

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS E OCEÂNICAS QUE  
FAVORECERAM A SECA NO SUDESTE DO BRASIL DURANTE O VERÃO  
DE 2020-2021**

Pedro Antonio Rodrigues Garcez

Relatório Final de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pelo Dr. Silvio  
Silvio Nilo Figueroa.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS E OCEÂNICAS QUE  
FAVORECERAM A SECA NO SUDESTE DO BRASIL DURANTE O VERÃO  
DE 2020-2021**

Pedro Antonio Rodrigues Garcez

Relatório Final de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pelo Dr. Silvio  
Silvio Nilo Figueroa.

CPTEC/INPE  
Cachoeira Paulista  
2022



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento deste trabalho não seria possível sem a ajuda das seguintes pessoas, dentre as quais agradeço:

Ao meu orientador, Dr. **Silvio Nilo Figueroa** que durante 12 meses esteve disponível para me auxiliar e compartilhar seus conhecimentos relacionados ao tema de estudo.

Ao meu amigo e professor, Dr. Jhonatan Andres Aguirre Manco, responsável por me ensinar e familiarizar de maneira voluntária com os princípios de programação em Python, que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus pais, Januário Carlos da Silva Garcez e Ronilza dos Santos Rodrigues Garcez, por todos investimentos feitos em minha formação profissional.

À minha companheira, Cíntia de Toledo Nogueira, que sempre esteve presente e me incentivou a continuar.

À Deus, responsável por guiar meus passos e colocar pessoas especiais em minha trajetória.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **RESUMO**

Desde 2013, a região Sudeste do Brasil vem enfrentando fortes crises hídricas que submetem cada vez mais seus reservatórios a baixos níveis de capacidade. Dessa forma, em um País que possui sua principal matriz energética dependente do volume de chuva, baixas precipitações e altas temperaturas obrigam o acionamento de outras fontes de energias mais caras. A evidência desse cenário atípico tem impactos diretos no fornecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo, haja visto que em conjunto com as represas que o compõem, o Sistema Cantareira é o maior reservatório destinado para abastecimento de aproximadamente 46% da população, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA). A presença de fatores responsáveis por essas condições estão relacionados com as variações atmosféricas e oceânicas associadas à fase negativa do ENSO (La Niña), que se fizeram presente desde o segundo semestre de 2020 até maio de 2021. Consequentemente, o reservatório atingiu 26,4% de sua capacidade útil, o menor nível no no último 6 anos.

Palavras-chave: Condições oceânicas-atmosféricas; seca; ENSO; Sudeste; Sistema Cantareira.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 Série temporal de anomalia da precipitação (mm/mês) e temperatura (°C) no Sistema Cantareira de 1980 a 2021. Fonte: Autoria própria .....	1
2 Média do volume total armazenado nos Sistemas Produtores que abastecem a RMSP em % para os anos de 2010, 2020 e 2021. Fonte: Autoria própria ...	3
3.1 Anomalia da precipitação em JFM de 2020. Fonte: Autoria própria .....	4
3.2 Anomalia da precipitação em JFM de 2021. Fonte: Autoria própria .....	4
4.1 Média de precipitação (mm/dia) referente ao anos meses de Janeiro (a), Fevereiro (b) e Março (c) de 2020. Fonte: Autoria própria .....	4
4.2 Média de precipitação (mm/dia) referente aos anos meses de Janeiro (a), Fevereiro (b) e Março (c) de 2021. Fonte: Autoria própria .....	4
5. Série temporal de anomalia trimestral da TSM na região de Niño 3,4. Fonte: Autoria própria .....	5
5 Impactos do fenômeno La Niña no Oceano Pacífico Equatorial. Fonte: Bureau of Meteorology (BOM) .....	6
6 Série temporal Índice de Oscilação Sul (IOS). Fonte: Autoria própria .....	6



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## SUMÁRIO

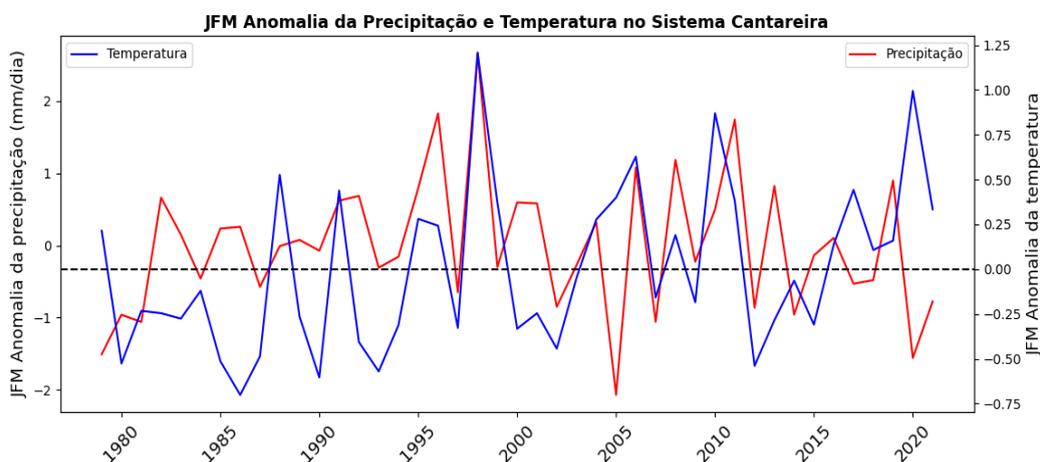
	<u>Pág.</u>
1. <b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Objetivo Geral .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
2. <b>DADOS E METODOLOGIA</b> .....	2
3. <b>RESULTADOS</b> .....	3
3.1 Condições precipitacionais nos anos de 2020 e 2021 .....	3
3.2 Possíveis fatores que potencializaram a crise hídrica nos anos de 2020 e 2021.	5
4. <b>CONCLUSÕES</b> .....	7
4.1 Sugestões para Trabalhos Futuros .....	7
5. <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	7

## 1. Introdução

Apesar dos altos índices de pluviosidade anual, a região Sudeste (SE) possui clima caracterizado por concentrar os maiores valores de precipitação e temperatura durante os primeiros meses do ano. Porém, ao contrário do que era esperado, os valores apresentados no primeiro trimestre de 2020 indicavam uma seca severa resultando na maior estiagem dos últimos 91 anos. Na figura 01, pode-se observar a situação de precipitação e temperatura encontrada nos últimos 42 anos relacionadas aos meses de Janeiro-Fevereiro-Março (JFM) na região do Sistema Cantareira (25S-19.5S,55W-40W). A evidência de altas temperaturas e falta de chuvas na região tem impactos diretos no fornecimento de água para população da Região Metropolitana de São Paulo, haja visto que em conjunto com as represas que o compõem, o Cantareira é o maior reservatório de água destinados para abastecimento de aproximadamente 46% das pessoas que moram na grande São Paulo, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA).

A partir da importância que o regime de chuvas possui sobre a economia e a sociedade, destinou-se os estudos para análise da influência causada pelas componentes do El Niño/Oscilação Sul nos anos de 2020-2021 na região do Sistema Cantareira. Através dos resultados obtidos pelos cálculos de estatística contínua realizados em Python, foi possível gerar gráficos e imagens para interpretação e conclusão.

Figura 01 - Série temporal de anomalia da precipitação (mm/mês) e temperatura (°C) no Sistema Cantareira de 1980 a 2021.



Fonte: Autoria própria

## **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente estudo é analisar as condições atmosféricas e oceânicas que se manifestam no Oceano Pacífico e como se relacionam com a seca no Sudeste do Brasil nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2020 e 2021, através da comparação dos fenômenos que aconteceram na região nos últimos 40 anos.

## **1.2 Objetivos específicos:**

- Relacionar a ocorrência do fenômeno La Niña com a seca no Sudeste nos anos de 2020 e 2021;
- Identificar os eventos de seca no Sudeste e relacionar com a ocorrência de El Niño;
- Encontrar uma explicação física/dinâmica desta seca.

## **2. Dados e Metodologia**

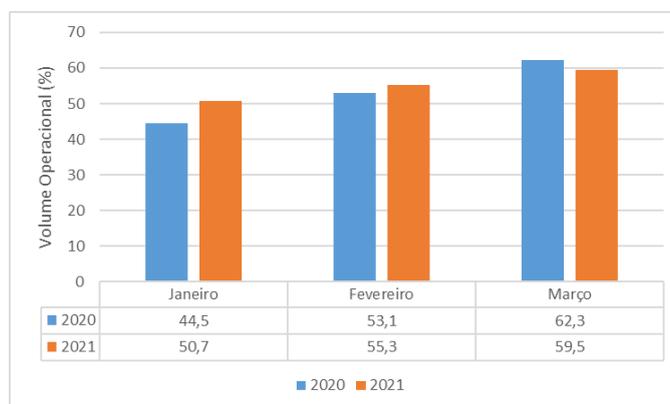
O conjunto de dados atmosféricos e oceânicos provém da quinta geração de reanálises do clima (ERA5) desenvolvida pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) para o intervalo de 1980 a 2020. Além disso, foram utilizados também dados atmosféricos de *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP). A variável "Temperatura de Superfície do Mar" ( $^{\circ}$  C) foi utilizada para identificar a presença de ENSO e não ENSO durante o período de seca no Sudeste sobre a área de El Niño 3,4 (5N-5S, 170W-120W). Dados de "Precipitação" foram delimitados para estudo sobre o Sistema Cantareira (25S-19.5S,55W-40W) contando com a média de precipitação na região além da anomalia. Os anos de estudos referem-se a Janeiro, Fevereiro e Março 1980-2021. Dados da população de São Paulo são fornecidos pelo Município de São Paulo. Já as informações sobre a situação de vazão e nível de abastecimento provém da Agência Nacional das Águas (ANA) e da SABESP. Valores necessários para classificação dos índices relacionados a ENOS foram disponibilizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Todo o conjunto de dados e imagens foram analisadas e geradas em Python.

### 3. Resultados

#### 3.1 Condições precipitacionais nos anos de 2020 e 2021

Em meio às crises hídricas que afetaram a Região Metropolitana nos anos anteriores, as condições encontradas no início dos anos de 2020-2021 evidenciam baixos índices de precipitação na área que engloba o Sistema Cantareira. Apesar da temporada de chuva ocorrer nos meses entre Outubro e Abril, o que foi apresentado são valores negativos de anomalias relacionadas a precipitação e ao nível de vazão, além de volumes bem inferiores quando comparados a anos com índices positivos. Como consequência, devido a ausência de chuvas nesse período “ideal”, foram encontrados níveis operacionais ainda menores nos meses seguintes de 2020 e 2021, como mostra a Figura 02.

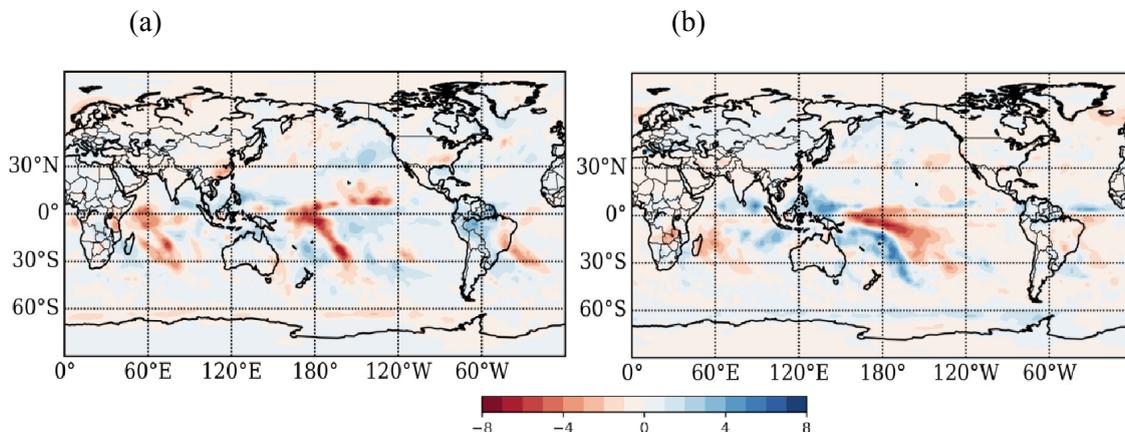
Figura 2 - Média do volume total armazenado nos Sistemas Produtores que abastecem a RMSP em % para os anos de 2010, 2020 e 2021



Fonte: Autoria própria

A partir das condições apresentadas, temos como principal causador a ausência de chuvas. A figura 3 (a) e (b) evidencia esse fato, mostrando a anomalia da precipitação para os anos de 2020 e 2021, respectivamente. Apesar de ser uma região caracterizada por verões quentes e chuvosos, o início de 2020 ( JFM) foi marcado pela maior estiagem desde 2005. A partir das figuras, é possível identificar a magnitude das anomalias que apresentam valores negativos na região central do Oceano Pacífico Equatorial e também na região Sudeste do Brasil.

Figura 3 - (a) Anomalia da precipitação em JFM de 2020 (b) Anomalia da precipitação em JFM de 2021



Fonte: Autoria própria

A Figura 4 identifica os resultados encontrados referentes às médias precipitacionais de JFM para os anos de 2020 e 2021.

Figura 4.1 - Média de precipitação (mm/dia) referente aos anos meses de Janeiro (a), Fevereiro (b) e Março (c) de 2020.

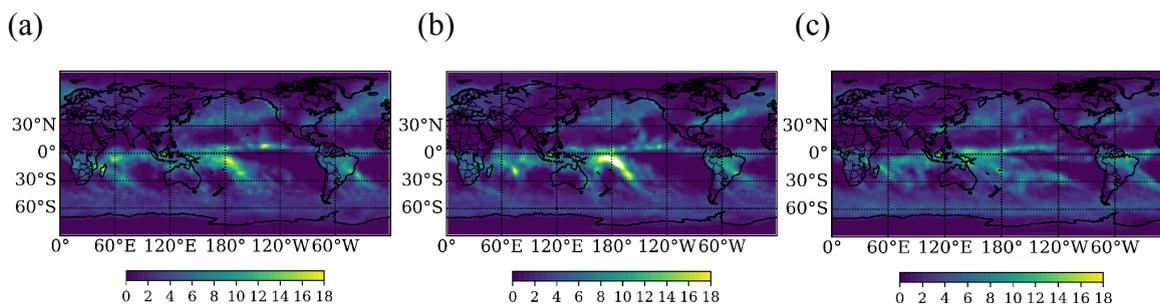
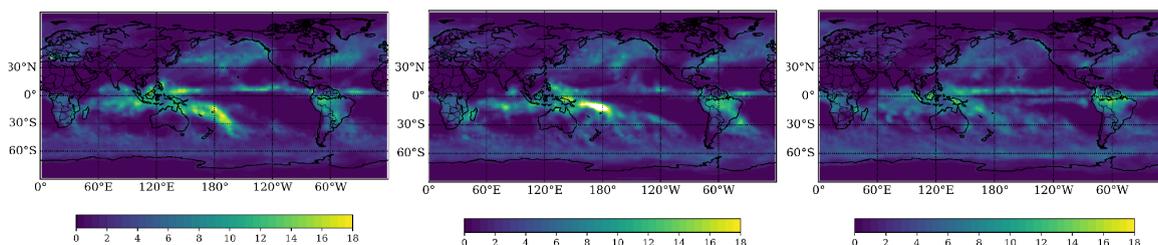


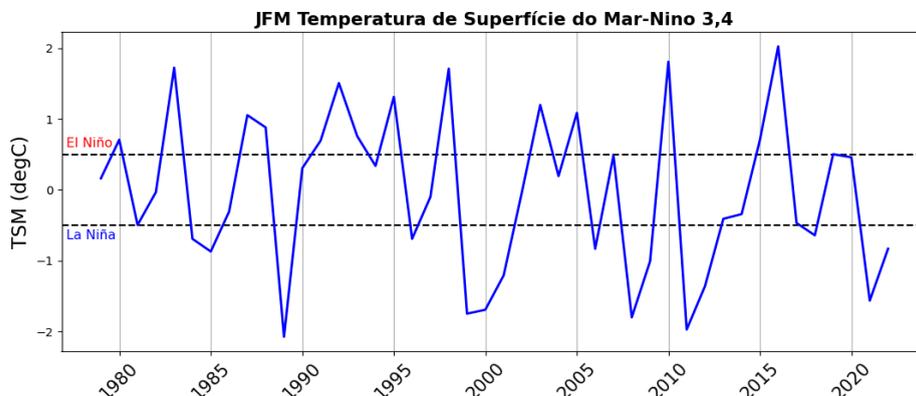
Figura 4.2 - Média de precipitação (mm/dia) referente aos anos meses de Janeiro (a), Fevereiro (b) e Março (c) de 2021.



### 3.2 Possíveis fatores que potencializaram a crise hídrica nos anos de 2020 e 2021

As secas que acontecem em algumas regiões do Brasil em geral estão associadas a fenômenos oceano-atmosféricos, que são consequências das mudanças cíclicas de temperatura nos oceanos que cercam o continente. No caso da Região Sudeste, uma das variáveis causadoras dos períodos de estiagem são as diferentes Temperaturas de Superfície do Mar (TSM) que ocorrem no Oceano Pacífico Equatorial, onde acontece o fenômeno natural El Niño/Oscilação Sul (ENOS). A figura 04 apresenta a série temporal relacionada à ocorrência no intervalo de 40 anos em diferentes porções do Pacífico (Niño 3,4: 5N-5S, 170W-120W, Niño 3: 5N-5S, 150W-90W, Niño 4: 5N-5S, 160E-150W). Baseado nos resultados obtidos, podemos notar a presença do fenômeno La Niña no intervalo do segundo semestre de 2020 até maio de 2021.

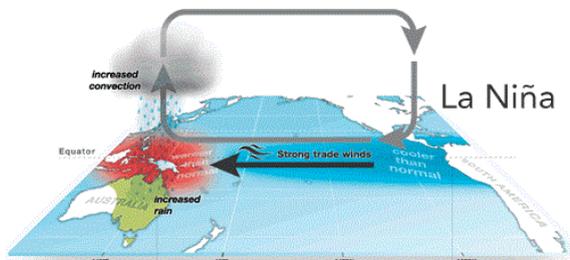
Figura 5 - Série temporal de anomalia trimestral da TSM na região de Niño 3,4



Fonte: Autoria própria

Como consequência, em relação às componentes oceânicas, tem-se o processo de resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, intensificado pelo fenômeno de ressurgência que ocorre na costa Oeste do continente sul-americano. Além disso, devido à maior intensidade dos ventos alísios que ocorrem na direção Leste-Oeste, as águas quentes do oceano (que estão na superfície por ter menor densidade) são “carregadas e acumuladas” na parte Nordeste do Oceano Índico. A figura 05 ilustra todo esse processo anômalo.

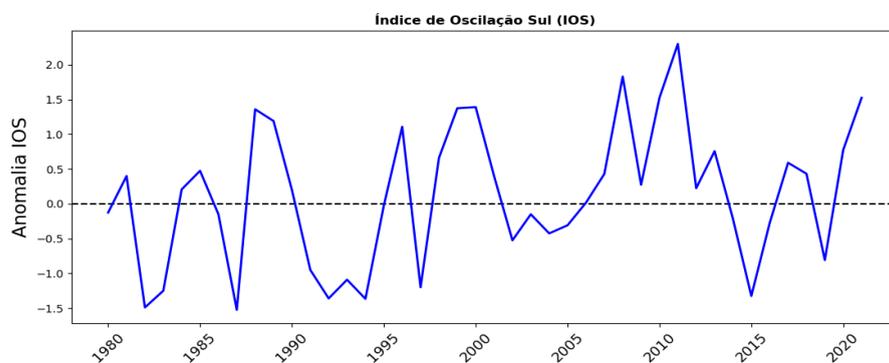
Figura 6 - Impactos do fenômeno La Niña no Oceano Pacífico Equatorial



Fonte: Bureau of Meteorology (BOM)

Outra variável que deve ser considerada é o Índice de Oscilação Sul (IOS), que muitas das vezes é responsável por alterar a intensidade de ocorrência de El Niño e La Niña. A oscilação se refere às diferenças de pressão do ar entre as regiões Leste e Oeste do Oceano Pacífico Equatorial (Taiti e Darwin, respectivamente), que ocorre como uma “gangorra barométrica”, enfraquecendo ou intensificando os ventos alísios de circulação. A série temporal da Figura 06 evidencia os valores apresentados

Figura 7 - Índice de Oscilação Sul (IOS)



Fonte: Autoria Própria

$$(1) \quad IOS = \frac{(sPNM_{Tahiti} - sPNM_{Darwin})}{\sigma_{mensal}}$$

PNM: Pressão ao nível do mar

sPNM: PNM Padronizado

$\sigma_{mensal}$ : Desvio padrão mensal

Em fases positivas, as maiores pressões são apresentadas em Taiti (Leste) e menores em Darwin (Oeste), o que auxilia no transporte das massas de ar e das águas superficiais do oceano. Nesse cenário, ocorre maior precipitação na região Nordeste do Oceano Índico (Oeste do Pacífico) e menor precipitação em regiões do Brasil como Sul

e Sudeste, devido ao movimento descendente da Célula de Walker que inibe a formação de nuvens de chuva.

#### **4. Conclusões**

Os fatores responsáveis por essas condições de precipitação estão relacionados com as variações atmosféricas e oceânicas que se fizeram presentes nos anos de 2020 e 2021. Dessa forma, considera-se La Niña como um dos responsáveis pela seca que atingiu a Região Metropolitana de São Paulo, haja visto que as mudanças nos padrões de vento subtropicais da região equatorial afetaram a formação de nuvens de chuva. Esses fatores afetaram a interação trópico-extra trópico, reduzindo a entrada de frentes frias e precipitação no Sudeste.

Além disso, não se descarta a influência de outros fatores de variabilidade climática tais como Dipolo de Índico (IOD), Modo Anular Sul (SAM), Oscilação do Atlântico Norte (NAO), entre outros que serão estudados futuramente.

##### **4.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Durante a próxima fase de estudo, o projeto irá continuar analisando a relação de ocorrência dos fatores de variabilidade climática com a alteração da entrada de frentes frias na região Sudeste nos anos de 2020 e 2021. O projeto irá seguir as seguintes etapas:

- Treinamento com a parte teórica e prática de análises de bloqueios atmosféricos, identificando os casos de bloqueios relacionados com a seca no Sudeste através de índices de bloqueio usando dados de geopotencial em 500 hPa.
- Treinamento com a parte teórica e prática do uso de análise de EOF.
- Identificar os eventos de seca no Sudeste e relacionar com a ocorrência de fenômenos como Dipolo de Índico (IOD), Modo Anular Sul (SAM), Oscilação do Atlântico Norte (NAO), entre outros.

#### **5. Referências bibliográficas**

[1] Nobre, C.A., Marengo, J.A., Seluchi, M.E., Cuartas, L.A. and Alves, L.M. (2016) Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in

Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 252-262

[2] Rodrigues, R. et al., 2019. Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. *Nat. Geosci.*, 12, 620–626

[3] Adlet, R.F., et al. 2003. The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeor.*, 4, 1147-1167.