climate change. An example of these simplified models capable of simulating the main characteristics of climate change is the GREB, developed by Dommenges and Flöter, to precisely increase knowledge of the cause and effect relationships of climate change. Thus, this project proposed to carry out tests and evaluate the sensitivity of this by varying the concentration of greenhouse gases and the representation of certain phenomena or climate controls in the climate of Brazil, in the Northeast and Southeast Basins, and for a certain point in the Brazilian Northeast. In general, observing the results obtained with the analysis of the generated simulations, it was seen that the model has a good computational performance and behaves similarly to more complex models, generating results very close to what was expected for the study place.

**Keywords:** General circulation model, climate change, CO<sub>2</sub> doubling, GREB.

## INTRODUÇÃO

O clima é um fator importante para o desenvolvimento de uma sociedade e vem sofrendo alterações ao passar do tempo. A intensificação da atividade humana ao longo dos anos vem contribuindo drasticamente para as perturbações do sistema climático. O lançamento frequente de gases de efeito estufa (GEE) vem acelerando o processo de aquecimento do planeta e essas mudanças climáticas em função do aumento das concentrações desses gases na atmosfera afetam o globo com um todo, mas com diferentes consequências regionais (KRAEMER et al, 2002). Uma forte evidência da importância do estudo climático é a existência do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) que no que lhe concerne se baseiam nos chamados Modelos de Circulação Geral (MCG) (OLIVEIRA, EMERSON, 2019), ferramentas importantes que vêm para realizar simulações do estado atual do clima e realizar projeções analisando possíveis climas futuros em diversos cenários plausíveis (ex. aumento do CO<sub>2</sub>) (BARRY, R; CHORLEY, R; 2012).

Entretanto, os Modelos de Circulação Geral demandam de vários processos, o que os torna bastante complexos e sua “saída” pode, em muitos estudos, serem interpretados erroneamente e sem o devido cuidado levando o autor a conclusões precipitadas, além de que por serem complexos exigem um desempenho computacional (BARRY, R; CHORLEY, R; 2012). Dessa forma, foram desenvolvidas outras abordagens de modelagem climática, modelos mais simples que reduzem essa complexidade, que se assemelham das simulações do MCGs, que são mais rápidos e fáceis de manipular e usar em estudos sobre a resposta do sistema climático em relação às forçantes externas e que ainda é possível compreender melhor a relação entre os fenômenos ou controles no clima e mudança climática. Um exemplo desses modelos simplificados capazes de simular as principais características da mudança climática é o GREB (*Global Resolved Energy Balance*), desenvolvido por Dommenges e Flöter (2011), com o intuito de justamente aumentar o conhecimento das relações de causa e efeito da mudança climática.

O GREB baseia-se no balanço de energia superficial por representações muito simples da radiação solar e térmica, do ciclo hidrológico, o fluxo de calor sensível, o transporte pela circulação atmosférica média e as trocas de calor com o

oceano mais profundo, tendo como principal variável: Temperatura do Ar na Superfície (Tsurf) (DOMMENGET; FLÖTER, 2011). Assim, este trabalho se propôs a realizar testes e avaliar a sensibilidade do modelo climático simplificado GREB variando a concentração dos gases de efeito estufa e a representação de certos fenômenos ou controles climáticos como a topografia e presença de nuvens e de gelo no clima do Brasil, de Bacias do Nordeste e Sudeste e para um determinado ponto no Nordeste brasileiro (Latitude: -7.23072, Longitude: -35.8817; Campina Grande – PB).

## **MATERIAIS E MÉTODOS (OU METODOLOGIA)**

Como mencionado, o projeto foi desenvolvido utilizando o modelo climático simplificado GREB desenvolvido por Dommenget e Flöter (2011), que foi previamente baixado e instalado em um dos servidores com acesso remoto do laboratório. Na primeira parte do projeto foram realizadas simulações climáticas para cenários de: 2xCO<sub>2</sub>, 4xCO<sub>2</sub>, 0.5xCO<sub>2</sub>, 0xCO<sub>2</sub> das concentrações do CO<sub>2</sub> (gás de efeito estufa). Para isso, abriu-se um dos scripts “run” responsáveis por iniciar todas as simulações presente no programa, denominado “run.greb.scenarios.csh”, script responsável por executar todos os experimentos da seção “Cenários de Mudança Climática”.

Como *default* o primeiro cenário é a duplicação de CO<sub>2</sub> denominado “EXP=20” para um período de 50 anos (YEARS=50), após execução, a saída desta simulação gerou dois arquivos, um arquivo de dados no formato binário (.bin) e um arquivo descritor ou *ctl* (arquivo no formato ASCII que descreve as características do arquivo de dados) armazenados estes no que lhe concerne, na pasta denominada “output”. Em seguida, foi criado um novo script (.gs) editável para manipular as saídas dessa simulação e facilitar a utilização do modelo. Para a visualização e análise dos dados foi utilizado o GrADS (*Grid Analysis and Display System*) um *software* que trabalha com diversos formatos de dados e hoje é considerado um dos mais utilizado na área de pesquisa em meteorologia (CHAVEZ, ROSANE; RODRIGUEZ, DANIEL; 2001). No GrADS, toda manipulação do conjunto de dados é feita através do arquivo descritor ou *ctl*. No script (.gs) criado para manipular as saídas da simulação foi especificado inicialmente o caminho até o arquivo em que a

saída seria manipulada, neste caso, o arquivo *ctl* gerado na compilação da simulação com o comando para abrir o arquivo “*open GREB/mscm-web-code/output/scenario.exp-20.2xCO2.ctl*”. Após finalizado o script, foi inicializado o GrADS em uma janela de comandos, através do comando “*grads -lc*”. Logo após, o *software* abriu uma janela de visualização que por *default* é no formato *landscape* com os resultados obtidos. O mesmo processo foi realizado para os outros cenários, cujos parâmetros são apresentados na “Tabela I”.

A segunda parte do projeto teve como foco a climatologia e temperatura absoluta de Campina Grande – PB (Latitude: -7.23072; Longitude: -35.8817), da Bacia do Piancó-Piranhas-Açu (Latitude: -6.5; Longitude: -37.5) e Bacia do Piracicaba (Latitude: -22.5; Longitude: -47.5) utilizando os dados do GREB e a base de dados climatológica de XAVIER et. al (2016) para efeitos de comparação e foram realizadas simulações climáticas utilizando os cenários de concentração de gases de efeito estufa do IPCC (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5) para se obter a temperatura absoluta (Climatologia + Desvio de Temperatura). O processo para se obter os dados do Xavier foi semelhante ao realizado anteriormente a diferença está no caminho para abertura do arquivo “*sdfopen /storage/dados/dados\_xavier/transform [...]*” e na extensão do arquivo (.nc). Os parâmetros foram apresentados na “Tabela II”.

Os dados extraídos da compilação das simulações da segunda parte do projeto foram colocados em uma planilha Excel para melhor processar os dados e criar várias análises possíveis.

Tabela 1: Lista de Cenários realizados com o modelo GREB.

<b>Descrição Do Experimento</b>	<b>Nome Do Arquivo <i>ctl</i></b>	<b>Duração Do Exp. (anos)</b>
2 x CO2	<i>scenario.exp-20.2xCO2.ctl</i>	50
4 x CO2	<i>scenario.exp-21.4xCO2.ctl</i>	50
0.5 x CO2	<i>scenario.exp-23.0.5xCO2.ctl</i>	50
0 x CO2	<i>scenario.exp-24.0xCO2.ctl</i>	50
IPCC RCP 2.6	<i>scenario.exp-96.IPCC.RCP26.ctl</i>	550

IPCC RCP 4.5	<i>scenario.exp-97.IPCC.RCP45.ctl</i>	550
IPCC RCP 6.0	<i>scenario.exp-98.IPCC.RCP60.ctl</i>	550
IPCC RCP 8.5	<i>scenario.exp-99.IPCC.RCP85.ctl</i>	550
Clima médio - GREB	<i>greb.mean.decon.exp-11111111111.ctl</i>	25

Tabela II: Dados climatológicos de Xavier

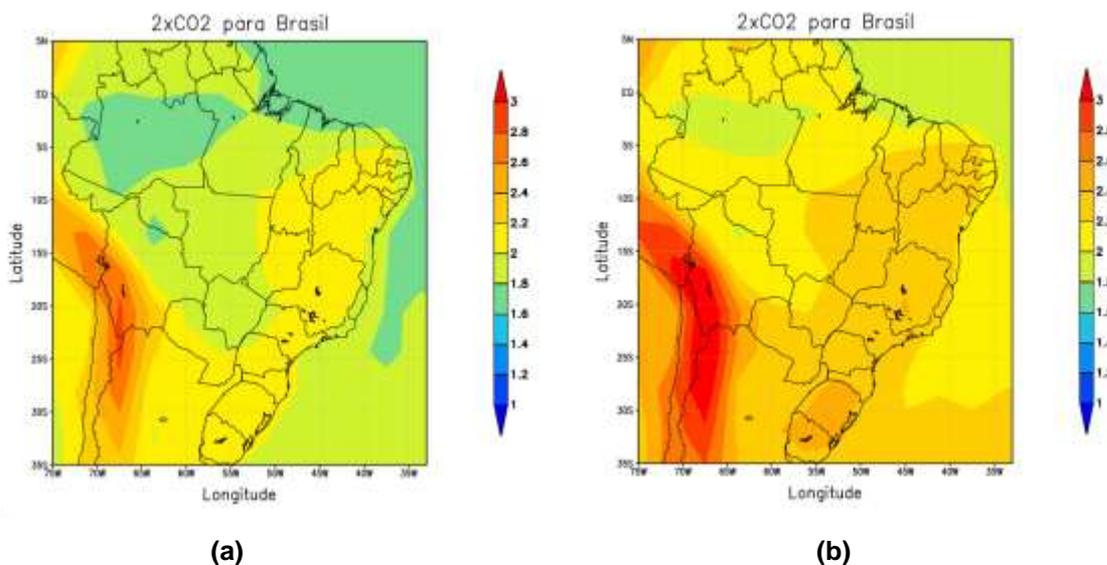
<b>Descrição Do Experimento</b>	<b>Nome Do Arquivo <i>nc</i></b>
Temp. Mínima	<i>xavier1980-2005_Tmin_climatologica.nc</i>
Temp. Máxima	<i>xavier1980-2005_Tmax_climatologica.nc</i>

As variáveis de prognóstico trabalhadas no arquivo de saída do projeto foram: Temperatura do Ar na Superfície (Tsurf) e Temperatura do Ar na Atmosfera (Tatmos). Para executar os experimentos da secção de “Desconstrução do Clima Médio” e “ligar” e “desligar” elementos ou processos climáticos (ex. presença de nuvens, gelo) foi modificado o seguinte script *run*: “*run.greb.decon\_mean\_climate.csh*”.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 1. Variação na Concentração do CO<sub>2</sub>

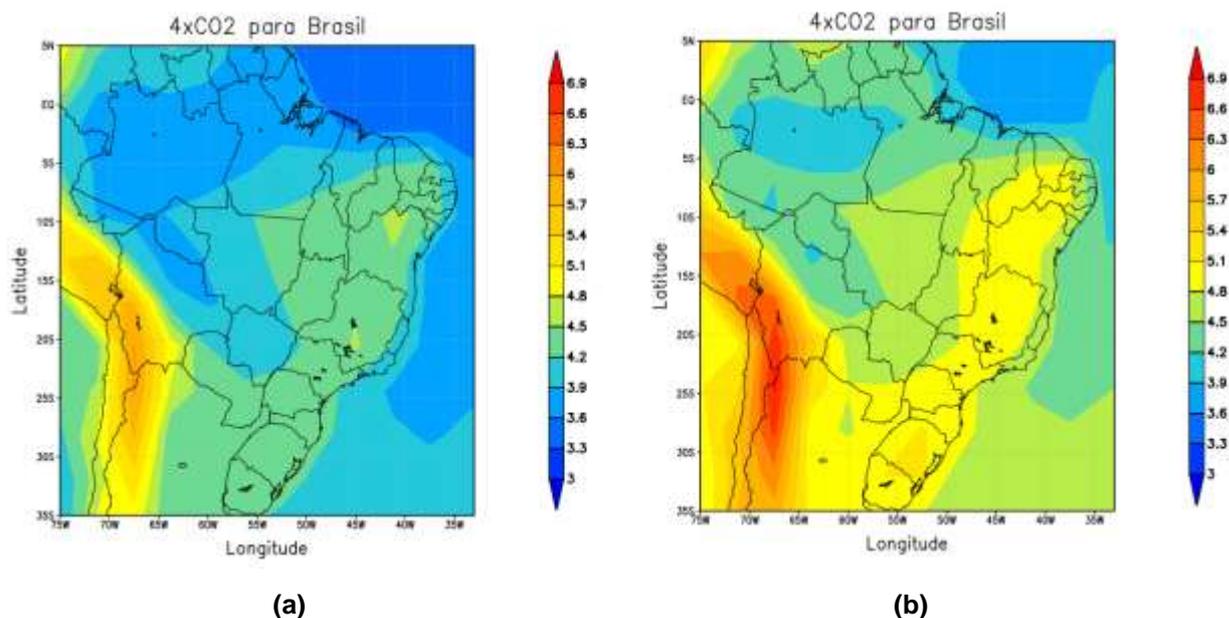
Para esse experimento foram realizadas quatro simulações: as duas primeiras referentes ao aumento na variação de CO<sub>2</sub> e as duas últimas a diminuição dessa variação. A Figura 1 mostra a variação da temperatura do ar para um cenário de duplicação de CO<sub>2</sub> para o Brasil, para os anos de 2020 e 2049 (intervalo de 29 anos) com todos os elementos e processos climáticos “ligados”.



**Figura 1:** Variação da temperatura do ar para um cenário de duplicação das concentrações de CO<sub>2</sub> para (a) o ano de 2020 e (b) 2049. Fonte: Compilação da autora

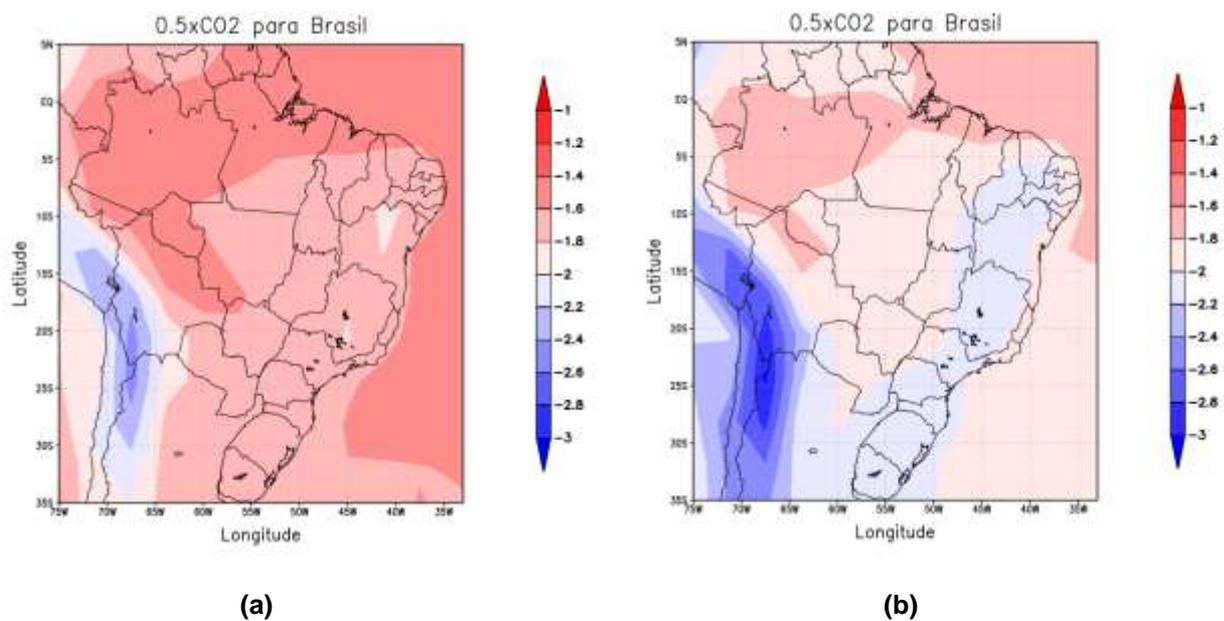
Estudos e simulações feitas com Modelos de Circulação Geral sugerem que a variação da concentração de CO<sub>2</sub> resultam num aquecimento global médio na superfície da terra (Levis et al., 2000 e Kattenberg et al., 1996) o que incita haver uma relação direta entre a variação da concentração de CO<sub>2</sub> e a temperatura. Logo, a variável de prognóstico trabalhada nesse cenário foi a Temperatura do Ar na Superfície (T<sub>surf</sub>). Segundo o IPCC, desde do início do século XX vem se notando um aumento na temperatura média global do planeta, o que consequentemente resulta em uma redução da cobertura de neve e aumento no nível médio dos oceanos.

De acordo com essas informações e observando as saídas obtidas com um MCG simplificado verifica-se que os resultados batem com as projeções, analisando a temperatura do ar na superfície para o ano de 2020 e para o ano de 2049, olhando as áreas mais “frias” do mapa – em tons de verde – percebe-se que ao longo dos anos essas áreas vêm tomando colorações mais quentes – tons de amarelo, laranja e vermelho – indicando um aumento na temperatura média. Regiões mais frias se tornam mais quentes e regiões que já eram quentes se tornaram ainda mais quentes. Uma análise semelhante é feita para um cenário de quadruplicação da concentração do CO<sub>2</sub> (Figura 2) a diferença está na faixa de temperatura que se percebe começar de um valor mais elevado, o que reforça mais uma vez a relação direta entre a variação da concentração de CO<sub>2</sub> e a temperatura.

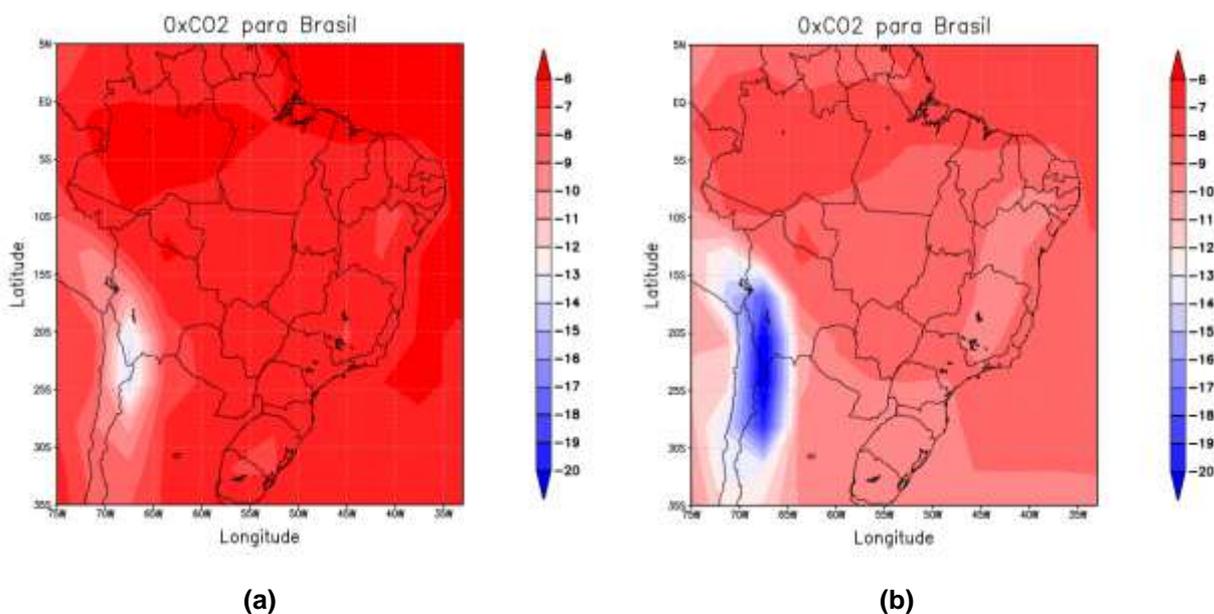


**Figura 2:** Variação da temperatura do ar para um cenário de quadruplicação das concentrações de CO<sub>2</sub> para (a) o ano de 2020 e (b) 2049. Fonte: Compilação da autora.

As figuras a seguir mostram uma projeção do que aconteceria com a temperatura média caso houvesse uma redução no lançamento de dióxido de carbono atual para 0.5 ppm e para um cenário sem nenhum lançamento (Figuras 3 e 4).



**Figura 3:** Variação da temperatura do ar para um cenário de redução das concentrações de CO<sub>2</sub> atuais para 0,5 ppm, para (a) o ano de 2020 e (b) 2049. Fonte: Compilação da autora.



**Figura 4:** Variação da temperatura do ar para um cenário sem lançamento de CO<sub>2</sub> para (a) o ano de 2020 e (b) 2049. Fonte: Compilação da autora.

## 2. Desconstrução do Clima Médio

Nesta parte foram executados os experimentos da secção de “Desconstrução do Clima Médio” com primeiramente, todos elementos e processos climáticos “ligados” e logo após para um cenário onde a emissão de CO<sub>2</sub> está “desligado”. As variáveis de prognóstico trabalhadas no arquivo de saída foram: Temperatura do Ar na Superfície (Tsurf) e Temperatura do Ar na Atmosfera (Tatmos) para um determinado ponto no Nordeste brasileiro (Latitude: -7.23072, Longitude: -35.8817; Campina Grande – PB), para Bacia do Piancó-Piranhas-Açu (Latitude: -6.5; Longitude: -37.5) e Bacia do Piracicaba (Latitude: -22.5; Longitude: -47.5) para o ano de 2000.

Analisando as séries temporais a seguir observou-se uma certa semelhança entre os gráficos de Tsurf e Tatmos. Para Campina Grande – PB (Figura 5 e 6) os maiores valores de temperatura vão de outubro a abril, onde se encontra a estação quente de Campina Grande. Com todos os elementos e processos “ligados” percebeu-se que a temperatura máxima média chega a cerca de 26,6°C em novembro e 30,3°C em abril para Tsurf e Tatmos respectivamente, com a emissão de dióxido de carbono “desligada”, a temperatura máxima média que pode alcançar é de aproximadamente 17,7°C em novembro para a temperatura de superfície (uma

redução de 8,9°C) e de 20,9°C em abril para a temperatura do ar na atmosfera (redução de 9,4°C).

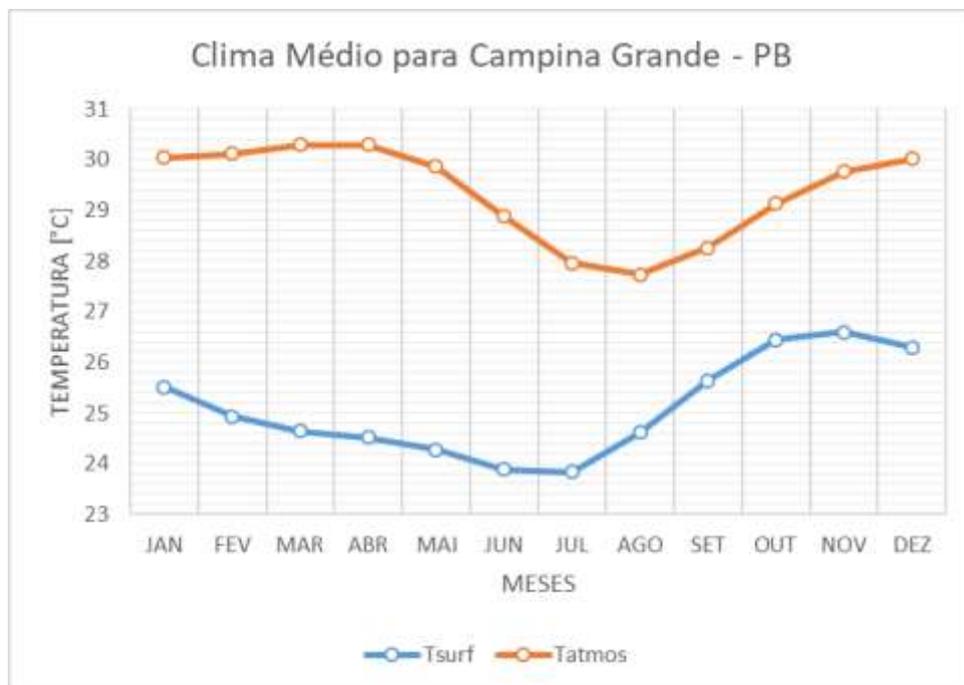
Os menores valores, foram de junho a agosto onde se encontra a estação fria de Campina Grande, com uma temperatura máxima média abaixo de 24,6°C em agosto e 28,9°C em junho para Tsurf e Tatmos respectivamente com todos os elementos e processos climáticos “ligados” e temperatura máxima média abaixo 16,1°C em agosto e 19,4°C em junho para Tsurf e Tatmos com emissão de CO<sub>2</sub> “desligado”, uma redução de 8,5 °C e 9,5°C respectivamente.

Na série temporal da Bacia do Piancó-Piranhas-Açu observou-se que os maiores valores de temperatura, com todos os elementos e processos climáticos “ligados” (Figura 7), se encontraram entre agosto e outubro, período esse marcado pela estação quente do local, com temperaturas máximas médias chegando a 26,45°C (Tsurf) e 29,13°C (Tatmos) em outubro. Com a emissão de dióxido de carbono “desligada” (Figura 8), a temperatura máxima média caiu para 17,7°C para a Tsurf (redução de 8,75°C) e 19,47°C para Tatmos (redução de 9,66°C) aproximadamente. Já os menores valores de temperatura registrados para a Bacia do Piancó-Piranhas-Açu foi visto entre os meses de junho e julho, que são os meses mais frios do ano nesse local, com uma temperatura máxima média abaixo de 23,88°C (Tsurf) e 28,88°C (Tatmos) para o mês de junho com todos os elementos e processos climáticos “ligados” (Figura 7).

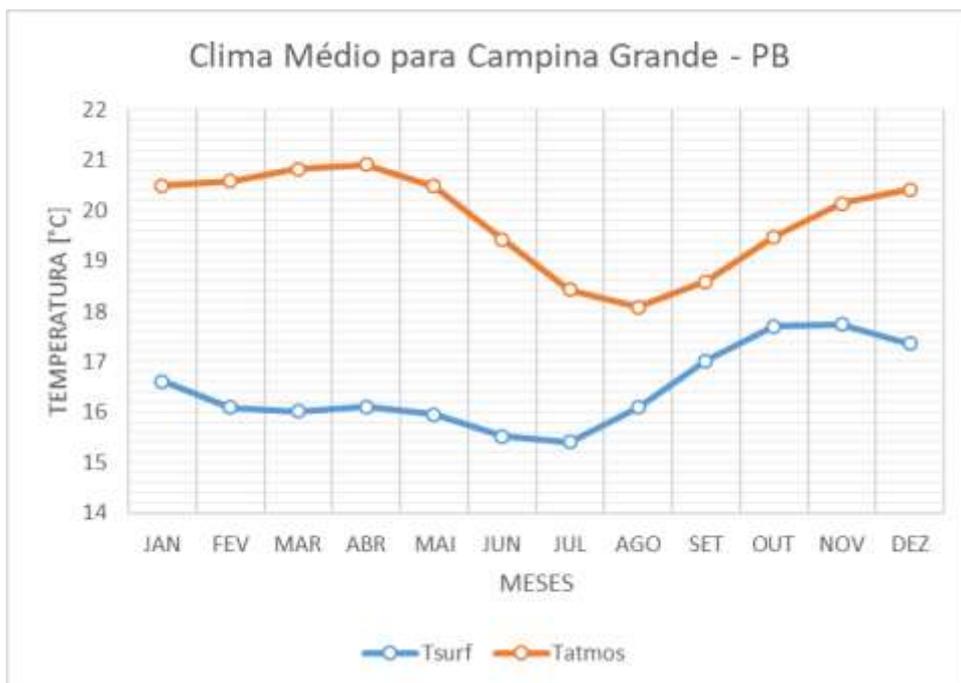
Com a emissão de dióxido de carbono “desligada” (Figura 8) a temperatura máxima média para esse local ficou abaixo de 15,51°C para a Tsurf (redução de 8,37°C) e 19,43°C para a Tatmos (redução de 9,45°C) aproximadamente.

Na série temporal da Bacia de Piracicaba identificou-se que as curvas de temperatura da superfície e atmosférica são relativamente mais próximas que das outras séries temporais. Constatou-se ainda que, os valores mais elevados de temperatura se encontraram entre os meses de setembro e abril (estação quente do local), com todos os elementos e processos climáticos “ligados” (Figura 9), a temperatura máxima média alcançada é de 23,29°C (Tsurf) no mês de setembro e 27,26°C (Tatmos) no mês de fevereiro. Já com a emissão de dióxido de carbono “desligada” (Figura 10) a temperatura máxima média para esse local reduziu para 12,98°C com relação a Tsurf (redução de 10,31°C para o mês de setembro) e 13,64°C para Tatmos (redução de 9,74°C para o mês de fevereiro).

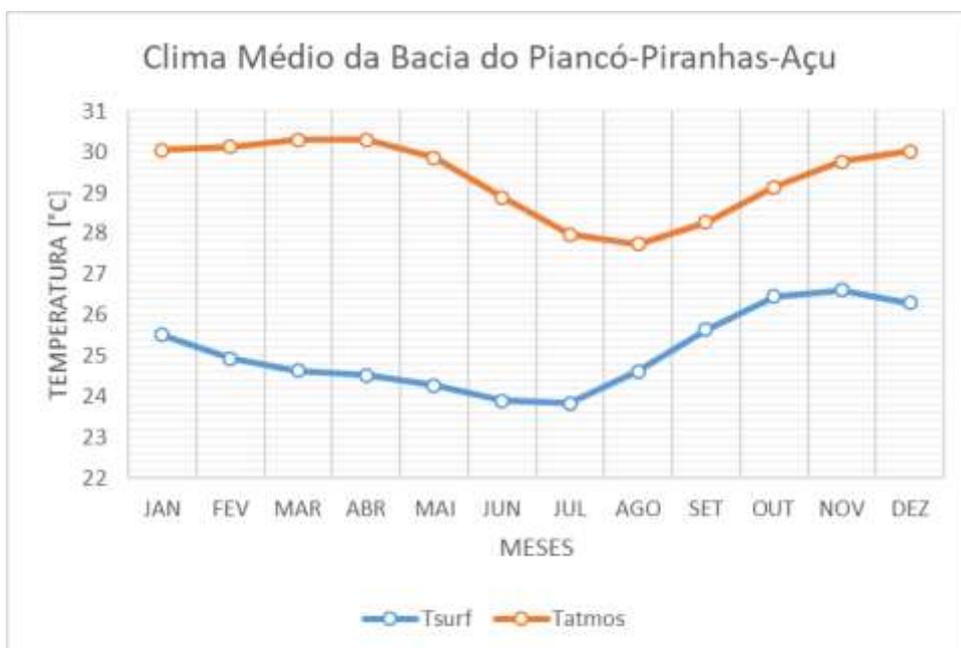
Os menores valores de temperatura foram localizados entre os meses de maio e julho (estação fria do local), com valores de temperatura média abaixo de 19,37°C (Tsurf) e 24,05°C (Tatmos) para o mês de maio, com todos os elementos e processos climáticos “ligados” (Figura 9). Com a emissão de dióxido de carbono “desligada” (Figura 10) a temperatura máxima média para esse local ficou abaixo de 9,61°C com relação a Tsurf (redução de 9,77°C) e 13,61°C para Tatmos (redução de 10,44°C) para o mês de maio.



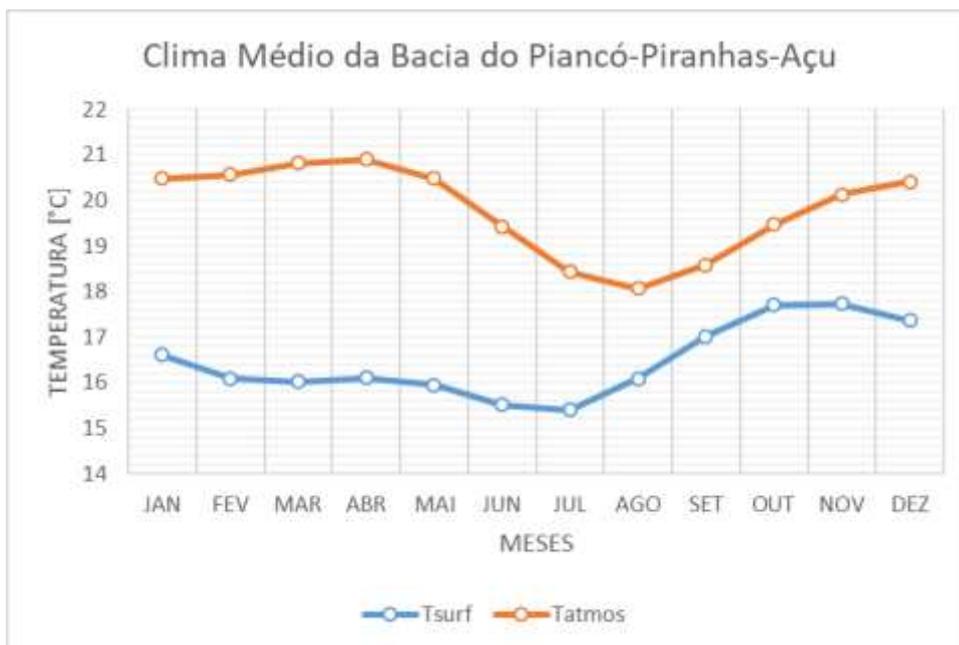
**Figura 5:** Série temporal da variação da temperatura do ar na superfície e temperatura do ar na atmosfera para um cenário de “Todos os processos ligados” para Campina Grande – PB. Fonte: Compilação da autora.



**Figura 6:** Série temporal da variação da temperatura do ar na superfície e temperatura do ar na atmosfera para um cenário de “Emissão de CO2 desligado” para Campina Grande – PB. Fonte: Compilação da autora.

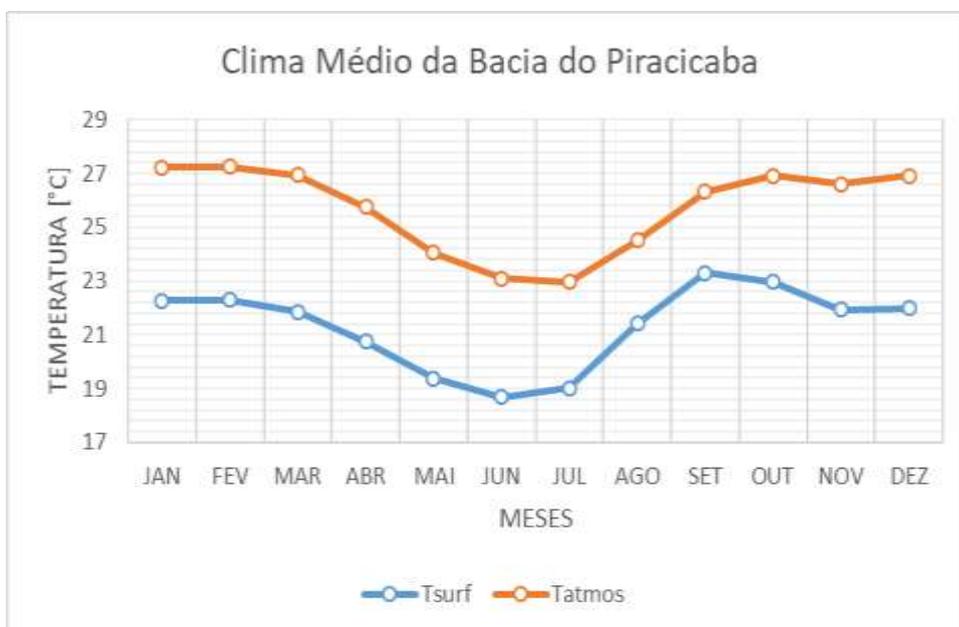


**Figura 7:** Série temporal da variação da temperatura do ar na superfície e temperatura do ar na atmosfera para um cenário de “Todos os processos ligados” para a Bacia do Piancó-Piranhas-Açu. Fonte: Compilação da autora.



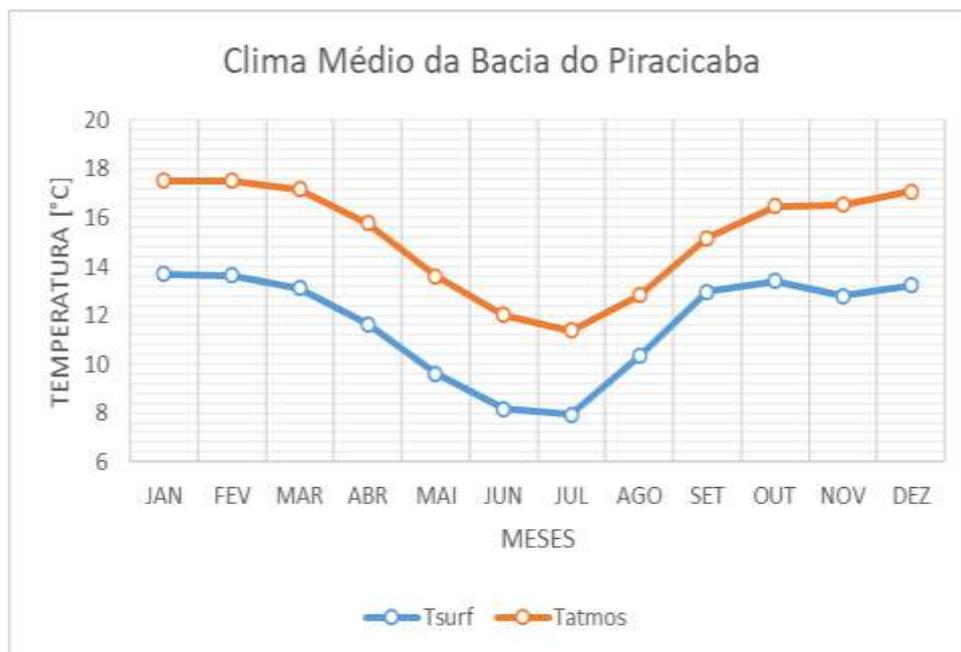
**Figura 8:** Série temporal da variação da temperatura do ar na superfície e temperatura do ar na atmosfera para um cenário de “Emissão de CO2 desligado” para a Bacia do Piancó-Piranhas-Açu.

Fonte: Compilação da autora.



**Figura 9:** Série temporal da variação da temperatura do ar na superfície e temperatura do ar na atmosfera para um cenário de “Todos os processos ligados” para a Bacia do Piracicaba. Fonte:

Compilação da autora.

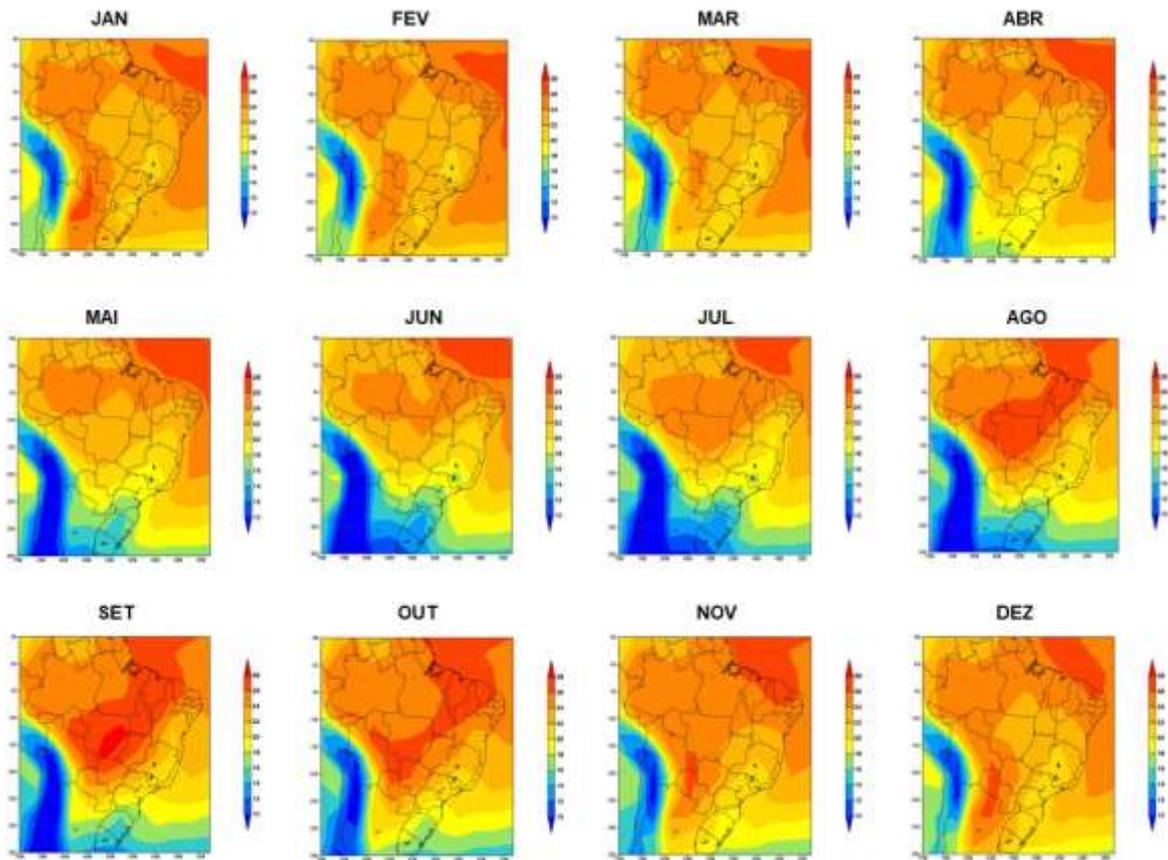


**Figura 10:** Série temporal da variação da temperatura do ar na superfície e temperatura do ar na atmosfera para um cenário de “Emissão de CO2 desligado” para a Bacia do Piracicaba. Fonte: Compilação da autora.

### 3. Clima Médio: Xavier e GREB

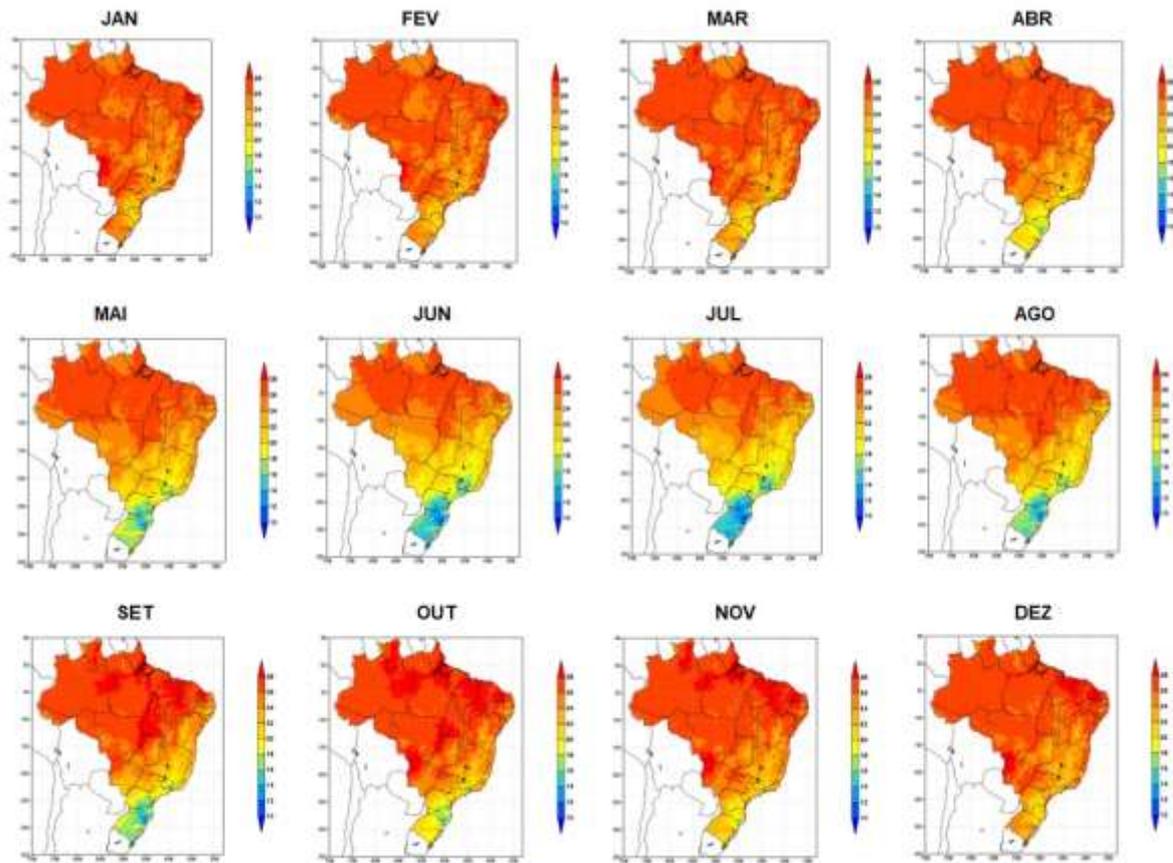
Nessa parte do projeto foram realizadas simulações para se obter a climatologia do Brasil, de Campina Grande – PB e das Bacias do Piancó-Piranhas-Açu e Piracicaba, utilizando os dados do GREB e do Xavier para efeito de comparações. As figuras a seguir (figura 7 e 8) expõem o clima médio sazonal do Brasil referente aos dados do GREB e do Xavier, respectivamente.

### Clima médio sazonal para o Brasil (GREB)



**Figura 11:** Variação do clima médio sazonal para o Brasil segundo o modelo de circulação geral GREB. Fonte: Compilação da autora.

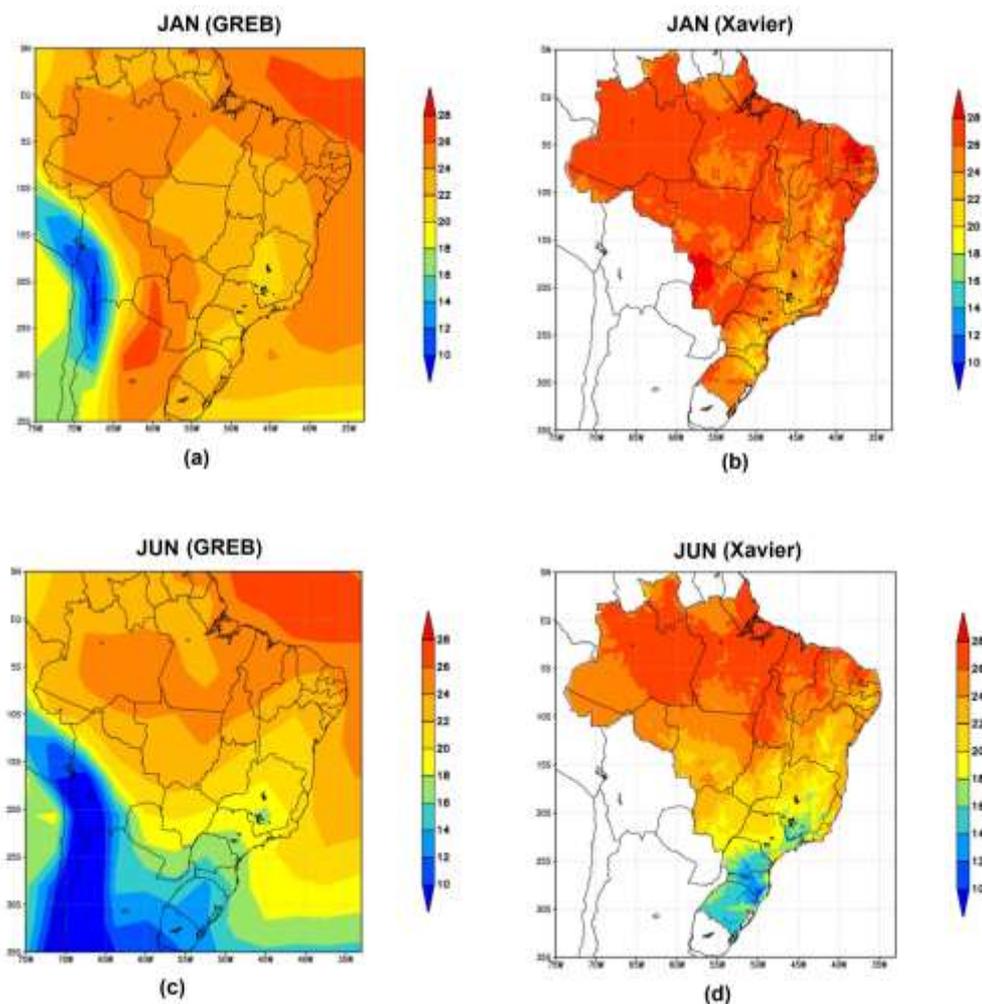
### Clima médio sazonal para o Brasil (Xavier)



**Figura 12:** Variação do clima médio sazonal para o Brasil segundo Xavier. Fonte: Compilação da autora.

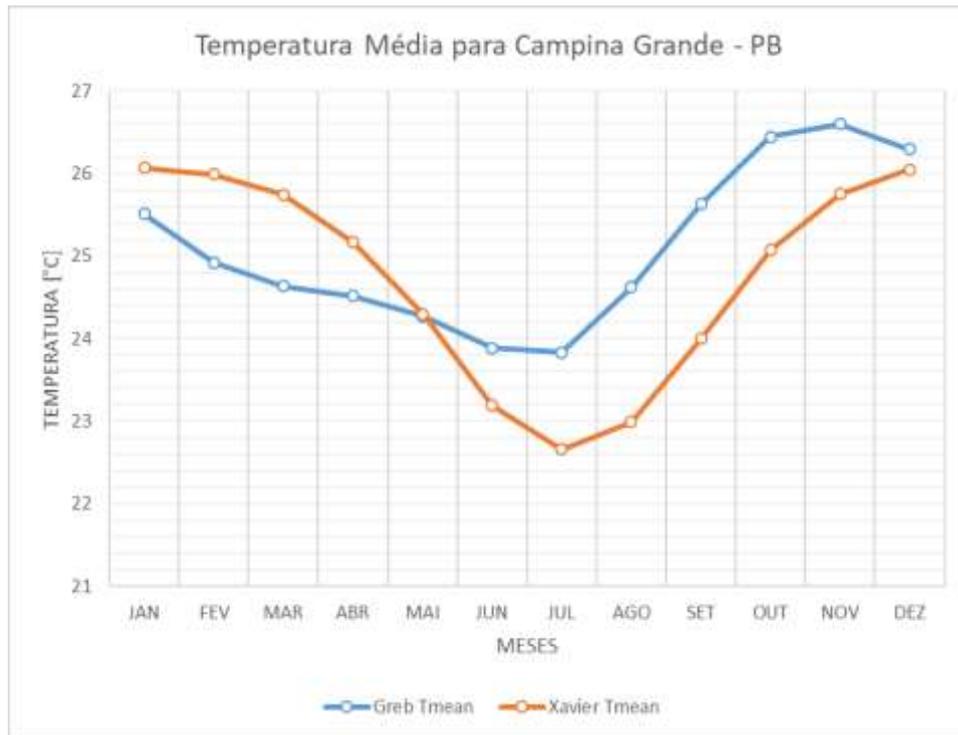
Fazendo um recorte com os meses de Janeiro e Julho que marcam as estações de verão e inverno respectivamente nos mapas da variação do clima médio sazonal para o Brasil segundo os dois modelos, para efeitos de comparação dos dados (figura 9), foi possível melhor analisar a semelhança no clima médio sazonal entre os dois modelos sendo possível concluir que os dados do modelo de circulação geral GREB se comporta de forma semelhante aos dados do Xavier, ressaltando que o modelo GREB, devido a sua grade, é menos preciso que o Xavier. Tomando um ponto para análise, a Paraíba por exemplo, no mês de Janeiro a temperatura média varia numa faixa de 24-26°C de acordo com o modelo GREB, já no Xavier a faixa de variação da temperatura está entre 26-28°C. No mês de Junho ambas variam na mesma faixa: 24-28°C.

### Clima médio sazonal para o Brasil (GREB e Xavier)

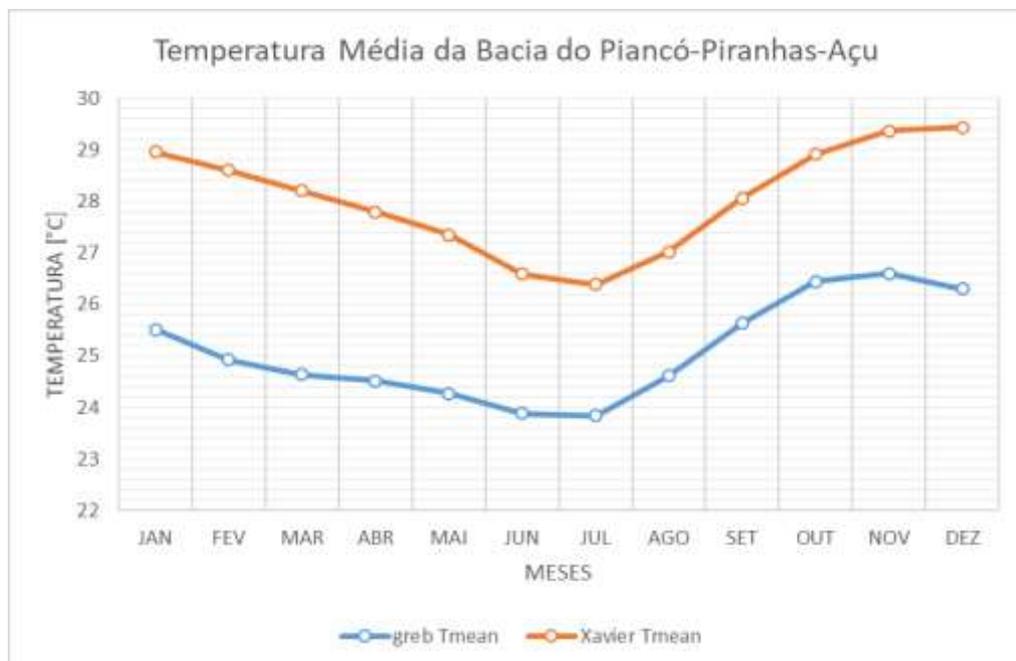


**Figura 13:** Climatologia para o Brasil para os meses de: (a) Janeiro segundo GREB e (b) segundo Xavier e (c) Junho segundo GREB e (d) segundo Xavier. Fonte: Compilação da autora.

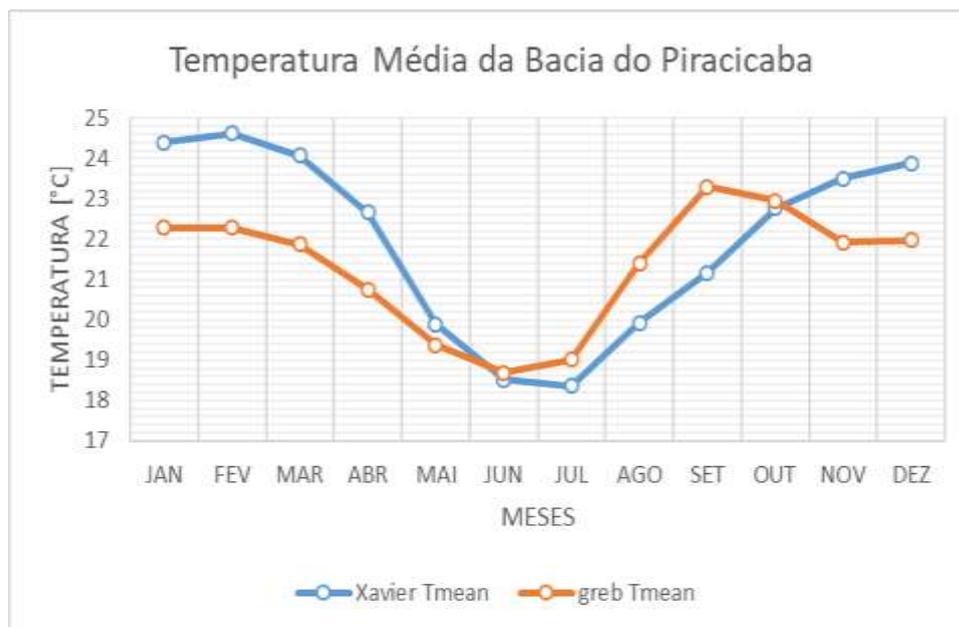
Já as séries temporais a seguir (figuras 10, 11, 12) são referentes ao clima médio sazonal de Campina Grande – PB e das Bacias do Piancó-Piranhas-Açu e Piracicaba aplicado no modelo de circulação geral GREB e Xavier. Examinou-se visualmente que na figura 10 (série temporal do clima médio sazonal de Campina Grande) a curva de temperatura média dos dois modelos, entre Janeiro e Junho, se comportam de forma diversa e que de Junho a Dezembro de forma mais semelhante, essa discrepância pode se dar ao fato da grade do GREB ser diferente da grade trabalhada no Xavier. Já na série temporal das bacias, ambas as curvas se comportam de maneira semelhante, porém se observando uma diferença significativa na temperatura média da Bacia do Piancó-Piranhas-Açu.



**Figura 14:** Climatologia da temperatura média do ar para Campina Grande – PB através do modelo GREB e dados do Xavier. Fonte: Compilação da autora.



**Figura 15:** Variação do clima médio sazonal para Campina Grande – PB segundo GREB e Xavier. Fonte: Compilação da autora.

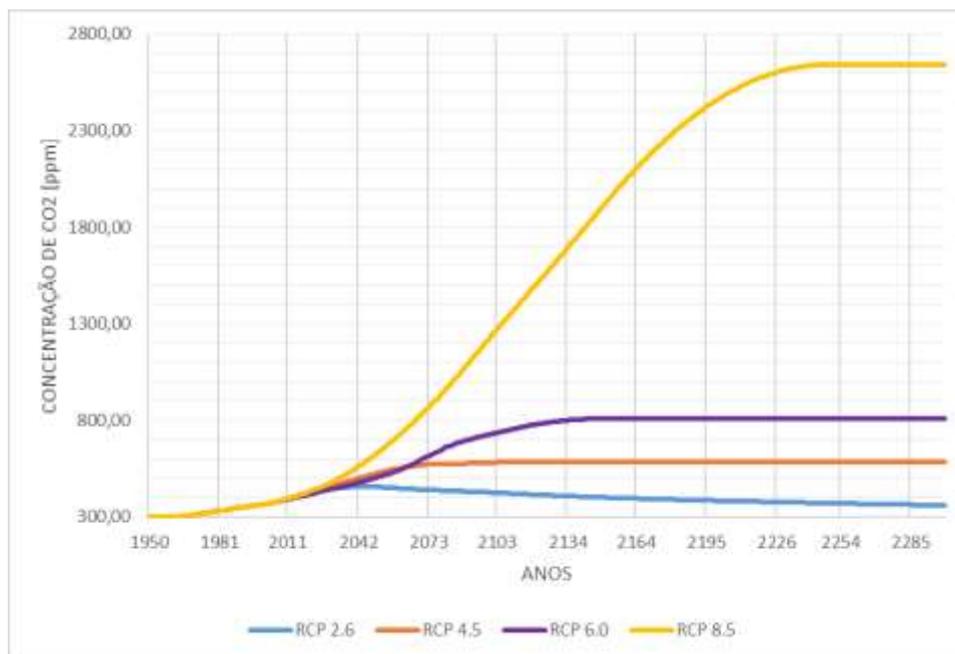


**Figura 16:** Variação do clima médio sazonal para a Bacia do Piracicaba segundo GREB e Xavier.  
 Fonte: Compilação da autora.

#### 4. Cenários de Mudança Climática

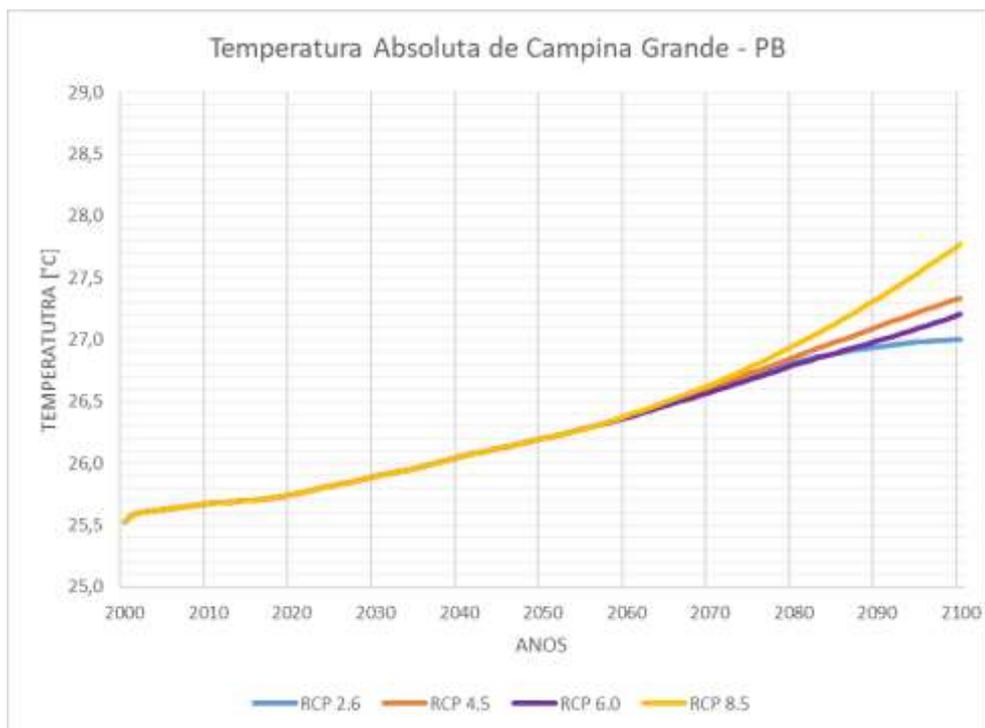
Para esta simulação foi modificado o seguinte script *run: run.greb.scenarios.csh* para executar todos os experimentos da secção “Cenários de Mudança Climática” e realizar análises com relação aos cenários dos RCPs segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014).

É importante ressaltar que durante as simulações foi verificado que a curva de concentração de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>), mesmo em cenários de mitigação, perpetuava a incrementar (Figura 17) e isso se dá ao fato de há uma diferença entre emissão e concentração. Emissão é o ato de emitir ou lançar de si; colocar em circulação (In: Oxford Languages), concentração é o ato, processo ou efeito de concentrar (In: Oxford Languages). Embora a emissão tenha diminuído, a concentração perpetua a incrementar porque não parou completamente o lançamento, já existiam gases na atmosfera.

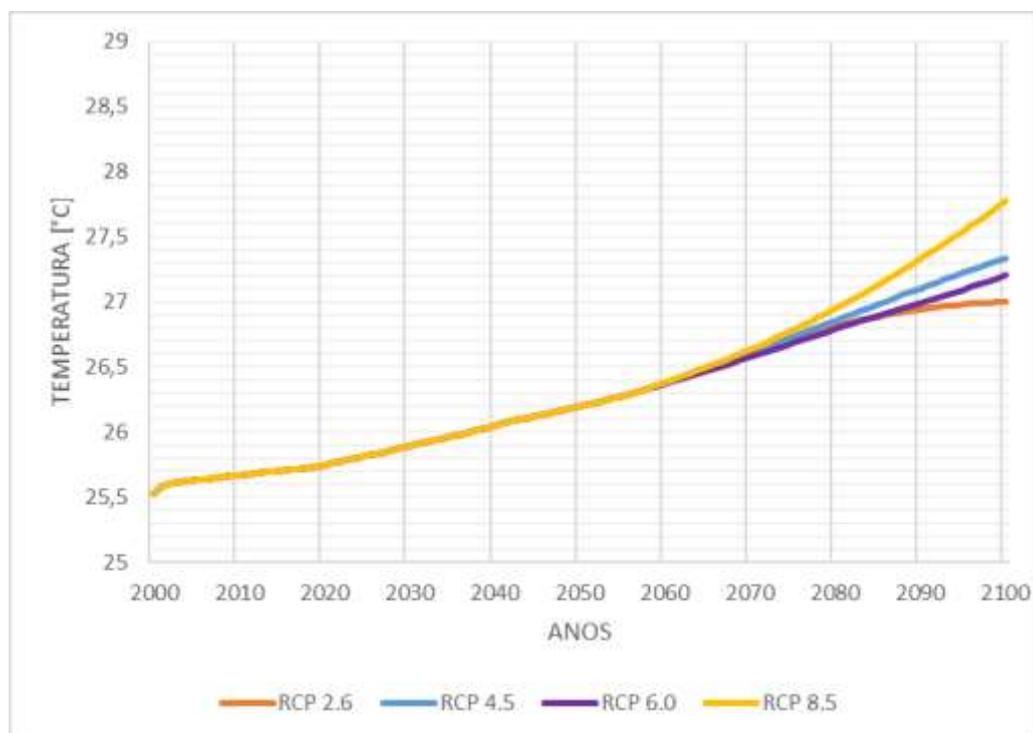


**Figura 17:** Variação da concentração de CO<sub>2</sub> [ppm] segundo modelo de circulação geral simplificado GREB (DOMMENGET; FLÖTER, 2011) relativo ao período de 1950-2300. Fonte: Compilação da autora.

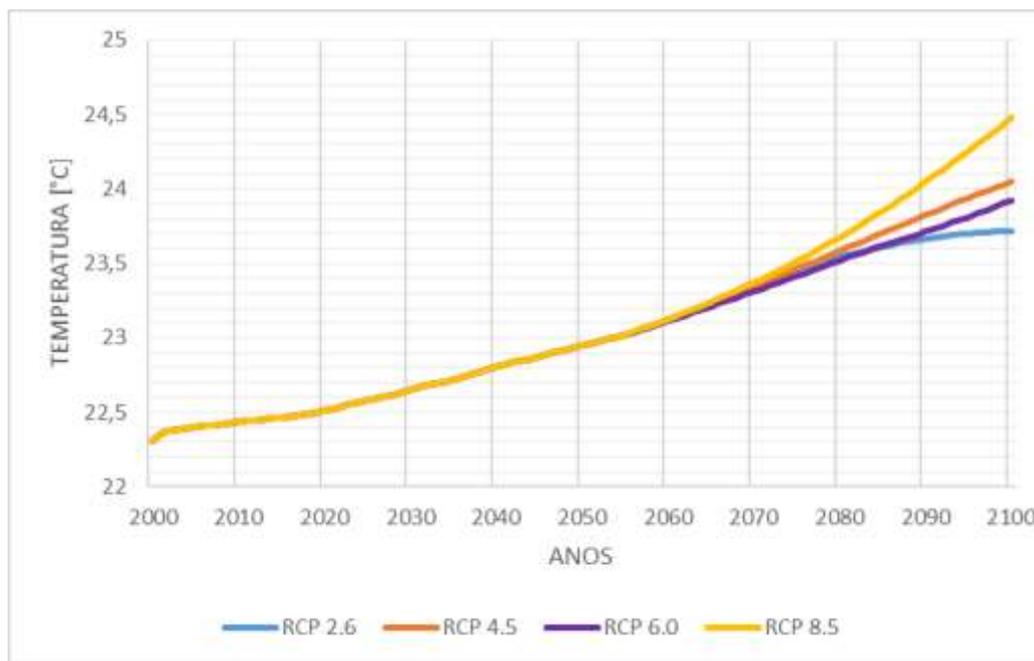
Os gráficos abaixo (Figura 18, 19 e 20) mostram as séries temporais da temperatura absoluta para a cidade de Campina Grande – PB e para as bacias do Piancó-Piranhas-Açu e do Piracicaba, derivadas dos desvios de temperatura obtidos para cada um dos cenários de concentração de gases de efeito estufa do IPCC (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5) somado ao clima médio do local para os anos de 2000 a 2100.



**Figura 18:** Série Temporal da Temperatura absoluta para a cidade de Campina Grande – PB para os anos de 2000-2100. Fonte: Compilação da autora.



**Figura 19:** Série Temporal da Temperatura absoluta para a Bacia do Piancó-Piranhas-Açu para os anos de 2000-2100. Fonte: Compilação da autora.



**Figura 20:** Série Temporal da Temperatura absoluta para a Bacia do Piracicaba para os anos de 2000-2100. Fonte: Compilação da autora.

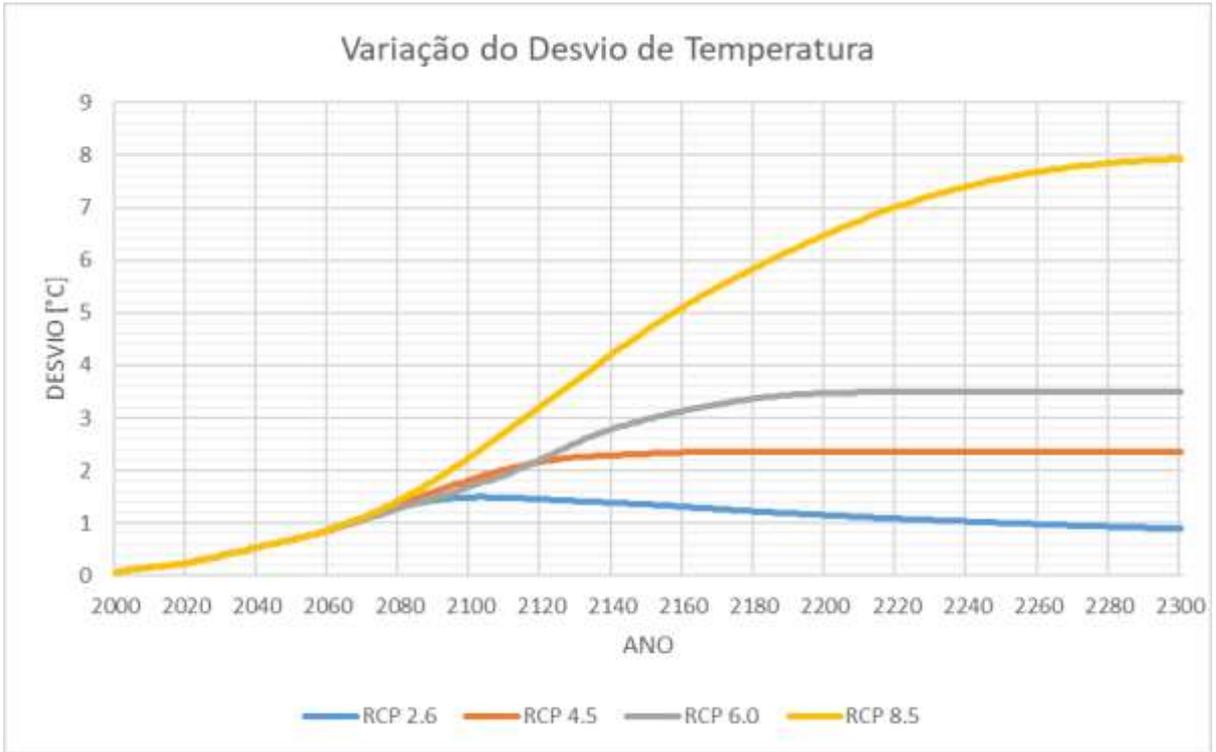
Ao analisar as séries temporais, verificou-se que os gráficos da cidade de Campina Grande e da Bacia Piancó-Piranhas-Açu são idênticos. Devido à sua proximidade relativa (Campina Grande – PB, Latitude: -7.23; Longitude: -35.88) / Bacia do Piancó-Piranhas-Açu, Latitude: -6.5; Longitude: -37.5) a grade do GREB tratou ambos como o mesmo ponto, o que se pode notar como um erro de precisão do modelo (já mencionado anteriormente). Observou-se também que as curvas das temperaturas absolutas dos cenários de concentração dos RCPs incrementam de forma igual até o ano de 2060 aproximadamente, quando começam a ser observados caminhos diferentes para cada RCP. O RCP 2.6, o cenário mais otimista de “pico-declínio”, se comportando como esperado, com as emissões de gases de estufa (e indiretamente emissões de poluentes atmosféricos), ao longo do tempo, substancialmente reduzidos, (Wagner Soares, IEC-ES) fazendo com que a temperatura absoluta para este cenário inicie seu processo de redução a partir de 2100. Ver-se que não só o cenário mais otimista se comporta como esperado assim como os outros cenários. No cenário mais pessimista (RCP 8.5), caracterizado pelo aumento das emissões de gases estufa ao longo do tempo (Wagner Soares, IEC-ES) a temperatura absoluta cresce de forma exponencial chegando a uma temperatura média absoluta, em 2100, de aproximadamente 27,8°C para a cidade de Campina Grande e Bacia Piancó-Piranhas-Açu e 24,5°C para a Bacia do

Piracicaba. As análises do comportamento da temperatura absoluta nos cenários do IPCC para os anos de 2080, 2090 e 2100 foram postas na “Tabela III”.

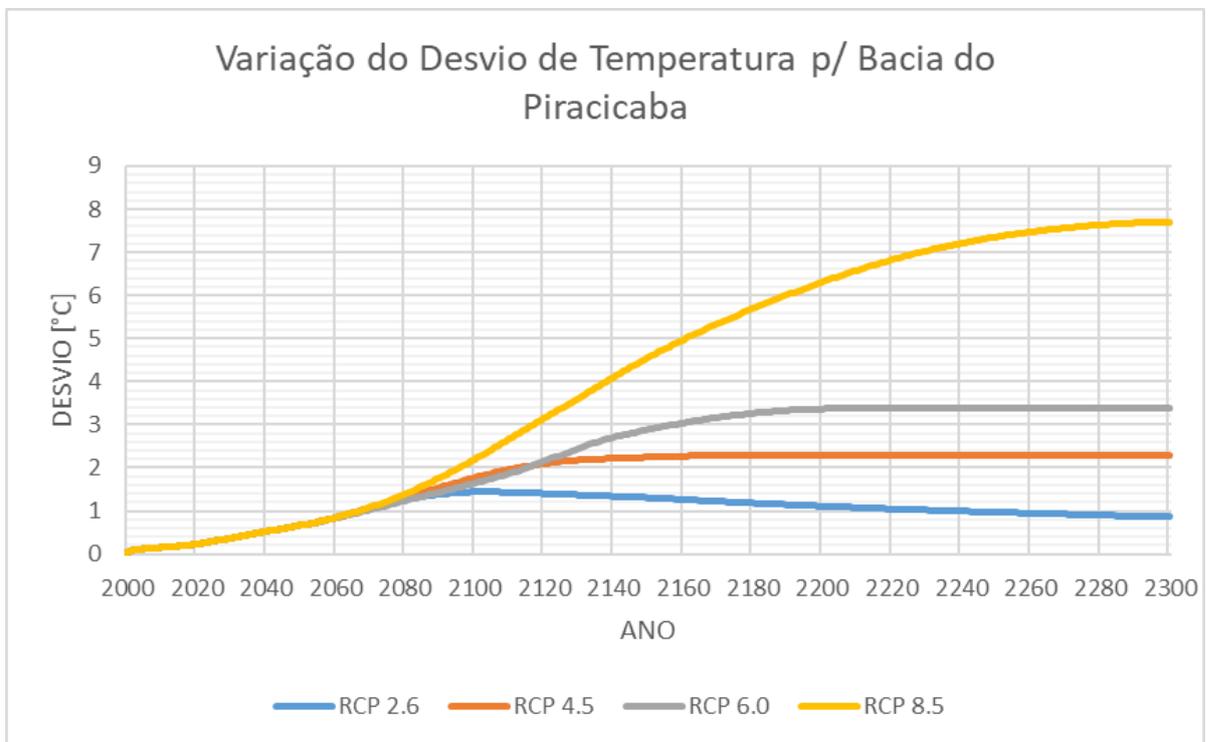
Tabela III: Comportamento da Temperatura Absoluta nos Cenários do IPCC.

<b>Campina Grande / Bacia Piancó-Piranhas-Açu</b>			
<b>CENÁRIOS</b>	<b>T abs (°C) 2080</b>	<b>T abs (°C) 2090</b>	<b>T abs (°C) 2100</b>
RCP 2.6	26,80	26,80	27,00
RCP 4.5	26,81	27,10	27,34
RCP 6.0	26,79	27,00	27,21
RCP 8.5	26,95	27,33	27,77
<b>Bacia do Piracicaba</b>			
RCP 2.6	23,52	23,69	23,72
RCP 4.5	23,64	23,80	24,05
RCP 6.0	23,50	23,71	23,92
RCP 8.5	23,68	24,05	24,48

As figuras a seguir (Figura 21 e 22) estão relacionadas as séries temporais realizadas para os desvios que a temperatura sofreu ao longo de um período de 300 anos (2000 a 2300), onde foi possível verificar a estabilização dos cenários dos RCPs, para Campina Grande e as Bacias do Piancó-Piranhas-Açu e Bacia do Piracicaba.



**Figura 21:** Série Temporal da variação do desvio de temperatura de Campina Grande e Bacia do Piacó-Piranhas-Açu para um período de 2000 a 2300. **Fonte:** Compilação da autora.



**Figura 22:** Série Temporal da variação do desvio de temperatura da Bacia do Piracicaba para um período de 2000 a 2300. **Fonte:** Compilação da autora.

## **CONCLUSÃO**

As projeções e discussões anteriormente apresentadas obtidas através de simulações geradas sugerem que, observando a obra como um todo, o modelo de circulação geral simplificado GREB desenvolvido por Dommenget e Flöter (2011) é um bom modelo em termos de aumentar o conhecimento das relações de causa e efeito das mudanças climáticas e simular as suas principais características realizando projeções para um curto e longo período de tempo, uma vez que seus resultados geraram resultados coerentes com a literatura e outros modelos trabalhados como o Xavier. Valendo a pena ressaltar que o ponto de grade trabalhado no GREB pode, em determinadas regiões, assumir o mesmo valor trazendo ao estudo uma menor precisão dos acontecimentos que ocorrem nesta região. Foi visto durante as simulações do modelo GREB a relação direta entre a variação da concentração de CO<sub>2</sub> e a temperatura que foi previamente notada por diversos autores entre eles Levis et al. (2000) e Kattenberg et al. (1996). Observou-se nos mapas que a medida que se aumentou as concentrações de CO<sub>2</sub> resultou num aquecimento global médio na superfície. Viu-se ainda a resposta desse modelo para cenários com processos e elementos climáticos “ligados” e “desligados” e para determinados pontos do globo, onde foram geradas séries temporais. Viu – se ainda a sua resposta diante da comparação com uma base de dados climatológica e para os cenários de concentração de gases de efeito estufa do IPCC (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5) para esses locais e, em ambos os casos, o modelo se comportou de maneira coerente.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC (PIBIC/CNPq-UFCG). Registra-se aqui os agradecimentos ao CNPq e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

## REFERÊNCIAS

BARRY, R; CHORLEY, R. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. Ed. Editora: Artmed, Grupo A, 2012.

**Clima E Condições Meteorológicas Médias Em Campina Grande No Ano Todo.**

Weather Spark. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/31387/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Campina-Grande-Brasil-durante-o-ano#:~:text=O%20per%C3%ADodo%20chuvoso%20do%20ano,mil%C3%ADmetros%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20de%20chuva>>. Acesso em: 28 de mar de 2022.

**Clima E Condições Meteorológicas Médias Em Piancó-Piranhas-Açu No Ano**

**Todo.** Weather Spark. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29776/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Piranhas-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 19 de set de 2022.

**Clima E Condições Meteorológicas Médias Em Piracicaba No Ano Todo.**

Weather Spark. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30183/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Piracicaba-Brasil-durante-o-ano#:~:text=Em%20Piracicaba%2C%20o%20ver%C3%A3o%20%C3%A9,superior%20a%2034%20%C2%BOC.>>> Acesso em: 19 de set de 2022.

CHAVES, Rosane. RODRIGUEZ, Daniel. **Apostila GrADS**. INPE. Dec 2001.

**OLIVEIRA, E. Simulações Da Temperatura Do Ar Na Superfície Baseadas Nos**

**Efeitos Do Fluxo De Raios Cósmicos Galácticos Sobre O Balanço Radiativo Global.** Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Centro e Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN. Natal – RN, 2019.

**SILVA, Felipe. FRANÇA José. Impacto da Duplicação de CO2 no Clima Global**

**Simulado por um Modelo de Circulação Geral da Atmosfera.** Anuário do Instituto de Geociências – Volume 27. LAMMA - Laboratório de Modelagem de Processos

Marinhos e Atmosféricos Departamento de Meteorologia da UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. **Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013)**. International Journal of Climatology, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, maio 2016.