



**Universidade de Brasília**  
**Ciências Ambientais**

Disciplina: Trabalho Interdisciplinar Integrado de Conclusão de Curso  
Período: 1º/2019 – Turma H

**FENÔMENO EL NIÑO/LA NIÑA**  
**Modelamento por Meio de Ciclos Orbitais e sua**  
**Possível Predição**

**Discentes**

**Matheus Vitoriano Mesquita da Costa – 15/0141793**

**Renato Tomita Hama – 15/0146761**

**Orientador**

**Professor Doutor Gustavo Macedo de Melo Baptista**

Brasília-2019

Matheus Vitoriano Mesquita da Costa

Renato Tomita Hama

## **FENÔMENO EL NIÑO / LA NIÑA**

**Modelamento por Meio de Ciclos Orbitais e sua Possível Predição.**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como parte das  
exigências para obtenção do  
título de Bacharel em Ciências  
Ambientais.

Brasília-2019

# FENÔMENO EL NIÑO / LA NIÑA

## Modelamento por Meio de Ciclos Orbitais e sua Possível Predição.

Matheus Vitoriano Mesquita da Costa

Renato Tomita Hama

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como parte das  
exigências para obtenção do  
título de Bacharel em Ciências  
Ambientais.

Aprovados por:

---

Professor Doutor Gustavo Macedo De Mello Baptista  
Instituto de Geociências - UnB - (Orientador)

---

Professor Doutor Pedro Henrique Zuchi da Conceição  
Departamento de Economia - UnB

Brasília/DF, 09 de julho de 2019.

## **Agradecimentos**

À sociedade brasileira que nos financiou por meio de seus impostos. Aos nossos professores, e principalmente àqueles idealizadores do curso de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, por nos termos permitido, nesta jornada, a uma formação e capacitação, que nos permitirá retribuir ao país, para o seu progresso e por uma sociedade mais equilibrada ambientalmente.

Às nossas famílias que nos apoiam incondicionalmente em todas as etapas de nossas vidas. Eterno reconhecimento e gratidão.

## Resumo

Este trabalho tem por finalidade apresentar um modelo preditivo para o fenômeno El Niño /La Niña com base na identificação de cíclicos orbitais que modulam as variações de temperaturas no Oceano Pacífico medidos na região 3.4. A considerar que fenômenos da natureza são modulados por efeitos cíclicos orbitais, particularmente determinando as condições climáticas do planeta, o método aqui aplicado consiste na utilização das análises de Fourier, especialmente no uso da Transformada Discreta de Fourier – DFT para que se possa determinar quais as componentes cíclicas que possam estarem presentes no fenômeno. A base de dados utilizada foi obtida por meio da agência científica dos Estados Unidos da América, o NOAA – Administração Nacional Oceânica e Atmosférica. O período da série temporal foi escolhido quase em sua totalidade disponível compreendendo do ano de jan/1870 a dez/2018. A premissa é de que os dados de temperatura são decorrentes de várias contribuições cíclicas orbitais, conhecidas ou não, que acarretam nas variações da TSM (temperatura na superfície do mar) medidas na região 3.4 do Oceano Pacífico caracterizando o El Niño /La Niña.

**Palavras chaves:** Séries temporais. Ciclos orbitais. Fenômeno El Niño /La Niña. Transformada Discreta de Fourier

## **Abstract:**

The objective of this work is to present a predictive model for the El Niño/La Niña phenomenon based on the identification of cyclic orbits that modulate temperature variations in the Pacific Ocean measured in region 3.4. Considering that phenomena of nature are modulated by cyclical orbital effects, particularly determining the climatic conditions of the planet, the method used here is the use of Fourier analysis, especially in the use of Discrete Fourier Transform - DFT so that it can be determined which cyclic components that may be present in the phenomenon. The database used was obtained through the United States Scientific Agency, NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. The period of the time series was chosen almost in its totality available comprising from the year of Jan / 1870 to Dec / 2018. The premise is that the temperature data are derived from several orbital cyclical contributions, known or unknown, that lead to changes in the SST measured in the Pacific region 3.4, characterizing El Niño/La Niña.

**Key words:** Time series. Orbital cycles. El Niño/La Niña phenomenon. Discrete Fourier Transform.

## Sumário

Agradecimentos .....	4
Resumo .....	5
Abstract:.....	6
1. Introdução.....	8
1.1. Importância do clima para a civilização .....	8
1.1.1. El Niño – Oscilação Sul (ENOS).....	15
1.2. Ciclos .....	16
1.3. Justificativa .....	22
1.4. Objetivos.....	22
1.4.1. Objetivo principal.....	22
1.4.2. Objetivos secundários .....	22
2. Método .....	23
2.1. Análise de fourier .....	24
2.2. Condições para aplicação da DFT .....	25
2.3. Base de dados.....	27
2.4. Software utilizado .....	27
2.5. Função inversa de Fourier .....	28
3. Resultados.....	28
4. Análises e discussões .....	33
5. Conclusão.....	37
6. Bibliografia .....	39
Apêndice .....	42
Apêndice 1.....	42
Anexos: .....	44
Anexo 1.....	44
Anexo 2.....	47

## 1. Introdução

### 1.1. Importância do clima para a civilização

A compreensão do clima sempre foi algo importante para a humanidade. Desde que o homem começou a se tornar de um nômade a um sedentário, cerca de 10 mil anos atrás (MAZOYER e ROUDART, 2009) ele teve que compreender o clima, para saber de uma melhor época para o plantio e a colheita para poder prover alimentos a sua família. E após a humanidade se transformar em sedentária, permitiu a ela que desenvolvesse técnicas cada vez mais aprimoradas para melhorar e prolongar a vida. Hoje em dia a compreensão do clima vai bem além disto, se aplicando a várias áreas, como a exemplo à saúde, onde governos decidem a melhor época para se combater o mosquito da dengue (*Aedes aegypti*), já que há um padrão sazonal para uma maior incidência da dengue por meio deste mosquito Fundação Nacional De Saúde (1999). Dentre outros fatores que o clima também influencia se dá no setor agrícola, quando uma instituição financeira avalia se haverá ou não conceder seguro de safra de determinado produtor de acordo com a época que ele for semear/colher o plantio, e o clima do local neste intervalo de tempo, Banco do Brasil (2018).

O clima também é um dos fatores determinantes para a modulação das paisagens (PRESS, SIEVER, *et al.*, 2006), ou seja, a depender da temperatura, da precipitação e de outros fatores fará com que ao longo do tempo estas variáveis modelem a paisagem. Por exemplo, geologicamente, para se formar uma montanha normalmente é necessário a convergência de duas placas tectônicas, porém, se ao longo do tempo os processos erosivos forem maiores que a formação, a tendência dessa montanha é diminuindo de altitude (PRESS, SIEVER, *et al.*, 2006), e assim, tornando-se mais plana. O processo da erosão é bastante acelerado em regiões com precipitação e temperatura alta. Isto muito devido ao intemperismo químico proporcionado, ou favorecidos, por variáveis climáticas.

E também auxilia na modelação dos biomas. Por exemplo, em regiões cujo pluviosidade e temperatura média são mais intensas, maior é o favorecimento aos biomas como as de floresta pluvial tropical, e contrariamente, com menor temperatura e pluviosidade favorecerá biomas como a tundra. A Figura 1 ilustra



em um gráfico como a organização destas variáveis modulam o bioma (RICKLEFS e RELYEA, 2016).

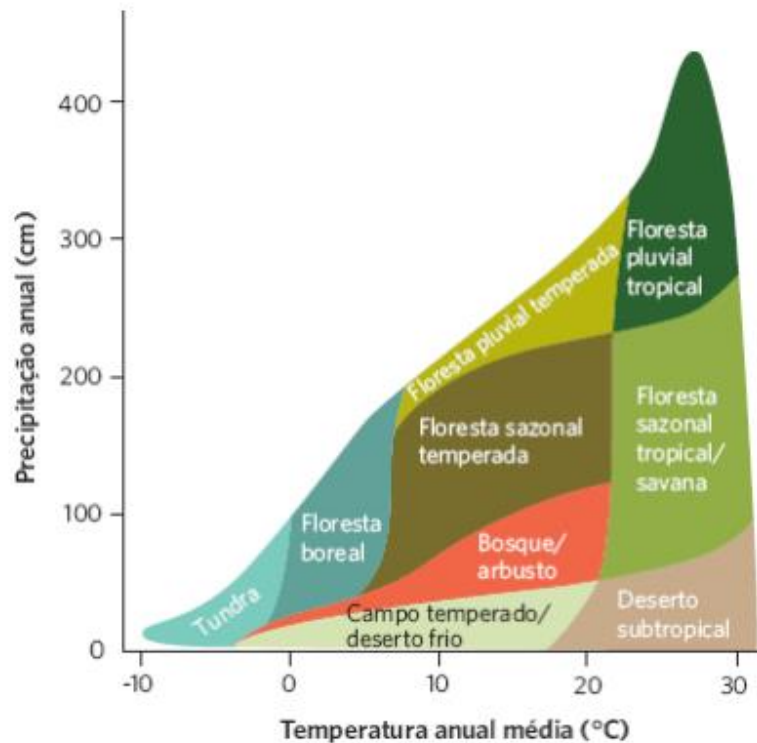


Figura 1 modulação dos biomas de acordo com a temperatura média anual e precipitação anual. fonte: (RICKLEFS e RELYEA, 2016)

O clima também afeta o tipo de solo e sua formação. A exemplo de regiões situadas nos trópicos, os solos são mais profundos, podendo atingir até 100 metros de espessura, até próximo à rocha mãe. Em geral solos em latitude média chegam apenas a 1 metro (RICKLEFS e RELYEA, 2016). Isto se deve em grande parte em razão do intemperismo determinado pelo clima local. Como regra geral, regiões onde a ocorrência de muita precipitação e associado a temperaturas elevadas, é gerado solos profundos como na região amazônica.

Em clima quente e úmido o intemperismo é bastante acelerado e intenso, e os solos são mais profundos como dito anteriormente, a vegetação tende a ser bastante abundante, e em geral os resíduos desse intemperismo rápido são os óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Estes tipos de solos costumam ser pouco férteis para a agricultura, onde sua exploração normalmente dura apenas alguns anos até o seu abandono. Exemplo são os solos da Amazônia, que são bastante espessos e pouco férteis para a agricultura (PRESS, SIEVER, *et al.*,

2006). Já em climas secos devido à pouca pluviosidade resulta em solos mais rasos e com mais minerais pouco alterados.

Parte do clima é determinado por padrões de circulação de ar mundial. Uma explicação para as regiões próximas à linha equatorial ter muita chuva é que devido à alta radiação solar faz com que indiretamente a superfície terrestre esquente, gerando uma diferença de pressão já que o ar expande. Após esta expansão, ele sobe e vai se resfriando, e quando ocorre este resfriamento ele perde a capacidade de reter vapor, assim ocorrendo a condensação e precipitação. (RICKLEFS e RELYEA, 2016). Posteriormente, ao subir mais frio e seco também vai fazer um movimento latitudinal do equador em direção aos polos. Ao longo deste caminho ele começa a descer quente e seco até por volta das latitudes 30°, e em seguida, ele quente e seco, vai se umedecendo até chegar na linha equatorial solar. A Figura 2 indica estes movimentos referentes a célula de Hadley.

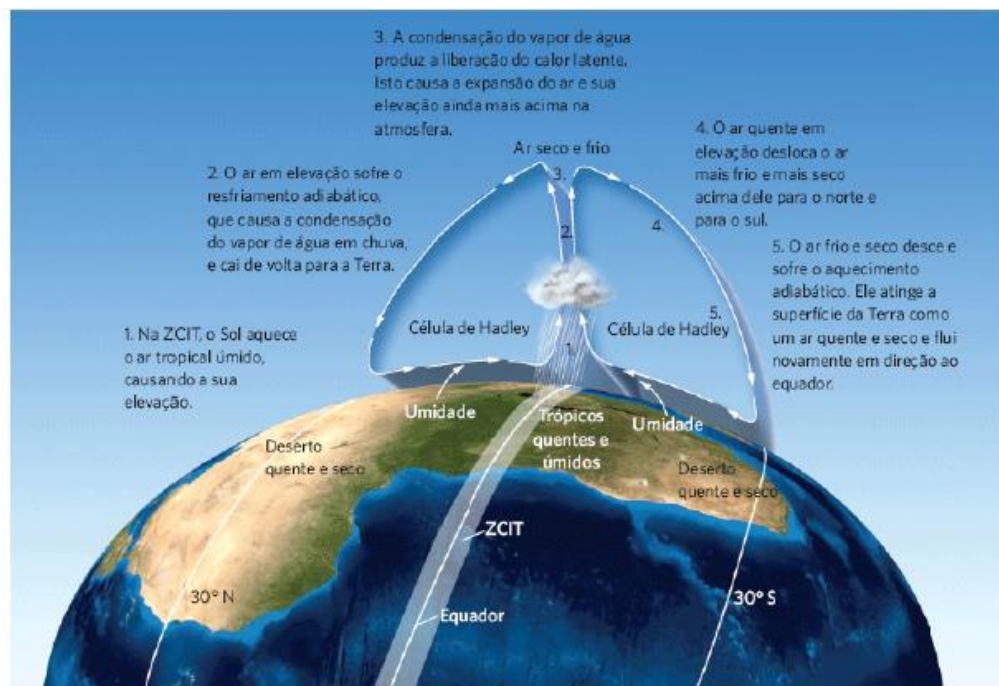


Figura 2 Célula de Hadley. fonte: (RICKLEFS e RELYEA, 2016)

Mais a frente será abordada que a Terra possui uma inclinação em seu eixo. Isto faz com que o local com que o Sol esteja irradiando perpendicularmente (equador solar) se modifique ao longo do ano, sempre ficando entre os trópicos, ou seja, ao longo do ano o equador solar passa duas vezes sobre a linha equatorial e uma vez perto de cada trópico. E como a zona

de convergência intertropical (ZCIT) é determinada pelo equador solar então ao longo do ano ela também se movimenta (RICKLEFS e RELYEA, 2016).

Essa mesma lógica de movimento ocorre nas zonas de latitude  $60^\circ$  e  $90^\circ$ , sendo que a célula nesta faixa é chamada de célula polar. Na latitude próxima a  $60^\circ$ , o ar sobe e a umidade diminui, vai se deslocando até  $90^\circ$  mais frio e seco, e após isto vai se movendo mais próximo ao solo até chegar em  $60^\circ$  e subir novamente. Embora que nas regiões de latitude de  $30^\circ$  e  $60^\circ$  não existam uma convecção distinta como ocorre nas células de Hadley e Polar (RICKLEFS e RELYEA, 2016), os ventos tendem a ir de  $30^\circ$  a  $60^\circ$  formando a célula de Ferrel, e do oeste para o leste.

Outro efeito importante para a circulação de ventos é o efeito Coriolis, que é a deflexão da trajetória de um objeto devido a rotação terrestre (RICKLEFS e RELYEA, 2016). Este efeito se dá em razão do planeta Terra rotacionar em seu eixo, e decorrente de sua circunferência vai se alterando ao longo do planeta, sendo que a circunferência da Terra no equador é maior que nos trópicos, então a velocidade de um objeto em determinado latitude é diferente do que esse objeto em outra latitude. Por exemplo, no equador um objeto se move a  $1670\text{km/h}$ , em  $30^\circ$  N se move a  $1445\text{km/h}$  e em  $80^\circ$ N se move a  $291\text{km/h}$  (RICKLEFS e RELYEA, 2016). E, como já mencionado acima, as células possuem um sentido, que no caso a de Hadley, vai em direção da linha dos trópicos ao equador, e por outro lado, a de Ferrel vai da linha dos trópicos a latitude de  $60^\circ$ . E, devido a este sentido dos ventos e a velocidade ser diferente em dessemelhantes pontos faz com que a direção dos ventos se desvie, a Figura 3 mostrara isso visualmente.

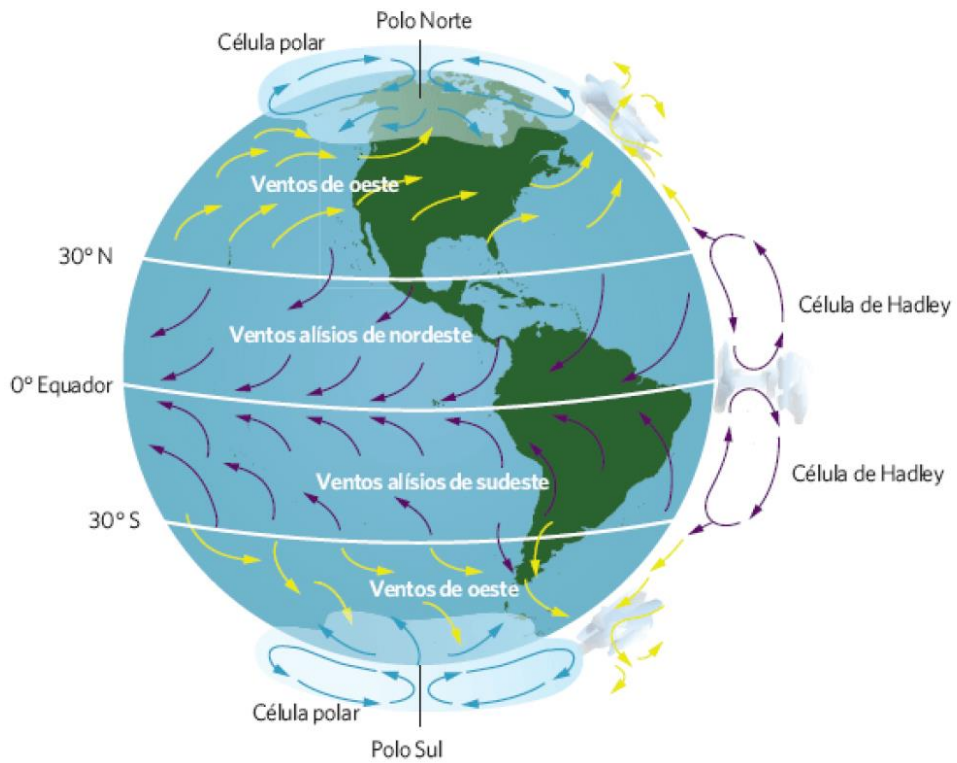


Figura 3 Direção dos ventos devido ao efeito Coriolis. Fonte: (RICKLEFS e RELYEA, 2016)

E devido ao aquecimento irregular ao longo da Terra, efeito Coriolis, direção dos ventos, topografia das bacias oceânicas e outros efeitos geram correntes oceânicas (RICKLEFS e RELYEA, 2016). O padrão mundial das correntes oceânicas encontra-se ilustrada na Figura 4.

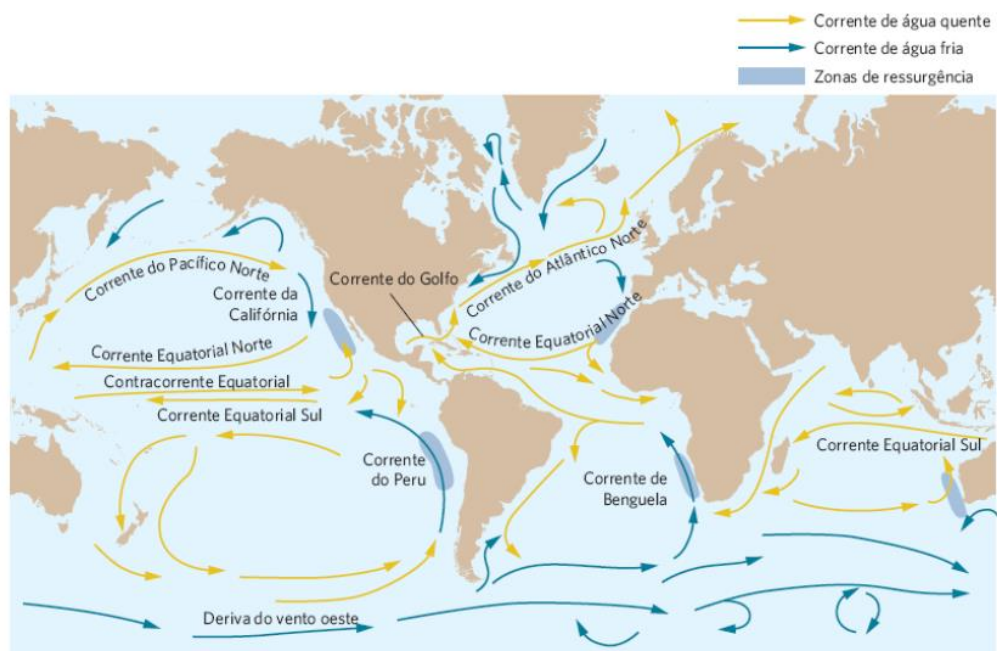


Figura 4: Correntes oceânicas. Fonte: (RICKLEFS e RELYEA, 2016)

A lógica das correntes oceânicas é bem parecida com a das correntes de ventos. Inclusive ocorre um processo chamado de ressurgência, que são ilustrados na Figura 4 nas áreas em azul escuro. Este processo ocorre quando uma água fria e em geral cheia de nutrientes sobe à superfície, e estas áreas são muito produtivas para a pesca devido a esta subida de nutrientes (RICKLEFS e RELYEA, 2016). A ressurgência se deve porque acumula água quente em uma parte do oceano, e como a água é incompressível gera o efeito Kelvin, que é o movimento de água fria mais ao fundo do oceano, até ele ressurgir em um outro ponto do oceano (MOLION, 2017)

A cultura pode ter moldado pelo clima ou decorrente dele. A culinária japonesa é marcada pelo sushi, que não é meramente decorrente de uma preferência culinária, e sim porque o Japão é uma ilha, que por consequência é rodeada pelo mar, assim facilitando o consumo de peixes e isto também é intensificado devido à grande parte do território japonês ser montanhoso assim fazendo com que a densidade populacional fique nas costas marinhas (Wiz world infozone).

A humanidade sempre dependeu do clima, sendo que a produção agrícola é muito vulnerável a variação do clima. Assim fazendo com que os agricultores ou outros tomadores de decisões tomem deliberações sobre as incertezas climáticas, antes que elas se materializem e tragam efeitos negativos e eventualmente levando a estratégias que diminuam o impacto em anos desfavoráveis à agricultura, e por vezes levando a redução de produtividade média e conseqüentemente a diminuição na rentabilidade deste tipo de negócio e também podendo levar a aceleração da degradação de recursos naturais (HANSEN, 2002). Porém com a previsão errada ou a não consideração do clima podem trazer efeitos negativos à sociedade ou população local.

Uma mudança no padrão climático pode afetar dentre outros aspectos a economia. Como por exemplo que mudanças no padrão climático podem trazer impactos severos na economia a nível mundial é que em 2010/2011 a falta de chuva e as tempestades de areia levou o governo chinês a uma tentativa descomunal de lançar mísseis com a expectativa de provocar precipitações, contudo com esta tentativa frustrada levou o governo chinês a comprar trigo no mercado internacional, assim fazendo com que o preço subisse cerca de 208%, e isto fez com que o Egito que era o principal importador de trigo se visse em

uma situação delicada, já que a sua população gastava 33% de sua renda com a alimentação, e este aumento no preço do trigo fez com que o preço do pão no Egito triplicasse e causando um descontentamento com o presidente do Egito a época (SINAÏ, 2015).

Na década de 90 a previsão de mudança climática associada ao El Niño levou aos agricultores nos pampas argentinos a ter uma renda muito maior devido a ter previsto um aumento na chuva devido ao El Niño e assim plantando milho antecipadamente as chuvas. Em 1997 os agricultores na Florida prevendo também um excesso de chuva fez com que eles limpassem a rede de drenagem antecipadamente e fazendo com que assim salvassem a sua safra de batata na época. A previsão do clima é tão importante que também faz com que fornecedores de insumos em toda a África venda as suas sementes de acordo com as previsões de chuvas sazonais (HANSEN, 2002).

Considerando que alguns países como o Brasil são muito dependentes a agricultura, inclusive considerado por alguns como o celeiro do mundo é de suma importância ter ferramentas que prevejam as variações climáticas para assim poder se antecipar para poder reduzir perdas ou a aumentar os ganhos.

O clima, ou a mudança dele pode inclusive causar instabilidades no governo. Existe uma associação entre o evento El Niño e conflitos civis, muito em causa da queda na produção de alimentos locais, aumento no preço dos alimentos e por consequência perda de poder aquisitivo (HSIANG, MENG e CANE, 2011).

Após o colapso do sistema agrícola sírio devido a má gestão dos recursos hídricos e mudança climática causou uma quebra no contrato social sírio entre a população e seu governo e causando aceleração da criação de movimentos de oposição ao governo de Bashar al-Assad (FEMIA e WERRELL, 2013).

Com o mundo cada vez mais globalizado aumenta por consequência a distribuição de alimentos pelo mundo. E alguns alimentos podem abrigar certos patógenos e se não houver uma boa higiene alimentar durante a produção processamento e distribuição estes patógenos podem se espalhar para todo o mundo. Com um aumento de temperatura facilita com que a quantidade de

certos patógenos aumente e por consequência aumenta as chances de mais pessoas se infectarem (LAKE, GILLESPIE, *et al.*, 2009).

### 1.1.1. El Niño – Oscilação Sul (ENOS)

Como dito, no tópico **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, devido a alguns efeitos como os ventos alísios que empurram a água quente do leste para o oeste, faz a água estocar no oeste, e que em determinado nível gera o efeito Kelvin para o leste (MOLION, 2017). E, parecido com a célula de Hadley, existe a de Walker, que é uma célula ao longo de uma longitude, diferente da de Hadley que é ao longo de uma latitude. Normalmente a convecção ocorre mais ao leste da Austrália, assim quando o ar úmido e quente sobe ocorre a precipitação, ele sobe seco e quente, vai esfriando em direção ao oeste da América do Sul desce e vai esquentando e umedecendo até chegar novamente ao leste da Austrália, a Figura 6 ilustra isto. Em eventos El Niño ocorre um enfraquecimento dos ventos alísios, que consequentemente vão cessar a ressurgência no oeste da América do Sul, pelo motivo de que se os ventos alísios diminuem o empilhamento de água ao leste da Austrália também diminuirá, e isto também vai deslocar a célula de Walker para o leste, assim tendo a convecção e consequente chuva no meio do oceano, e por fim deixando todo o oceano mais quente, esta mudança é indicada na Figura 5

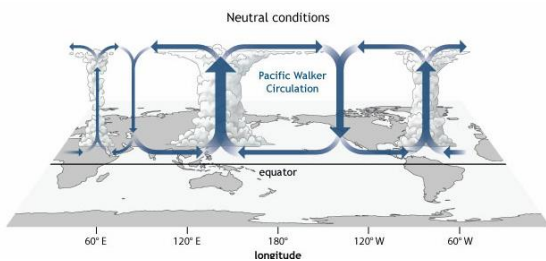


Figura 6 Célula de Walker em condições normais. Fonte: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/walker-circulation-ensos-atmospheric-buddy>

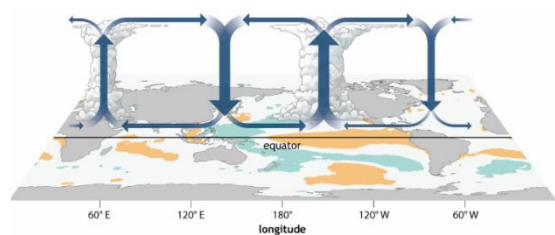


Figura 5: Célula de Walker em evento El Niño Fonte: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/walker-circulation-ensos-atmospheric-buddy>

Alguns dos efeitos socioeconômicos do El Niño segundo Ricklefs E Relyea (2016) são:

De 1997 a 1998 foi responsável por 23.000 mortes humanas – a maioria em virtude da fome – e US\$ 33 bilhões em prejuízos em plantações e propriedades em todo o mundo. Um forte evento de ENOS em 1982 e 1983 interrompeu os

pesqueiros e destruiu os leitos de kelps na Califórnia, causou danos à reprodução de aves marinhas no Oceano Pacífico Central e matou grandes áreas de corais no Panamá. Um outro evento ENOS de 1991 e 1992 – um dos mais fortes já registrados – foi acompanhado pela pior seca do século 20 na África, que provocou produção agrícola fraca e fome disseminada. O evento de 1991 e 1992 também causou seca extrema em muitas áreas da América do Sul tropical e da Austrália. O calor e a seca na Austrália reduziram as populações de cangurus vermelhos para menos da metade de seus níveis pré-ENOS.

## 1.2. Ciclos

Um das definições de ciclo é a realização de uma sequência completa de algum evento que se repete em intervalo de tempo regular. (OLIVEIRA, BAPTISTA, *et al.*, 2015). Um exemplo mais prático é que a Terra dá a volta ao Sol em aproximadamente 365 dias, onde 365 dias seria o tempo para o ciclo se realizar. Existem vários ciclos orbitais, ou eventos derivados deles que podem estar afetando em maior ou menor grau o clima na Terra, mais em específico os eventos El Niño, eles podem afetar o clima de várias formas, como por exemplo, a quantidade de radiação emitida pelo Sol, a quantidade de radiação solar que entra na Terra, a distribuição desta radiação pela Terra entre outros, e algum destes ciclos são:

A rotação é um ciclo que dura aproximadamente 24h e é resultante de uma volta completa da Terra em volta de seu eixo (OLIVEIRA, CARNEIRO, *et al.*, 2018). Este ciclo é um dos ciclos mais básicos, e fáceis de serem notados, já que é notório a diferença entre o dia e a noite, inclusive em termos de temperatura.

Outro ciclo é a translação que é quanto tempo a Terra demora para dar uma volta em torno do Sol, e esta volta dura cerca de 365 dias (OLIVEIRA, CARNEIRO, *et al.*, 2018). A translação terrestre causa pelo menos um efeito importante, e este seria com período de um ano, em que em certo momento a Terra está mais próxima do Sol (periélio) e em outro momento está mais longe do Sol (afélio) esta diferenciação deve-se à translação terrestre atualmente ser



elíptica, essa diferença na distância é de 3% e causa uma entrada de 6% a mais de radiação do periélio segundo (YNOUE, AMBRIZZI, *et al.*, 2017).

E também existem diversos ciclos decorrente da atividade Solar, alguns deles são: ciclo de Schwabe que dura aproximadamente 11 anos, que é caracterizado pela quantidade de manchas Solares, onde que quanto mais manchas Solares ou explosões Solares mais energia recebida na Terra; ciclo de Hale que ocorre a cada 22 anos, este ciclo é a mudança da polaridade magnética das manchas Solares se invertem neste período; Ciclo inferior de Gleissberg de 88 anos; ciclo superior de Gleissberg de 120 anos; ciclo de de Vries de 208 anos; ciclo de Eddy com 1000 anos de duração; e os ciclos de Hallstatt de 2300 (OLIVEIRA, CARNEIRO, *et al.*, 2018). O que em geral estes ciclos mudam para a Terra é que em determinada época terá mais ou menos radiação Solar para a Terra.

Da mesma forma que a Terra translada o Sol, a Lua translada ou revoluciona a Terra. Porém, ela não revoluciona a Terra em um mesmo eixo ou plano de orbita lunar. A Lua tem uma variação na sua translação no plano orbital lunar de cerca de  $5,1^\circ$  de seu centro, ou seja, a amplitude total da sua translação é de aproximadamente  $10,2^\circ$ . E aliado a inclinação terrestre que é de  $23,5^\circ$  a Lua translada a Terra de cerca de  $\pm 18,4^\circ$  a  $\pm 28,6^\circ$  em relação ao equador. E esta alteração na translação da Lua é chamado de ciclo nodal lunar, e demora 18,6 anos para se realizar, ou seja, a Lua demora 9,3 anos para ir de  $\pm 18,4^\circ$  a  $\pm 28,6^\circ$  e mais 9,3 anos para fazer esse movimento reverso, totalizando 18,6 anos (MOLION, 2017) a Figura 7 ilustra bem este movimento.

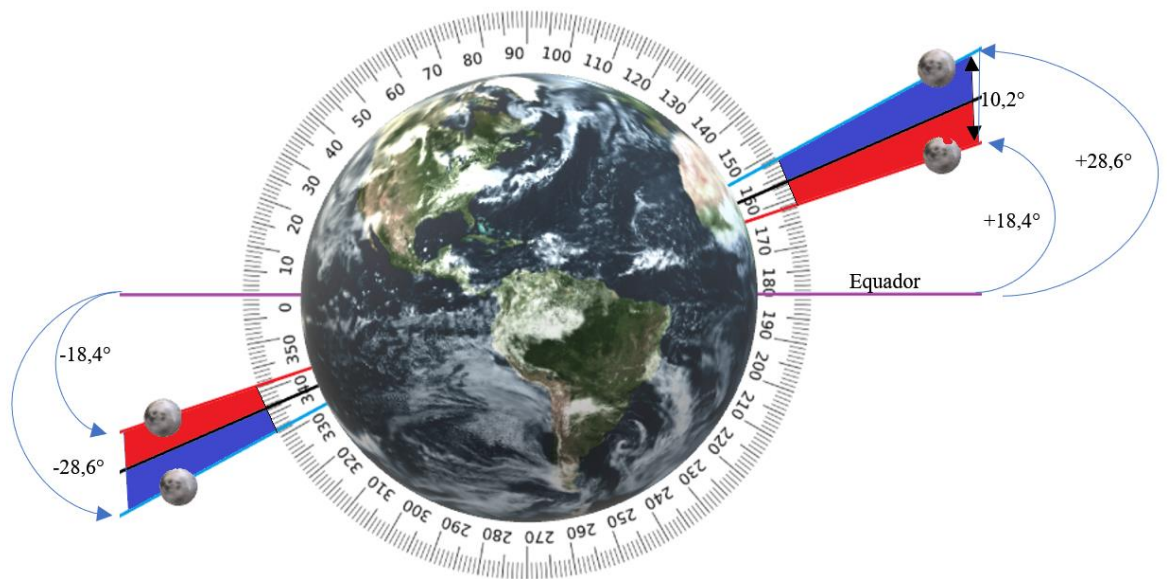


Figura 7 ilustração do ciclo nodal lunar. elaborado pelos autores

O efeito deste movimento é que quando a Lua está de  $23,5^\circ$  a  $28,6^\circ$  a Lua espalha a água aquecida do equador em direção aos polos, e acelerando as correntes marinhas, como as do Golfo (América do norte) e a de Kuroshio. Assim transferindo energia em forma de calor em direção aos polos, fazendo assim que as águas do Pacífico Norte e Atlântico Norte fiquem mais quentes e deixando a temperatura dos países tangenciados por ela mais agradável. E quando está de  $18,6^\circ$  a  $23,5^\circ$  o calor fica mais concentrado no equador assim as águas aquecidas ficando concentradas nas zonas tropicais (MOLION, 2017).

Atualmente a inclinação da Terra em relação normal de seu plano orbital ou plano de elíptica é de  $23,5^\circ$  (SANTIAGO e SALVIANO, 2005) e este ângulo pode variar de  $21,5^\circ$  até  $24,5^\circ$  em um intervalo de tempo de 41.000 anos (OLIVEIRA, CARNEIRO, *et al.*, 2018) assim como ilustrado na Figura 8.

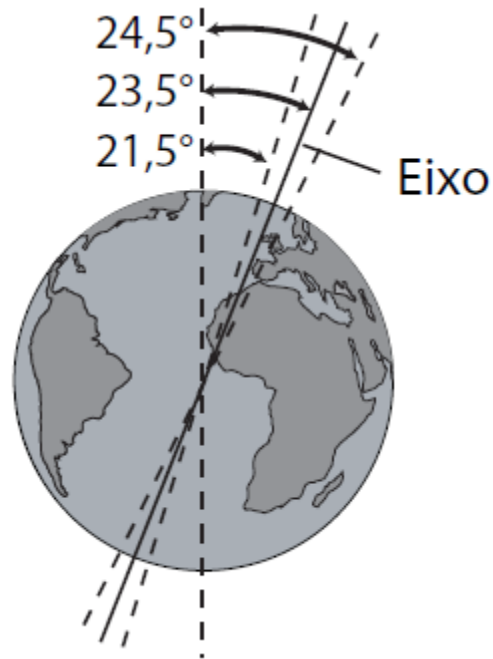


Figura 8: ilustração da inclinação do eixo terrestre fonte: (OLIVEIRA, CARNEIRO, et al., 2018)

E é devido a esta inclinação que ocorre as estações do ano, pois ao transladar o Sol e aliado a inclinação do eixo terrestre faz com que em certa época do ano o polo norte geográfico fica apontado para o Sol e em outra o polo sul geográfico fica apontando para o Sol, se configurando em inverno e verão respectivamente no hemisfério sul da Terra (SANTIAGO e SALVIANO, 2005), assim como indicado na Figura 9

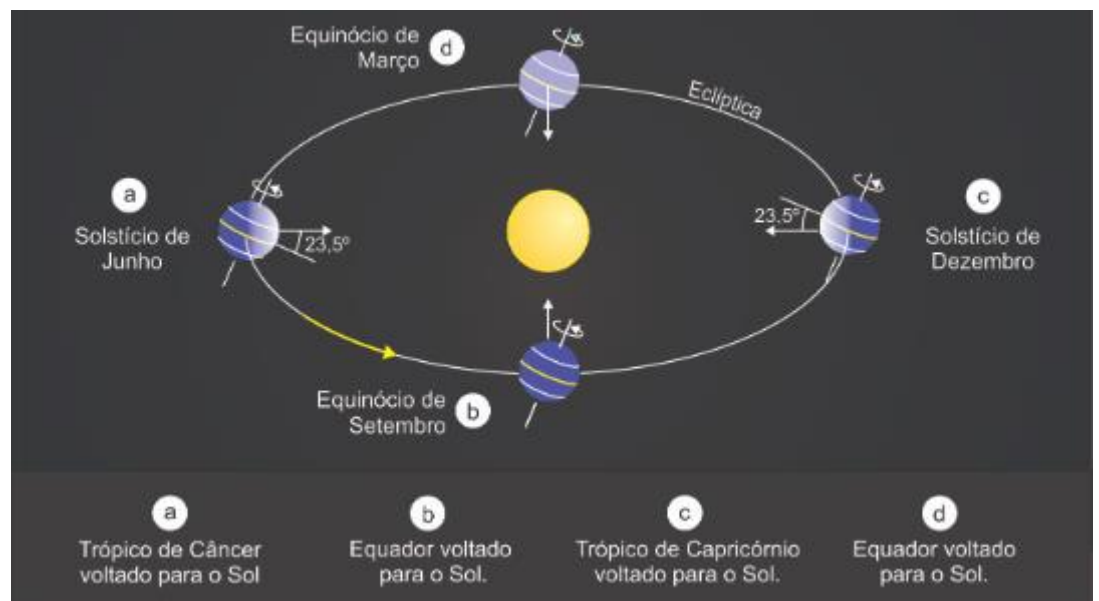


Figura 9 ilustração das estações do ano, onde no hemisfério sul (a) indica o início do inverno (b) indica o início da primavera (c) indica o início do verão (d) indica o início do outono fonte :<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>

A precessão – ou precessão dos equinócios é o movimento giratório realizado pela projeção de eixo de rotação terrestre no sentido horário, com uma duração cíclica de 26.000 anos (SANTIAGO e SALVIANO, 2005). A principal consequência é a antecipação dos equinócios e consequentemente mudança da época em que as estações do ano ocorrem. A Figura 10 e Figura 11 ilustram como ocorre a precessão.

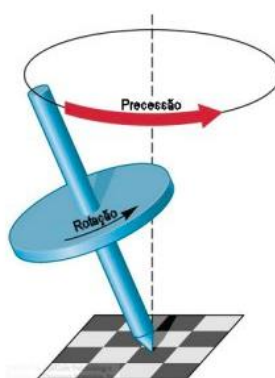


Figura 10 ilustração da precessão fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/fordif/node8.htm>

A nutação seria uma pequena vibração no eixo de rotação da Terra, e este movimento tem um período ou escala de tempo menor que 300 anos, este efeito é composto por 106 termos harmônicos envolvendo senos e cossenos com diferentes frequências, e a maioria destes é derivado do torque da Lua e Sol. (SANTIAGO e SALVIANO, 2005). A Figura 11 ilustra como ocorre a nutação.

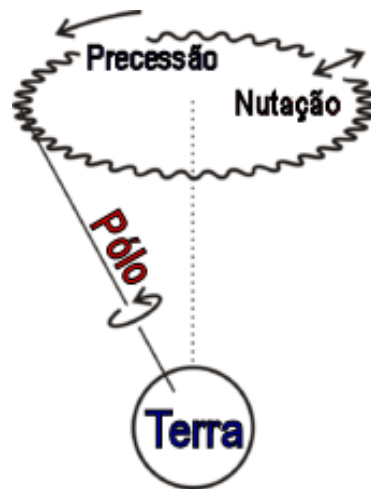


Figura 11: Ilustração de nutação e precessão.  
 fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/fordif/node8.htm>

Outro ciclo orbital é o Excentricidade orbital que é o formato em que a Terra translada o Sol, por vezes mais circular e por outras mais elíptica, este ciclo dura cerca de 100.000 anos (OLIVEIRA, CARNEIRO, *et al.*, 2018). Quanto mais circular, menor será a variação da distância Terra-Sol e conseqüentemente menor será a diferença da entrada de radiação solar. Por outro lado, quanto mais elíptica maior será a variação da distância terra-Sol e, portanto, maior será a alteração da entrada de radiação solar. A Figura 12 mostra a variação no formato da translação terrestre.

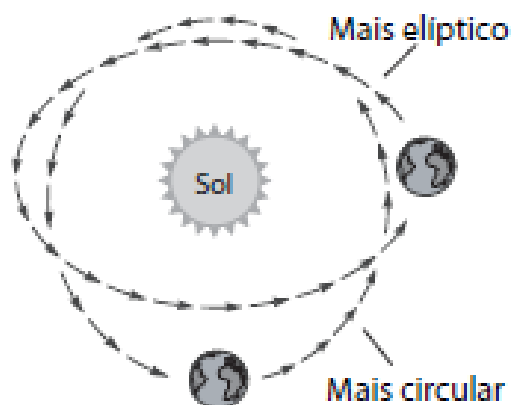


Figura 12: ilustração do formato da translação da Terra. Fonte (OLIVEIRA, CARNEIRO, *et al.*, 2018)

### **1.3. Justificativa**

Tendo em vista que o clima molda desde a cultura, a economia, a sociedade e diversos outros fatores ambientais, este trabalho propõe a elaboração de um modelo preditivo de como movimentos orbitais podem estar influenciando as condições climáticas, especialmente o fenômeno El Niño/La Niña. Para se criar este modelo preditivo será utilizado uma técnica matemática chamada de Transformada discreta de Fourier (DFT) e os dados para se fazer esta modelagem será da agência científica dos Estados Unidos da América, o NOAA – Administração Nacional Oceânica e Atmosférica da zona 3.4.

Alguns estudos já indicam de como ciclos orbitais afetam o clima, como por exemplo, discute-se que há uma correlação entre o ciclo nodal lunar de 18,6 anos nas chuvas do sudoeste brasileiro, e o método matemático para encontrar esse período foi pela DFT (PEREIRA e VECCHIA, 2016), e também propõe-se que este mesmo ciclo afeta diretamente na força do El Niño/La Niña (MOLION, 2017).

### **1.4. Objetivos**

#### **1.5.**

##### **1.5.1. Objetivo principal**

Indicar um modelo preditivo sobre a tendência do El Niño /La Niña e identificar quais ciclos estão presentes neste fenômeno.

##### **1.5.2. Objetivos secundários**

Identificar e fazer uso de dados de temperatura confiáveis, sob menor influência de distorções, interferências ou ruídos, obtendo assim credibilidade dos resultados do método escolhido. Selecionar um algoritmo, bem como um software compatível para o processamento. E, associar os resultados para validação do método aplicado e suas premissas, para que se tenha uma ferramenta mitigadora no planejamento ambiental, agrícola, socioeconômico e socioambiental.

## 2. Método

Conforme define EHLERS (2009), uma série temporal é uma coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo. O atributo mais importante deste tipo de dados é que as observações adjacentes são dependentes e relevantes para sua análise, de modo que a ordem dos dados com que se apresentam é decisivo em sua análise. Esse mesmo autor, assegura ainda, que as séries temporais surgem em várias áreas do conhecimento, inclusive no campo da meteorologia (precipitação pluviométrica, temperatura, velocidade do vento, etc.) e climatologia.

Por outro lado, o autor MIGON (2004), afirma que os objetivos de uma análise de séries temporais têm por finalidade compreender o mecanismo gerador da série, e prever o comportamento futuro da série. E, ao compreender o mecanismo da série possibilita descrever efetivamente o seu comportamento, encontrando periodicidades, obtendo as razões de seu comportamento, e se for o caso, controlar sua trajetória. Alega, ainda, que a predição permite planos a longo, médio e curto prazo, bem como tomada de decisões de maior assertividade.

Por meio de dados disponíveis de séries temporais de medidas de temperatura do fenômeno El Niño / La Niña, o método aqui aplicado consiste na utilização de ferramenta matemática de análise de Fourier, e em particular, o método Transformada Discreta de Fourier (Discrete Fourier Transform – DFT), que de acordo com os autores (PEREIRA, NEVES e VECCHIA, 2017), é largamente utilizado para detecção de frequências presentes em séries temporais.

Sob a declaração dos autores KUKLA e FAIRBRIDGE (2005), alegando que a máquina do clima terrestre não é caótica nem imprevisível, e que ela é movida pelos fatores extraterrestres, geralmente com comportamento cíclico, e se reportando ainda aos trabalhos consolidados do grande marco do estabelecimento das eras glaciais por meio de ciclos orbitais decorrente das pesquisas de Milutin Milankovitch [*Teoria matemática de fenômenos térmicos causados por radiações Solares* – 1920]; é considerado ao método aqui aplicado, a premissa de que os dados de temperatura são decorrentes de várias contribuições cíclicas orbitais, conhecidas ou não, que acarretam nas variações da TSM (temperatura na superfície do mar) medidas na região 3.4 do Oceano Pacífico caracterizando o fenômeno El Niño / La Niña. As mais conhecidas dentre elas, é a translação do planeta em torno do Sol, o ciclo das

estações do ano, o ciclo solar, e também outros que afetam direta ou indiretamente na temperatura medida.

## **2.1. Análise de fourier**

A análise de Fourier é um conjunto de técnicas matemáticas, sendo elas baseadas na decomposição de sinais em senóides. A Transformada Discreta de Fourier (Discrete Fourier Transform - DFT) é um dos membros desse conjunto utilizado para sinais discretos. Os sinais de modo geral por sua vez podem ser classificados como sinais contínuos ou discretos, ou ainda, em sinais periódicos ou aperiódicos, possibilitando a reclassificação em um conjunto de quatro elementos da análise das transformadas de Fourier. São eles: sinais contínuos e aperiódicos – transformada de Fourier, sinais contínuos e periódicos – série de Fourier, sinais discretos e aperiódicos – transformada de Fourier de tempo discreto, e por fim, sinais discretos e periódicos – transformada discreta de Fourier (DFT).

Em resumo, a análise de Fourier pode se apresentar nas seguintes classes: Transformada de Fourier (aperiódico, contínuo); Série de Fourier (periódico, contínuo); Transformada de Fourier de Tempo Discreto (DTFT) (aperiódico, discreto), e Transformada Discreta de Fourier (DFT) (periódico, discreto).

Todos os quatro membros do conjunto de transformadas de Fourier admitem que os sinais sob análise possuem duração infinita. Por outro lado, para analisar sinais, a exemplo de séries temporais, quando feito por meio de recurso computacional ou mesmo por um processador digital de sinais, os sinais devem necessariamente possuir duração finita. Desta forma, para a efetiva aplicação na prática, faz-se necessário com que os sinais se assemelhem a uma duração infinita, podendo ser feitas de dois modos: o sinal é nulo fora do intervalo de análise (aperiódico - DTFT), ou considerar que o sinal se repete periodicamente (periódico - DFT). Tecnicamente, ao se fazer uso de métodos computacionais, os sinais se apresentam de forma amostrada em séries temporais, na forma digital discretizados. Sendo assim, para representar sinais aperiódicos são necessárias infinitas senóides, o que torna a aplicação no caso da DTFT impraticável. Deste modo, para fazer uso



de recursos computacionais, só é possível por meio de sinais discretos e finitos em comprimento, e, portanto, sendo a DFT a única transformada que efetivamente pode ser utilizada na prática. A abordagem aqui empregada é corroborada pela afirmação dos autores (ROCHA, CARVALHO, *et al.*, 2008) que alegam que, em processamento de sinais normalmente se usa a transformada DFT, que é discreta não só no tempo, mas também na frequência, tornando possível representá-la na forma de uma sequência de números e calculá-la usando um microprocessador. A Figura 13 traz a ilustração da aplicação da DFT.

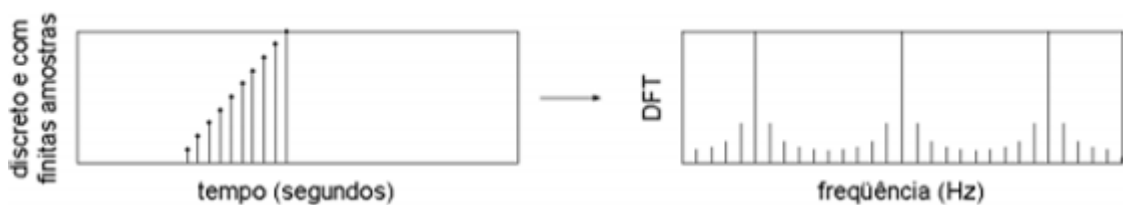


Figura 13: Aplicação da DFT Fonte: Rocha et al (2008) – adaptado pelos autores

## 2.2. Condições para aplicação da DFT

A condição de se aplicar a DFT em uma determinada série temporal, é pressuposto de que a mesma é periódica. De fato, não se pode afirmar ou garantir que fenômeno como um todo volte a ocorrer ao longo do tempo, repetindo a mesma janela de dados temporais àquela previamente selecionada, e que, portanto, não sendo em princípio apropriado sua aplicação ao fenômeno El Niño/La Niña. Entretanto, conforme Oliveira E Favero (2002), no caso de séries não-estacionárias, onde o conteúdo de frequência muda com o tempo, caso do El Niño /La Niña, a conclusão é que a transformada de Fourier pode ser usada em sinais não estacionários quando houver apenas o interesse em qual o espectro de componentes existe no sinal. E, ao se verificar que as componentes presentes podem estar associadas a fenômenos orbitais cíclicos, dos quais são fenômenos que efetivamente contribuem para o aquecimento ou resfriamento na região 3.4 do Oceano Pacífico, pode-se afirmar que os mesmos, individualmente, venham a se repetir a longo prazo, portanto, sendo sinais estacionários e determinísticos, repetindo periodicamente no tempo em

regime permanente. O fenômeno El Niño/La Niña, em razão de seu prévio comportamento, pode também se aproximar de um sinal estacionário, determinísticos quase periódico, pois o sinal é descrito por um somatório de funções periódicas (senóides), não sendo totalmente periódico pois no espectro de frequência das componentes da série não são múltiplos da frequência do componente fundamental.

Outra condição exigida para a efetiva aplicação da DFT é o cumprimento das condições do princípio de amostragem de Nysquist. De acordo com o Teorema de Nyquist, a quantidade de amostras por unidade de tempo de um sinal, chamada taxa ou frequência de amostragem, deve ser maior que o dobro da maior frequência observável no sinal a ser amostrado, para que possa ser reproduzido integralmente sem erro. A metade da frequência de amostragem é chamada frequência de Nyquist e corresponde ao limite máximo de frequência do sinal que pode ser reproduzido. Quando não é possível garantir que o sinal não contenha sinais acima deste limite (distorções, interferências, ruídos, etc...), é necessário filtrar o sinal com um filtro passa baixo com frequência de corte igual (ou menor) a frequência de Nyquist, ou filtro *anti-aliasing*. O não cumprimento da exigência de Nyquist, acarretará o fenômeno denominado *aliasing*, no qual as componentes de maiores frequências que foram desprezadas introduzirão distorções nas frequências mais baixas, de forma que a correta reconstrução do sinal ou a estimação de seu espectro a partir de suas amostras não será possível. A demonstração desse teorema pode ser encontrada nos livros (Discrete-Time Signal Processing) e (Modern Digital and Analog Communication Systems).

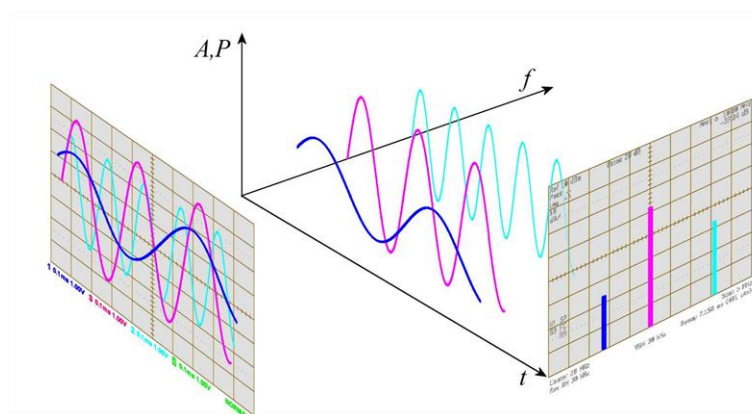


Figura 14 Ilustração didática da aplicação da Transformada Discreta de Fourier.

Ao aplicar a DFT sobre os dados, obtemos as componentes no domínio da frequência, quando é observado, em seu espectro de frequência, componentes / contribuições cujo períodos podem estarem associados a ciclos orbitais.

### 2.3. Base de dados

A base de dados aplicada a partir da série temporal de temperatura da superfície do mar (TSM), medida na região 3.4 do Oceano Pacífico, foi obtida por meio da agência científica dos Estados Unidos da América, o NOAA – Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (**Anexo 1**) ([https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/Data/Niño34.longq.data](https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/Niño34.longq.data)), sendo que a taxa de amostragem da série temporal é mensal.

Embora sendo a temperatura do Oceano Pacífico monitorada em quatro regiões (1.2; 3; 4 e 3.4), a série temporal foi escolhida na região 3.4 em razão da mesma estar posicionada de forma mais central no Oceano Pacífico apresentando menor influência da continentalidade com produção de dados mais isentos a eventuais perturbações, conforme assinalado por Baptista (2009)

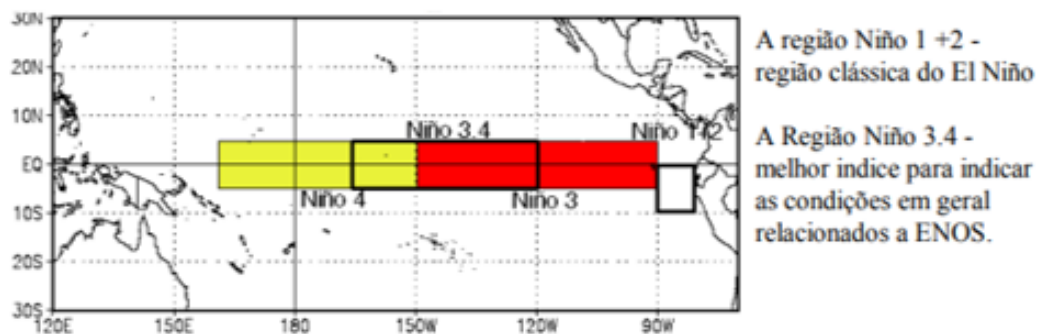


Figura 15 Região de El Niño Fonte: INMET - El Niño / Oscilação Sul

### 2.4. Software utilizado

Para a extração das componentes de frequências presente na série temporal utilizada, foi aplicada a Transformada Discreta de Fourier (DFT) utilizando o *software* NUMXL (suplemento de análise de séries temporais para

o Microsoft Excel, desenvolvido pela *Spider Financial*), cujo tutorial se encontra no Anexo 2

## 2.5. Função inversa de Fourier

Para realizar possíveis predições investigativas, após aplicada a DFT e obter as componentes espectral em suas respectivas amplitudes e fases, faz-se uso da forma compacta de Fourier, conforme descrito no tutorial NUMXL.

*A transformada discreta de Fourier no Excel decompõe a série temporal de entrada em um conjunto de funções cosseno, ou na chamada forma compacta de Fourier.*

$$x_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A_k \times \cos(\phi_k + k \times \omega \times m)$$

*Equação 1 Função inversa de Fourier*

*Sendo que na k-ésima saída da DFT tem-se o  $A_k \angle \phi_k$  . e o  $A_k$  é referido como a amplitude, e o  $\phi_k$  como a fase (em radianos). A série temporal de entrada pode agora ser expressa como uma sequência de tempo de valores, ou como uma sequência de frequência de  $[A_k \angle \phi_k]$  . pares. Conhecendo o conjunto de  $[A_k \angle \phi_k]$  , podemos recuperar a série temporal de entrada exata.*

- $\omega$  é a frequência fundamental ou principal do radiano. É expresso da seguinte forma:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

*Onde, T é o número de observações na série temporal de entrada igualmente espaçada.*

- N é o número de  $[A_k \angle \phi_k]$  pares que precisamos ter, para que possamos recuperar a série temporal de entrada original com um valor mínimo.

## 3. Resultados

O período da série temporal escolhido compreende anos completos de jan/1870 a dez/2018. Foram utilizados a totalidade dos dados, pois assim há garantia de que os ciclos maiores podem serem capturados pela DFT, quando estando eventualmente presentes no espectro de frequência. Caso contrário, quanto menor a

“janela” temporal de dados, não serão percebidas as variações dos ciclos médios baixos, conforme listados na Tabela 1.

	Ciclo	Período		Mecanismo/causa
		Tempo	(anos)	
Ciclos curtos	Ciclo diário	1 d.	$2,7 \cdot 10^3$	Movimento de rotação terrestre
	Ciclo sinóptico	3 a 7 d.	$1,4 \cdot 10^3$	Movimentação de massas de ar
	Oscilação Madden-Julian (OMJ)	30 a 60 d.	$1,2 \cdot 10^4$	Onda atmosférica
	Ciclo intra-estações	180 d.	$1,6 \cdot 10^4$	Inclinação do eixo terrestre
	Ciclo anual	365 d.	$1,0 \cdot 10^5$	Movimento de translação terrestre
Ciclos médios	Oscilação Quase-Bienal (QQB)	2 a 2,5 a.	$2,3 \cdot 10^5$	Oscilação atmosférica
	Oscilação "El Niño – Oscilação Sul (ENOS)"	2 a 7 a.	$5,0 \cdot 10^5$	Influência lunar/planetária
	Ciclo de Schwabe	11 a.	$1,1 \cdot 10^5$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
	Ciclo de Saros	18,1 a.	$1,8 \cdot 10^5$	Parâmetro orbital lunar
	Ciclo nodal lunar (ou Ciclo Draconiano)	18,6 a.	$1,9 \cdot 10^5$	Parâmetro orbital lunar
	Ciclo de Hale	22 a.	$2,2 \cdot 10^5$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
	Ciclo de Brückner	35 a.	$3,5 \cdot 10^5$	Influência lunar/planetária
	Oscilação Interdecadal do Pacífico (OIP)	15 a 30 a.	$2,3 \cdot 10^5$	Influência lunar/planetária
	Oscilação do Atlântico Norte (OAN)	25 a 35 a.	$3,0 \cdot 10^5$	Influência lunar/planetária
	Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)	50 a 70 a.	$7,0 \cdot 10^5$	Influência lunar/planetária
	Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA)	50 a 90 a.	$7,0 \cdot 10^5$	Influência lunar/planetária
	Ciclo inferior de Gleissberg	88 a.	$8,8 \cdot 10^5$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
	Ciclo superior de Gleissberg	120 a.	$1,2 \cdot 10^6$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
	Ciclo de Jose	179 a.	$1,8 \cdot 10^6$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
	Ciclo de Suess (ou Ciclo de De Vries)	208 a.	$2,1 \cdot 10^6$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
	Ciclo de 500 anos	500 a.	$5,0 \cdot 10^6$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
	Ciclo de Eddy	1.000 a.	$1,0 \cdot 10^6$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
	Eventos de Dansgaard-Oeschger	1.500 a.	$1,5 \cdot 10^6$	Influência solar, proc. atmosf./oceanos
	Eventos de Bond	1.500 a.	$1,5 \cdot 10^6$	Influência solar, proc. atmosf./oceanos
	Ciclo de Hallstatt	2.300 a.	$2,3 \cdot 10^6$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)
Eventos de Heinrich	10 ma.	$1,0 \cdot 10^6$	Influência solar, proc. atmosf./oceanos	
Ciclo longos	Ciclo de Milankovitch - Interglacial	10 ma.	$1,0 \cdot 10^6$	Combinação de parâmetros orbitais terrestres
	Interglacial/Glacial	100 ma.	$1,0 \cdot 10^6$	Combinação de parâmetros orbitais terrestres
	C. de Milankovitch - Precessão equinócios	20 ma.	$2,0 \cdot 10^6$	Parâmetro orbital terrestre
	C. de Milankovitch - Inclinação axial	40 ma.	$4,0 \cdot 10^6$	Parâmetro orbital terrestre
	C. de Milankovitch - Excentricidade orbital	100 ma.	$1,0 \cdot 10^6$	Parâmetro orbital terrestre
C. de Milankovitch - Excentricidade orbital longa	400 ma.	$4,0 \cdot 10^6$	Parâmetro orbital terrestre	
Superciclos	Impactos de grandes asteroides/meteoritos	30 Ma.	$3,0 \cdot 10^7$	Oscilação vertical do Sistema Solar através do plano galáctico
	Modo de Estufa/Modo de Geladeira			
	Modo Quente/Modo Frio	250 a	$2,5 \cdot 10^8$	Movimento de translação do Sistema Solar em torno do centro da Galáxia
	Ciclo tectonismo/vulcanismo	500 Ma.	$5 \cdot 10^8$	
Ciclo de supercontinentes				
Ciclo de Wilson				

Legenda: C. = Ciclo; d. = dia(s); a. = ano(s); ma. = milhares anos; Ma. = milhões de anos.

Tabela 1 Síntese dos ciclos do clima e relacionados, seus períodos, mecanismos e causas Fonte: (OLIVEIRA, CARNEIRO, et al., 2018)

Os ciclos médios altos, longos e superciclos, maiores que janela temporal de 149 anos, eventualmente presentes, não são detectados expressamente pela aplicação da DFT, sendo esses contribuindo apenas para a média de temperatura, portanto, não colaborando para o índice de variação verificado no fenômeno El Niño/La Niña. A exemplo dos ciclos longos, tais como excentricidade, inclinação e precessão – ciclos de *Milankovitch*, que ocorrem em milhares de anos, não podem ser capturados, estando os mesmos contidos na contribuição da média da TSM.

A variação do índice de temperatura foi obtida pela média de todas as medições mensais compreendidas de jan/1870 a dez/2108 em um total de 1.788 dados, obtendo a média em 26,96 °C (Gráfico 1 e Anexo 1).

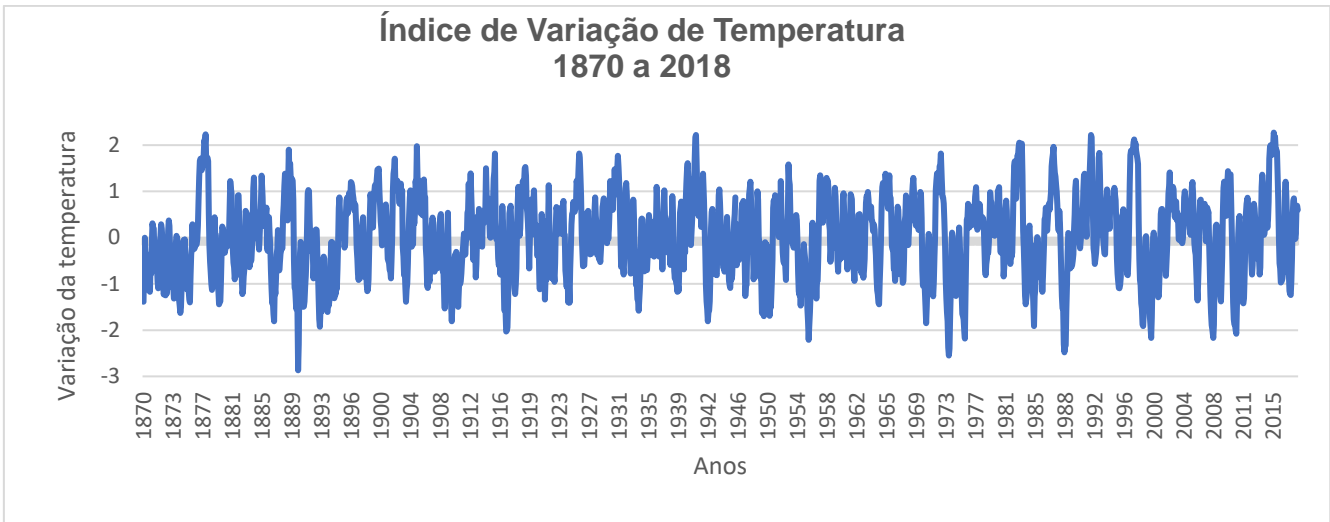


Gráfico 1 Índice de temperatura El Niño / La Niña. Fonte: Elaborado pelos autores

Para efeito de verificação de possíveis erro de *aliasing*, foi aplicado a DFT para 3.000 componentes de saídas, conforme Gráfico 2 abaixo. Ao se utilizar a taxa de amostragem mensal é verificado que na distribuição espectral de frequências não há previamente sobreposições e, portanto, cumprindo previamente a condição do princípio de Nyquist.

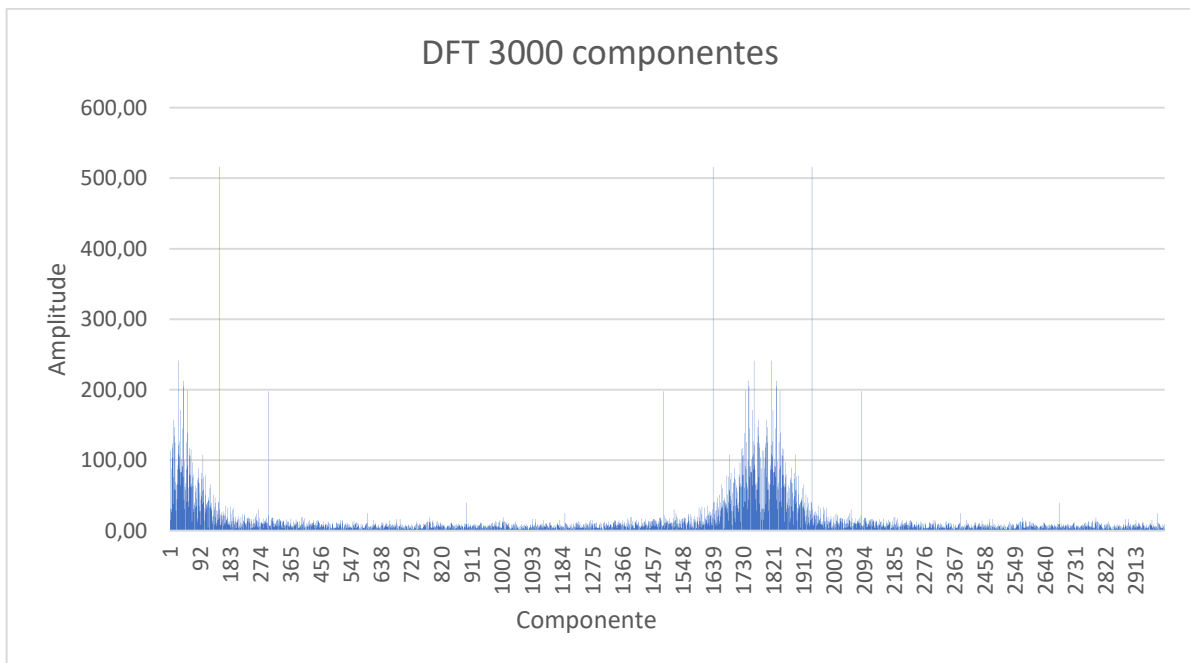


Gráfico 2 Verificação de aliasing Fonte: Elaborado pelos autores

Para melhor visualização e análise verificar o Gráfico 3. Aplicou-se uma nova DFT, sendo que o espectro de frequência foi restringido a 300 componentes de saídas

vez que é o suficiente para verificar o Teorema da Amostragem e à exigência das condições Nyquist, que neste caso, a frequência de amostragem mensal é no mínimo duas vezes que a maior frequência de intensidade significativa contida no sinal da série temporal. Significando que a maior frequência considerada se dá em 6 meses, ou seja, são 298 ciclos no período total de 149 anos. As frequências superiores a 6 meses são desprezadas em razão de suas intensidades serem diminutas em relação a maior contribuição, que no caso se deu na componente 149. Conforme já mencionado, salienta-se que, ao se desprezar as maiores frequências, ainda que de baixa intensidades, as mesmas podem causar imprecisões nas componentes de frequências mais baixas.

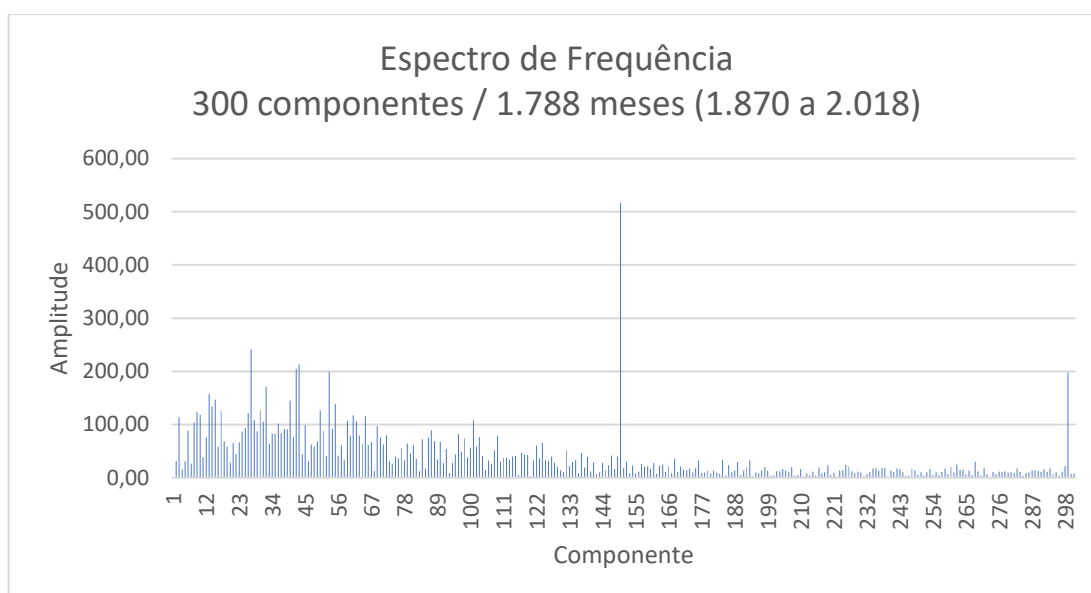


Gráfico 3 – Espectro de frequência presente na série temporal de temperatura entre 1870 a 2018 Fonte: Elaborado pelos autores

Para uma melhor identificação de ciclos presentes no fenômeno El Niño/La Niña, foi realizado a normalização em referência à maior contribuição (ciclo de 149), denotando que as componentes ficam associadas a supostos ciclos orbitais dado em anos (ver Gráfico 4). Foram selecionadas um total de 78 maiores contribuições, maior que 10% da componente principal (Apêndice 1), sendo as demais desconsideradas por serem de menor relevância e/ou passíveis de conter erros de medições dentro dos 149 anos, especialmente quando do emprego de tecnologias de medições poucos precisas no final do século XIX e início do XX.

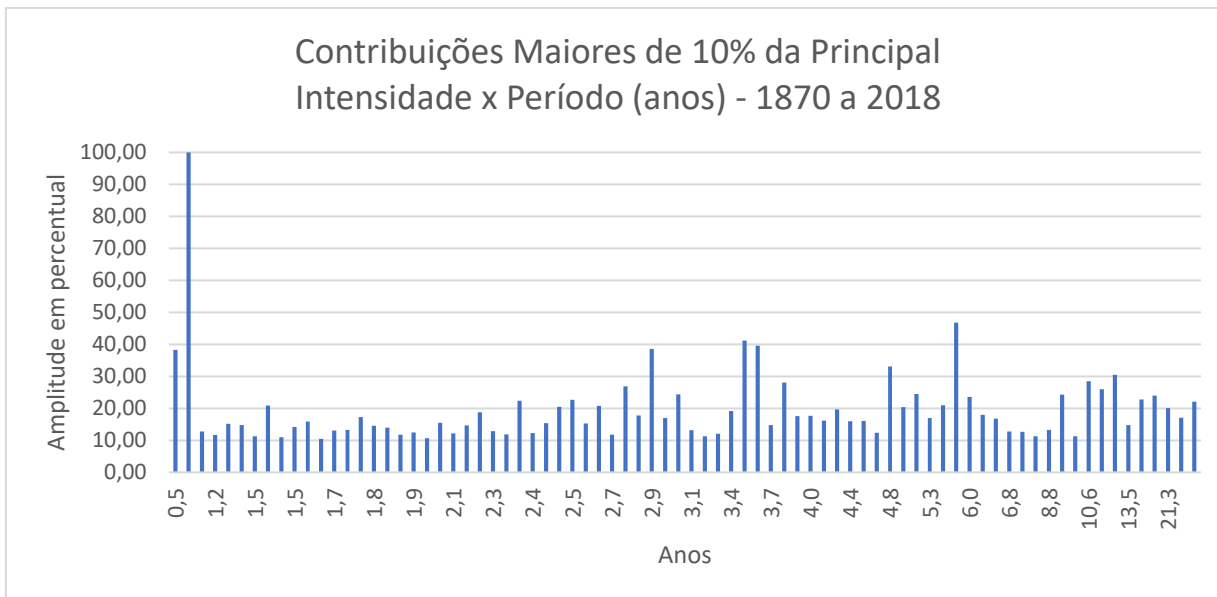


Gráfico 4 Ciclos representados em anos Fonte: Elaborado pelos autores

Ao utilizar das 78 maiores componentes (Apêndice 1), verifica-se que a expressão temporal Gráfico 5 possui caráter fidedigno quanto à tendência do fenômeno em relação à série temporal original Gráfico 1.

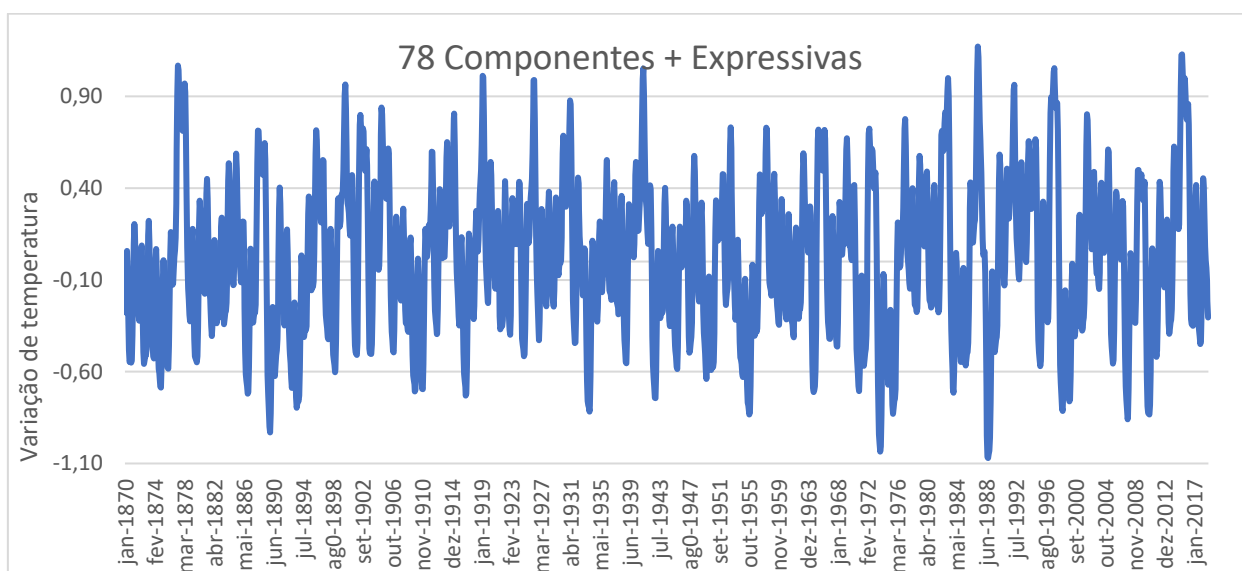


Gráfico 5 Representação temporal - 78 componentes mais expressivas Fonte: elaborado pelos autores

Os gráficos que se seguem (Gráfico 6 e Gráfico 7), destacam comparativamente por meio de um período mais estreito, de 2010 a 2018, sendo que



as composições de 78 componentes possuem as mesmas tendências e comportamento de variação de temperaturas do fenômeno El Niño/La Niña.

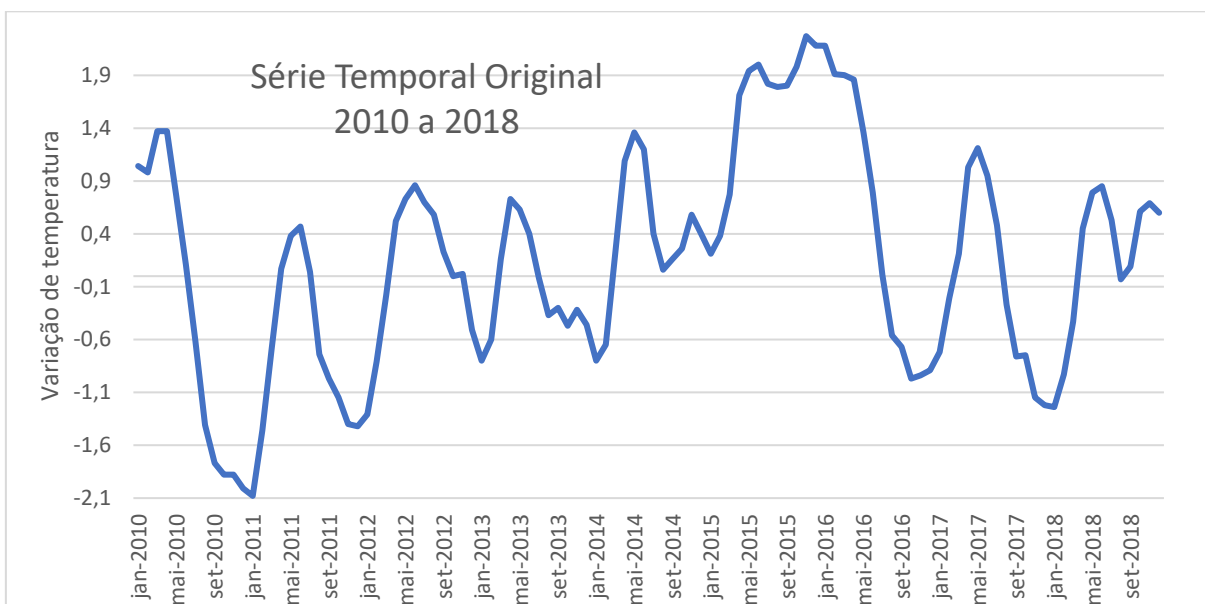


Gráfico 6 Índice de variação da série temporal original de 2010 a 2018 Fonte: elaborado pelos autores

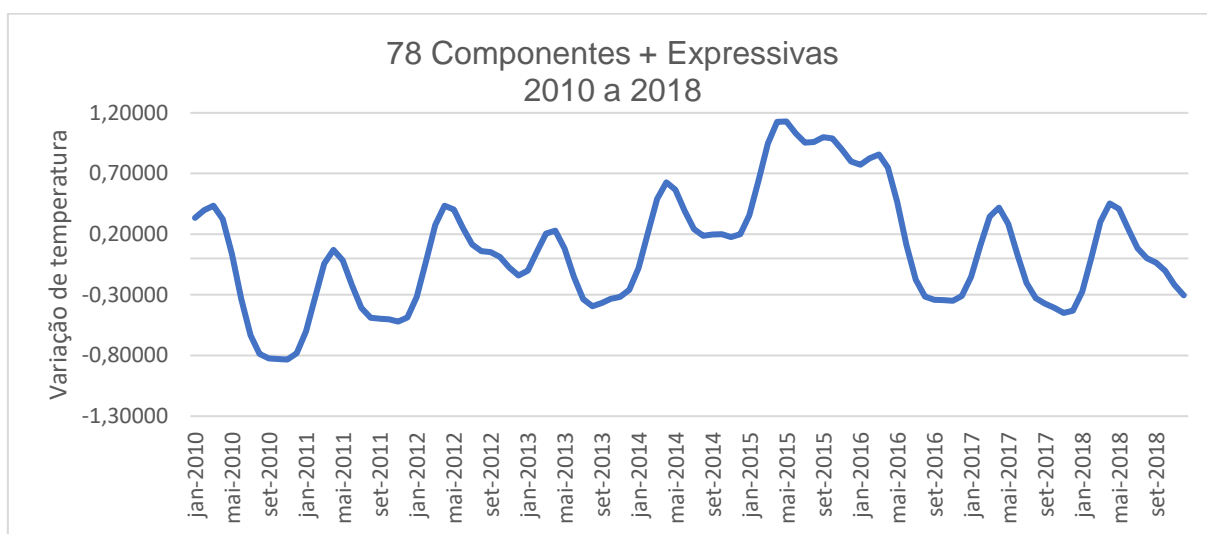


Gráfico 7 Índice de variação de 78 componentes mais expressivas de 2010 a 2018 contribuições Fonte: elaborado pelos autores

#### 4. Análises e discussões

Primeiramente, é relevante salientar que os ciclos elencados na Tabela 1 dos quais possuem variações definidos em um intervalo de tempo, como no caso do fenômeno El Niño/La Niña, não são ciclos autênticos, contrariamente dos ciclos típicos de movimento de translação anual (periélio / afélio), por exemplo, e sim, se

apresentando como um efeito de uma composição de outros ciclos puros periódicos definidos pela mecânica celeste.

Conforme os autores Oliveira, Carneiro, *et al.* (2018) afirmam, *técnicas de análise avançadas revelam que a variabilidade natural do clima recente consiste na sobreposição de várias oscilações, muitas de origem astronômica, que vão desde a escala decenal até a escala milenar.* A partir dos resultados obtidos, é ilustrado no Gráfico 8 essa ideia em um período de 2010 a 2018 cuja oscilações contribuem para o fenômeno El Niño/La Niña.

A partir dessa análise, já não se pode considerar que o fenômeno El Niño seja considerado como uma mera anomalia de temperatura como afirmam diversos autores. É sim um sistema natural, pois é um somatório de vários fenômenos oscilatórios que compõem o sistema de variação da TSM do pacífico, e, a partir daí, as suas consequências climáticas, sejam elas de ordem regional e global.

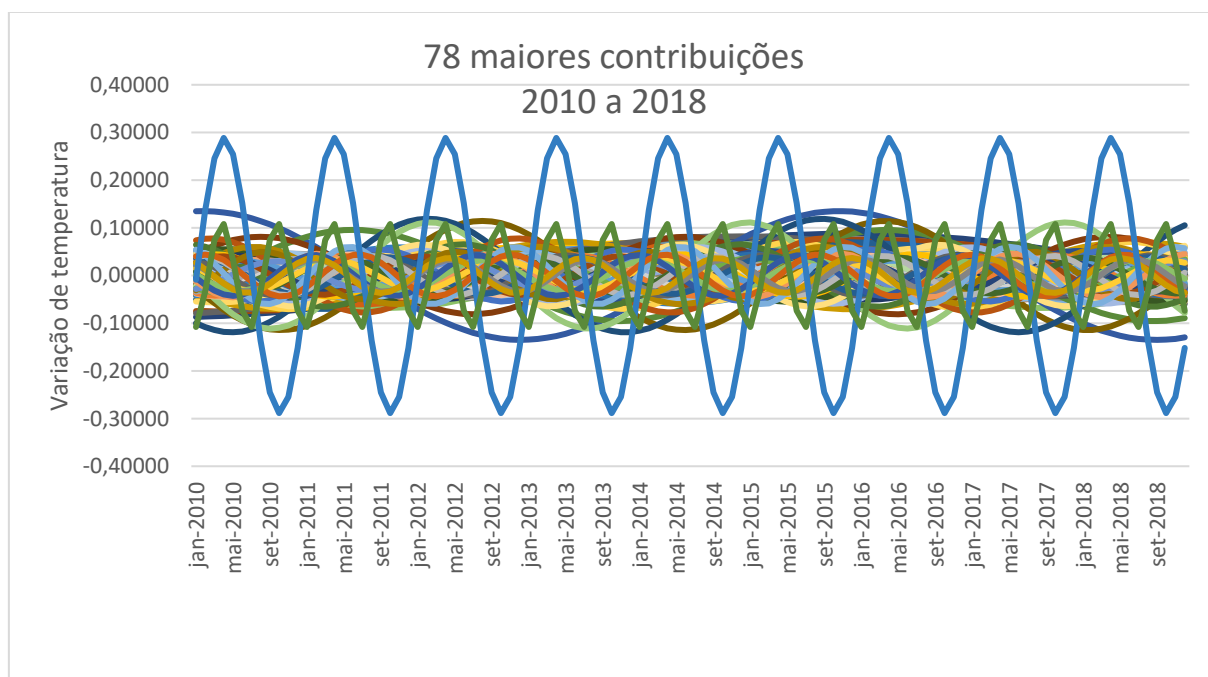


Gráfico 8 78 maiores intensidade espectral e suas respectivas Fonte: elaborado pelos autores

Ao analisar os dados da composição espectral de frequência, conforme a Tabela 2, é verificado que, entre eles alguns são manifestos conhecidos, particularmente os ciclos de translação (periélio / afélio) e das estações do ano devido a inclinação de  $23,5^\circ$  (equinócio / Solstício).

Componentes Cíclicos				
Componente	Amplitude	Fase	Período (ano)	Ciclo Orbital
8	123,7056711	1,495198992	18,6	Nodal Lunar
13	134,2889115	1,606482958	11,4	Manchas Solares
149	516,1677945	4,158031061	1,0	Translação (afélio / periélio)
298	197,5724295	2,307814193	0,5	Estações (Solstício / equinócio)

Tabela 2 Ciclos orbitais presentes no fenômeno El Niño / La Niña Fonte: elaborado pelos autores

Ainda que as componentes espectrais presente no fenômeno El Niño / La Niña não sejam devidamente identificadas em sua totalidade, é improvável que os ciclos orbitais de curto prazo não estejam associados às variações de temperaturas medidas na região 3.4. Se considerar que todas as componentes são decorrentes de ciclos orbitais permanentes (direta ou indiretamente), a partir daí, pode-se inferir que o fenômeno é preditivo, sendo que as sobreposições desses ciclos acarretam a sua totalidade descrevendo o fenômeno El Niño / La Niña.

Duas outras componentes relevantes (8 e 13) podem estarem associadas ao ciclo nodal lunar e ciclo Solar de Wolf que correspondem aos períodos de 18,6 e 11,4 anos respectivamente, reforçando a hipótese de que as variações de temperatura sobre o Oceano Pacífico são moduladas pelos ciclos orbitais caracterizando o fenômeno El Niño/La Niña.

Por outro lado, dos supostos ciclos não identificados no espectro de frequência obtido, podem ser que estejam presentes ciclos que corroborem com a formação do fenômeno El Niño/La Niña, pois, a exemplo dos estudos feitos pelo o autor Santiago e Salviano (2005) afirma que, *de acordo com o modelo de nutação mais atual, este efeito é composto de 106 termos harmônicos envolvendo senos e cossenos com diferentes frequências, em sua maioria efeitos secundários de torque gravitacional do Sol e da Lua, mais 85 correções devidas a efeitos planetários. Os principais termos de nutação são: um termo de período igual a 18.6 anos (período de precessão da órbita da Lua), um termo de 182.6 dias (meio ano), um outro de 13.7 dias (meio mês) e um de 9.3 anos (período de rotação do perigeu lunar).*

É afirmado ainda pelos autores Echer, Rigozo, *et al.* (2003), em seus estudos sobre o número de manchas Solares, índice da atividade do Sol, que: *em uma comparação do espectro usando o método de análise por regressão iterativa mostrou que os componentes espectrais mais estatisticamente significativos, para o período 1700-1999, foram 65,3; 52,0; 12,0; 11,0; 10,0 e 8,5 anos. Asseguram, ainda que, as características espectrais mais frequentemente identificadas são: um conjunto de*

períodos relacionado ao sinal de 11 anos, períodos relacionados ao segundo harmônico Solar do ciclo de 11 anos, ao ciclo magnético de Hale de 22 anos e ao ciclo de Gleissberg em torno de 80-100 anos. Pode-se, portanto, que esses ciclos anotados estejam contribuindo direta ou indiretamente com maior ou menor irradiação afetando a TSM medida na série temporal região 3.4 influenciando o fenômeno El Niño/La Niña.

Mantida a hipótese de que os elementos que compõem o fenômeno El Niño /La Niña são orbitais, e que, portanto, cíclicos, sugere-se que individualmente, cada fração, cada componente, se repetem simultaneamente a longo prazo, e ao se somarem, suas combinações resultam na modulação do, agora chamado de sistema, um conjunto de elementos interdependentes de modo a formar um todo organizado, o **Sistema El Niño/La Niña (ENLN)**, mesmo que ainda com feições caóticas e previamente imprevisíveis.

Decorrente dessa conjectura, pode-se inferir previsões apontando tendências de temperaturas futuras por meio da expressão dos componentes fractais da DFT:

$$x_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A_k \times \cos(\phi_k + k \times \omega \times m)$$

Sendo que  $k$ , foram escolhidos com intensidades maior que 10% da componente mais expressiva (ciclo de 1 ano) totalizando 78 contribuições em suas respectivas amplitudes ( $A_k$ ) e fases ( $\phi_k$ ). O valor de  $m$  é dado em mês.

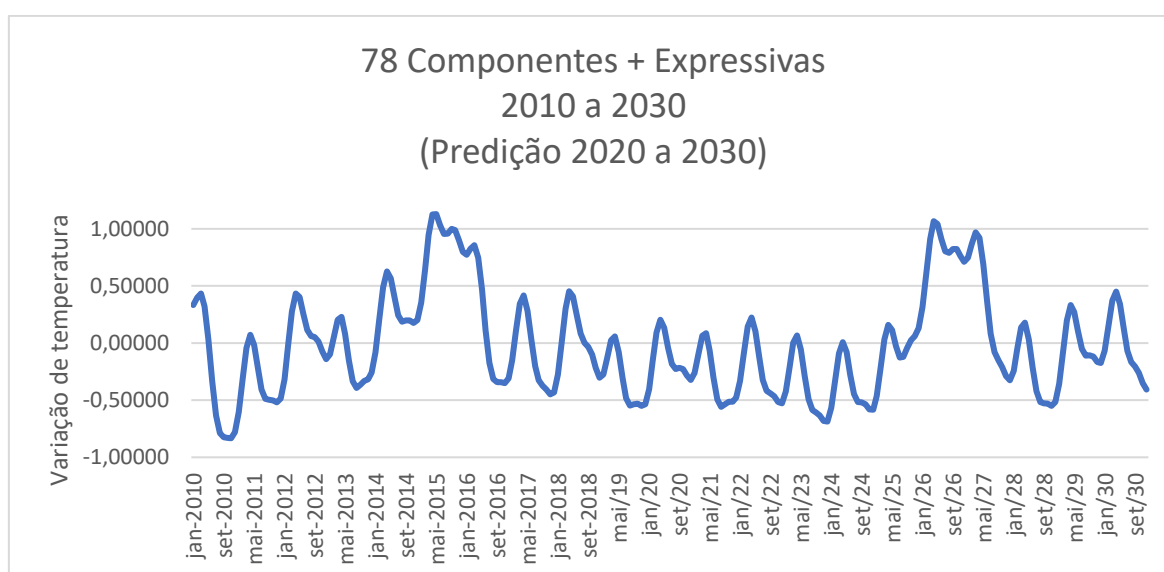


Gráfico 9 Predições para o sistema ENLN Fonte: elaborado pelos autores

Para que se possa previamente validar a hipótese de que as componentes que contribuem para com o Sistema ENLN é decorrente de variações orbitais, são observadas as componentes 149 e 298, que correspondem a ciclos de 1,0 e 0,5 anos que se associam diretamente aos os ciclos de translação (periélio / afélio) e das estações do ano (equinócios / Solstícios). Especialmente o ciclo de translação, cuja magnitude é de ordem bastante superior às causadas pelas variações das emissões solares Oliveira, Carneiro, *et al.*, (2018), possuindo a maior componente de contribuição de temperatura, é inequívoco, sendo o mesmo um marcador referencial do método aqui proposto. Salienta-se, ainda, conforme os autores (YNOUE, AMBRIZZI, *et al.*, 2017), a faixa de intensidade da insolação solar devido à variação de 3% da distância Terra-Sol entre o periélio (janeiro) e o afélio (junho) é de 6% maior.

## 5. Conclusão

Conforme alegam os autores Oliveira, Carneiro, *et al.*, (2018), a **variação** é uma propriedade fundamental da dinâmica do sistema climático terrestre. Afirmam ainda, que as mudanças continuarão ocorrendo em tempos vindouros, de forma cíclica e intrinsecamente conectada a fatores astronômicos. E que, portanto, não sendo o sistema ENLN diferente de esse padrão. É sim composto de diferentes influências cíclicas diretas e indiretas, de curtos e médios prazos, mesmo que não claramente identificados até o presente momento pela falta de dados e medidas suficientes. O tempo da presença do *homo sapiens* no planeta é ainda insuficiente para que se tenha coletado dados satisfatórios para a compreensão da dimensão dos fenômenos cíclicos e seus efeitos em sua totalidade.

Há ainda de se promover novas pesquisa sobre esse tema aqui proposto, e suas hipóteses. Particularmente, é de fundamental importância a identificação de todos os ciclos puros presentes no sistema ENLN, pois consolidados e validados esses pressupostos, tem-se um modelo que possibilita conjecturar a gênese do ENLN, bem como postular sua predição com maior assertividade. E, a partir daí, obter um instrumento mitigador preciso de tomada de decisões para todas esferas do planejamento, ofertando, assim, uma nova ferramenta integradora e eficaz para as problemáticas político-sócio-econômico-ambientais – catástrofes naturais, secas e inundações, segurança alimentar e fome de povos, investimentos e atividades financeiras, agricultura, energia, gerenciamento de recursos hídricos, e tanto outros –

proporcionando à humanidade, em seu termo maior, a prosperidade da atual e futuras gerações.

A humanidade ao dominar os ciclos, é dona de sua própria existência. Caso contrário, será sucumbida inexoravelmente pelos mesmos ciclos não dominados.

## 6. Bibliografia

BANCO DO BRASIL. Bando do brasil-Seguros. **bbseguros.com.br**, 2018. Disponível em: <[https://www.bbseguros.com.br/seguradora/images/CG\\_Agro\\_V3.2\\_tcm704-547251.pdf](https://www.bbseguros.com.br/seguradora/images/CG_Agro_V3.2_tcm704-547251.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2019.

BAPTISTA, G. M. **Aquecimento global: Ciência ou religião?** 1. ed. Brasília: Hinterlândia editorial, 2009. ISBN 978-85-62684-00-5.

ECHER, E. et al. O número de manchas solares, índice da atividade do sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 157-163, jun. 2003. ISSN 1806-1117.

EHLERS, R. S. **ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS**. 5ª. ed. [S.l.]: [s.n.], 2009.

FEMIA, F.; WERRELL, C. The Arab Spring and Climate Change: A Climate and Security Correlations Series. **Center for american progress**, Washington, p. 23-32, fev. 2013. Disponível em: <<https://climateandsecurity.files.wordpress.com/2012/04/climatechange-arabspring-ccs-cap-stimson.pdf>>. Acesso em: 2019 jun. 2019.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Evolução temporal das doenças de notificação compulsória no Brasil de 1980 a 1998. **Boletim Epidemiológico**, Brasília, n. especial, 1999.

HANSEN, J. W. Realizing the potential benefits of climate. **Elsevier**, v. 74, n. 3, p. 309-330, dez. 2002. ISSN PII : S0308-521X(02)00043-4. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00043-4)>.

HSIANG, S. M.; MENG, K. C.; CANE, M. A. Civil conflicts are associated with the global climate. **Nature**, v. 476, p. 438-441, ago. 2011.

INMET. Instituto nacional de meteorologia. **http: //www.inmet.gov.br**. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=tempo\\_clima](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=tempo_clima)>. Acesso em: 6 15 2019.

KUKLA, G.; FAIRBRIDGE, R. W. **Encyclopedia of World Climatology**. [S.l.]: Springer, 2005. 1879-1958 p. Disponível em: <[https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1007/1-4020-3266-8\\_139](https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1007/1-4020-3266-8_139)>.

LAKE, I. R. et al. A re-evaluation of the impact of temperature and climate change on foodborne illness. **Epidemiology & Infection**, v. 137, n. 11, p. 1538-1547, 17 abr. 2009.

LATHI, B. P. **Modern Digital and Analog Communication Systems**. 3. ed. New york: Oxford university press, 1998. ISBN 0-800-334-4249.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo do neolítico á crise conteporanea**. 4. ed. Rio de janeiro: UNESP, v. I, 2009.

MIGON, H. D. S. **Analise de series temporais**. Rio de janeiro : UFRJ, 2004.

MOLION, L. C. B. GÊNESE DO EL NIÑO. **Revista Brasileira de Climatologia**, Paraná, v. 21, 07-12 2017. ISSN 2237-8642.

NOAA. El niño theme page: Pacific marine environmental laboratory. **www.pmel.noaa.gov**. Disponível em: <[https://www.pmel.noaa.gov/el\\_nino/what-is-el\\_nino](https://www.pmel.noaa.gov/el_nino/what-is-el_nino)>. Acesso em: 2019 jun. 15.

OLIVEIRA, M. A.; FAVERO, L. P. L. Uma breve descrição de algumas técnicas para análise de séries temporais: Séries de Fourier, Wavelets, Arima, Modelos Estruturais para séries de tempos e redes neurais. **VI SEMEAD Ensaio mqj**, São paulo, 2002.

OLIVEIRA, M. J. D. et al. História geológica e Ciência do clima: métodos eorigns do estudo dos ciclos climáticos na Terra. **terrae**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 3-26, 2015. ISSN ISSN 1679-2297. Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/terrae/V12/PDFv11/T056-1.pdf>>.

OLIVEIRA, M. J. D. et al. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **terrae didatica**, v. 13, n. 3, p. 149-184, 22 jan. 2018.

PEREIRA, D. N. B.; NEVES, G. Z. D. F.; VECCHIA, F. A. D. S. VARIABILIDADE CLIMÁTICA E A INFLUÊNCIA DO CICLO NODAL LUNAR. **Os desafios da geografia fisica na fronteira do conhecimento**, Campinas, 1, 06-07 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2598>>.

PEREIRA, D. N. B.; VECCHIA, F. A. S. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO CICLO NODAL LUNAR NA VARIABILIDADE CLIMATOLÓGICA. **Simpósio do Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental**, são carlos, v. 1, n. XV, out.



2016. Disponivel em:  
<<http://soac.eesc.usp.br/index.php/PPGSEA/PPGSEA/paper/view/248/186>>.
- PRESS, F. et al. **para entender a terra**. 4. ed. [S.I.]: ARTMED, 2006. ISBN 8536306114.
- RICKLEFS, R.; RELYEA, R. **A economia da natureza**. 7<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: GUANABARA KOOGAN LTDA, 2016. ISBN 9788527729628.
- ROCHA, A. F. D. et al. **http: //www.ene.unb.br/joaoluiz/pdf/adson-psb-capitulo.pdf**. Brasilia: Editora Universa (Taguatinga-DF) and Editora Eduel (Londrina-PR), 2008. 381-416 p. Disponivel em: <<http://www.ene.unb.br/joaoluiz/pdf/adson-psb-capitulo.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2019.
- SANTIAGO, B.; SALVIANO, A. **ASTRONOMIA GEODÉSICA**: Posicionamento pelas Estrelas. [S.I.]: ufrgs-Instituto de fisica, 2005. Disponivel em: <[http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro\\_v1.pdf](http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/livro_v1.pdf)>. Acesso em: 17 jun. 2019.
- SINAÏ, A. As origens climáticas dos conflitos. **Le monde diplomatique**, n. 97, jan. 2015. Disponivel em: <<https://diplomatie.org.br/as-origens-climaticas-dos-conflitos/>>. Acesso em: 16 jun. 2019.
- V.OPPENHEIM, A.; SCHAFFER, R. W.; BUCK, J. R. **Discrete-Time Signal Processing**. 2. ed. New jersey: Prendice hall, 1999. ISBN 0-13-754920-2.
- WIZ world infozone. **http: //www.worldinfozone.com**. Disponivel em: <<http://www.worldinfozone.com/country.php?country=Japan>>. Acesso em: 15 jun. 2019.
- YNOUE, R. Y. et al. **Meteorologia noções básicas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. ISBN 9788579752636.

## Apêndice

### Apêndice 1

<b>Componentes de 78 Maiores Contribuições</b>			
Componente	Amplitude	Fase (radiano)	Período (ano)
2	113,7115274	2,118597499	74,5
5	88,29314777	-0,585862108	29,8
7	103,7215653	3,032044225	21,3
8	123,7056711	1,495198992	18,6
9	117,7196241	1,531905845	16,6
11	76,05905466	-1,441619218	13,5
12	157,3193189	1,522312279	12,4
13	134,2889115	1,606482958	11,4
14	146,9216011	2,385022072	10,6
15	58,36979937	1,576999448	9,9
16	125,1190367	2,108702078	9,3
17	68,59762555	-0,000746859	8,8
18	58,07044553	-1,305626883	8,3
20	65,22323038	1,242128332	7,5
22	66,08006395	-1,306772865	6,8
23	86,38119748	1,955073061	6,5
24	93,03573254	4,234559014	6,2
25	121,5789967	4,448999488	6,0
26	241,3981222	3,417694372	5,7
27	108,0426387	-0,910472301	5,5
28	87,37759299	4,174112704	5,3
29	126,3984043	0,547621039	5,1
30	105,1717615	2,634381504	5,0
31	170,9528348	3,512057783	4,8
32	64,06276221	-1,21839986	4,7
33	83,14351235	0,868104659	4,5
34	82,44844497	0,032440971	4,4
35	101,4244129	3,468640924	4,3
36	83,63183727	-0,131269981	4,1
37	91,41347487	1,62614486	4,0
38	90,87019348	1,47843789	3,9
39	145,0985571	1,13488375	3,8
40	76,28239399	-1,224945962	3,7
41	204,5876157	4,66579087	3,6
42	212,8183431	-0,486664458	3,5
44	98,86604312	3,454848617	3,4
46	62,49644916	0,174124641	3,2
47	58,19088504	4,073740523	3,2
48	67,8158106	-0,156890481	3,1
49	125,7304417	0,991054285	3,0

50	87,58583671	0,003681631	3,0
52	198,9421302	2,358735295	2,9
53	91,73327282	2,137961809	2,8
54	138,8716109	1,143589204	2,8
56	60,99820382	-0,63558642	2,7
58	107,3387293	1,68187328	2,6
59	78,66871935	3,368966229	2,5
60	117,1233874	3,889216718	2,5
61	105,7835785	-1,288732898	2,4
62	79,29307554	0,7660107	2,4
63	63,18600737	1,960082891	2,4
64	115,643191	-0,28552197	2,3
65	61,42865331	3,076696569	2,3
66	66,61290277	1,885089952	2,3
68	96,96814975	1,931034396	2,2
69	75,81678056	3,410156325	2,2
70	62,7565399	4,622915137	2,1
71	79,68298709	1,053436206	2,1
76	55,07014747	2,114807782	2,0
78	64,40026901	0,332103052	1,9
80	60,63322846	3,909383665	1,9
83	72,21015362	-1,030783898	1,8
85	75,33973001	1,088915584	1,8
86	89,18214613	-1,312917532	1,7
87	68,36754982	1,208645231	1,7
89	67,25008033	3,407856509	1,7
91	53,95933277	0,028369331	1,6
95	81,70573717	-0,140770835	1,6
97	73,24198056	-1,425173326	1,5
99	56,56326596	0,560157684	1,5
100	107,6692943	0,344631065	1,5
101	58,10814738	1,783443072	1,5
102	76,36223883	2,344717325	1,5
108	78,3855211	2,507159433	1,4
121	60,07908772	2,316356749	1,2
123	65,72201336	3,026342809	1,2
149	516,1677945	4,158031061	1,0
298	197,5724295	2,307814193	0,5

## Anexos:

### Anexo 1

Dados de temperatura média mensal medida na região 3.4 (1870 a 2019 – NOAA)

1870	25.58	25.57	26.43	26.96	26.59	26.61	26.19	25.99	26.22	25.82	25.86	25.79
1871	26.33	26.18	26.83	27.27	27.16	27.16	26.62	26.54	26.51	26.40	26.35	26.01
1872	25.86	26.14	26.76	27.00	27.25	27.16	26.91	26.02	25.73	25.79	25.86	25.71
1873	25.79	25.75	25.95	27.10	27.33	27.21	26.65	26.48	26.41	25.96	25.88	25.89
1874	25.64	25.70	25.85	26.83	27.00	26.96	26.22	25.82	25.62	25.49	25.33	25.45
1875	25.87	26.39	26.66	26.90	26.77	26.92	26.37	26.06	25.84	25.90	26.01	25.83
1876	25.63	25.56	26.13	26.59	26.78	27.25	26.88	26.71	26.73	26.85	26.80	26.81
1877	26.93	27.22	27.78	28.27	28.62	28.67	28.64	28.42	28.50	28.68	28.74	29.07
1878	28.99	29.19	28.57	28.69	28.69	28.61	27.48	26.76	26.43	26.20	25.95	25.83
1879	26.03	26.58	27.02	27.40	27.03	27.02	26.46	26.18	25.93	25.80	25.52	25.56
1880	25.58	26.03	26.63	27.20	27.15	27.08	26.70	26.63	26.72	26.90	26.90	26.77
1881	26.87	26.99	27.58	28.18	28.03	27.92	26.96	26.71	26.42	26.31	26.06	26.22
1882	26.13	26.21	26.73	27.87	27.88	27.29	26.65	26.55	26.24	26.08	25.74	25.83
1883	26.12	26.27	26.86	27.54	27.49	27.48	27.21	26.85	26.58	26.32	26.43	26.44
1884	26.47	26.75	27.26	28.03	28.26	27.55	27.51	27.08	26.94	27.02	26.95	26.93
1885	26.70	27.03	27.38	27.75	28.30	27.85	27.30	27.21	27.27	27.45	27.46	27.61
1886	26.75	26.67	27.15	27.40	27.02	26.79	26.25	25.85	25.54	25.59	25.31	25.15
1887	25.90	25.74	26.08	26.59	26.72	27.12	26.68	26.25	26.41	26.61	26.69	26.74
1888	26.73	27.42	27.66	28.07	28.34	28.09	27.78	27.80	27.33	28.16	28.86	28.26
1889	28.56	28.24	28.09	28.23	28.19	27.78	26.47	25.88	25.83	25.42	25.57	25.34
1890	24.09	24.65	26.11	26.63	26.87	26.82	26.30	25.50	25.46	25.47	25.58	25.90
1891	26.13	26.51	27.19	27.92	27.99	27.97	27.34	26.93	26.67	26.70	26.71	26.60
1892	26.08	26.42	26.68	27.12	27.14	27.12	26.60	26.25	25.68	25.19	25.03	25.41
1893	25.35	25.60	26.02	26.47	26.55	26.50	25.91	25.58	25.48	25.37	25.35	25.59
1894	25.49	25.63	26.20	26.85	26.87	26.85	26.34	26.07	25.65	25.91	25.73	26.11
1895	25.85	26.28	26.86	27.60	27.83	27.47	26.96	27.23	27.17	27.05	27.10	27.07
1896	26.74	26.85	27.41	27.76	27.82	27.48	27.66	27.92	27.79	27.83	28.16	28.14
1897	28.07	27.90	27.80	27.55	27.69	27.66	27.29	26.73	26.51	26.17	26.04	26.19
1898	26.07	26.19	26.47	27.16	27.28	27.40	26.59	26.11	26.56	26.40	26.00	25.80
1899	25.83	26.05	26.69	27.43	27.90	27.78	27.20	27.51	27.18	27.66	27.94	28.09
1900	27.99	28.06	28.25	28.43	28.40	28.45	27.97	27.65	27.31	27.15	26.79	27.19
1901	27.40	27.06	27.30	27.64	27.68	27.43	26.93	26.50	26.45	26.42	26.26	26.24
1902	26.08	26.50	26.99	27.97	28.34	28.45	28.67	28.09	28.19	28.13	28.19	27.98
1903	27.91	27.69	28.05	28.13	27.77	27.98	26.74	26.55	26.15	26.31	25.89	25.57
1904	25.84	25.97	26.40	27.05	27.47	27.83	27.98	27.42	26.76	27.65	26.81	27.44
1905	27.26	27.48	28.18	28.06	28.94	28.28	28.05	27.92	28.18	27.85	27.48	27.76
1906	27.47	27.44	28.06	28.22	27.88	27.83	26.73	26.51	25.94	25.87	26.33	26.07
1907	26.01	26.36	26.83	27.21	27.39	27.28	26.68	26.22	26.88	26.48	26.40	26.49
1908	26.30	26.83	26.63	27.22	27.41	27.47	26.59	26.48	26.23	26.23	25.78	25.43
1909	26.29	25.88	26.72	27.09	27.50	26.59	26.22	25.90	25.90	25.49	25.15	25.51
1910	25.65	26.12	26.46	26.59	26.46	26.65	26.35	25.98	25.46	25.80	26.13	25.95
1911	26.01	26.18	26.44	26.66	26.82	27.05	27.01	26.59	26.97	26.93	27.50	27.55
1912	28.13	27.59	27.95	28.35	27.87	27.44	27.12	26.48	26.85	26.60	26.82	26.10
1913	26.38	26.94	27.42	27.00	27.58	27.53	27.08	26.79	26.80	26.76	27.45	27.43
1914	27.28	27.56	27.58	28.46	27.87	27.77	27.75	27.80	27.43	26.99	26.96	27.27
1915	27.46	27.41	27.75	28.24	28.38	28.78	27.29	26.93	26.92	26.97	26.51	26.36
1916	26.46	26.16	26.72	27.14	27.64	27.32	26.12	25.39	25.39	25.37	24.93	24.95
1917	25.02	25.56	26.62	27.48	27.57	27.65	27.18	27.03	26.73	26.77	26.23	25.87
1918	25.74	25.94	26.30	27.21	27.70	28.06	27.15	27.00	27.16	27.66	27.89	27.89
1919	28.18	28.00	28.16	28.46	28.49	28.29	27.63	27.50	27.26	26.87	26.29	26.93
1920	27.22	27.37	27.79	27.61	27.66	27.98	27.37	27.01	27.02	27.22	26.57	26.57
1921	27.01	26.25	25.84	27.22	26.94	27.47	26.95	26.59	26.58	26.77	25.62	26.09

1922	26.04	26.69	27.33	27.23	28.09	27.25	26.78	26.09	26.38	26.48	26.34	26.06
1923	26.17	26.00	26.41	27.22	27.62	27.54	27.03	27.07	27.40	27.52	27.52	27.60
1924	27.04	27.39	27.65	27.75	27.02	27.02	26.25	26.09	25.89	26.28	25.56	25.93
1925	25.55	26.29	26.73	27.25	27.47	27.51	27.73	27.55	27.52	27.58	27.66	28.19
1926	28.10	28.06	28.44	28.78	28.69	28.29	27.86	27.03	26.68	26.34	26.38	26.36
1927	26.68	27.00	27.08	27.50	27.28	27.54	26.92	26.78	26.60	27.00	26.61	26.84
1928	27.05	26.97	27.01	27.55	27.83	27.43	27.25	26.59	26.62	26.61	26.49	26.56
1929	26.43	26.69	27.11	27.62	27.70	27.81	27.21	26.98	27.05	27.13	26.84	27.22
1930	26.93	27.15	27.55	28.18	27.83	27.95	27.86	27.56	28.04	27.87	28.44	28.00
1931	28.07	28.10	28.44	28.73	28.49	28.16	27.63	27.02	26.33	26.51	26.38	26.31
1932	26.16	26.57	27.51	28.02	28.14	27.87	27.11	26.97	26.77	26.75	26.61	26.18
1933	26.36	26.68	27.05	27.78	27.46	26.83	26.56	25.93	25.98	25.63	25.59	25.38
1934	25.64	25.89	26.31	27.35	27.37	27.35	26.80	26.55	26.23	26.48	26.54	26.34
1935	26.26	26.57	26.98	27.45	27.32	27.28	26.58	26.93	26.83	27.01	26.94	26.55
1936	27.32	27.25	27.26	28.06	27.80	27.33	26.88	26.55	26.65	27.12	26.62	27.22
1937	26.27	27.06	27.51	27.98	27.44	27.39	27.32	26.67	26.93	26.63	26.87	26.80
1938	26.37	26.99	27.20	27.86	27.53	26.80	26.24	26.07	26.47	25.98	25.93	25.79
1939	25.91	25.81	26.41	27.50	27.61	27.74	27.48	26.94	27.19	26.27	26.98	26.64
1940	27.76	28.14	28.44	28.57	28.21	28.24	27.43	27.63	26.80	27.06	27.35	27.98
1941	27.95	28.11	28.67	29.13	29.18	28.57	27.95	27.66	27.43	27.72	27.83	27.86
1942	27.19	27.29	27.51	28.34	27.76	27.17	26.67	25.92	25.58	25.41	25.15	25.35
1943	25.38	25.58	26.16	27.17	27.51	27.58	27.13	26.93	26.52	26.29	26.16	26.17
1944	26.15	26.92	27.05	27.88	28.00	27.72	27.30	26.88	26.44	26.51	26.31	26.33
1945	26.22	26.29	26.47	27.01	27.41	27.09	26.62	26.03	25.93	25.87	26.23	26.05
1946	26.14	26.53	26.90	27.29	27.47	27.83	27.26	26.36	26.56	26.73	26.47	26.61
1947	26.97	26.63	27.54	27.70	27.32	27.75	26.83	26.51	25.70	25.92	25.93	26.77
1948	26.63	27.13	27.89	28.02	28.17	27.75	27.16	26.85	26.73	26.06	26.35	26.96
1949	26.12	27.02	26.70	27.96	27.79	26.97	26.84	26.56	26.10	26.01	25.33	25.39
1950	25.53	25.26	26.18	26.86	26.56	26.82	26.14	26.24	25.65	25.90	25.27	25.55
1951	25.45	26.02	26.48	27.60	27.77	27.60	27.88	27.77	27.42	27.52	27.44	27.30
1952	26.97	27.00	27.30	28.18	27.48	27.03	26.63	26.45	26.40	26.70	26.33	26.04
1953	26.94	27.00	27.48	28.54	28.21	28.10	27.42	26.91	27.42	26.84	26.96	26.74
1954	26.97	26.98	27.27	27.45	27.34	26.88	26.20	25.80	25.72	25.82	25.49	25.79
1955	25.92	25.98	26.46	26.82	26.64	26.49	25.91	25.96	25.42	25.14	24.75	25.07
1956	25.35	25.79	26.32	26.99	27.28	26.85	26.28	26.06	25.84	26.04	25.64	26.01
1957	26.02	26.52	27.34	28.19	28.31	28.22	27.91	27.66	27.28	27.48	27.74	27.76
1958	28.12	28.16	28.25	28.08	28.19	27.99	27.26	27.12	26.44	26.70	26.71	26.89
1959	27.01	27.26	27.52	28.04	27.85	27.36	26.95	26.47	26.22	26.84	26.48	26.54
1960	26.60	26.52	27.17	27.78	27.92	27.48	26.98	26.87	26.79	26.67	26.27	26.60
1961	26.43	26.80	27.16	27.90	27.86	27.79	26.90	26.62	26.23	26.02	26.46	26.30
1962	26.33	26.60	26.85	27.45	27.45	27.47	26.92	26.74	26.19	26.41	26.22	26.09
1963	26.26	26.50	27.20	27.71	27.86	27.81	27.95	27.78	27.40	27.57	27.40	27.63
1964	27.33	27.31	27.10	27.24	27.13	26.81	26.58	26.11	25.82	25.73	25.55	25.52
1965	26.01	26.41	26.92	27.68	28.05	28.14	28.03	28.12	28.01	28.34	28.20	28.04
1966	27.71	27.59	28.08	28.31	27.81	27.82	27.45	26.77	26.70	26.69	26.28	26.32
1967	26.02	26.20	26.79	27.24	27.63	27.56	27.12	26.57	26.17	26.35	26.32	26.24
1968	25.98	26.02	26.50	27.30	27.43	27.87	27.54	27.20	26.80	27.05	27.42	27.35
1969	27.48	27.79	27.86	28.10	28.25	27.95	27.32	27.39	27.22	27.39	27.40	27.27
1970	27.13	27.12	27.52	27.95	27.87	27.38	26.25	25.92	25.97	26.08	25.81	25.47
1971	25.11	25.48	25.96	26.80	27.04	26.91	26.59	26.22	26.00	25.95	25.80	25.69
1972	26.00	26.55	27.00	27.98	28.19	28.35	28.06	28.18	27.94	28.50	28.53	28.78
1973	28.18	27.84	27.83	27.70	27.30	26.83	26.08	25.66	25.35	25.15	24.58	24.41
1974	24.56	25.26	25.82	26.77	27.07	26.99	26.58	26.56	26.40	25.98	25.70	25.73
1975	26.21	26.43	26.66	27.18	26.87	26.43	25.99	25.72	25.31	25.26	25.19	24.95
1976	24.78	25.71	26.58	27.35	27.37	27.69	27.38	27.18	27.32	27.59	27.54	27.23
1977	27.42	27.31	27.65	27.52	27.84	28.05	27.67	27.13	27.19	27.62	27.69	27.67
1978	27.30	27.27	27.32	27.40	27.37	27.23	26.75	26.26	26.15	26.39	26.50	26.66
1979	26.63	26.86	27.38	27.94	27.77	27.72	27.02	27.09	27.23	27.05	27.00	27.28
1980	27.13	27.09	27.35	27.97	28.00	28.05	27.25	26.65	26.63	26.63	26.75	26.94
1981	26.12	26.31	27.24	27.60	27.76	27.54	26.79	26.70	26.68	26.70	26.39	26.65

1982	26.54	26.64	27.24	28.01	28.51	28.61	27.86	27.80	28.14	28.73	28.72	28.92
1983	29.01	28.98	28.95	28.89	28.99	28.31	27.11	26.75	26.26	25.70	25.52	25.64
1984	25.78	26.23	26.78	27.17	27.22	26.79	26.82	26.47	26.40	25.90	25.48	25.05
1985	25.69	25.85	26.30	26.79	26.97	26.93	26.62	26.38	26.18	26.09	26.22	26.19
1986	25.79	26.12	26.75	27.36	27.39	27.61	27.38	27.11	27.34	27.63	27.70	27.56
1987	27.77	27.94	28.50	28.66	28.77	28.92	28.56	28.36	28.28	28.10	27.94	27.64
1988	27.27	27.11	27.54	27.28	26.82	26.23	25.69	25.43	25.42	24.65	24.48	24.60
1989	24.63	25.39	25.93	26.66	27.06	27.04	26.76	26.29	26.37	26.33	26.36	26.46
1990	26.60	27.12	27.46	28.03	28.19	27.69	27.37	27.05	26.87	26.86	26.73	26.90
1991	27.09	27.08	27.36	27.98	28.30	28.34	27.84	27.30	26.98	27.64	27.79	28.20
1992	28.19	28.39	28.76	29.18	29.13	28.22	27.50	26.73	26.61	26.39	26.51	26.63
1993	26.86	27.18	27.73	28.68	28.79	28.33	27.55	27.04	27.01	27.09	26.94	26.77
1994	26.61	26.60	27.19	27.80	28.00	27.96	27.38	27.40	27.15	27.63	27.79	27.80
1995	27.68	27.64	27.75	28.04	27.89	27.77	27.26	26.50	26.18	26.01	25.87	25.86
1996	25.93	26.10	26.78	27.43	27.46	27.57	27.08	26.58	26.41	26.46	26.35	26.16
1997	26.15	26.53	27.19	28.11	28.74	28.84	28.83	28.81	28.85	29.02	29.08	28.89
1998	29.00	28.84	28.75	28.67	28.55	27.30	26.49	26.04	25.93	25.54	25.43	25.08
1999	25.05	25.35	26.34	26.96	26.99	26.74	26.39	25.89	25.91	25.70	25.24	25.04
2000	24.79	25.23	26.00	26.97	27.07	26.93	26.65	26.52	26.36	26.18	25.91	25.67
2001	25.70	26.13	26.78	27.47	27.57	27.58	27.24	26.80	26.47	26.47	26.37	26.13
2002	26.44	26.76	27.36	27.91	28.07	28.37	27.80	27.57	27.57	27.89	28.06	28.00
2003	27.56	27.40	27.74	27.74	27.34	27.50	27.37	26.92	26.90	27.19	27.05	26.91
2004	26.84	26.93	27.16	27.83	27.96	27.82	27.64	27.54	27.42	27.46	27.27	27.30
2005	27.14	27.02	27.54	28.05	28.16	27.91	27.22	26.83	26.67	26.59	26.21	25.83
2006	25.60	26.05	26.53	27.47	27.76	27.78	27.25	27.25	27.38	27.49	27.64	27.69
2007	27.17	26.88	27.11	27.61	27.47	27.52	26.86	26.31	25.71	25.33	25.07	24.98
2008	24.79	25.07	26.09	26.88	27.22	27.24	27.19	26.83	26.47	26.43	26.29	25.69
2009	25.58	26.05	26.54	27.52	28.04	28.17	27.91	27.49	27.43	27.69	28.15	28.40
2010	28.00	27.94	28.33	28.33	27.72	27.07	26.34	25.55	25.19	25.08	25.08	24.95
2011	24.88	25.50	26.27	27.03	27.34	27.43	27.00	26.22	25.99	25.81	25.56	25.54
2012	25.65	26.15	26.78	27.48	27.69	27.82	27.66	27.54	27.19	26.96	26.98	26.45
2013	26.16	26.36	27.12	27.69	27.59	27.36	26.94	26.59	26.66	26.49	26.64	26.50
2014	26.16	26.31	27.19	28.05	28.32	28.16	27.36	27.02	27.12	27.22	27.54	27.36
2015	27.17	27.34	27.73	28.67	28.90	28.96	28.78	28.75	28.76	28.94	29.23	29.14
2016	29.14	28.87	28.86	28.82	28.32	27.75	26.97	26.40	26.29	25.99	26.02	26.07
2017	26.24	26.75	27.17	27.99	28.17	27.91	27.44	26.69	26.20	26.21	25.81	25.74
2018	25.72	26.03	26.53	27.41	27.75	27.81	27.49	26.93	27.05	27.57	27.65	27.56
2019	27.09	27.38	28.06	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99

NINA34  
 5N-5S 170W-120W  
 HadISST  
[http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/Nino34/](http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Nino34/)

## Anexo 2

# Discrete Fourier Transform

---

This is the first tutorial in our ongoing series on time series spectral analysis. In this entry, we will closely examine the discrete Fourier transform (aka DFT) and its inverse, as well as data filtering using DFT outputs. The DFT is basically a mathematical transformation and may be a bit dry, but we hope that this tutorial will leave you with a deeper understanding and intuition through the use of NumXL functions and wizards.

In future entries, we will dedicate more time for discrete data filters, their construction, and off course, application.

## Background

You have probably occasionally transformed your data to stabilize the variance (e.g. log transform) or to improve the values distribution in the sample data.

$$\begin{aligned}x_t &= \{x_1, x_2, \dots, x_T\} \\y_t &= \log(x_t) \\y_t &= \{y_1, y_2, \dots, y_T\}\end{aligned}$$

In mathematics, the discrete Fourier transform (DFT) converts a finite list of equally-spaced samples of a function into a list of coefficients of a finite combination of complex sinusoids, ordered by their frequencies, which have those same sample values. DFT converts the sampled function from its original domain (often time or position along a line) to the frequency domain.

In sum, the Fourier transform has the following properties:

1. The transformed data is no longer in the time domain.
2. The transformation operates on the whole data set. It is not a point-by-point transformation as we have seen with earlier transformations in the time domain.

$$\begin{aligned}x &= \{x_1, x_2, \dots, x_T\} \\Y &= F(\{x_1, x_2, \dots, x_T\}) \\Y &= \{y_1, x_2, \dots, x_K\} \\ \{x_1, x_2, \dots, x_T\} &= F^{-1}(\{y_1, x_2, \dots, x_K\})\end{aligned}$$

3. The transformed data is complex (not real-valued).

What is the DFT?

In plain words, the discrete Fourier transform decomposes the input time series into a set of cosine functions.

$$x_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A_k \times \cos(\phi_k + k \times \omega \times m)$$

So, you can think of the k-th output of the DFT as the  $A_k \angle \phi_k$ . The  $A_k$  is referred to as the amplitude, and the  $\phi_k$  as the phase (in radians).

The input time series can now be expressed either as a time-sequence of values, or as a frequency-sequence of  $[A_k \angle \phi_k]$  pairs. Knowing the set of  $[A_k \angle \phi_k]$ , we can recover the exact input time series.

What is  $\omega$ ?

$\omega$  is the fundamental or the principal radian frequency. IT is expressed as follows:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Where:

- $T$  is the number of observations in the equally-spaced input time series.

What is N?

The number of  $[A_k \angle \phi_k]$  pairs we need to have, so we can recover the original input time series with a floor value of  $\frac{T}{2}$ .

Note that the zero-frequency component (i.e.  $k=0$ ) is always real-value, and in the case of even-sized time series, the last frequency component is also real-value, which brings the total number of values (amplitude and phase) to  $T$ . There is no gain or loss of information or storage requirement because of this transform.

Finally, note that  $A_k \angle \phi_k = A_{T-k} \angle -\phi_{T-k}$   
 $A_k \angle \phi_k = A_{k+T} \angle \phi_{k+T}$

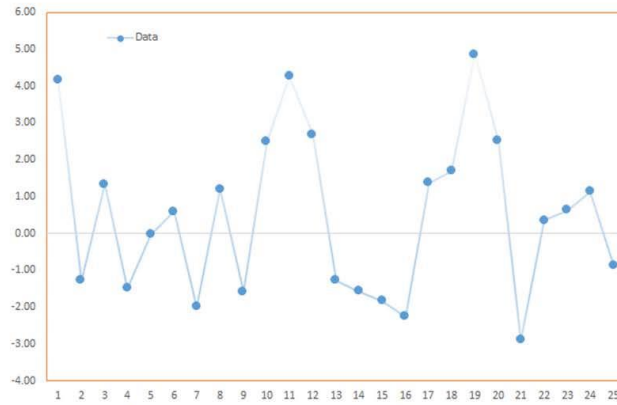
In essence, only the values of the first  $\frac{T}{2}$  frequency components are needed, whereas the rest can be easily implied from them. Furthermore, the DFT values are periodic with a cycle length of  $T$ .





Why decompose time series data into a series of cosine functions?

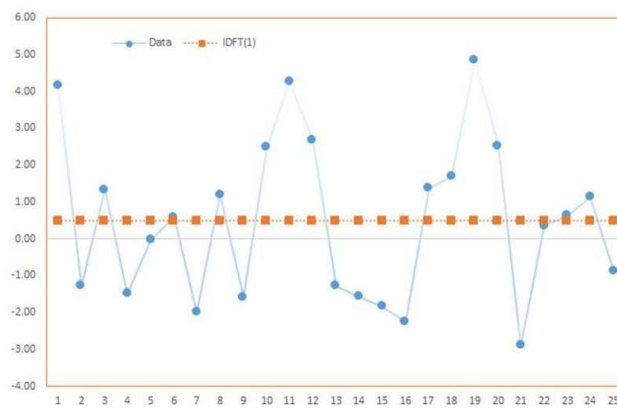
Consider the following time series  $(x_1, x_2, \dots, x_{25})$ :



Now, let's compute the time series using a subset of the frequency sequence:

Case 1: Using a zero frequency component:

$$x_m^{(0)} = A_0$$

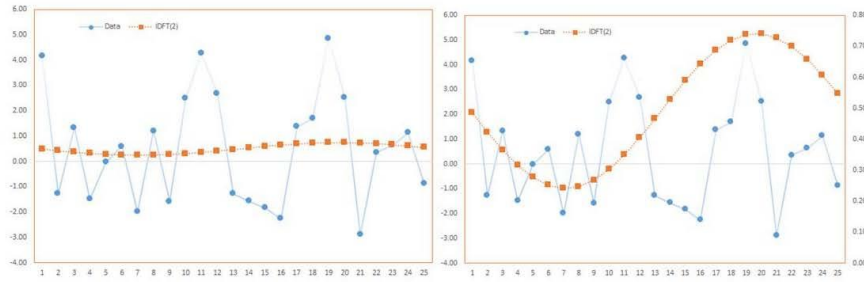


Using the zero frequency, we get the long-run average of the time series.

Case 2: Using first frequency component (k=1)

$$x_m^{(0)} = A_0$$

$$x_m^{(1)} = A_0 + A_1 \times \cos(\phi_1 + \omega \times m) = x_m^{(0)} + A_1 \times \cos(\phi_1 + \omega \times m)$$



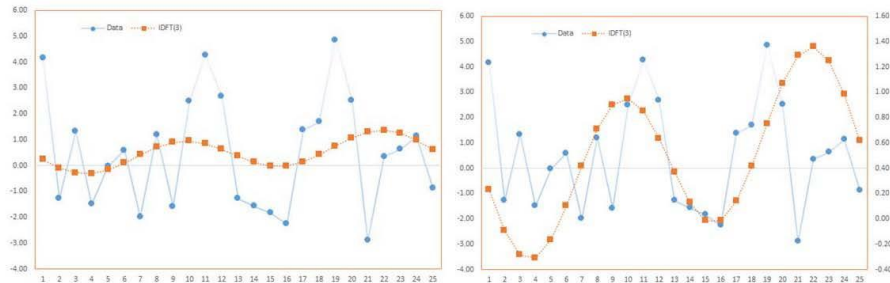
Note that the graph on the right is essentially the same as the one on the left, but with  $x_m^{(1)}$  plotted using the right-hand-side axis scale.

Case 2: Using first and second frequency components (k=2)

$$x_m^{(0)} = A_0$$

$$x_m^{(1)} = A_0 + A_1 \times \cos(\phi_1 + \omega \times m) = x_m^{(0)} + A_1 \times \cos(\phi_1 + \omega \times m)$$

$$x_m^{(2)} = x_m^{(1)} + A_2 \times \cos(\phi_2 + 2\omega \times m)$$

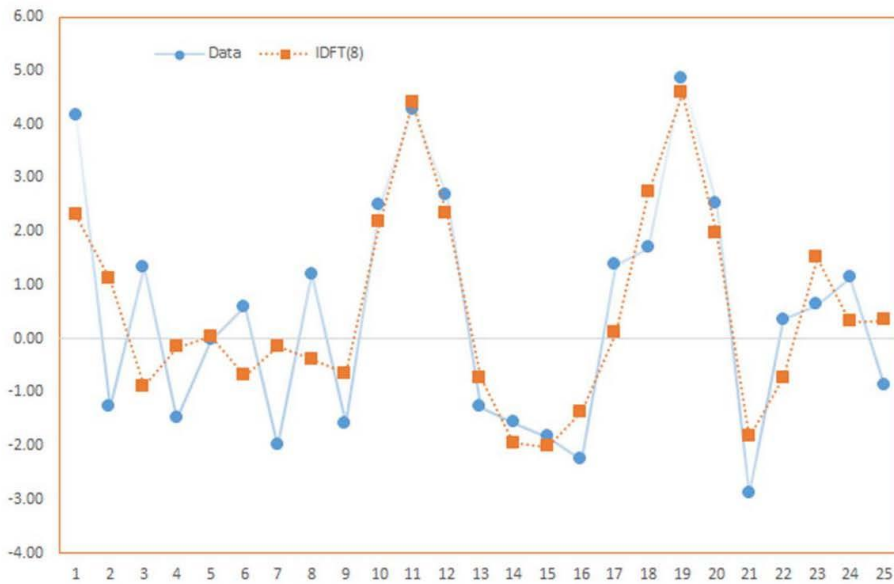


Note,  $x_m^{(2)}$  is closer to the original time series than  $x_m^{(1)}$  due to the added cosine function, but  $x_m^{(1)}$  is smoother.

In essence, the process of recovering the original time series from the subset is similar to time series smoothing, but without the drawback of the lag effect.

Case 3: Using the first 8 frequency components (k=8)

$$\begin{aligned}
 x_m^{(0)} &= A_0 \\
 x_m^{(1)} &= A_0 + A_1 \times \cos(\phi_1 + \omega \times m) = x_m^{(0)} + A_1 \times \cos(\phi_1 + \omega \times m) \\
 x_m^{(2)} &= x_m^{(1)} + A_2 \times \cos(\phi_2 + 2\omega \times m) \\
 x_m^{(3)} &= x_m^{(2)} + A_3 \times \cos(\phi_3 + 3\omega \times m) \\
 &\dots \\
 x_m^{(8)} &= x_m^{(7)} + A_8 \times \cos(\phi_8 + 8 \times \omega \times m)
 \end{aligned}$$



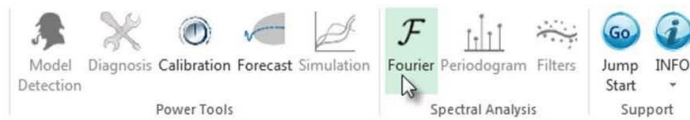
In sum, by decomposing the input time series into cosine functions, we can separate the component(s) attributed to noise (high frequency), uncover periodicity, and find a long-run value for the process.

## Process

First, let's organize our input data. We can start by placing the values of the sample data in a separate column.

	Obs.	Data
3		
4	1	4.17
5	2	-1.27
6	3	1.34
7	4	-1.48
8	5	-0.03
9	6	0.60
10	7	-1.99
11	8	1.21
12	9	-1.57
13	10	2.48
14	11	4.26
15	12	2.68

Now we are ready to construct our DFT output table. First, select the empty cell in your worksheet where you wish the output table to be generated, then locate and click on the "Fourier" icon in the NumXL tab (or toolbar).



The DFT Wizard pops up.

The screenshot shows the 'Discrete Fourier Transform (DFT)' wizard dialog box. It has three tabs: 'General', 'Options', and 'Missing Values'. The 'General' tab is active. It contains two input fields: 'Input Data' with the value 'Sheet1!\$B\$4:\$B\$28' and 'Output' with the value '\$E\$3'. There is a checked checkbox for 'Ascending'. At the bottom, there are 'Help', 'Cancel', and 'OK' buttons.

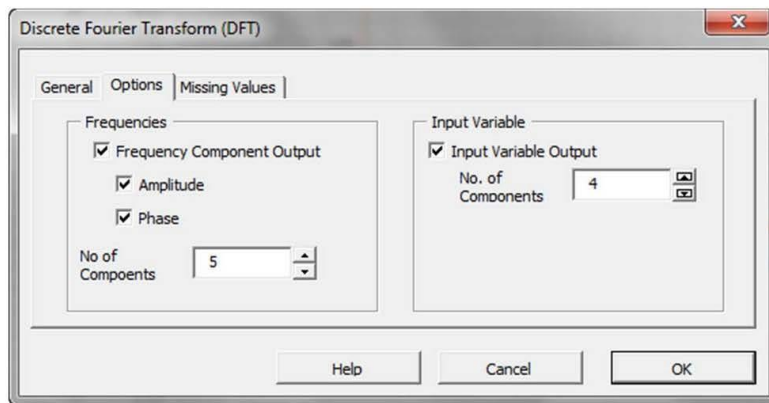
Select the cells range for the values of the input variable.

**Notes:**

1. By default, the table cells range is set to the current selected cell in your worksheet.

Finally, once we select the input data (X) cells range, the “Options” and “Missing Values” tabs become available (enabled).

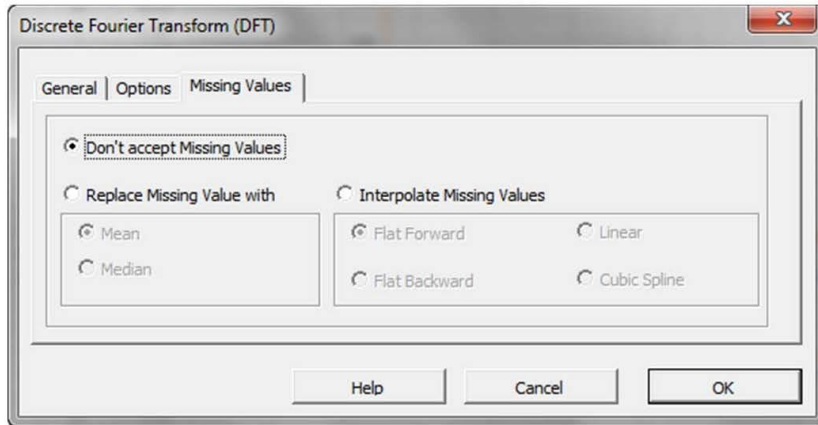
Next, select the “Options” tab:



Initially, the tab is set to the following values:

- “Frequency Component Output” is checked. Leave this option checked.
  - The Amplitude and Phase options are checked. Leave those options checked as well.
  - The number of components corresponds to the size of the output table. Set this value to five (5) to generate the first five frequency components.
- On the right side, “Input Variable Output” is unchecked. Check this option to generate back the input time series using a subset of the frequency components.
  - Under “No. of Components”, set this value to 4. You can change this value later on in the output table.

**Now**, click on the “Missing Values” tab.



In this tab, you can select an approach to handle missing values in the data set (X's). By default, DFT wizard does not allow any missing value in the analysis.

This treatment is a good approach for our analysis, so let's leave it unchanged.

Now, click "OK" to generate the output tables.

Discrete Fourier Transform (DFT)			Obs.	Fitted	Max Error
Comp	Amp	Phase			
0	12.28	0.00	1	1.32	5
1	3.12	1.60	2	0.47	
2	8.24	1.97	3	-0.12	
3	21.11	-0.82	4	-0.19	
4	16.12	1.62	5	-0.12	
5	0.95	-0.22	6	-0.35	
			7	-0.75	
			8	-0.65	
			9	0.45	
			10	2.14	
			11	3.19	
			12	2.54	
			13	0.32	
			14	-2.07	
			15	-2.91	
			16	-1.54	
			17	1.09	
			18	3.11	
			19	3.25	
			20	1.68	
			21	-0.16	
			22	-0.89	
			23	-0.71	

In the first table (on the left), it displays the amplitude and phase (in radians) for different frequency components (i.e. cosine functions). Note that component zero has zero phase.

In the second table, it carries on the inverse Fourier transform using a subset of the frequencies.

Obs.	Fitted	Max Comp
1	1.32	5
2	0.47	
3	-0.12	
4	-0.19	
5	-0.12	
6	-0.35	
7	-0.75	
8	-0.65	
9	0.45	
10	2.14	
11	3.19	
12	2.54	
13	0.32	
14	-2.07	
15	-2.91	
--	--	

If you wish to change the number of components, simply edit the number in the cell table, and the values under the "Fitted" title will be recalculated.

## Conclusion

In this tutorial, we presented the interpretation of the discrete Fourier transform (DFT) and its inverse (IDFT), as well as the process to carry out the related calculation in Excel using NumXL's add-in functions.

### Where do we go from here?

Using DFT, we constructed an analytical formula representation for the input time series.

One direct application that we can think of is to compute values for the new intermediate observation, or to alter the sampling frequency (i.e. up-sample) and introduce a new time series.

But what about missing values? What if we don't have a fixed sampling rate? Different types of Fourier transforms are available (e.g. non-uniform time discrete Fourier transform (NUT-DFT)) to handle unequally spaced input time series, which generate a finite discrete set of frequencies. This will prove to be useful for imputing intermediate missing values using the dynamics of the whole data set, rather than adjacent observations, as is the case in interpolation or Gaussian bridge methods.

The time series spectrum contains a significant amount of information, which we barely scratched in this tutorial. In our next entry, we will look at the discrete filter (operator) definition in both time and frequency domain, and its application to our time series analysis/modeling.