



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM CIÊNCIAS
DA TERRA E DO AMBIENTE
Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

Dissertação de Mestrado

Análise de correlação cruzada da variável climática
Temperatura do Ar entre estações meteorológicas no
Estado da Bahia, BR

Apresentada por: Moisés Domingos Namila da Costa
Orientador: Gilney Figueira Zebende

Março, 2021

Moisés Domingos Namila da Costa

**Análise de correlação cruzada da variável climática
Temperatura do Ar entre estações meteorológicas no
Estado da Bahia, BR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Curso de Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciências Ambientais**.

Área de conhecimento: Estudos Ambientais e Geotecnologias

Orientador: Dr. Gilney Figueira Zebende

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Feira de Santana, BA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
2021

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

C874a Costa, Moisés Domingos Namila da
Análise de correlação cruzada da variável climática temperatura do ar entre estações meteorológicas no Estado da Bahia, BR./ Moisés Domingos Namila da Costa, 2022.
57f.: il.

Orientadora: Gilney Figueira Zebende

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, 2022.

1.Aquecimento global. 2.Ilha de calor. 3.Temperatura do ar. 4.Coefficiente de correlação cruzada DCCA. 5.Variabilidade climática. I.Zebende, Gilney Figueira. II.Universidade Estadual de Feira de Santana. III.Título.

CDU : 551.58 (814.2)

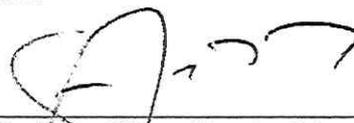
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente

A Banca Examinadora, constituída pelos professores listados abaixo, leu e recomenda a aprovação da Dissertação de Mestrado, intitulada “Análise de correlação cruzada da variável climática Temperatura do Ar entre estações meteorológicas no Estado da Bahia, BR”, apresentada no dia 4 de Fevereiro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciências Ambientais**.

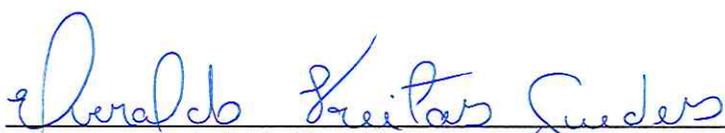
Orientador:



Prof. Dr. Gilney Figueira Zebende

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Membro externo da Banca:



Prof. Dr. Everaldo Freitas Guedes

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIJORGE

Membro interno da Banca:



Prof. Dr. Aloísio Machado da Silva Filho

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Dedico este trabalho a
família, África e a ciência.

Agradecimentos

Glórias em nome de Sua Majestade Imperial Hailé Selassié I e a Imperatriz Menen Asfaw da Etiópia.

Ao Prof. Dr. Gilney Figueira Zebende pela orientação e dedicação ao tema escolhido e por ter acreditado na pesquisa.

Aos professores, Dr. Ardemório de Barros Silva, Dra. Joselissa Maria Chaves, Dra. Joci-mara Souza Britto Lobão, Dra. Marjorie Cseko Nolasko, Dra. Elane Fiúsa Borges, Dr. Edson Sano, Dr. Carlos Souza Jr, Dr. Aloísio Machado da Silva Filho, Dr. Edrian Mania, Dra. Rosangela Leal Santos, Dra. Andréa de Almeida Brito, Dr. Arleys Pereira Nunes de Castro.

A família e amigos, em particular mãe Cristina J. M. Namila, tia Rosa S. Costa, Ras Haitrm, Cândida Acácio, Nurdine M. Assane, Victor J. Uliamo, Dario E. Sengo, Kaleb Gabriel, Francisneide Albano, Edico e Thamires, Lázaro Aguiar, todos que acolheram em Brasil/Feira de Santana.

A CAPES e as demais instituições que garantiram a Bolsa de Estudos.

A Universidade Estadual de Feira de Santana e ao Programa de Pós Graduação em Ciências da Terra e do Ambiente pelos recursos proporcionados para a elaboração da pesquisa.

Feira de Santana, Bahia, Brasil
18 de Março, 2021

Moisés Domingos Namila da Costa

Resumo

Estudos científicos sugerem que a variabilidade climática no planeta Terra seja um fenômeno natural provocado pela variação da energia que chega ao planeta causada por, ciclos solares, variação orbital do próprio planeta, impactos de meteoritos, entre outros eventos naturais desde milhares de anos. Entretanto, as forçantes radiativas causadas por fatores internos ao próprio planeta Terra como a geração de gases poluentes, detêm efeitos imediatos sobre o ecossistema terrestre causando as Ilhas de Calor e o Aquecimento Global. Sendo que o conhecimento sobre os fenômenos naturais e antrópicos em volta ao planeta Terra seja de grande interesse para a comunidade científica, principalmente no desenvolvimento de mecanismos eficazes na mitigação dos problemas climáticos, nesta pesquisa, em particular, estudou-se o nível de interação da variável ambiental climática Temperatura do Ar entre doze (12) estações meteorológicas no Estado da Bahia (nordeste do Brasil) por meio do coeficiente de correlação cruzada DCCA (ρ_{DCCA}), em que, com base em mapas de correlações cruzadas entre as estações meteorológicas obtidos como resultados, demonstrou-se que a variável Temperatura do Ar ao longo de toda a região estudada, possui interação positiva onde o coeficiente de correlação cruzada apresenta-se forte para diferentes escalas de tempo. Contudo, realçando a necessidade do desenvolvimento de propostas práticas para curto, médio e longo prazos a fim de que o impacto das mudanças climáticas sobre a região seja minimizado.

Palavras Chaves: Aquecimento global, Coeficiente de correlação cruzada DCCA, Estado da Bahia, Ilha de calor, Temperatura do ar, Variabilidade climática

Abstract

Scientific studies suggest that climate variability on planet Earth is a natural phenomenon caused by the variation of energy reaching the planet caused by solar cycles, orbital variation of the planet itself, meteorite impacts, among other natural events since thousands of years. However, the radioactive forces caused by factors internal to the planet Earth itself, such as the generation of polluting gases, has immediate effects on the Earth's ecosystem causing the Heat Islands and Global Warming. Being that the knowledge about the natural and anthropic phenomena around planet Earth is of great interest to the scientific community, mainly in the development of effective mechanisms for the mitigation of climate problems, this research, in particular, studied the level of interaction of the climatic environmental variable air temperature between twelve (12) meteorological stations in the State of Bahia (northeast of Brazil) by means of the DCCA cross correlation coefficient (ρ_{DCCA}), in which, based on maps of cross correlations between weather stations obtained as results, it was demonstrated that the Air Temperature variable throughout the studied region has positive interaction where the cross correlation coefficient is strong for different time scales. However, realising the need to develop practical proposals for short, medium and long term so that the impact of climate change on the region is minimised.

Keywords: Air Temperature, Climate Variability, DCCA Cross Correlation Coefficient, Global Warming, Heat Island, State of Bahia

Sumário

1	Introdução	1
2	Fundamentação Teórica	4
3	Metodologia	8
4	Resultados e Conclusões	20
A	Anexo I	40
	Referências	42

Lista de Tabelas

3.1	Tabela com as coordenadas geográficas das estações meteorológicas (INMET).	11
-----	--	----

Lista de Figuras

2.1	Figura com dados atmosféricos de CO ₂ e temperatura do ar derivados de medições do núcleo de gelo da Antártica em ciclos de 100.000 anos, em que, se pode ver a curva de Keeling (segmento vertical anexado aos dados do núcleo de gelo no canto superior direito).	4
3.1	Mapa de Localização da Área em Estudo	10
3.2	Imagem ilustrativa da base de dados da pesquisa	12
3.3	Imagem ilustrativa da base de dados com os valores ausentes	13
3.4	Ilustração do mecanismo aplicado na imputação de dados - Caso 1	14
3.5	Ilustração do mecanismo aplicado na imputação de dados - Caso 2	14
3.6	Imagem ilustrativa da base de dados da pesquisa com os dados normalizados	15
3.7	Mapa com indicação das estações meteorológicas em estudo e os municípios onde pertencem	16
3.8	Fluxograma metodológico da pesquisa	19
4.1	Atividade de manchas solares ao longo do período em análise. Em preto o período analisado na pesquisa em alusão, coincidente com o ciclo solar 24 (NASA).	21
4.2	Gráficos da variação temporal da Temperatura do Ar nas doze (12) estações meteorológicas medida em intervalos de três meses. Em que, a curva a vermelho indica a variação dos valores da Temperatura do Ar máxima, a azul a variação na Temperatura do Ar média e a verde a variação na Temperatura do Ar mínima.	25
4.3	Tabela com o ajuste linear dos dados das estações meteorológicas em estudo desde o mais alto ao mais baixo.	27
4.4	Gráficos com a Função de distribuição bimodal de probabilidades (densidades estimadas), em que, a curva em azul representa o ajuste da moda da temperatura do ar mais dominante ao longo do período em estudo, a vermelho representando o ajuste da segunda moda e em preto a curva do ajuste das somas dos ajustes.	28
4.5	Tela interativa do aplicativo rhoMap construído para a execução das correlações cruzadas aos grupos de combinações	29
4.6	Análise de correlações cruzadas (Gráficos ρ_{DCCA} de 9 combinações adquiridas através do programa rhoMap: Combinações 1x2, 1x3, 1x6, 4x11, 6x7, 6x8, 7x10, 7x12, 11x12)	30
4.7	Tela interativa do programa Monta Matriz dos Dados em Excel	32
4.8	Tela interativa do programa Map-BA das Estações Meteorológicas	33
4.9	Redes de correlações cruzadas (na escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000), tendo como referência a estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa	35
4.10	Redes de correlações cruzadas (na escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000), tendo como referência a estação meteorológica de Feira de Santana	36
4.11	Redes de correlações cruzadas (na escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000), tendo como referência a estação meteorológica de Salvador	37

A.1	Tabela com dados apresentando as características das Estações meteorológicas	40
A.2	Estações meteorológicas - Fotografias	40
A.3	Tabela com as Funções de Distribuição dos dados do ajuste por uma mistura de gaussianas	41

Lista de Siglas

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DCCA	<i>Detrended Cross-Correlation Analysis</i>
DFA	<i>Detrended Fluctuation Analysis</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PPGM	Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
ppm	parte por milhão
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana
UN	<i>United Nations</i>
UNESCO ...	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>
ρ_{DCCA}	Coefficiente de Correlação Cruzada DCCA

Introdução

Dentre a comunidade científica há uma parte representativa que acredita que os eventos climáticos extremos no planeta possam ser resultantes da influência humana no clima. Tanto os extremos de precipitação que culminaram em inundações na Alemanha em 2002, no Reino Unido em 2009, no Paquistão em 2010, na Austrália em 2011 e no Japão em 2011, quanto as ondas de calor que afetaram a Suíça em 2003, a Grécia em 2007, a Austrália em 2009, a Rússia central em 2010, e em 2011 as planícies do sul dos EUA resultando alguns casos em incêndios florestais, e mais ainda as tempestades no Atlântico Sul em 2004, em 2005 no Atlântico Norte e no Mar arábico em 2007, entre outros, cientistas como [Coumou e Rahmstorf \(2012\)](#), sugerem que sejam todos induzidos pelo desequilíbrio climático provocado pela intensificação do efeito estufa causado pelas mudanças persistentes que o homem vem efetuando na atmosfera e no uso da terra ([MENDONÇA, 2006](#); [COUMOU; RAHMSTORF, 2012](#)).

A título de exemplo, a média da temperatura global de superfície que segundo [Munguira e Camino \(2018\)](#) vem crescendo a um ritmo de 0,2°C a cada 10 anos, alcançou em 2017 uma taxa de aproximadamente 1°C mais alta que entre 1850 e 1900, época usada como base representativa para aproximação as condições pré industriais [WMO \(2020\)](#). Este aumento gradual da temperatura global segundo [Reis \(2013\)](#), possui efeitos diferenciados em determinados ecossistemas pela distribuição não uniforme das alterações de temperatura ao longo do globo, ao mesmo tempo em que correlaciona-se ao aumento nas concentrações de CO₂ desde a era pré industrial ([MOLION, 2008](#)).

É importante observar que esta ideia de um aquecimento global induzido "apesar de defendido pela grande maioria na comunidade científica", ainda possui alguma rejeição por uma parte que a desconstrói na base do aquecimento rápido do planeta entre 1925 e 1946 (época em que a expulsão do CO₂ na atmosfera era em torno de 10% mais baixa que a atual) e o resfriamento entre 1947 e 1976 (época de acelerado desenvolvimento econômico pós guerra) ([MOLION, 2008](#)).

Mais ainda, estes gases com efeito estufa (dos quais os principais são o dióxido de carbono CO₂, monóxido de carbono CO, óxidos de azoto NO₂, metano e compostos orgânicos voláteis) são resultantes de compostos abundantes e importantes na natureza. O carbono em particular que constitui um dos elementos químicos mais abundantes do universo conhecido e essencial para todas as formas de vida na terra possui uma reciclagem natural e permanente estando em movimento entre a terra o mar e o ar num ciclo chamado ciclo do carbono [Reis \(2013\)](#), [Dias-Filho \(2006\)](#). No entanto, ao unir-se ao oxigênio e jun-

tos formarem o gás carbônico ou dióxido de carbono CO_2 , intensificam o efeito estufa (fenômeno natural que mantém o equilíbrio climático no planeta) colocando o planeta em desequilíbrio no seu sistema climático.

Em síntese, o aumento da temperatura média global de superfície e do gás carbônico CO_2 na atmosfera, vem sendo eventos notáveis e recorrentes desde 1950, com efeitos significativos em todo o planeta (com destaque as zonas mais urbanizadas) [Grigoletti, Lazarotto e Wollmann \(2018\)](#), [Molion \(2008\)](#). Ademais, a queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) continua sendo a principal fonte de geração de energia global (60%), e por esse motivo, o ritmo das alterações climáticas tende a tomar proporções maiores com destaque ao provável aumento de eventos extremos como ondas de calor e extremos de precipitação (principalmente em clima quente) ([REIS, 2013](#); [COU-MOU; RAHMSTORF, 2012](#)).

Como medida de resposta foram criados dentre outros documentos o Protocolo de Quioto em 2006 com metas viradas a redução das emissões de CO_2 em até 5% em relação aos níveis de 1990 entre 2008 e 2012 [Reis \(2013\)](#) e três anos depois em 2009, o Acordo de Copenhague que trouxe metas de redução das emissões globais deste gás em pelo menos 50% até 2050 com concentrações limitadas entre 400ppm-450ppm. Todavia, tanto para o Protocolo de Quioto quanto para o Acordo de Copenhague foram propostas adotadas por alguns países e rejeitadas por outros, no entanto o desafio atual de um modo geral segundo vários autores passa por uma mudança no estilo de vida humano a olhar para a redução nas emissões e a implementação e desenvolvimento de tecnologias de captura e armazenamento de carbono.

Segundo [Lacerda \(2010\)](#), o Brasil (país considerado vulnerável) não observou mudanças significativas nos seus padrões normais além de um ligeiro aumento nas precipitações na região Sul (especificamente na Bacia do Paraná), entretanto a maior parte das emissões neste país advém da dinâmica de uso e cobertura da terra e do consumo de energia ([FERREIRA et al., 2017](#)).

Com forma a criar um mecanismo científico com o propósito de aprofundar e então possibilitar a busca de mais soluções, a pesquisa em menção que resulta da sensibilidade do pesquisador a estes problemas ambientais com os quais se depara no seu dia a dia, aplica métodos de análise estatística (especificamente o coeficiente de correlação cruzada $DCCA$, ρ_{DCCA}) para o estudo do nível de interação da variável ambiental climática temperatura do ar entre doze (12) estações meteorológicas no Estado da Bahia (nordeste do Brasil) usando dados colhidos hora à hora entre Maio de 2008 e Dezembro de 2018 pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para tal baseando-se nos seguintes objetivos:

Objetivo geral

Estudar o nível de interação da variável ambiental climática temperatura do ar entre doze (12) estações meteorológicas no Estado da Bahia (nordeste do Brasil) por via do coeficiente de correlação cruzada DCCA, ρ_{DCCA} .

Objetivos específicos

- Observar a variação temporal da variável ambiental climática temperatura do ar entre Maio de 2008 e Dezembro de 2018;
- Estimar tendência da variável em estudo ao longo dos aproximadamente onze anos nas doze (12) estações meteorológicas estudadas;
- Modelar redes de correlações cruzadas da variável em estudo entre as doze (12) estações meteorológicas estudadas;
- Estimar o nível de correlação cruzada da variável em estudo entre as doze (12) estações meteorológicas em estudo.

Tendo em vista estes objetivos da pesquisa, a dissertação foi organizada da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Onde se apresenta uma contextualização sobre a problemática, o empenho para a resolução e os objetivos da pesquisa;
- **Capítulo 2 - Fundamentação Teórica:** Neste capítulo se apresenta um estudo bibliográfico através de dados secundários mostrando a situação real do problema;
- **Capítulo 3 - Metodologias:** Aqui são apresentados os procedimentos metodológicos aplicados na pesquisa;
- **Capítulo 4 - Resultados e Conclusões:** Por fim, são apresentados os resultados, as conclusões e possíveis recomendações na base do que foi desenvolvido nesta pesquisa.

Fundamentação Teórica

2.1 VARIABILIDADE CLIMÁTICA E ALTERAÇÕES NO PADRÃO MILENAR

Como citado anteriormente nesta pesquisa, a sugestão de que o planeta está a super aquecer-se em resposta a processos com possível influência humana ainda possui alguma rejeição dentro da comunidade científica e sociedade em geral, entretanto o astrofísico americano Charles David Keeling apresentou entre 1950 e 1960 dados que comprovam que com este aumento significativo nas concentrações do CO_2 globais intensificada pela queima de combustíveis fósseis, houve também um incremento nos valores da temperatura do ar, provocando com isso uma variação no comportamento milenar do clima (KEELING, 1960; HARRIS, 2010), conforme se observa na Figura 2.1.

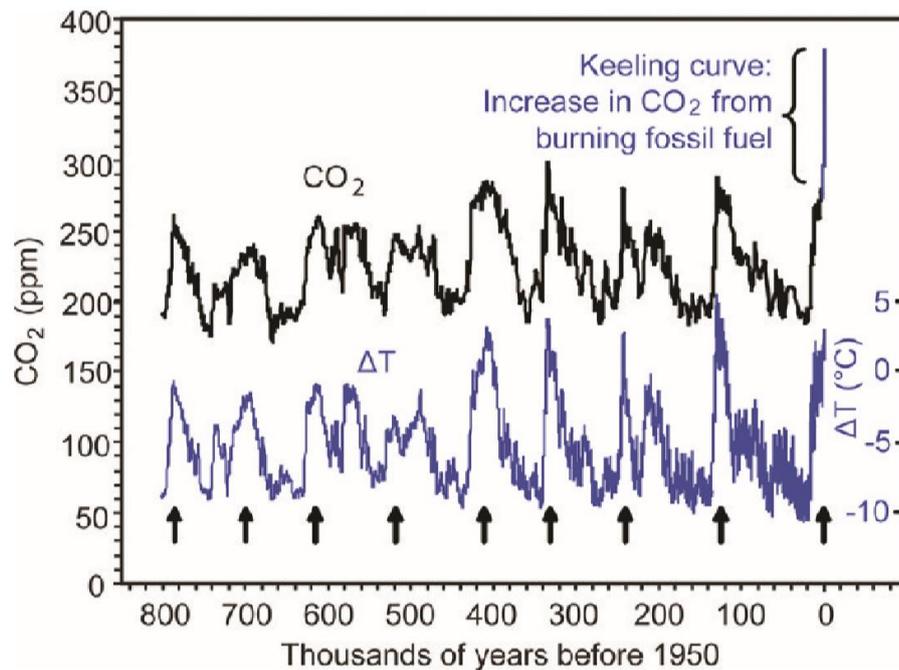


Figura 2.1: Figura com dados atmosféricos de CO_2 e temperatura do ar derivados de medições do núcleo de gelo da Antártica em ciclos de 100.000 anos, em que, se pode ver a curva de Keeling (segmento vertical anexado aos dados do núcleo de gelo no canto superior direito).

Fonte: (HARRIS, 2010)

Nela percebe-se com clareza um aumento significativo nas concentrações de CO_2 acompanhado por uma aumento também nos níveis de variação da temperatura do ar desde o ano de 1950, demarcando com isso um novo ciclo com os extremos mais altos que todos os ciclos anteriores documentados.

Observe-se que este comportamento similar entre as concentrações de CO₂ e a variação da temperatura do ar e aliás aos fenômenos da natureza em geral é perceptível em diferentes níveis de escalas desde a diária com a variação da temperatura do dia e da noite (com ou sem a presença da radiação solar), quanto a anual com as estações anuais e outras escalas como é o caso do ciclo milenar de temporadas quentes e frias apresentado por Keeling em 1957 e posteriormente estudado por vários outros autores.

[Dash et al. \(2007\)](#) sustenta a ideia deste possível aquecimento com dados do norte da Índia onde a temperatura mínima de superfície baixou consideravelmente entre 1955 e 1972 e mostrou aumento significativo até ao então momento, ao mesmo tempo em que a temperatura média aumentou em 1°C e 1.1°C durante os meses de inverno e baixou com uma diferença em até 0.8°C durante as monções de verão. Comportamento com efeitos não apenas observáveis em escala temporal, como na espacial pela distribuição variável do clima ao longo do planeta Terra.

Isto torna cientificamente evidente a variação e ligeiro aumento climático no planeta Terra e ainda a sua relação aos níveis de concentração de CO₂ existente no próprio planeta, advindo parte deste das atividades humanas diárias.

2.2 ATIVIDADES HUMANAS E DESEQUILÍBRIOS CLIMÁTICOS

É quase de consenso científico a dificuldade de separar as atividades humanas por volume de poluição já que quer as fontes endógenas de geração do CO₂ quanto as de outros gases poluentes originam-se do ato de fumar um cigarro de tabaco ao processo de geração de energia por via da queima de minérios como o carvão e entre outros [Sanquetta e Anater \(2012\)](#). No entanto, dentre as mais destacadas e com maior impacto estão:

- A queima de diferentes ecossistemas, como detectado com a passagem do el niño pela Amazônia entre 1997 e 1998 onde o CO₂ foi emitido em três processos diferenciados (parte por combustão, parte por decomposição e parte por estoque de longo prazo em forma de carvão) ([BARBOSA; FEARNside, 1999](#));
- O processo de combustão incompleta, como observado nos veículos responsáveis por 10% do total das emissões globais deste gás, CO₂ ([N.GUERREIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011](#));
- As mudanças no uso da terra, principalmente relacionadas a produção de alimentos e a urbanização ou pavimentação artificial, além do processo de geração de energia pela queima do carvão e paralelamente a extração e refino do petróleo e do gás que são responsáveis pela maior parte da energia global utilizada atualmente ([FERREIRA et al., 2015](#)).

2.3 EFEITOS E VULNERABILIDADE

Fenômenos como a redução das superfícies naturais, a alteração das emissões de ondas longas da superfície urbana, a libertação de poluentes atmosféricos e calor residual determinam um clima local, regional e significativamente global [Xiong, Peng e Zou \(2019\)](#). Em zonas urbanizadas as Ilhas de Calor são os efeitos mais notáveis da alteração no padrão da variabilidade climática entretanto outros efeitos no desequilíbrio climático e ambiental global são bem documentados, [He e Silliman \(2019\)](#), [Lamichhane e Shakya \(2019\)](#) por exemplo, citam que em geral os ecossistemas costeiros, o balanço hídrico, a saúde e o conforto humano são as áreas que tem sido maior impactadas, apesar de os impactos serem notáveis em ainda outras áreas.

[Monjardin et al. \(2019\)](#), cita em um estudo sobre o impacto das mudanças climáticas sobre a frequência e severidade das inundações na bacia do rio Pasig-Marikina nas Filipinas, que onde se previa um aumento na profundidade anual das chuvas em cerca de 0,0399 mm por ano, em 1961 notou-se um considerável aumento em cerca de 0,0249 mm por ano, da mesma forma, a temperatura média na área teria nos próximos 30 anos um aumento incremental de 0,0033°C a cada ano a partir de 1961.

[He e Silliman \(2019\)](#), por sua vez, cita que as alterações climáticas podem afetar fortemente os ecossistemas costeiros em todos os níveis de organização biológica, desde a expressão genética, a fisiologia do organismo celular e de todo o organismo em geral levando a mudanças na sua sobrevivência, crescimento, reprodução e comportamento.

Nos componentes da hidrologia e do balanço hídrico é apresentado por [Lamichhane e Shakya \(2019\)](#) que o escoamento das águas ao longo da bacia hidrográfica do vale de Catmandu tende a aumentar em percentagens de 12% para 2020 e 37% para 2050, aumento com implicações no setor agrícola por meio da alteração da adequação do tipo e duração do cultivo assim como sobre as estações fazendo com que haja invernos mais secos e verões mais úmidos no futuro.

Observe-se que outros efeitos ainda são citados por exemplo para a evapotranspiração e a proliferação de gases poluentes com efeitos nocivos [Blunden e Arndt \(2019\)](#). Entretanto, de uma forma generalizada estes efeitos das mudanças nos padrões climáticos são presentes em toda estrutura ecológica do planeta colocando em risco a vida do próprio homem.

Quanto a vulnerabilidade, [Bessat \(2003\)](#) cita o continente africano como uma das regiões mais vulneráveis especificamente pela capacidade limitada de adaptação olhando pelo reduzido poder econômico. Para o continente americano, além do Brasil, estão dentre os

mais vulneráveis, o Equador, o Peru e o Chile, ao mesmo tempo em que a Índia na Ásia mostra-se com riscos de inundações e secas, ondas de calor e de frio, nevoeiros prolongados, depressões e ciclones de monções (DASH et al., 2007).

Algo particular a observar é que tanto o continente Africano quanto as outras regiões citadas como vulneráveis já adaptaram-se antes a ciclos de variações climáticas porém não de proporções tão elevadas quanto as atuais.

De uma forma geral, apesar desta problemática das variações anormais do clima vir sendo observada em todo o planeta ao longo dos anos, ainda carece de alguma forma de intervenção definitiva, seus efeitos tendem a tomar proporções irreversíveis e pouco domínio ainda se mostra sobre o tema, entretanto sua resolução tende a ser compartilhada entre outros processos físicos internos ao sistema terra-atmosfera-oceano além do efeito estufa Molion (2007), a título de exemplo os filtros de CO₂ da Terra e do oceano que removem em cerca de 45% todas emissões antropogênicas deste gás (WMO, 2020).

Metodologia

3.1 ÁREA EM ESTUDO

Este estudo decorre no Estado da Bahia, o maior da região Nordeste do Brasil, com nível médio de urbanização e densidade demográfica de $25\text{hab}/\text{km}^2$ [IPEA \(2019\)](#). Situado no sul da Região Nordeste do Brasil, o Estado da Bahia é uma das 27 unidades federativas do país e ocupa uma área de $564.733,08\text{km}^2$, com aproximadamente 14 milhões de habitantes. Em termos proporcionais, corresponde a 36,3% da área total do nordeste e 6,64% do território Brasileiro ([IPEA, 2019](#)).

Tratando-se de uma pesquisa com enfoque em compreensão de um problema com efeitos não apenas urbanos a escolha da área para o estudo foi movida pela característica de fusão dos usos e ocupação do solo na região (zonas urbanas, semiurbanas e rurais), pelo nível de urbanização da região ¹ e pela disponibilidade de dados da variável climática temperatura do ar, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET).

O INMET por ser um órgão federal da administração direta do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), espera-se que a confiabilidade dos dados garantam segurança e boa execução do estudo.

Importante sublinhar que estes dados adquiridos através do INMET são coletados nas estações meteorológicas, não chegando a representar o comportamento geral da temperatura do ar dentro de toda a área municipal de onde estas se localizam. Entretanto, espera-se ainda que desenvolver a pesquisa nesta região traga resultados concisos e representativos com relação a situação climática atual local.

3.1.1 Descrição geral da área em estudo

A seguir, são apresentadas as características gerais dos municípios onde são localizadas as estações meteorológicas. Fonte: ([WIKIPEDIA, 2020](#); [IBGE, 2021](#))

1. Bom Jesus da Lapa: Localizado ao longo das margens do rio São Francisco, tem sua economia baseada na agricultura, comércio, turismo e pesca, com sua população estimada para o ano de 2020 de 69.6 mil habitantes.
2. Brumado: Considerado o sexto município mais desenvolvido da Bahia, possui uma população estimada para o ano de 2020 de cerca de 67.3 mil habitantes e sua economia é baseada em mineração e turismo.

¹Segundo UN (2018), a América Latina é a região que apresenta a segunda maior percentagem de urbanização, onde junto com o Caribe totalizam 81%.

3. Cruz das Almas: Considerada uma das principais cidades da Bahia, tem sua economia baseada na agricultura, principalmente na produção de tabaco, laranja e mandioca, com uma população estimada para o ano de 2020 de 63.5 mil habitantes.
4. Feira de Santana: Considerada a segunda cidade mais populosa e um dos principais centros econômicos do Estado, possui uma população estimada para o ano de 2020 de 619.6 mil habitantes.
5. Irecê: Localizado na região norte da Chapada Diamantina. É uma cidade agrícola conhecida por cultivar feijão preto e pela produção de vinho, que abriga uma população estimada para o ano de 2020 de 73.5 mil habitantes.
6. Itaberaba: Com característica agrícola e com sua população estimada para 2020 de 64.6 mil habitantes, a região ficou conhecido como um centro de abacaxi (principal produto agrícola da região).
7. Itiruçu: Município turístico, conhecido pela tradicional festa de São Pedro onde reúne pessoas de todo o Brasil, sua população estimada para 2020 é de cerca de 12.5 mil habitantes.
8. Macajuba: Município turístico famoso por turismo de praia, sua população estimada para o ano de 2020 é de cerca de 11.3 mil habitantes.
9. Piatã: Desenvolvido através da mineração, atualmente é baseado na agricultura e abriga uma população estimada para o ano de 2020 de cerca de 16.9 mil habitantes.
10. Salvador: A maior cidade do Nordeste e a 4^a maior do país em número de habitantes (com uma população estimada para o ano de 2020 de 2.8 milhões de habitantes), declarada patrimônio mundial pela UNESCO e potencialmente rica em agricultura, marinha e indústria.
11. Serrinha: É o 23^o maior município baiano, localizado na mesorregião do Nordeste Baiano e microrregião de Serrinha, onde abriga uma população estimada para o ano de 2020 de cerca de 81.2 mil habitantes.
12. Vitória da Conquista: Serve como um centro regional para as cidades de Barra do Choça, Planalto e Poções. É tradicionalmente produtor de café e um centro em rápida expansão econômica com sua população estimada para o ano de 2020 de cerca de 341.1 mil habitantes.

Na Figura 3.1 e Tabela 3.1 sucessivamente, são apresentados o mapa de localização da área em estudo e as coordenadas geográficas das estações meteorológicas.

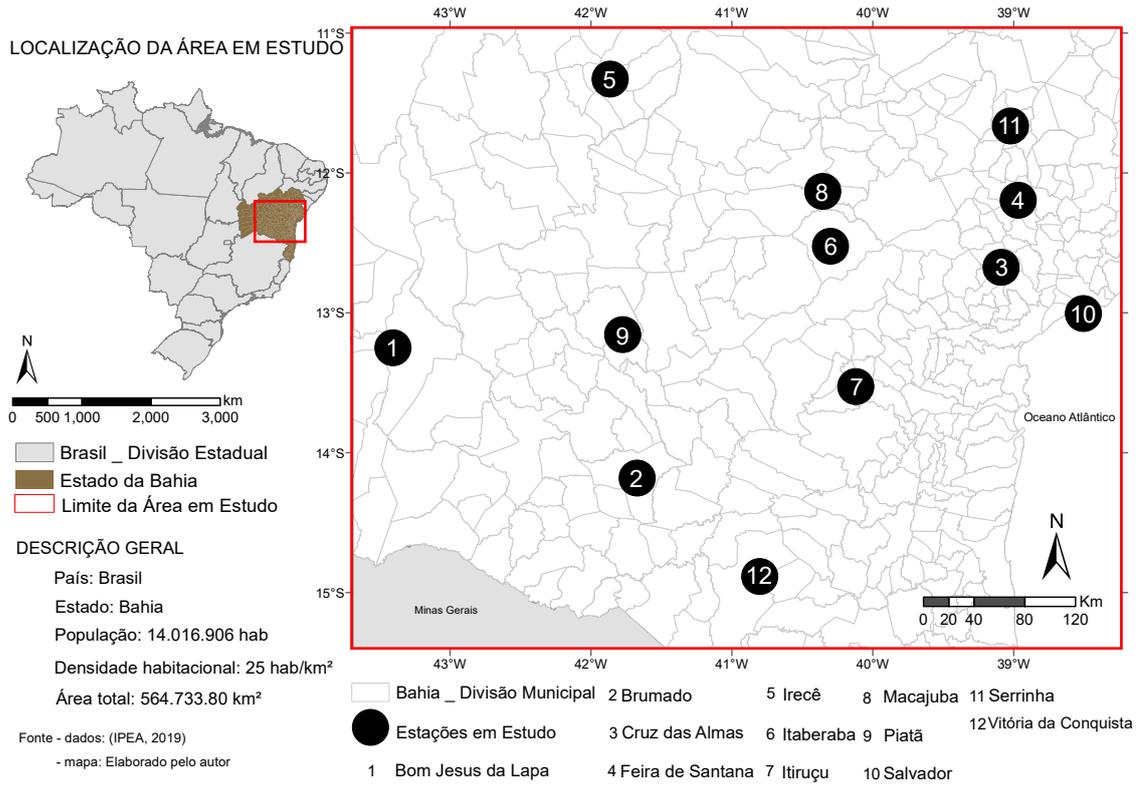


Figura 3.1: Mapa de Localização da Área em Estudo

Tabela 3.1: Tabela com as coordenadas geográficas das estações meteorológicas (INMET).

ID	Estação Meteorológica	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
1	Bom Jesus da Lapa	13°15'3.9384"	43°24'19.3140"	448
2	Brumado	14°10'54.789600	41°40'20.2116"	473
3	Cruz das Almas	12°40'31.5192"	39°5'22.4880"	220
4	Feira de Santana	12°11'46.3200"	38°58'2.5824"	230
5	Irecê	11°19'44.3928"	41°51'52.2144"	768
6	Itaberaba	12°31'26.6232"	40°17'58.9704"	250
7	Itiruçu	13°31'40.1808"	40°7'11.1072"	757
8	Macajuba	12°7'54.0984"	40°21'15.1992"	339
9	Piatã	13°9'20.4516"	41°46'26.8500"	1284
10	Salvador	13°0'19.8540"	38°30'20.7360"	48
11	Serrinha	11°39'52.5096"	39°1'22.6056"	338
12	Vitória da Conquista	14°53'11.1408"	40°48'4.7880"	878

3.2 TIPO DE ESTUDO

A descrição a seguir é baseada em [Lakatos e Marconi \(2003\)](#):

Trata-se de um estudo quantitativo descritivo na medida em que procura de forma numérica ou estatística aprofundar um conhecimento que já é atualmente explorado, em particular descrever a relação entre os grupos de dados a serem estudados de modo a identificar um padrão entre eles.

Quanto a abordagem, a pesquisa apresenta-se como quâli quantitativa, pois a descrição dos fenômenos abordados nela não se traduz apenas em uma abordagem numérica e sim em uma explicação crítica e descritiva na relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito. Com relação aos procedimentos, a presente pesquisa caracteriza-se como empírica pois pretende testar a variável que influencia no problema de modo a definir formas de controle e observação de seus efeitos.

Por guiar-se em documentos já existentes (imagens, planilhas, bibliografias) ganha um teor documental quanto ao objeto, no entanto os dados serão processados e modelados em escritório para a produção do conhecimento sugerido.

3.3 BASE DE DADOS

A base de dados desta pesquisa divide-se em duas (2) principais classes:

1. Base de dados bibliográficos que engloba dissertações, periódicos, artigos de jornal e livros relacionados ao tema, material extraído de forma gratuita do escopo da CAPES, da base de dados da UEFES-PPGM e outras bases de dados digitais disponíveis.
2. Base de dados da variável ambiental climática temperatura do ar (°C), medidos hora à hora durante aproximadamente 10,7 anos em estudo e adquiridos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de forma gratuita.

A seguir ilustrada a base de dados na Figura 3.2.

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
	Barreiras	Bom_Jesus_dIapa	Brumado	Caravelas	Cruz_das_Almas	Feira_de_Santana	Irecê	Itaberaba	Itiruçu	Luiz_Eduardo_Maga.	Macajuba	Piatã	Remanso	Rita_de_Cassia	Salvador	Serrinha	Uauá	Vitória_da_Conquista		
1 Data	05/20/2008	0000	20.4	24.5	19.4	NULL	NULL	21.6	20.5	21.2	17.8	18.7	20.1	18.3	27.0	20.9	24.7	20.1	24.2	16.0
92967	12/31/2018	0900	21.6	21.5	22.6	23.6	21.6	22.5	18.9	22.5	17.7	20.6	19.2	18.3	23.6	20.6	24.5	22.5	21.3	17.6
92968	12/31/2018	1000	22.9	22.9	22.6	25.4	24.1	23.4	21.2	23.5	20.0	21.1	21.8	19.7	26.2	22.4	26.6	24.8	23.3	18.9
92969	12/31/2018	1100	24.7	24.6	23.5	26.8	25.6	26.2	23.0	24.6	21.8	22.4	23.3	21.0	27.7	24.4	27.3	25.7	24.5	20.9
92970	12/31/2018	1200	26.5	27.6	25.4	28.2	27.9	29.1	25.2	27.5	23.8	25.1	25.7	22.3	28.6	26.8	26.3	28.2	26.5	NULL
92971	12/31/2018	1300	27.8	29.1	25.1	30.1	29.9	31.5	26.7	29.1	25.0	26.6	26.6	22.6	28.8	28.2	28.3	30.1	27.5	23.7
92972	12/31/2018	1400	29.7	30.2	26.7	30.1	30.6	31.8	27.9	30.2	26.9	28.4	27.8	24.3	30.7	29.4	28.4	32.5	29.5	25.1
92973	12/31/2018	1500	30.3	31.5	28.1	29.2	31.8	32.5	29.3	31.0	28.3	28.1	30.3	26.4	31.6	30.3	28.9	33.0	30.9	27.1
92974	12/31/2018	1600	31.1	32.4	29.4	29.3	32.9	33.6	29.7	33.2	28.5	29.2	29.7	26.1	33.2	31.9	30.7	33.9	32.5	27.2
92975	12/31/2018	1700	31.6	32.9	29.9	29.3	32.0	33.0	30.7	32.6	29.5	28.8	31.1	26.6	33.5	30.1	30.5	33.6	33.0	NULL
92976	12/31/2018	1800	31.7	26.2	30.2	28.5	32.6	35.6	31.0	33.7	28.1	28.5	31.1	26.1	34.3	31.7	30.6	35.0	34.1	27.1
92977	12/31/2018	1900	31.6	25.4	30.6	28.6	29.6	32.1	30.6	33.5	NULL	27.5	32.1	26.2	34.2	32.7	29.9	34.5	34.0	27.2
92978	12/31/2018	2000	29.8	25.1	30.3	27.1	27.7	30.5	30.0	33.0	NULL	23.3	30.4	24.3	33.8	31.2	27.8	32.9	33.8	26.9
92979	12/31/2018	2100	27.2	25.3	28.4	26.5	26.3	28.1	28.2	32.4	NULL	22.6	30.1	22.4	31.5	30.1	26.8	27.5	33.3	24.2
92980	12/31/2018	2200	26.6	24.6	25.3	25.8	25.7	27.0	26.5	31.1	22.9	22.1	26.1	21.7	29.5	27.9	26.6	25.3	31.6	21.3
92981	12/31/2018	2300	25.5	24.3	24.3	25.7	25.3	26.0	25.2	28.7	22.1	21.3	26.9	21.1	28.7	26.9	26.5	25.5	30.0	21.0
92982																				
92983			90467	87174	91521	84879	88841	86243	91221	89651	87370	88841	84.036	92.919	82	86841	90020	92265	90012	86690
92984			0.97	0.94	0.98	0.91	0.95	0.93	0.98	0.96	0.94	0.94	90%	100%	97	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93

Figura 3.2: Imagem ilustrativa da base de dados da pesquisa

Sendo que as planilhas fornecidas pelo INMET apresentaram valores ausentes na detecção da temperatura em algumas horas (codificadas por NULL), o primeiro cuidado para a seleção das estações meteorológicas para o estudo dentre as 43 disponibilizadas pelo INMET, foi a observância daquelas as quais a percentagem de valores ausentes não excedesse a 10%, ficando assim com dezoito (18) estações meteorológicas. Seis (6) das quais (Barreiras, Caravelas, Luiz Eduardo, Remanso, Sta. Rita de Cassia e Uauá), por insuficiência de dados para o tratamento automaticamente descartadas na aplicação da pesquisa porém usadas no processo de tratamento para a consistência dos dados das estações meteorológicas usadas no estudo.

Ao final doze (12) estações meteorológicas foram eleitas para o estudo sendo elas Bom Jesus da Lapa, Brumado, Cruz das Almas, Feira de Santana, Irecê, Itaberaba, Itiruçu, Macajuba, Piatã, Salvador, Serrinha e Vitória da Conquista.

3.4 TRATAMENTO DE DADOS

Para que fossem executadas as análises foi necessário o tratamento dos dados fornecidos pelo INMET por dois principais fatores. Um foi que o método aplicado na análise de correlações cruzadas (ρ_{DCCA}) exigiu que a quantidade de pontos em uma série (x) fosse igual ou superior a 1000, o outro que a quantidade de pontos em ambas as séries a serem correlacionadas (x,y) fosse a mesma. Entretanto, apesar do cuidado na seleção das estações meteorológicas com até 10% dos valores ausentes houve ainda três tipos de omissões que limitariam a aplicação deste método, sendo elas:

- i. Estação meteorológica onde verificaram-se valores ausentes em horas isoladas;
- ii. Estação meteorológica onde verificaram-se valores ausentes em horas consecutivas;
- iii. Grupos de estações meteorológicas onde verificaram-se valores ausentes na mesma hora;

Conforme é ilustrado na Figura 3.3.

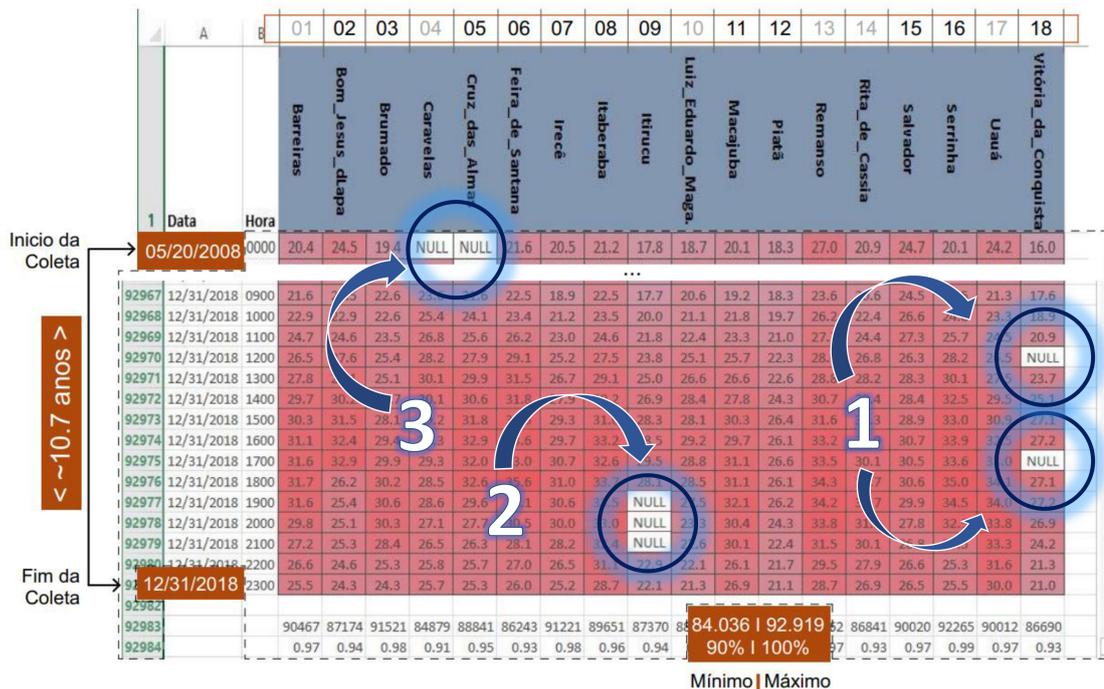


Figura 3.3: Imagem ilustrativa da base de dados com os valores ausentes

O mecanismo usado para a consistência e organização da base de dados que posteriormente seria utilizada na pesquisa baseou-se na imputação de dados, onde para tal, os dados foram imputados substituindo o código (NULL) pelo valor médio com base em dois vizinhos mais próximos, técnica que excluiu o caso (iii) porém para os dois primeiros casos

tendo-se o seguinte:

- i. Para a imputação dos dados em estações meteorológicas com valores ausentes em horas isoladas foram usadas as duas horas mais próximas, sendo a anterior e a subsequente a da ausência, conforme representado na Figura 3.4.

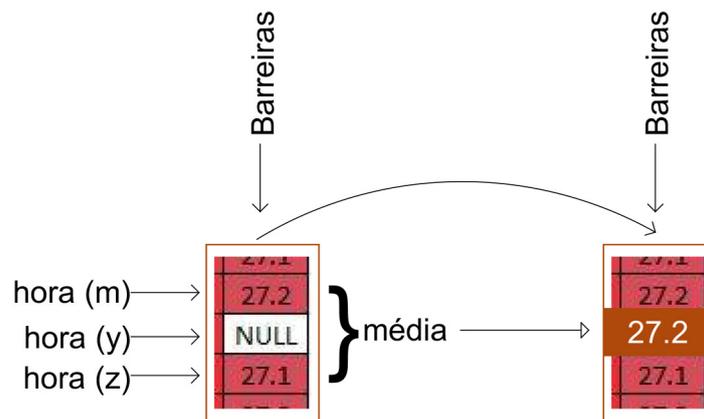


Figura 3.4: Ilustração do mecanismo aplicado na imputação de dados - Caso 1

- ii. Para o caso em que houve estações meteorológicas com valores ausentes em horas consecutivas, a imputação dos dados foi feita usando o critério da distancia com base nas duas estações meteorológicas mais próximas consoante ilustrado na Figura 3.5.

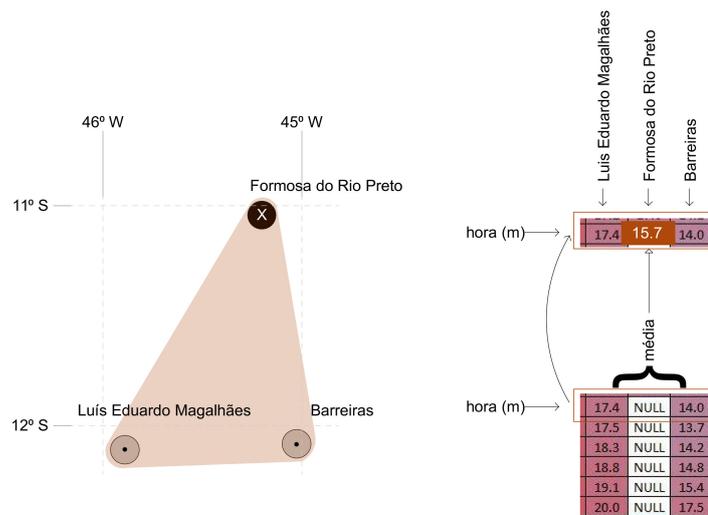


Figura 3.5: Ilustração do mecanismo aplicado na imputação de dados - Caso 2

Após este tratamento, a planilha com os dados das doze (12) estações meteorológicas im-

putados (cada uma das estações meteorológicas com 88.324 valores equivalentes a 88.324 horas) e prontos para as análises foi gerada (Figura 3.6) juntamente com o mapa das estações meteorológicas (Figura 3.7), material que serviu de base para a montagem dos gráficos da temperatura do ar, da função de análise de densidades e ainda para a aplicação das correlações cruzadas.

	A	B	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	Data	Hora	Bom_Jesus_da_Lapa	Brumado	Cruz_das_Almas	Feira_de_Santana	Irecê	Itaberaba	Itruruçú	Macaíba	Platã	Salvador	Serrinha	Vitória_da_Conquista
Início da Colheita	05/20/2008	0000	24.5	19.4	20.9	21.6	20.5	21.2	17.8	20.1	18.3	24.7	20.1	16.0
	05/20/2008	0100	23.4	19.3	20.9	21.5	19.4	20.5	17.6	19.1	17.8	24.7	20.2	15.6
			...											
	12/31/2018	1100	24.6	23.5	25.6	26.2	23.0	24.6	21.8	23.3	21.0	27.3	25.7	20.9
	12/31/2018	1200	27.6	25.4	27.9	29.1	25.2	27.5	23.8	25.7	22.3	26.3	28.2	22.3
	12/31/2018	1300	29.1	25.1	29.9	31.5	26.7	29.1	25.0	26.6	22.6	28.3	30.1	23.7
	12/31/2018	1400	30.2	26.7	30.6	31.8	27.9	30.2	26.9	27.8	24.3	28.4	32.5	25.1
	12/31/2018	1500	31.5	28.1	31.8	32.5	29.3	31.0	28.3	30.3	26.4	28.9	33.0	27.1
	12/31/2018	1600	32.4	29.4	32.9	33.6	29.7	33.2	28.5	29.7	26.1	30.7	33.9	27.2
	12/31/2018	1700	32.9	29.9	32.0	33.0	30.7	32.6	29.5	31.1	26.6	30.5	33.6	27.2
	12/31/2018	1800	26.2	30.2	32.6	35.6	31.0	33.7	28.1	31.1	26.1	30.6	35.0	27.1
	12/31/2018	1900	25.4	30.6	29.6	32.1	30.6	33.5	28.2	32.1	26.2	29.9	34.5	27.2
	12/31/2018	2000	25.1	30.3	27.7	30.5	30.0	33.0	28.0	30.4	24.3	27.8	32.9	26.9
	12/31/2018	2100	25.3	28.4	26.3	28.1	28.2	32.4	25.2	30.1	22.4	26.8	27.5	24.2
	12/31/2018	2200	24.6	25.3	25.7	27.0	26.5	31.1	22.9	26.1	21.7	26.6	25.3	21.3
Fim da Colheita	12/31/2018	2300	24.3	24.3	25.3	26.0	25.2	28.7	22.1	26.9	21.1	26.5	25.5	21.0
	Nº dados		88324	88324	88324	88324	88324	88324	88324	88324	88324	88324	88324	88324
	% dados		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Figura 3.6: Imagem ilustrativa da base de dados da pesquisa com os dados normalizados

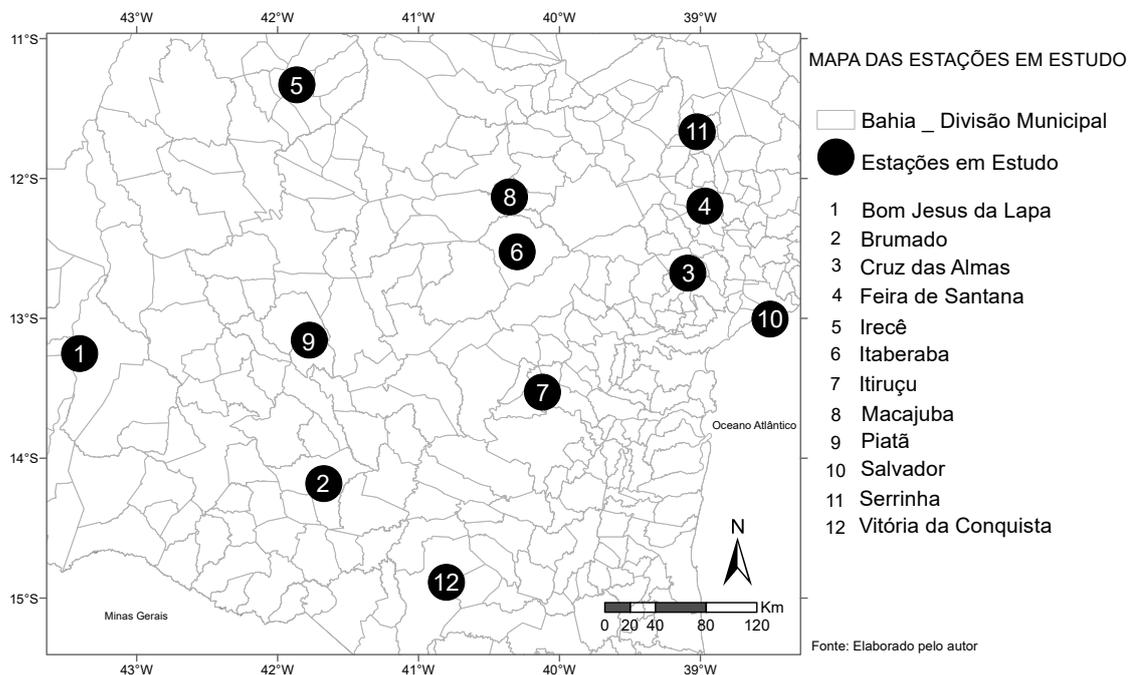


Figura 3.7: Mapa com indicação das estações meteorológicas em estudo e os municípios onde pertencem

3.5 ANÁLISE DE DADOS

Trata-se de uma pesquisa que pretende desenvolver uma análise de séries temporais, ou seja, que através dos dados colhidos hora à hora seja capaz de estudar a interação da variável ambiental temperatura do ar entre as doze (12) estações meteorológicas em função da escala temporal (n), para tal, um teste de correlação cruzada da variável específica entre as doze (12) estações meteorológicas duas a duas será feito aplicando o Coeficiente de Correlação Cruzada DCCA, ρ_{DCCA} .

Este coeficiente de correlação cruzada proposto por Zebende (2011a) com o propósito de quantificar com robustez o nível de correlação cruzada entre séries temporais não estacionárias, é definido como a razão entre a função de covariância (F_{DCCA}^2) e a função de variância (F_{DFA}), segundo Zebende, Brito e Castro (2019) e dado pela expressão 3.1.

$$\rho_{DCCA}(n) \equiv \frac{F_{DCCA}^2(n)}{F_{DFA_{y_i}}(n) F_{DFA_{y_i'}}(n)}. \quad (3.1)$$

em que:

F_{DCCA}^2 - Dada em lei de potência, denomina a correlação cruzada das duas series temporais de um mesmo tamanho (n).

F_{DFA} - Dada em lei de potência, denomina a auto correlação da serie temporal x ou y de um dado tamanho (n).

É importante observar que o coeficiente de correlação cruzada DCCA (ρ_{DCCA}) varia entre -1 e 1, sendo que:

- i. $\rho_{DCCA} = 1$ indica uma correlação cruzada perfeita entre as séries;
- ii. $\rho_{DCCA} = 0$ indica a não existência de correlação cruzada entre as séries;
- iii. $\rho_{DCCA} = -1$ indica uma anti correlação cruzada perfeita entre as séries.

Duas principais vantagens deste coeficiente residem na possibilidade de medir correlações cruzadas entre dois sinais em diferentes escalas de tempo (n) e na robustez do mesmo já que o seu resultado permanece equivalente até 50% da série removida aleatoriamente (WANG et al., 2013; ZEBENDE; BRITO; CASTRO, 2019).

3.5.1 Uma visão sobre os métodos DFA (Detrended Fluctuation Analysis) e DCCA (Detrended Cross-correlation Analysis)

Os métodos DFA (Detrended Fluctuation Analysis) e o DCCA (Detrended Cross-correlation Analysis) são, de entre vários outros, modelos para análise de series temporais não estacionárias. Ou seja, modelos aplicados no estudo de series temporais em que as suas características estatísticas (media, variância, etc.) não sejam constantes ao longo de um determinado tempo.

3.5.1.1 DFA (Detrended Fluctuation Analysis)

Criado por Peng et al. (1994), a análise de flutuação sem tendência possui o principal objetivo de identificar o nível de auto-afinidade e da correlação de longo alcance em uma determinada serie temporal não estacionária Machado (2014) e é modelada através da expressão 3.2.

$$F_{DFA}(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_n(k)]^2} \quad (3.2)$$

É possível, através do expoente α dado por este modelo (DFA), identificar o nível de persistência ou de anti-persistência de longo alcance da serie temporal aleatória a ser estudada (MACHADO, 2014).

3.5.1.2 DCCA (Detrended Cross-correlation Analysis)

Desenvolvido por [Podobnik e Stanley \(2008\)](#) com a finalidade de estimar o expoente que caracteriza a correlação de longo alcance entre duas series temporais não estacionarias de um mesmo numero de observações [Machado \(2014\)](#). Este método dado pela expressão 3.2, que constitui-se na generalização do método DFA (Detrended Fluctuation Analysis), possibilita segundo [Zebende \(2011b\)](#), a identificação de componentes de sazonalidade ou periodicidade nas series temporais a ser analisadas.

$$F_{DCCA}^2(n) \equiv (N - n)^{-1} \sum_{i=1}^{N-n} f_{DCCA}^2(n, i) \quad (3.3)$$

Uma das peculiaridades deste modelo centra-se, segundo [Zebende \(2011a\)](#) e [Machado \(2014\)](#), na retirada das tendências polinomiais que poderiam mascarar as correlações cruzadas.

3.6 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO

A seguir na Figura 3.8 é apresentado o fluxograma metodológico simplificado da pesquisa com os respectivos aplicativos a ser utilizados.

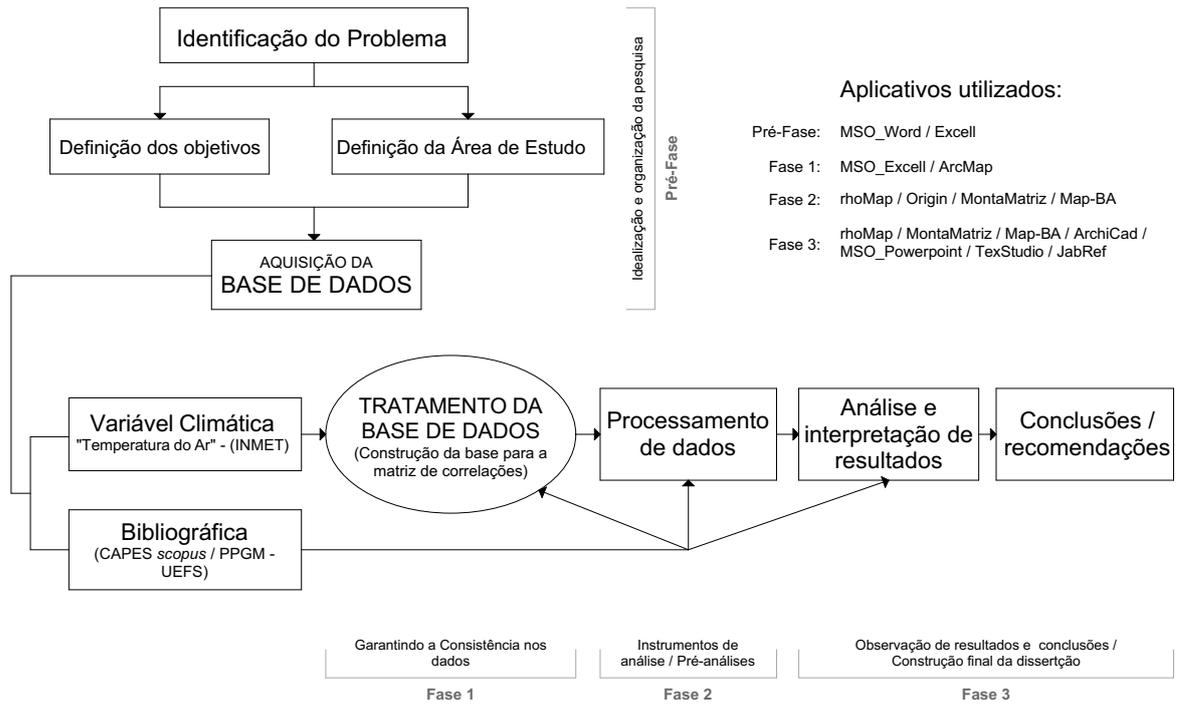


Figura 3.8: Fluxograma metodológico da pesquisa

Resultados e Conclusões

4.1 VARIAÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA DO AR

É vista a temperatura como um dos mais importantes elementos meteorológicos no planeta Terra, uma energia que a depender das propriedades físicas da matéria pode influenciar nas propriedades químicas de toda a vida no planeta incluindo a dos humanos, acelerando com isso a velocidade das reações e do metabolismo destes seres vivos, conforme citam [Tavares \(2000\)](#), [Francisco et al. \(2015\)](#).

No planeta Terra, a maior fonte desta energia é a radiação solar, ou seja, a radiação emitida pelo sol (estrela de grande importância para todo tipo de vida no planeta) [Tavares \(2000\)](#). Porém, outros fatores levantados nesta pesquisa possuem alguma influência sobre o clima Terrestre, por exemplo a concentração de micropoluentes e gases com efeito estufa.

Para perceber a influência solar na variação climática no Estado da Bahia no período em estudo como forma de responder os objetivos desta pesquisa, é feita a seguir uma análise climática em função da atividade de manchas solares na superfície do sol e em seguida uma análise da variação climática nas estações meteorológicas.

4.1.1. Análise de contexto (Atividades de manchas solares)

O período em análise (representado em preto no final da figura 4.1) coincide com o ciclo solar 24 contado entre Janeiro de 2008 e Janeiro de 2019, do contrário que se esperou foi um período com menor variação da atividade de manchas solares na superfície do sol comparado aos ciclos anteriores recentes onde o máximo solar não tenha excedido o limite de 150 manchas solares ([NASA, 2008](#)). Sendo que as manchas representam regiões de temperatura superficial reduzida que varia de aproximadamente 2.700°C e 4.200°C contrastando com o material circundante que possui cerca de 5.500°C segundo [Brandt et al. \(1998\)](#), este comportamento pode dar a perceber como tratando-se de uma época de maior radiação solar e consequente subida de temperatura na superfície terrestre já que o sol constitui a principal fonte de energia no planeta, entretanto trata-se em termos proporcionais de um aumento não significativo, ou seja, sem alcance além da própria atmosfera solar.

Se observado o histórico dos últimos 20 ciclos a contar com este (ciclo 24), correspondentes aos últimos aproximadamente 218 anos a contar desde o ano de 1800, percebe-se uma oscilação entre épocas de alta atividade de manchas solares seguidas de épocas de baixa atividade destas manchas na superfície do sol onde os ciclos três (3) e quatro (4)

correspondentes aos anos entre 1800 e 1826 foram a época com menor atividade destas manchas solares na superfície do sol.

Ainda na Figura (4.1) é possível observar que apesar do ciclo 24 representar uma época de relativamente alta radiação solar ou então de menor atividade de manchas solares na superfície do sol, sete (7) ciclos anteriores a ele foram de atividade de manchas solares ligeiramente maior indicando época de menor radiação solar comparada a este ciclo, algo também contrariado pelos outros cinco (5) ciclos anteriores que indicaram época de atividade de manchas solares relativamente menor, formando épocas de maior e de menor radiação solar ou então de menor e de maior atividade de manchas solares na superfície do sol intercaladas ao longo destes últimos aproximadamente 218 anos.

É importante observar que este comportamento exclui a influência solar no aumento explosivo de temperatura do ar identificado no planeta Terra ao longo deste período, aliás, relação provável de ser firmada entre o comportamento solar e o clima terrestre com base nestes resultados entre os anos de 1960 e 1990 seria de um resfriamento seguido de um aquecimento entre 1991 e próximo a 2018, resfriamento este antecedido por um aquecimento entre 1950 e 1960 (época estudada por Charles David Kelling) que é também antecedido por um resfriamento entre 1925 e próximo de 1948.

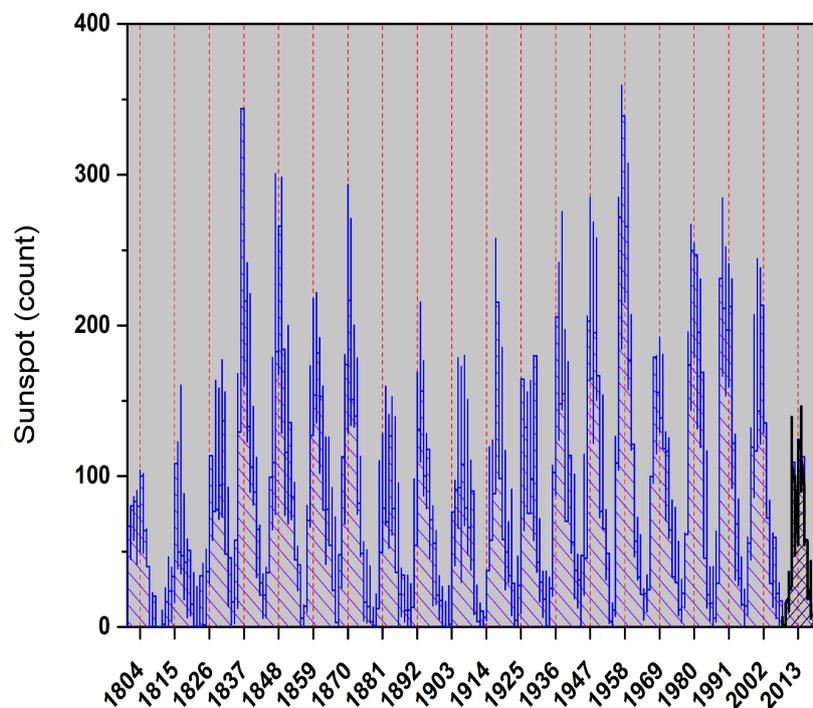


Figura 4.1: Atividade de manchas solares ao longo do período em análise. Em preto o período analisado na pesquisa em alusão, coincidente com o ciclo solar 24 (NASA).

4.1.2 Análise de variação temporal da temperatura do ar nas estações meteorológicas

Em termos de variação da temperatura do ar nas estações meteorológicas ao longo dos aproximadamente 10,7 anos estudados, o observado foi um comportamento térmico crescente nos valores de temperatura do ar máximos para a maior parte das estações meteorológicas por mais que de maneira pouco significativa, consoante apresentado na Figura 4.2.

Na estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa o cenário observado foi que os valores mínimos, médios e máximos variaram de forma isolada, onde a mínima oscilou entre perto de 13°C e 20°C, a média que partiu na maioria dos casos nos 25°C não excedeu a 30°C e a máxima na maioria dos casos de perto de 35°C a 40°C, o que deixa uma amplitude de aproximadamente 5°C entre elas.

Na estação meteorológica de Brumado a realidade foi de maior distribuição das mínimas em torno do eixo dos 15°C e com valores menores que a estação anterior, tendo em vários casos temperaturas de perto dos 12°C, ou seja, um comportamento crescente nos picos mais baixos que partiu dos 10°C caminhando a 14°C na medida em que a escala aumenta. Ainda nesta estação meteorológica os valores médios oscilaram ao longo do eixo dos 25°C enquanto os máximos dos perto de 32°C a aproximadamente 41°C.

Em Cruz das Almas por sua vez houve uma concentração dos valores mínimos e médios na faixa entre os 15°C a 26°C sendo que a linha ténue de separação entre os dois foi a dos 20°C, porém, a média oscilou na sua maior parte abaixo dos 25°C com seus picos máximos um pouco acima da linha dos 25°C. Por outra parte os valores máximos que demonstraram uma decaída nos picos mínimos em escala central variaram em torno de 23°C e 39°C, não tendo observado picos máximos iguais ou superiores aos das duas estações meteorológicas anteriores.

A estação meteorológica de Feira de Santana teve observações de valores mínimos de temperatura do ar que variaram na sua maioria dos 14°C aos exatamente 20°C enquanto o valores médios variaram de 21°C a perto de 26°C, a temperatura máxima nesta estação meteorológica oscilou entre 29°C a 37°C enquanto a escala temporal aumentou, de observar que nesta estação meteorológica houve valores que foram até a um pico de 40°C.

A temperatura do ar na estação meteorológica de Irecê teve um comportamento quase que similar ao de Brumado onde a mínima oscilou ao longo do eixo dos 15°C com picos não superiores a 19°C ou 20°C. Quanto a temperatura média nesta estação meteorológica observou-se um ligeiro isolamento com uma oscilação dentro da faixa dos 21°C aos 26°C e a máxima que esteve isolada da média com picos baixos de 31°C e picos altos de perto de 38°C na sua maioria.

Itaberaba observou temperaturas do ar mínimas que oscilaram maioritariamente dos 15°C a 20°C, médias que oscilaram em torno de 25°C e máximas entre 32°C e 37°C com um pico acima dos 40°C.

A estação meteorológica do Itiruçu foi a que apresentou os menores valores médios até então observados, valores similares posteriormente viriam a ser observados na estação meteorológica de Vitória da Conquista. Nesta estação meteorológica os valores mínimos de temperatura do ar estiveram na faixa entre os 12°C e os 17°C, os valores médios estiveram quase sempre oscilando próximo ao eixo dos 20°C e os máximos entre os 28°C e os 36°C, com uma oscilação de picos baixos que cresceu, decresceu e voltou a crescer na medida em que a escala temporal aumentou.

Em Macajuba os valores mínimos observados de temperatura do ar foram quase que similares aos de Itiruçu onde a oscilação foi ao longo do eixo dos 15°C, porém houve picos altos onde quase todos casos atingiram os 19°C. A temperatura média variou entre 22°C e 27°C, nesta, o pico baixo foi quase que linear ao longo de toda a escala temporal e os picos altos oscilaram entre subidas e descidas com uma tendência crescente. Nesta estação meteorológica, a temperatura do ar máxima variou dos 31°C aos 37°C e 38°C na sua maioria com apenas um pico acima dos 40°C.

A estação meteorológica de Piatã seguindo a da Vitória da Conquista observou os segundos menores valores de temperatura do ar mínima na ordem dos 10°C aos 15°C, ainda nesta estação a temperatura do ar média que teve um comportamento quase que similar ao das estações meteorológicas de Irecê e Feira de Santana, oscilou entre os 17°C e os 22°C enquanto a temperatura do ar máxima que partiu dos 24°C sendo o único caso, oscilou muito próximo do eixo dos 30°C, com picos abaixo dos 35°C.

Salvador foi a estação meteorológica com os valores de temperatura do ar mínimos mais altos e diga-se de um modo geral com os valores de temperatura do ar mínimos, médios e máximos mais concentrados, sendo que ao todo a oscilação da temperatura foi na faixa dos 19°C aos 36°C. Nesta estação, a temperatura mínima ao longo dos aproximadamente 10.7 anos de estudo esteve quase que linearmente no eixo dos 20°C enquanto a média oscilava entorno do eixo dos 25°C com picos baixos em 24°C e picos altos em 27°C quase que de forma linear ao longo de toda época estudada. A temperatura máxima nesta estação meteorológica teve um comportamento oscilatório tendendo ao crescimento, onde oscilou entre os 28°C e os 36°C.

Na estação meteorológica de Serrinha o observado foi que a temperatura do ar média teve um comportamento quase que linear, não crescente e não decrescente. A temperatura mínima nesta estação meteorológica oscilou entre os 13°C aos 20°C, a média teve os

seus picos mais altos na maioria dos casos em 26°C e os mais baixos em 21°C enquanto a máxima oscilou entre os 28°C e os 37°C com alguns picos altos porém não excedendo os 40°C.

A estação meteorológica de Vitória da Conquista foi a que observou os valores mais baixos de temperatura, os valores médios baixos mais concentrados e valores máximos razoavelmente baixos no entanto iguais a mais algumas estações meteorológicas. A oscilação dos valores mínimos foi na ordem dos 8°C aos picos mais altos em torno dos 15°C, a temperatura média teve uma oscilação que variou de crescente a decrescente em torno dos 20°C com apenas um pico acima dos 25°C e a temperatura máxima que mostrou dois picos baixos em torno dos 26°C ou 27°C teve a sua oscilação dentro da faixa dos 30°C e 35°C porém com especificamente três picos mais altos que foram até aos 36°C e perto de 37°C.

De uma forma generalizada, as estações meteorológicas de Bom Jesus da Lapa, Cruz das Almas e Itaberaba apresentaram alguma similaridade no comportamento dentro dos valores de temperatura do ar mínimos, enquanto para as médias estas similaridades viram-se para as estações meteorológicas de Itaberaba, Salvador e Brumado de forma isolada e ainda para Irecê, Macajuba, Feira de Santana, Cruz das Almas e Serrinha. Quanto ao comportamento dos valores máximos as estações meteorológicas que mostraram alguma similaridade foram as de Feira de Santana, Serrinha e Cruz das Almas.

Nesta ordem, as estações meteorológicas de Vitória da Conquista e Piatã apresentaram as temperaturas do ar mínimas mais baixas, enquanto Cruz das Almas, Salvador, Feira de Santana, Itaberaba e Bom Jesus da Lapa apresentaram as temperaturas do ar mínimas mais altas. Nos valores das temperaturas médias, Piatã e Vitória da Conquista apresentaram os mais baixos enquanto Bom Jesus da Lapa, Salvador e Brumado apresentaram os mais altos.

Itaberaba, Salvador, Piatã e Vitória da Conquista foram similares em apresentar os valores de temperatura máxima mais baixos, enquanto o oposto verificou-se em Bom Jesus da Lapa e Brumado onde foram colhidos os valores de temperatura do ar máximos mais altos.

As estações meteorológicas localizadas ao longo ou então próximo a linha de costa como é o caso de Cruz das Almas, Salvador, Feira de Santana e curiosamente Bom Jesus da Lapa (constituindo uma exceção) foram as que apresentaram as temperaturas do ar mínimas mais altas, por outro lado Bom Jesus da Lapa e Brumado que se localizam mais para o interior, apresentaram as temperaturas do ar máximas mais altas, excedendo a estação meteorológica de Salvador que corresponde ao maior centro urbano da região.

Vitória da Conquista e Piatã foram as estações meteorológicas que detetaram as tem-

peraturas do ar mais baixas na região ao longo de todo o período estudado.

É esperado que as temperaturas máximas e mínimas atinjam picos altos em épocas de verão e que um comportamento inverso seja notável em épocas de inverno, entretanto apesar de ser observável na grande maioria dos casos é este um comportamento por vezes ignorado como é perceptível na estação meteorológica de Salvador.

Importante observar nestes resultados (Figura 4.2), que assim como na análise da atividade de manchas solares na superfície do sol há indicação de um sinal crescente da temperatura no período em estudo. Porém, a limitação na variável analisada impede com que se firme uma relação entre os fenômenos na medida em que variáveis como a urbanização ignoradas da análise possuem influência direta sobre estes.

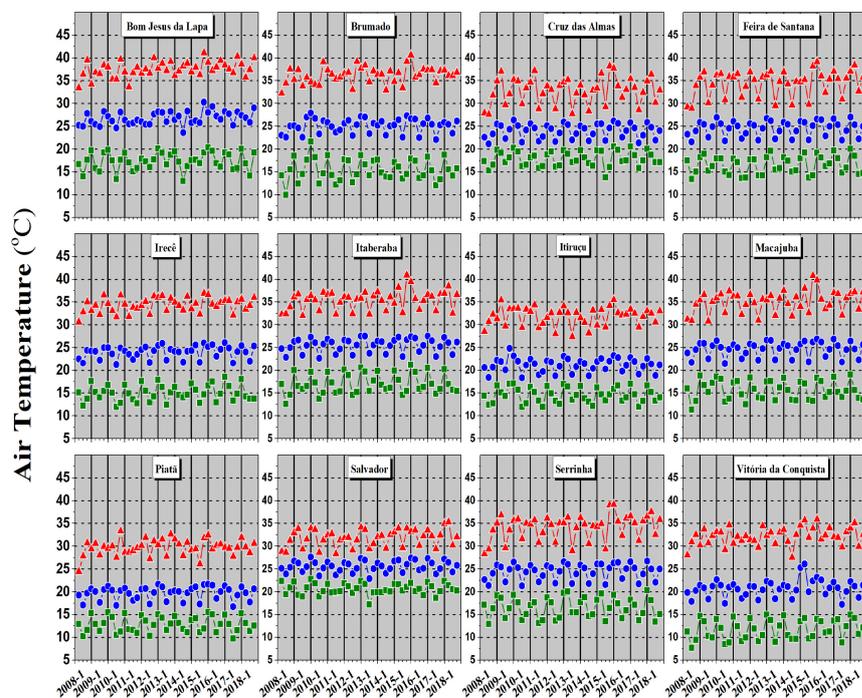


Figura 4.2: Gráficos da variação temporal da Temperatura do Ar nas doze (12) estações meteorológicas medida em intervalos de três meses. Em que, a curva a vermelho indica a variação dos valores da Temperatura do Ar máxima, a azul a variação na Temperatura do Ar média e a verde a variação na Temperatura do Ar mínima.

4.1.3 Análise de tendência dos dados

O ajuste linear dos dados feito em uma escala trimestral (Figura 4.3), mostra um sinal positivo para todas estações meteorológicas, ou seja, que a temperatura do ar ao longo do período em análise teve um comportamento crescente em todas as doze (12) estações meteorológicas (mais em algumas em detrimento de outras).

Nota-se ainda uma variação com base no nível deste ajuste linear dos dados que torna clara uma faixa que cobre as estações meteorológicas 9, 2, 7, 3 e 10 correspondentes a Piatã, Brumado, Itiruçu, Cruz das Almas e Salvador com os valores de ajuste linear relativamente baixos comparados as estações meteorológicas a sua volta quer para o noroeste (1, 5, 11, 8, 6 e 4 ou Bom Jesus da Lapa, Irecê, Serrinha, Macajuba, Itaberaba e Feira de Santana) ou para o sudeste (estação meteorológica 12 ou Vitória da Conquista) que apresentam um ajuste linear mais alto.

É importante notar que este comportamento térmico crescente conforme se pode observar também pela tendência ainda na Figura 4.3 reforça a sujeição do aumento gradual da temperatura do ar próximo a superfície terrestre citado pela comunidade científica, ademais o comportamento explosivo observado na estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa onde apresenta o maior valor do ajuste linear dos dados (desproporcional ao observado em todas outras estações meteorológicas) sugere a presença de uma Ilha de Calor, entretanto as estações meteorológicas localizam-se em regiões isoladas dos centros urbanos.

Por não existir de certa forma uniformidade nos dados entre as estações meteorológicas localizadas no interior e as que se encontram mais próximo a linha de costa torna difícil associar os valores térmicos observados as características físicas das regiões onde localizam-se as estações meteorológicas, porém é notável que as regiões mais quentes apresentaram valores de subida mais significativos tornando-se mais quentes ainda, ou seja, que as estações meteorológicas com valores máximos mais elevados apresentaram uma tendência de crescimento com os valores mais elevados como é o caso de Bom Jesus da Lapa, enquanto as que possuíram valores máximos relativamente menos elevados tiveram um crescimento numa escala com valores também reduzidos como foi o caso de Itiruçu.

ID	Estações	y=a+bx		Sinal	Tendência
1	Bom Jesus da Lapa	25.85	0.041	Positivo	27.7
12	Vitoria da Conquista	20.12	0.027	Positivo	21.4
5	Irece	23.44	0.024	Positivo	24.5
11	Serrinha	23.95	0.019	Positivo	24.8
6	Itaberaba	25.17	0.017	Positivo	25.9
4	Feira_de_Santana	24.17	0.016	Positivo	24.9
8	Macajuba	24.33	0.014	Positivo	25.0
9	Piata	19.40	0.012	Positivo	20.0
10	Salvador	25.30	0.012	Positivo	25.8
2	Brumado	24.85	0.011	Positivo	25.3
3	Cruz das Almas	23.72	0.010	Positivo	24.2
7	Itiruçu	21.12	0.002	Positivo	21.2

Figura 4.3: Tabela com o ajuste linear dos dados das estações meteorológicas em estudo desde o mais alto ao mais baixo.

4.1.4 Análise da função de distribuição de probabilidades

A análise da função de distribuição de probabilidades (Figura 4.4) mostra uma distribuição bimodal onde a segunda moda é menos representativa que a primeira para todas as estações meteorológicas, havendo aquelas como Cruz das Almas, Macajuba e Salvador cuja proximidade entre as modas é tão elevada que a transição entre elas é quase imperceptível.

Nota-se que o segundo ajuste para cada estação meteorológica é em todos os casos menos representativo que o primeiro estando em todos eles em torno dos 25°C e os 30°C, ademais cidades como Cruz das Almas, Feira de Santana, Piatã e Salvador que possuem uma distribuição menos equitativa entre as modas indicam cidades com uma classe de temperatura do ar relativamente mais dominante ao longo do período em estudo.

Se observado o ajuste da soma das curvas dos ajustes percebe-se que a temperatura do ar mais dominante ao longo do período em estudo encontra-se na faixa entre os 18°C e 25°C em todas as estações meteorológicas isoladamente.

Notar que a estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa onde foi detetado o maior sinal de ajuste nos dados apresenta uma distribuição quase equitativa entre as modas,

dando a percepção de duas classes de temperatura do ar dominantes ambas na escala entre os 18°C e 27°C. Comportamento igual observado nas estações meteorológicas de Piatã e Brumado, nesta última com a temperatura do ar dominante na escala entre os 23°C e 30°C.

Com base nestes resultados percebe-se ainda que a estação meteorológica de Piatã apresenta a temperatura do ar dominante mais baixa dentre todas as estudadas, onde a moda mais concentrada encontra-se em volta dos 17°C.

Além disso, observa-se que as estações meteorológicas de Salvador e Cruz das Almas apresentam um comportamento quase similar em termos de distribuição dos dados e da escala de temperatura do ar dominante, dando a sujeição da influência marinha no seu comportamento pela proximidade destas ao oceano atlântico.

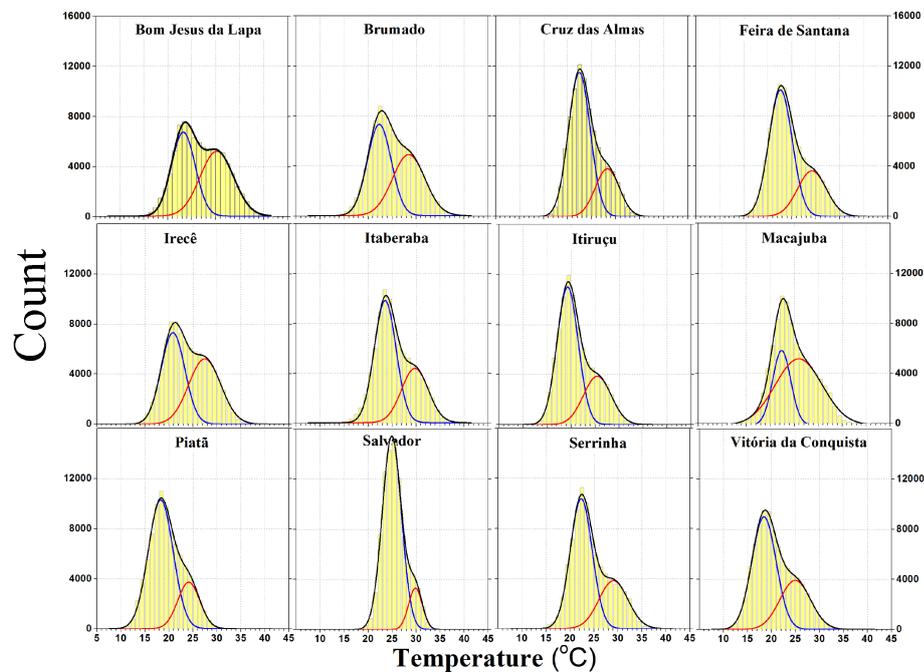


Figura 4.4: Gráficos com a Função de distribuição bimodal de probabilidades (densidades estimadas), em que, a curva em azul representa o ajuste da moda da temperatura do ar mais dominante ao longo do período em estudo, a vermelho representando o ajuste da segunda moda e em preto a curva do ajuste das somas dos ajustes.

4.2 MODELAGEM DE REDES DE CORRELAÇÕES CRUZADAS

As redes de correlações cruzadas são modeladas com base em três (3) programas de computador construídos para o efeito, são estes rhoMap, Monta Matriz dos Dados em Excel e Map-BA das Estações Meteorológicas, com as funções específicas para executar as correlações cruzadas aos pares de estações meteorológicas, modelar a matriz de correlações cruzadas entre as estações meteorológicas com base no nível de coeficiente de correlação cruzada e imprimir a matriz de correlações cruzadas sucessivamente, consoante são descritos a seguir.

4.2.1 Modelagem do 1^o programa de computador (rhoMap)

Importante relatar que as correlações cruzadas são feitas aplicando o coeficiente de correlação cruzada DCCA (ρ_{DCCA}) sobre as séries temporais (dados meteorológicos ilustrados na figura 4.8), onde a lógica de combinações entre as séries é, a primeira com todas as outras (duas a duas), a segunda com todas as outras (duas a duas), a terceira com todas as outras (duas a duas), assim sucessivamente até a combinação da 11^a e a 12^a série (excluindo aquelas já feitas), processo que resultaria em 66 combinações prováveis. Entretanto, a construção do aplicativo rhoMap (ilustrada a sua tela interativa na Figura 4.5), teve como o propósito facilitar o desenvolvimento desta atividade pois faria de forma automática e rápida dando eficácia ao processo.

```

C:\A001.MESTRADO\MCTA\Dissertação\rhodcca\rhoDCCA Correlation Map\rhoCorrelationMap.exe
Informativo:
O arquivo deve ser no formato CSV com separador [;] Casas decimas com [.].
O arquivo NAO pode ter linha de cabecalho.
O arquivo DEVE ter a coluna inicial de descricao.
A ultima linha de arquivo DEVE ser uma linha vazia.

Ex1. Dados da tabela [X vs Y] com 4 colunas:
15-JUL-2008 18.2 18.7 18.6 19.3 90 88 89 86
16-JUL-2008 17.8 17.5 17.1 16.8 91 89 87 88

Ex1. Arquivo csv [X vs Y] com 4 colunas:
15-JUL-2008;18.2;18.7;18.6;19.3;90;88;89;86
16-JUL-2008;17.8;17.5;17.1;16.8;91;89;87;88

Ex2. Dados da tabela [X vs X] com 5 colunas:
15-JUL-2008 18.2 18.7 18.6 19.3 18.2
16-JUL-2008 17.8 17.5 17.1 16.8 17,8

Ex2. Arquivo csv [X vs X] com 5 colunas:
15-JUL-2008;18.2;18.7;18.6;19.3;18.2
16-JUL-2008;17.8;17.5;17.1;16.8;17,8

O programa so considera coluna e linha util e ignora a coluna inicial de descricao.
Ex1: Coluna 1 Linha 1 = 18.2 e 90 refere a coluna do lado X ou Y [Ex1].
Ex2: Coluna 1 Linha 1 = 18.2 refere a coluna do lado X [Ex2].
=====
Deseja correr o box em [0=Linear, 1=Log] ? _
    
```

Figura 4.5: Tela interativa do aplicativo rhoMap construído para a execução das correlações cruzadas aos grupos de combinações

Este programa de computador apresentou não apenas valores do coeficiente de correlação cruzada (ρ_{DCCA}), como também valores da covariância (F_{DCCA}^2) e da variância (F_{DFA}), porém aplicados nesta pesquisa apenas valores do coeficiente de correlação cruzada. Conforme se ilustra na Figura 4.6 onde se faz uma análise de correlações cruzadas de 9 combinações que de alguma forma resumem os vários tipos de comportamentos observados.

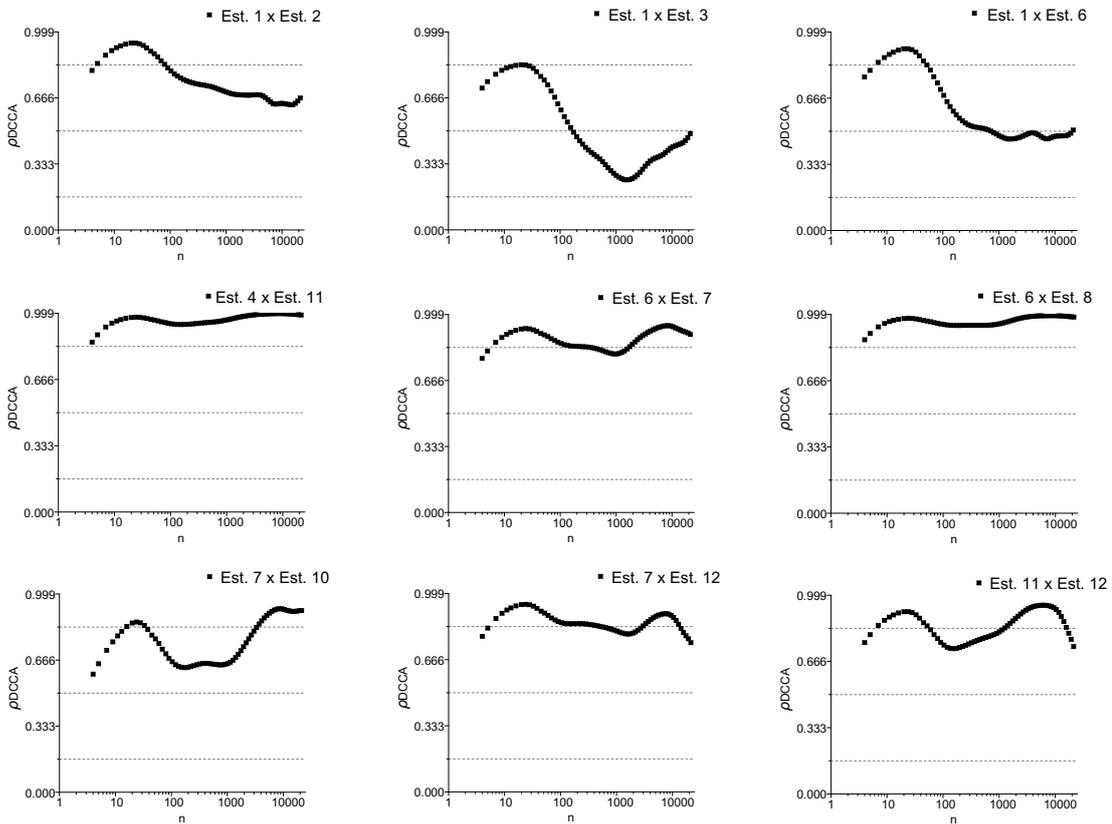


Figura 4.6: Análise de correlações cruzadas (Gráficos ρ_{DCCA} de 9 combinações adquiridas através do programa rhoMap: Combinações 1x2, 1x3, 1x6, 4x11, 6x7, 6x8, 7x10, 7x12, 11x12)

Nestes resultados pode se perceber que as correlações com a estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa (1) apesar de positivas são exatamente opostas de todas as outras combinações em comportamento, onde enquanto em outras combinações o coeficiente de correlação cruzada sobe com o início da escala temporal nestas baixa por período curto e sobe numa proporção mais reduzida.

Outro elemento a observar ainda nesta figura 4.6 é que as combinações (4x11) e (6x8) possuem um coeficiente de correlação cruzada próximo a 1 ao longo de um período largo na escala temporal, indicando uma correlação cruzada quase perfeita entre as estações meteorológicas.

Elucidar que por tratar-se de uma variável na qual em todas as estações meteorológicas tenha apresentado tendência linear crescente durante o período estudado, era esperado

que o coeficiente de correlação cruzada fosse positivo, justificando o fato de todas as correlações cruzadas possuírem o coeficiente de correlação cruzada DCCA (ρ_{DCCA}) entre 0,333 e 1,000.

Em uma análise geral o observado foi que a maior parte dentre as 66 combinações apresenta um coeficiente de correlação cruzada entre 0,666 e 0,999 indicando a existência de correlação cruzada forte entre estes pares de combinações, em destaque para treze (13) combinações que apresentam este coeficiente de correlação cruzada entre 0,844 e 0,999 (2x9, 4x7, 4x8, 4x11, 5x8, 5x9, 6x7, 6x8, 6x9, 7x9, 7x11, 7x8, 8x11), demonstrando uma escala de correlação cruzada extremamente alta, porém não perfeita.

Se separadas em grupos podem ser divididas entre aquelas com o ρ_{DCCA} extremamente forte na escala entre 0,844 e 0,999 (as citadas acima), aquelas cujo ρ_{DCCA} é forte entre 0,666 e 0,999 (maior parte das combinações incluindo as primeiras), as que possuem o ρ_{DCCA} tendendo a baixar e as que o têm com tendência a estabilizar ao longo de períodos largos na escala temporal (3x4, 4x8, 4x11, 6x8, 8x9, 8x11).

Quando observadas em relação a escala temporal, nota-se uma queda rápida no início da escala e depois um salto gradual para correlações cruzadas muito fortes entre quase todas as combinações que depois dividem-se em, um grupo que se mantém estável entre 0,844 e 0,999, outro grupo que oscila com tendência a baixar mas nunca para menos de 0,666 e outro grupo ainda que cresce com valores entre 0,333 e 0,666.

A variação rápida no início da escala sugere a passagem de algum evento extraordinário no início da coleta ou então na base dos dados que afetou a todas as estações meteorológicas isoladamente, entretanto é importante observar que nenhum par de combinações apresenta uma correlação cruzada perfeita ao longo de todo o período analisado.

Traduzindo estes valores para a percepção real do comportamento da variável em estudo poderia se dizer que se analisada aos pares de estações meteorológicas a temperatura do ar é fortemente correlacionada ao longo de todas as doze (12) estações meteorológicas estudadas, ou seja, que o observado a partir do ajuste linear de dados (sinal positivo para cada estação de forma isolada) atestaria a uma subida de temperatura partilhada entre todas as estações meteorológicas.

Para então perceber o nível de correlação cruzada aos grupos de combinações foi construído o Monta Matriz dos Dados em Excel, este aplicativo possibilitaria a modelagem de uma matriz apenas de combinações que apresentassem determinadas características, facilitando com isso a análise das correlações.

4.2.2 Modelagem do 2º programa de computador (Monta Matriz dos Dados em Excel)

Construído através do mapa das estações (Figura 3.7) e dos resultados obtidos do rhoMap (Figura 4.6), este programa de computador seria usado especificamente na modelagem de matrizes de correlações cruzadas com base em combinações que apresentassem o coeficiente de correlação cruzada forte dentro de todas as 66 combinações prováveis tendo uma estação meteorológica como referência, para isso definida a escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000.

A seguir é apresentado na Figura 4.7 a tela interativa do Monta Matriz dos Dados em Excel.

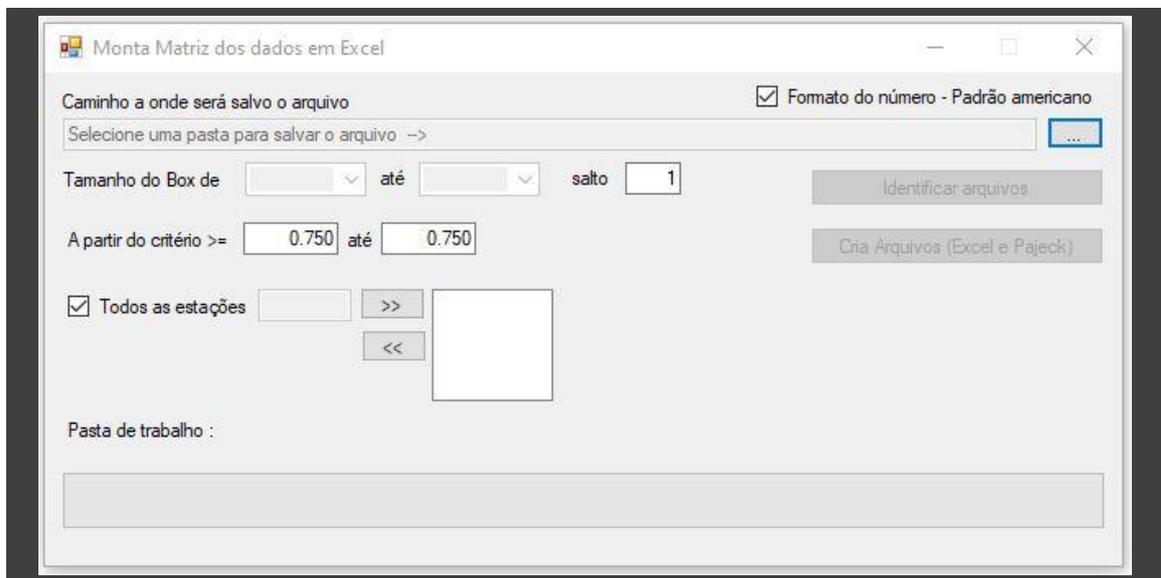


Figura 4.7: Tela interativa do programa Monta Matriz dos Dados em Excel

Três (3) principais características foram obedecidas na definição das estações meteorológicas referenciais para a execução das análises neste aplicativo, são elas:

1. Estação meteorológica com o valor de ajuste mais elevado (Bom Jesus da Lapa -1);
2. Estação meteorológica localizada no local de desenvolvimento do estudo e um dos principais centros econômicos da região (Feira de Santana - 4).
3. Estação meteorológica localiza no maior centro urbano da região (Salvador - 10);

Com isso obtidos os resultados que serão apresentados a seguir no ponto 4.3 deste capítulo.

4.2.3 Modelagem do 3º programa de computador (Map-BA das Estações Meteorológicas)

Para a impressão da matriz de correlações cruzadas e então a visualização da rede de correlações cruzadas no mapa das estações meteorológicas em estudo, foi construído o Map-BA das Estações Meteorológicas Zebende et al. (2020), ilustrado na Figura 4.8. Nela, pode visualizar-se a tela interativa do aplicativo mostrando o mapa com as doze (12) estações meteorológicas em estudo e no seu canto inferior direito uma escala de cores mostrando o nível de correlação cruzada entre as combinações sendo estudadas.

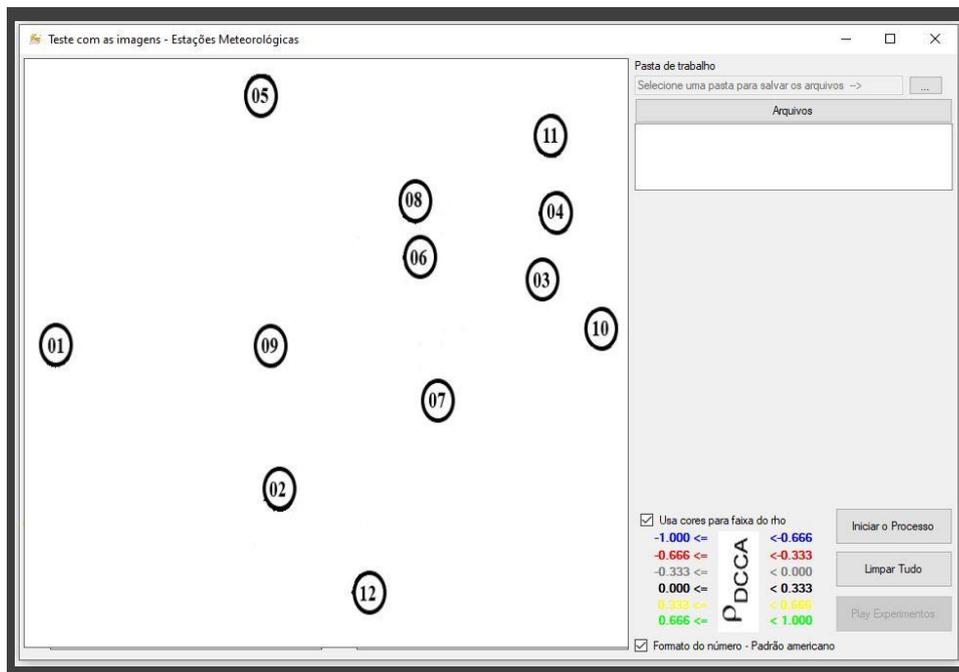


Figura 4.8: Tela interativa do programa Map-BA das Estações Meteorológicas

4.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÕES CRUZADAS

Os resultados a ser apresentados derivam das análises feitas aplicando o Monta Matriz dos Dados em Excel sob os seguintes critérios:

- Box: De 4 até 13
- Salto: 1
- Escala do ρ_{DCCA} : 0,666 até 1,000
- Estações referenciais: Bom Jesus da Lapa (1), Feira de Santana (4) e Salvador (10) separadamente.

O salto 1 torna a escala temporal entre tamanho do box 4 até 13 precisa e robusta estatisticamente por dois principais fatores:

1. Quase todas as combinações aos pares de estações meteorológicas apresentam o coeficiente de correlação cruzada muito forte logo ao início da escala temporal;
2. A quantidade de box (n) entre tamanho do box 4 até 13 excede a quantidade de box (n) mínima recomendada em análise de séries temporais (4).

4.3.1 Análise de correlações cruzadas tendo como referência a estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa (1)

Se analisada em relação as outras estações meteorológicas Bom Jesus da Lapa possui correlação cruzada forte em todas as escalas de box (n) estudadas, sendo que a correlação cruzada com a estação meteorológica de Salvador é a que tardiamente se firma.

Esta relação entre Bom Jesus da Lapa e Salvador é importante de ser ressaltada pelas características observadas nas estações de forma particular (uma com o ajuste mais alto dentre todas as estações meteorológicas estudadas, e outra com os valores de temperatura mínimos mais elevados ao longo de todo o período estudado).

Na Figura 4.9 são apresentadas as redes de correlações cruzadas fortes (na escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000) tendo como referência a estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa nos tamanhos de box (n) iguais a 4, 5, 7 na linha acima e 9, 11, 13 na linha abaixo sucessivamente.

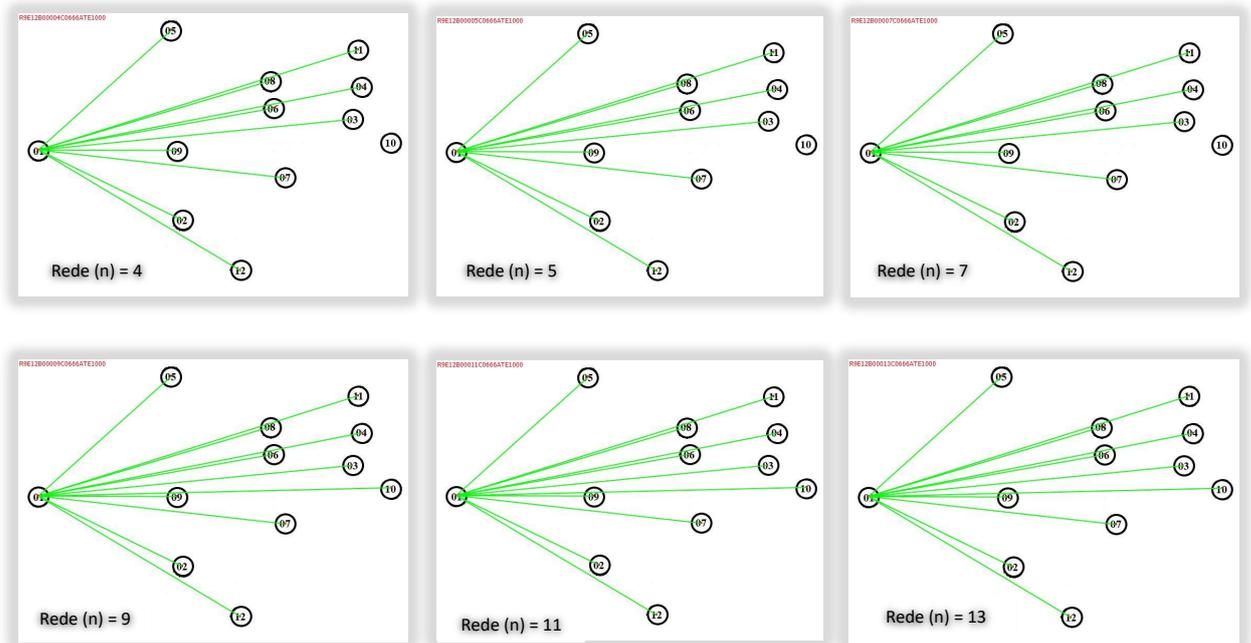


Figura 4.9: Redes de correlações cruzadas (na escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000), tendo como referência a estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa

4.3.2 Análise de correlações cruzadas tendo como referência a estação meteorológica de Feira de Santana (4)

Feira de Santana é (dentre as estações meteorológicas referenciais) a que possui correlação cruzada forte com todas as outras estações meteorológicas estudadas em todas as escalas de box (n) estudadas.

Por trata-se de um centro econômico e acadêmico importante do Estado estes resultados fazem com que Feira de Santana mereça determinada atenção já que qualquer alteração nos padrões climáticos nesta estação meteorológica afetaria todas as outras estações meteorológicas separadamente.

Na Figura 4.10 são apresentadas as redes de correlações cruzadas fortes (na escala do ρ_{DCCA} entre 0.666 e 1.000) tendo como referencia a estação meteorológica de Feira de Santana nas escalas de box (n) iguais a 4, 5, 7 na linha acima e 9, 11, 13 na linha abaixo sucessivamente.

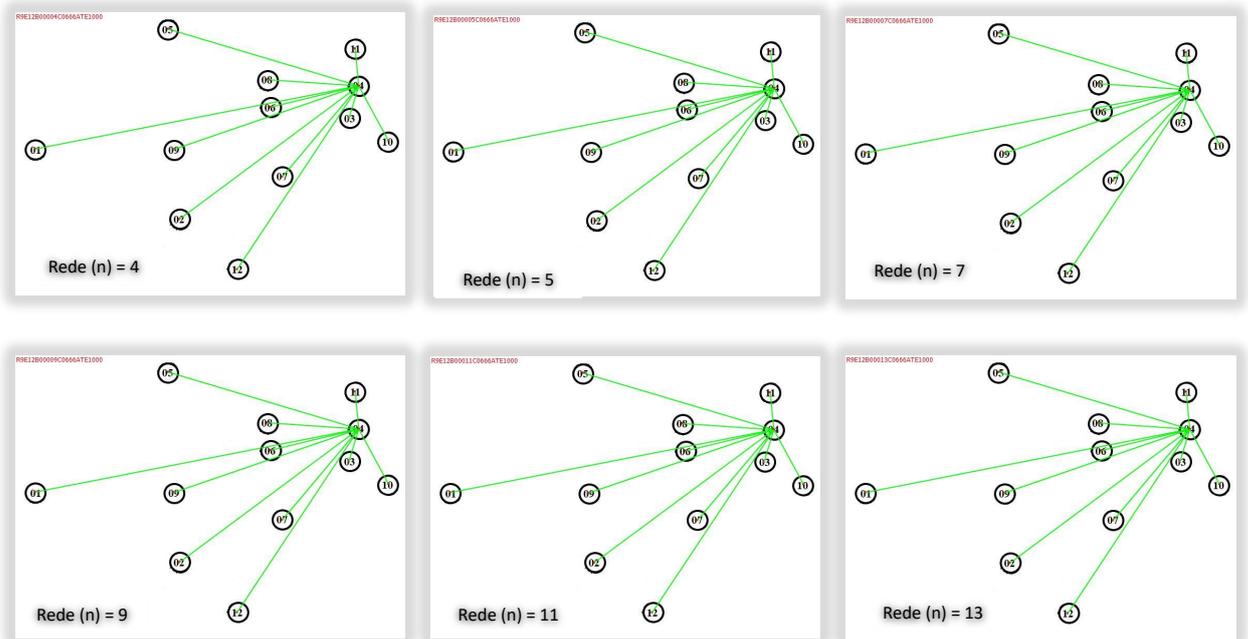


Figura 4.10: Redes de correlações cruzadas (na escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000), tendo como referência a estação meteorológica de Feira de Santana

4.3.3 Análise de correlações cruzadas tendo como referência a estação meteorológica de Salvador (10)

Diferente do observado nos dois casos anteriores o volume de estações meteorológicas fortemente correlacionadas a de Salvador aumenta significativamente entre as escalas de box (n) iguais a 5 e 9, onde as primeiras correlações cruzadas são fortemente instituídas com as estações meteorológicas de Cruz das Almas e Feira de Santana seguido de um possível padrão (aumento gradual obedecendo a distância mais próxima em relação a referência) quebrado nas escalas de box (n) iguais a 7 e 9 que antecedem a redes de correlações cruzadas fortemente instituídas para todas as estações meteorológicas.

Este comportamento que simula uma possível ordem de interações com referência a estação meteorológica em análise ao longo da escala temporal estudada torna importante elucidar o significado dos resultados por tratar-se de uma estação meteorológica com os valores de temperatura do ar mínimos mais altos ao longo de todo o período em análise.

A seguir, na Figura 4.11 são apresentadas as redes de correlações cruzadas fortes (na escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000) tendo como referencia a estação meteorológica de Salvador nas escalas de box (n) iguais a 4, 5, 7 na linha acima e 9, 11, 13 na linha abaixo

sucessivamente.

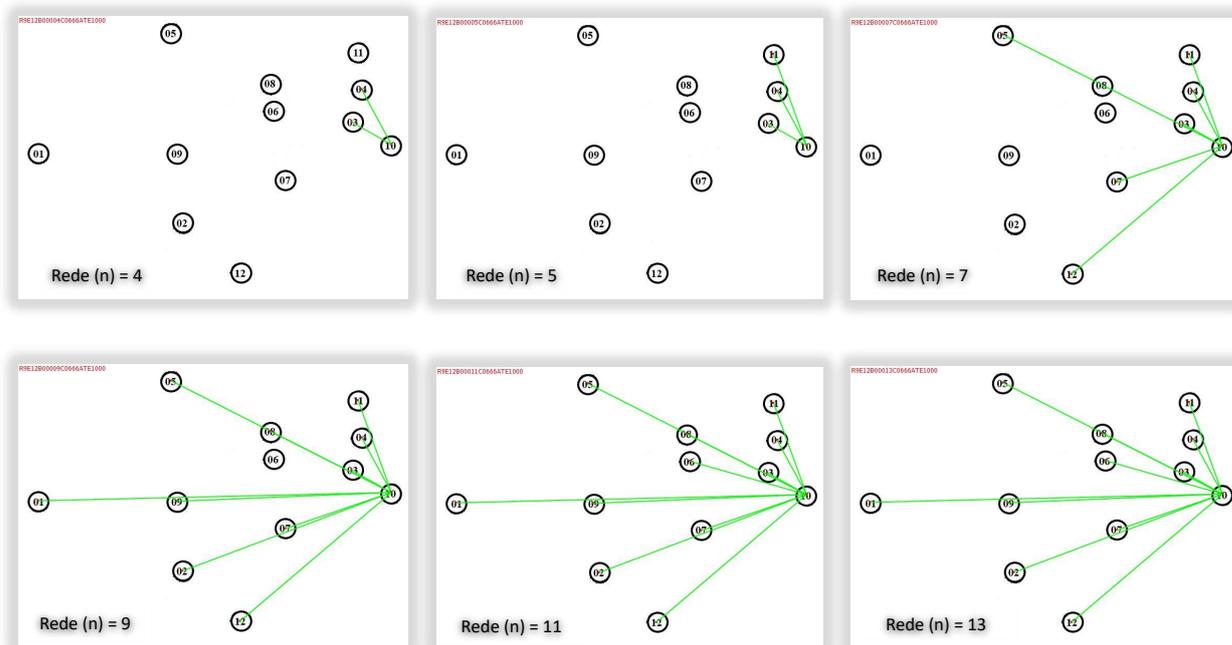


Figura 4.11: Redes de correlações cruzadas (na escala do ρ_{DCCA} entre 0,666 e 1,000), tendo como referência a estação meteorológica de Salvador

4.4 CONCLUSÕES

Tal como citado pela comunidade científica em relação ao aquecimento global os resultados nesta pesquisa realçam um ligeiro incremento térmico próximo a superfície do planeta Terra e na radiação solar em si ao longo destes 10,7 anos estudados, isto quer pela análise da atividade de manchas solares na superfície do sol ou na variação da temperatura do ar nas estações meteorológicas. No entanto, é importante sublinhar que com base no histórico solar dos últimos aproximadamente 218 anos a contar desde o ano de 1800 a influência solar no explosivo incremento térmico observado no planeta é praticamente excluída, o que sustenta a ideia de um aquecimento maioritariamente induzido por questões endógenas ao próprio planeta Terra e com isso destacando a possibilidade da influência do gás carbônico (CO_2), de outros gases poluentes micro explosivos e da urbanização em geral neste comportamento térmico.

O comportamento observado na estação meteorológica de Salvador (10) em particular onde foram colhidos os valores de temperatura do ar mínimos mais elevados ao longo do período estudado sugere de certa forma uma região com a condição térmica da superfície terrestre mais elevada em relação as outras regiões ao longo do período estudado, contudo foi a estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa (1) que mostrou o incremento mais significativo nos níveis de aquecimento baseado no ajuste linear dos dados (em cerca de duas vezes comparado a próxima estação meteorológica com o valor mais elevado) tornando-se prioritária em situação interventiva já que sugere a presença de uma Ilha de Calor.

Algo observado ainda nesta estação meteorológica (Bom Jesus da Lapa (1)) foi que apesar de ter apresentado o sinal de ajuste mais significativo possui a interação mais baixa com as outras estações meteorológicas dentre as interações estudadas.

Por tratar-se de um aquecimento gradual global atualmente documentado a pesquisa foi desde o início orientada pela seguinte questão: qual o nível de interação da variável ambiental climática temperatura do ar entre as estações meteorológicas no Estado da Bahia? Dessa forma, baseado nos resultados obtidos das análises de correlações cruzadas, pode perceber-se com clareza que a variável ambiental climática temperatura do ar ao longo das doze estações meteorológicas em estudo no período estudado possui um nível de interação forte, com o coeficiente de correlação cruzada DCCA (ρ_{DCCA}) também forte.

Com base neste comportamento espera-se que a oscilação desta variável em qualquer região específica dentro das regiões estudadas influencie diretamente na oscilação em todas as outras regiões, ou seja, que a subida de temperatura identificada na estação meteorológica de Bom Jesus da Lapa (1) em particular ou em qualquer outra estação meteorológica dentro das doze (12) estações meteorológicas estudadas seja compartilhada entre todas as estações meteorológicas de uma maneira geral.

Há que citar que apesar da eficácia do método e dos procedimentos aplicados na pesquisa limitações como o tempo de coleta de dados e o número de variáveis estudadas impedem que se firme relação robusta entre seus resultados ao fenômeno do aquecimento global já que outros fatores excluídos da análise (como a urbanização) possuem grande influência, contudo estes resultados dão a compreensão do estado atual do problema levantado com isso possibilitando a busca de meios possíveis para solucioná-lo de forma eficaz.

Sendo que é levantada a influência do dióxido de carbono (CO_2) neste incremento térmico contínuo identificado próximo a superfície Terrestre, torna importante observar que dentre os mecanismos naturais de resposta na manutenção deste gás a fotossíntese nas plantas é considerada eficaz pela redução em 45% do total das emissões globais, com isso servindo de uma possível alternativa dentro das ferramentas para a mitigação do problema.

Contudo, tratando-se de uma variável adaptativa complexa (temperatura do ar), propriedades como a dinâmica de interação das unidades (estações meteorológica) assim como de transferência térmica entre os corpos, podem ser avaliadas de modo a que se perceba sua evolução e com isso sejam definidas formas interventivas práticas e mais direcionadas, neste aspecto estudos mais aprofundados são recomendados.

Anexo I

Estações Automáticas do INMET localizadas na Bahia usadas para o Estudo

A seguir são apresentadas as figuras A.1 e A.2 onde se pode ver as características dos dados em cada uma das estações meteorológicas e as imagens de onde elas são localizadas.

ID	Estações	Latitude (S)	Longitude (O)	Data Inicio	Hora	Data Fim	Hora	Total de Horas	Total Efetivo	Percentual	Início Efetivo
1	Bom Jesus da Lapa	-13.251094	-43.405365	18-05-2007	0:00	31-12-2018	23:00	101904	91938	90.2	
2	Brumado	-14.181886	-41.672281	28-04-2008	0:00	31-12-2018	23:00	93600	92065	98.4	
3	Cruz das Almas	-12.675422	-39.089580	19-01-2003	0:00	31-12-2018	23:00	139824	124773	89.2	
4	Feira de Santana	-12.196200	-38.967384	26-05-2007	0:00	31-12-2018	23:00	101712	94790	93.2	
5	Irece	-11.328998	-41.864504	31-03-2008	0:00	31-12-2018	23:00	94272	92384	98.0	
6	Itaberaba	-12.524062	-40.299714	29-01-2003	0:00	31-12-2018	23:00	139584	134630	96.5	
7	Itirucu	-13.527828	-40.119752	09-02-2003	0:00	31-12-2018	23:00	139320	126651	90.9	
8	Macajuba	-12.131694	-40.354222	03-02-2003	0:00	31-12-2018	23:00	139464	126558	90.7	
9	Piata	-13.155681	-41.774125	04-05-2008	0:00	31-12-2018	23:00	93456	93292	99.8	20/05/2008
10	Salvador	-13.005515	-38.505760	05-10-2000	0:00	31-12-2018	23:00	159888	142654	89.2	
11	Serrinha	-11.664586	-39.022946	09-05-2008	0:00	31-12-2018	23:00	93336	92477	99.1	
12	Vitoria da Conquista	-14.886428	-40.801330	01-06-2007	0:00	31-12-2018	23:00	101568	95107	93.6	

Figura A.1: Tabela com dados apresentando as características das Estações meteorológicas



Figura A.2: Estações meteorológicas - Fotografias

Funções de Distribuição dos Dados do Ajuste por uma mistura de Gaussianas

Aqui (figura A.3) são apresentadas as funções de distribuição dos dados do ajuste por uma mistura de gaussianas.

		$y=y_0 + (A/(\sigma\sqrt{2\pi}))\cdot\exp(-(x-x_c))$						Adj. R-Square > 0.99	DeltaT
ID	Estações	XC1	sigma1	Y_pico_1	XC2	sigma2	Y_pico_2		
1	Bom Jesus da Lapa	23.3	2.5	6703.1	30.2	3.5	5181.1		7.0
2	Brumado	22.3	2.5	7294.9	28.5	3.4	4880.0		6.1
3	Cruz das Almas	22.5	2.3	11508.4	28.3	2.5	3819.7		5.8
4	Feira de Santana	22.7	2.4	10098.3	29.2	3.0	3638.8		6.6
5	Irecê	20.9	2.5	7303.4	27.5	3.4	5213.1		6.6
6	Itaberaba	23.6	2.3	9775.9	29.8	2.8	4337.5		6.2
7	Itiruçu	19.3	2.2	11016.1	25.5	2.9	3870.2		6.2
8	Macajuba	22.4	1.9	5955.7	25.9	4.9	5285.8		3.6
9	Piatã	18.3	2.6	10284.4	24.1	2.3	3715.0		5.8
10	Salvador	24.9	2.0	15460.3	29.9	1.4	3312.0		4.9
11	Serrinha	22.4	2.3	10374.4	29.1	3.0	3828.8		6.7
12	Vitória da Conquista	18.5	2.5	8995.7	25.0	3.2	3922.1		6.5

Figura A.3: Tabela com as Funções de Distribuição dos dados do ajuste por uma mistura de gaussianas

Referências Bibliográficas

- BARBOSA, R. I.; FEARNSTIDE, P. M. Incêndios na Amazônia Brasileira: Estimativa de emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento el niño (1997/98). *Acta Amazônica*, 10 1999. Disponível em: http://agroeco.inpa.gov.br/reinaldo/RIBarbosa_ProdCient_Usu_Visitantes/1999IncAmazBras_AA.pdf. 2
- BESSAT, F. The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere. *Revista Terra Livre*, 2003. Disponível em: <http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/186>. 2
- BLUNDEN, J.; ARNDT, D. S. State of the climate in 2018. *American Meteorological Society*, 9 2019. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1?mobileUi=0>. 2
- BRANDT, P. et al. Sunspots. *Sun-Earth Connection Education Forum*, 1998. Disponível em: <https://image.gsfc.nasa.gov/poetry/workbook/sunspot.html>. 4
- COUMOU, D.; RAHMSTORF, S. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, v. 2, n. 7, p. 491–496, 2012. Disponível em: www.scopus.com. 1
- DASH, S. et al. Some evidence of climate change in twentieth-century India. *Climatic Change*, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-007-9305-9>. 2
- DIAS-FILHO, M. B. A fotossíntese e o aquecimento global. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2006. ISSN 1517-2201. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/387686/1/OrientalDoc234.pdf>. 1
- FERREIRA, A. L. et al. Evolução das emissões dos gases do efeito estufa no Brasil (1990-2013) setor de energia e processos industriais. *FGV EAESP*, 8 2015. Disponível em: http://mediadrawer.gvces.com.br/oc/original/energia_industria_2015.pdf. 2
- FERREIRA, W. dos S. et al. As perspectivas e divergências acerca do aquecimento global antropogênico. *Caderno de Geografia*, 2017. ISSN 0103-8427. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333252999006>. 1
- FRANCISCO, P. R. et al. Variabilidade da Temperatura média do Ar no Estado da Paraíba. 09 2015. 4
- GRIGOLETTI, G. C.; LAZAROTTO, G.; WOLLMANN, C. A. Microclima urbano de Áreas residenciais no período noturno: Estudo em Santa Maria, rs. *Sociedade; Natureza*, v. 30, n. 2, p. 140–163, set. 2018. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/38386>. 1
- HARRIS, D. Charles David Keeling and the story of atmospheric CO2 measurements. *National Library of Medicine*, 10 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20536268/>. 2, 2.1

- HE, Q.; SILLIMAN, B. Climate change, human impacts, and coastal ecosystems in the anthropocene. *National Library of Medicine*, 10 2019. 2
- IBGE. Conheça cidades e estados do brasil. *IBGE*, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. 3
- IPEA. Perfil regiões metropolitanas. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil*, 09 2019. 3
- KEELING, C. D. The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere. *Tellus*, v. 2, n. 12, 1960. Disponível em: https://scrippsco2.ucsd.edu/assets/publications/keeling_tellus.1960.pdf. 2
- LACERDA, P. N. F. Aquecimento global: Conceituação e repercussões sobre o brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, n. 1, p. 14–17, 2010. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232653>. 1
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. Fundamentos de metodologia científica. *Atlas*, v. 5, 2003. Disponível em: http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/view. 3
- LAMICHHANE, S.; SHAKYA, N. M. Integrated assessment of climate change and land use change impacts on hydrology in the Kathmandu valley watershed, central Nepal. *Water*, v. 11, p. 2059, 10 2019. 2
- MACHADO, A. S. Autocorrelação e correlação cruzada: Teorias e aplicações. *BDTD*, 2014. Disponível em: <http://bdt.d.ibict.br/vufind/Record/SENAI-1-0d837d2ed1a3a58d0660406cf859bfb9>. 3, 3, 3
- MENDONÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: Alguns indicadores da região sul do brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 2, n. 0, 2006. ISSN 2237-8642. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25388>. 1
- MOLION, L. C. B. Desmistificando o aquecimento global. *Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas*, 2007. Disponível em: <http://www.serdigital.com.br/gerenciador/ambienteseguro/clientes/andremaia/downloads/119.pdf>. 2
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global: Uma visão crítica. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 3, n. 0, 2008. ISSN 2237-8642. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25404>. 1
- MONJARDIN, C. E. et al. Impact of climate change on the frequency and severity of floods in the pasig-marikina river basin. *ads*, 10 2019. 2
- MUNGUIRA, A. V.; CAMINO, E. R. Cambio climático: calentamiento global de 1,5 °c. *Agencia Estatal de Meteorología*, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/10630>. 1
- NASA. New sunspot cycle begins. *earth observatory*, 2008. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/35879/new-sunspot-cycle-begins>. 4
- N.GUERREIRO, L. L.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: Uma breve revisão. *Revista Virtual de Química*, 2011. 3(5). Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v3n5a08.pdf>. 2

- PENG, C. et al. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E*, United States, v. 49, n. 2, p. 1685–1989, 1994. 3
- PODOBNIK, B.; STANLEY, H. E. Detrended cross-correlation analysis: A new method for analyzing two non-stationary time series. *Physical Review Letters*, v. 100 N.8, p. 084102,, 2008. 3
- REIS, C. V. Emissões de CO2 e aquecimento global: Desenvolvimento de tecnologias de captura e armazenamento de CO2. *Repositório Universidade Nova*, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/10232>. 1
- SANQUETTA, C. R.; ANATER, M. J. do N. Emissões de CO2 geração de resíduos pelo consumo de cigarros no brasil no período 2006-2012. *Biofix*, 2012. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/49097>. 2
- TAVARES, M. Aprendendo sobre o sol. *Instituto de Fisica, Universidade Federal Fluminense*, 03 2000. 4
- WANG, G.-J. et al. Statistical properties of the foreign exchange network at different time scales: Evidence from detrended cross-correlation coefficient and minimum spanning tree. *entropy*, 2013. 3
- WIKIPEDIA. List of municipalities in bahia. *Wikipédia, a enciclopédia livre*, 2020. Disponível em: [ListofmunicipalitiesinBahia](#). 3
- WMO. Wmo statement on the state of the global climate in 2019. *Nature Climate Change*, p. 3–9, 2020. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211. 1, 2
- XIONG, Y.; PENG, F.; ZOU, B. Spatiotemporal influences of land use-cover changes on the heat island effect in rapid urbanization area. *Frontiers of Earth Science*, 3 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/Fs11707-018-0747-3>. 2
- ZEBENDE, G.; BRITO, A.; CASTRO, A. DCCA cross-correlation analysis in time-series with removed parts. *Physica A*, 09 2019. 3, 3
- ZEBENDE, G. F. DCCA cross-correlation coefficient: Quantifying level of cross-correlation. *Physica A*, v. 390, p. 614–618, 2011. 3, 3
- ZEBENDE, G. F. DCCA cross-correlation coefficient: Quantifying level of cross-correlation. *Physica A*, v. 390, p. 614–618, 2011. 3

Análise de correlação cruzada da variável climática Temperatura do Ar entre estações meteorológicas no Estado da Bahia, BR

Moisés Domingos Namila da Costa

Feira de Santana, Março, 2021.