



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO DOS
PADRÕES DE TELECONEXÕES**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Christie Andre de Souza

Itajubá, MG, Brasil

2020

FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO DOS PADRÕES DE TELECONEXÕES

por

Christie Andre de Souza

Monografia apresentada à comissão examinadora
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da
Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito
parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientadora: Michelle Simões Reboita

**Itajubá, MG, Brasil
2020**

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Monografia

**FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO DOS PADRÕES DE
TELECONEXÕES**

elaborada por

Christie Andre de Souza

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:



Michelle Simões Reboita, Dr^a. (UNIFEI)
(Presidente/Orientadora)



Amanda Rehbein, MSc. (USP)



Livia Márcia Mosso Dutra, MSc. (USP)

Itajubá, 20 de novembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Primeiro de tudo, gostaria de agradecer a Deus pelos dons que me concedeu e que serviram na realização desta ferramenta e permitir que meus pais e amigos estejam com saúde e felizes.

Agradeço principalmente meus pais, Darci costa de Souza e Silvano José de Souza que sempre estiveram me apoiando em todas as minhas decisões, por me educar da melhor maneira, por me orientar, por conseguir entender meus sentimentos e conduzir a minha vida até esse momento.

Agradeço a minha orientadora Dra. Michelle S. Reboita que se dedicou em ser mais que uma orientadora, assim, agradeço por ser essa amiga, por sempre me manter motivado, pelas valiosas contribuições ensinadas, pela sua paciência, por ser essa fonte de inspiração e agradeço por estar presente na minha vida.

Agradeço a todos meus professores da graduação que me apoiaram em todas as minhas ideias, me incentivaram a conhecer mais sobre a ciência.

Agradeço a todos meus amigos da graduação que compartilharam comigo os desafios a serem vencidos, por ajudar em momento difíceis e por me permitir a ensinar e de ser ensinado. Também agradeço meus amigos fora da graduação que tiveram uma grande importância pela formação do meu caráter.

Também quero agradecer à Universidade Federal de Itajubá por estar comprometida com o ensino de qualidade e do suporte técnico de me proporcionar ferramentas e serviços das quais uma delas utilizei para desenvolver esse trabalho.

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO DOS PADRÕES DE TELECONEXÕES

AUTOR(A): CHRISTIE ANDRE DE SOUZA
ORIENTADOR(A): MICHELLE SIMÕES REBOITA
Local e Data da Defesa: Itajubá, 20 de novembro de 2020.

As teleconexões são um mecanismo de variabilidade natural do clima. Elas estão associadas a fatores locais que causam anomalias em setores remotos do globo. A previsão climática depende do conhecimento dos padrões de teleconexão. Diante disso, o objetivo do estudo é apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta *online* que reúne uma enorme quantidade de informações para fácil acesso dos usuários que têm interesse em monitorar os diferentes padrões de teleconexões no globo. Para isso, índices climáticos disponibilizados por diferentes centros de meteorologia, como a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), são usados. A metodologia conta com o uso de ferramentas e métodos de desenvolvimento *web* para elaborar as páginas *web* e promover a visualização dos índices climáticos, mapas das variáveis atmosféricas, animações, análises estatísticas, bem como outros produtos. Essa ferramenta de diagnóstico dos padrões de teleconexão está *online* em meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes. São disponibilizados 22 índices ao total, sendo 6, por exemplo, associados ao fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O usuário também tem acesso a uma interface em que pode estabelecer limiares para a análise dos padrões de teleconexão através das informações disponibilizadas em um banco de dados histórico. Por fim, ressalta-se que a ferramenta *online* foi projetada para ser atualizada automaticamente, isto é, para receber novos dados, como os conjuntos das variáveis atmosféricas e de índices das teleconexões.

Palavras-Chave: Teleconexões. Ferramentas visuais e numéricas. *Website*.

Análise estatística.

ABSTRACT

Graduation Monograph
Graduate Program in Atmospheric Sciences
Federal University of Itajubá, MG, Brazil

TELECONNECTION PATTERNS VIEWING TOOLS

AUTHOR: CHRISTIE ANDRE DE SOUZA
ADVISOR: MICHELLE SIMÕES REBOITA
Location and Date of Defense: Itajubá, November 20, 2020.

Teleconnections are a mechanism of natural climate variability. They are associated with local factors that cause anomalies in remote sectors of the globe. The climate forecast depends on knowledge of the teleconnection patterns. Given this, the objective of the study is to present the development of an online tool that gathers a huge amount of informations for easy access by users who are interested in monitoring the different patterns of teleconnections in the globe. For this reason, climate indexes made available by different meteorological centers, such as the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), are used. The methodology relies on the use of web development tools and methods to design web pages and promote the visualization of climatic indexes, maps of atmospheric variables, animations, statistics, as well as other products. This diagnostic tool for teleconnection patterns is available in meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes. A total of 22 indexes are available, 6 of which, for example, are associated with the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon. The user also has access to an interface where he can establish thresholds for the analysis of the teleconnection patterns through the information available in a historical database. Finally, it should be noted that the online tool was designed to be updated automatically, that is, to receive new data, such as sets of atmospheric variables and indexes of teleconnections.

Keywords: Teleconnections. Visual and numerical tools. Web site. Indexes. Statistical analysis, Maps of teleconnections. Teleconnections graph.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Área de desenvolvimento e/ou usada para identificação dos padrões de teleconexão que estão incluídos na ferramenta online.....	3
FIGURA 2 - Exemplos de anomalias mensais de TSM.....	10
FIGURA 3 - Esquema dos processos da ferramenta <i>online</i> dos índices de teleconexões.....	11
FIGURA 4 - Página inicial do <i>website</i>	14
FIGURA 5 - Página da seleção dos índices	15
FIGURA 6 - Página principal dos índices, mostrando para o índice PDO	16
FIGURA 7 - Aba dos métodos, mostrando para SOI.....	17
FIGURA 8 - Ferramenta da figura das condições atmosféricas.....	17
FIGURA 9 - Ferramenta dos dados históricos.....	18
FIGURA 10 - Ferramenta do mapa com animação das teleconexões.....	19
FIGURA 11 - Página das fases dos índices.....	19

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Relação entre os índices e a fonte de dados.....	12
TABELA 2- Variáveis utilizadas para a geração dos mapas.....	13

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ÍNDICES DE TELECONEXÕES	2
2.1 VISÃO GERAL.....	2
2.1.1 MODO ANULAR SUL (<i>SOUTHERN ANNULAR MODE</i>)	3
2.1.2 MODO ANULAR DO ÁRTICO (<i>ARCTIC OSCILLATION</i>)	3
2.1.3 ÍNDICE OCEÂNICO DO NIÑO (<i>OCEANIC NIÑO INDEX</i>)	4
2.1.4 ÍNDICES DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR NO PACÍFICO	4
2.1.5 ÍNDICE MULTIVARIADO DO ENOS (<i>MULTIVARIATE ENSO INDEX</i>)	4
2.1.6 ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL (<i>SOUTHERN OSCILLATION</i>).....	5
2.1.7 PADRÃO PACÍFIO-AMÉRICA DO NORTE (<i>PACIFIC NORTH AMERICAN</i>)	5
2.1.8 ATLÂNTICO TROPICAL SUL (<i>TROPICAL SOUTHERN ATLANTIC</i>)	6
2.1.9 ATLÂNTICO TROPICAL NORTE (<i>TROPICAL NORTHERN ATLANTIC</i>).....	6
2.1.10 OSCILAÇÃO DECADAL DO PACÍFICO (<i>PACIFIC DECADAL OSCILLATION</i>).....	6
2.1.11 OSCILAÇÃO DO ATLÂNTICO NORTE (<i>NORTH ATLANTIC OSCILLATION</i>).....	7
2.1.12 OSCILAÇÃO QUASE-BIENAL (<i>QUASI-BIENNIAL OSCILLATION</i>).....	7
2.1.13 OSCILAÇÃO MULTIDECADAL DO ATLÂNTICO (<i>ATLANTIC MULTIDECADAL OSCILLATION</i>)	7
2.1.14 ÍNDICE DO PACÍFICO OESTE (<i>WESTERN PACIFIC INDEX</i>)	8
2.1.15 OSCILAÇÃO DE MADDEN-JULIAN (<i>MADDEN-JULIAN OSCILLATION</i>).....	8
2.1.16 DIPOLÓ DO ATLÂNTICO SUL (<i>SOUTHERN ATLANTIC DIPOLE</i>).....	8
2.1.17 ÍNDICE DO ANTICICLONE SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL (<i>IASAS</i>)	9
2.1.18 ÍNDICE DE TSM NA RG2 (<i>ITSMRG2</i>)	9
3. METODOLOGIA	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3. CONCLUSÕES	20
4. REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

As teleconexões são fenômenos atmosféricos que ocorrem num dado local e afetam o clima de regiões distantes no globo. Há padrões de teleconexão com diferentes escalas temporais, por exemplo, o Modo Anular Sul que é intramensal, o El Niño que é interanual etc. Diversos estudos publicados analisam e descrevem os impactos de diferentes modos de teleconexões no clima de diferentes regiões. Por exemplo, o fenômeno El Niño-Oscilação Sul, quando na sua fase quente (fria), causa excesso (déficit) de precipitação no sudeste da América do Sul e déficit (excesso) no litoral norte das regiões norte e nordeste do Brasil (Andreoli et al., 2016). Como esses padrões se estabelecem associados à temperatura da superfície do mar, analisando essa variável pode-se inferir sobre a presença de distintos modos de teleconexões e indicar os impactos em diferentes locais do globo. Por isso, os padrões de teleconexões ajudam muito a previsão climática.

Um dos maiores desafios da atualidade é a previsão climática. No Brasil, essa é realizada por grupos de pesquisadores que analisam as saídas de diferentes modelos climáticos bem como utilizam o conhecimento dos padrões de teleconexão para fornecer prognósticos sazonais. Um grupo que realiza essa tarefa é o Grupo de Estudos Climáticos da Universidade de São Paulo (www.grec.iag.usp.br).

Há diferentes índices para monitoramento e previsão do clima, mas em bancos de dados distintos, o que demanda tempo para organização das informações para discussões climáticas. Diante da necessidade de se ter informações rápidas e úteis para a previsão climática, esse trabalho tem como objetivo descrever o desenvolvimento de uma ferramenta em que as informações são extraídas em diversos bancos de dados e são processadas e apresentadas de forma visual e intuitiva aos usuários, que podem explorar os dados interativamente, mostrando as relações entre as teleconexões e o clima de diferentes lugares. Além disso, aqui é mostrado como o usuário pode navegar na página *web*.

2. ÍNDICES DE TELECONEXÕES

2.1 Visão Geral

As teleconexões são padrões de variabilidade atmosférica em larga escala e são identificadas a partir de técnicas estatísticas, como de função ortogonal empírica (EOF), agrupamento e a correlação temporal (WILKS, 2011; WALLACE; GUTZLER, 1981). Há diferentes padrões de teleconexão e esses padrões podem ser sintetizados através de índices. Aqui não será abordada a metodologia para obtenção de cada um deles, mas será apresentada uma breve definição e explicação do que indica cada fase desses índices.

A técnica de correlação consiste na correlação da série temporal de uma determinada variável com as séries temporais em pontos de grade de outra variável. Com isso, são obtidos padrões representados no espaço. O método de EOF envolve o cálculo de autovalores e autovetores e também permite encontrar padrões com maior variabilidade nos campos atmosféricos (KUTZBACH, 1967). Já o método de análise de *cluster* tem sido menos utilizado para identificar a teleconexões em escala global. A técnica comumente usada é a *K-means clustering* (CAZES-BOEZIO et al., 2003; COZANNET et al., 2011).

Uma vez identificado um padrão de teleconexão, este pode ser monitorado através de índices climáticos. Ao longo dos anos, o uso dos vários conjuntos de dados com diferentes frequências (diário, pentada, mensal, trimestral e sazonais) têm sido aplicados para a obtenção dos índices. Os índices utilizados nesse trabalho são mostrados a seguir e ilustrados na Figura 1, também será apresentada uma breve definição e explicação do indicativo de cada fase. Para o conhecimento detalhado das metodologias, o leitor pode visitar as páginas referenciadas em cada subseção.

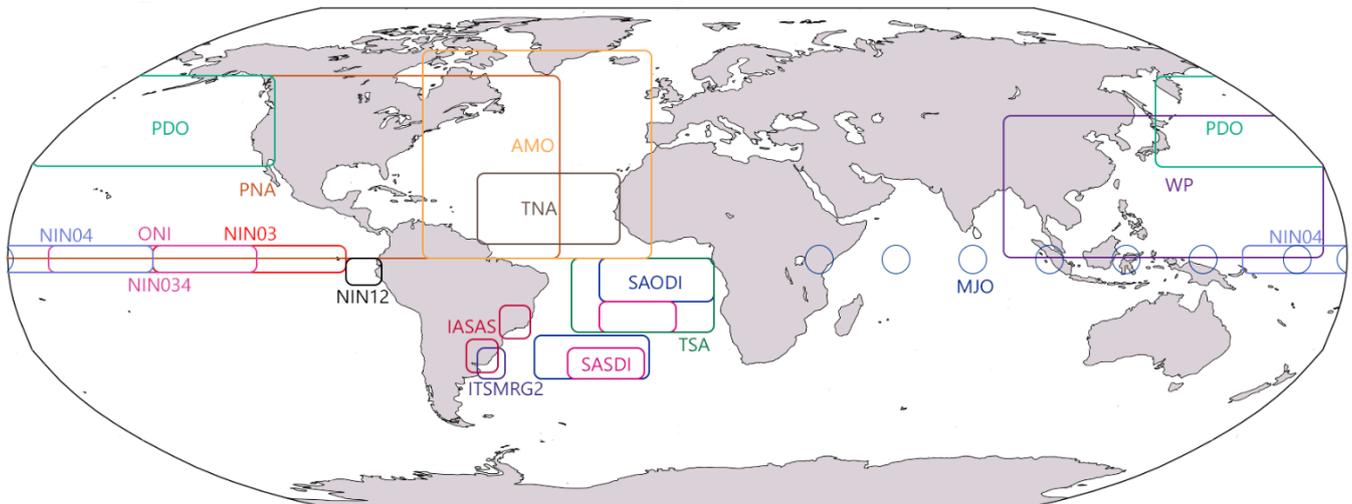


Figura 1 – Área de desenvolvimento e/ou usada para identificação dos padrões de teleconexão que estão incluídos na ferramenta online.

2.1.1 Modo Anular Sul (*Southern Annular Mode*)

O Modo Anular Sul (SAM em inglês) é uma oscilação zonal que é caracterizada por anomalias de sinais opostos entre os arredores da Antártica e as latitudes de 45°S (THOMPSON; WALLACE, 1998). A NOAA define o índice do SAM com base na técnica EOF. A fase positiva (negativa) é caracterizada por anomalias negativas (positivas) de altura geopotencial em 700 hPa nos arredores da Antártica e positiva (negativa) nas latitudes médias. Isso afeta, por exemplo, a densidade de ciclones como mostrado por Reboita et al. (2015). Detalhes sobre a metodologia são providos em https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/method.shtml.

2.1.2 Modo Anular do Ártico (*Arctic Oscillation*)

O *Arctic oscillation* (AO) é similar ao SAM, mas ocorre no Hemisfério Norte. A metodologia para calcular esse índice também é similar à do Hemisfério Sul e pode ser conferida sua metodologia e informações em https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml.

Quando o índice está em sua fase positiva, os ventos são mais intensos ao redor do polo e se tornam mais fraco na fase negativa.

2.1.3 Índice Oceânico do Niño (*Oceanic Niño Index*)

O *Oceanic Niño Index* (ONI) é o principal indicador usado no monitoramento de El Niño e La Niña. Esse índice é calculado na mesma região do Niño 3.4 (região destacada na cor rosa na Figura 1) e é utilizando a anomalia da temperatura média da superfície do mar (TSM), para maiores informações pode-se encontrar em: (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). As condições de El Niño (fase positiva) estão presentes quando o ONI é igual ou maior do que 0.5 °C por 5 períodos trimestrais consecutivos. As condições de La Niña (fase negativa) existem quando o ONI é igual ou menor do que -0,5 °C por 5 períodos trimestrais consecutivos.

2.1.4 Índices de Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico

Existem vários índices usados para monitorar o Oceano Pacífico Tropical, todos baseados em anomalias da temperatura da superfície do mar (SST) calculadas em uma determinada região, conforme a Figura 1. Os índices EN1+2, 3, 3.4 e 4 são usados para caracterizar a natureza única de cada evento de El Niño (EN) e La Niña (LN). O EN1+2 é a menor e mais oriental dessas regiões, e corresponde à região costeira da América do Sul, onde El Niño foi reconhecido pela primeira vez pela população local. Este índice tende a ter maior variabilidade dos índices Niño. O EN3 inicialmente foi pensado como a principal região para monitorar e prever o El Niño, mas os pesquisadores aprenderam mais tarde que a região chave para as interações oceano-atmosfera acopladas para ENSO ficava mais a oeste (Trenberth, 1997). Conseqüentemente, o EN3.4 se tornou a área mais apropriadas para definir os eventos El Niño e La Niña. A área utilizada no índice EN3.4 também é a mesma empregada em outros índices como por exemplo o ONI, que se baseia em médias móveis. O EN4 captura anomalias de SST no Pacífico equatorial central, esta região tende a ter a menor variabilidade do que as outras regiões.

2.1.5 Índice Multivariado do ENOS (*Multivariate ENSO Index*)

O *Multivariate ENSO Index* (MEI) foi originalmente definido por Wolter e Timlin (1993) como Componente Principal não rotacionado de 6 variáveis de superfície observadas e combinadas sobre o oceano Pacífico Equatorial sendo:

temperatura da superfície do mar, temperatura da superfície, pressão ao nível do mar, ventos meridionais, ventos zonais e fração total de nebulosidade. As informações sobre o MEI estão disponíveis em (<https://psl.noaa.gov/enso/mei/>). Na sua fase positiva, o índice representa condições de El Niño e na sua fase negativa, a La Niña.

2.1.6 Índice de Oscilação Sul (*Southern Oscillation*)

A *Southern Oscillation Index* (SOI) é a componente atmosférico do El Niño. Esta componente é uma oscilação na pressão atmosférica entre o Oceano Pacífico Tropical Leste e Oeste (WALKER, 1928). O SOI é calculado a partir de flutuações na diferença da pressão do ar na superfície entre o Tahiti e Darwin. Algumas informações sobre o SOI, dados e de sua metodologia podem ser encontradas em (<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>). Quando o índice é positivo indica que há maior pressão em Tahiti, localizada na região central do Oceano Pacífico e a menor pressão atmosférica em Darwin, localizada na região oeste do Oceano Pacífico, sendo um episódio de La Niña, e quando o índice é negativo os valores das pressões invertem nessas duas regiões e representa episódios de El Niño.

2.1.7 Padrão Pacífico-América do Norte (*Pacific North American*)

O *Pacific North American* (PNA) é um dos modos mais importantes de variabilidade de baixa frequência nos extratropicais do Hemisfério Norte. O padrão do PNA reflete um padrão quadripolar de anomalias de altura geopotencial em 500 hPa, com anomalias de sinais semelhantes localizadas ao sul das ilhas Aleutas e ao sudeste dos Estados Unidos (região destacada na cor marrom na Figura 1). A metodologia do índice do PNA é apresentada no website do CPC (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/pna.shtml>). A fase positiva do PNA está associada à temperaturas mais altas do que a média na costa oeste dos Estados Unidos e no oeste do Canadá. Durante a fase negativa, a costa oeste dos Estados Unidos pode ter temperaturas relativamente baixas, enquanto o leste dos Estados Unidos apresenta temperaturas acima da média.

2.1.8 Atlântico Tropical Sul (*Tropical Southern Atlantic*)

O *Tropical Southern Atlantic Index* (TSA) é um indicador das temperaturas da superfície do mar no oeste do Oceano Atlântico Tropical Sul, caracterizado por anomalias quentes ou frias da TSM. A metodologia de Enfield et al. (1999) é utilizada pela NOAA para calcular este índice e descrita no *website* (<https://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/atl/tsa.php>). Valores positivos do índice indicam que a TSM é anormalmente quente no Oceano Atlântico Tropical Sul (região destacada na cor verde na Figura 1) enquanto que valores negativos indicam anomalia fria sobre aquela região.

2.1.9 Atlântico Tropical Norte (*Tropical Northern Atlantic*)

O *Tropical Northern Atlantic Index* (TNA) é um indicador das temperaturas da superfície no leste do oceano Atlântico Norte tropical. A NOAA utiliza a metodologia de Enfield et al. (1999), da mesma forma que o TSA, e disponibiliza o índice em (<https://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/atl/tna.php>). Valores positivos indicam que a TSM é anormalmente quente no leste do Oceano Atlântico Tropical Norte e valores negativos indicam anomalia fria sobre essa região.

2.1.10 Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation*)

A *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) refere-se a variações nas temperaturas da superfície do mar no Oceano Pacífico Norte (MANTUA et al., 1997). A PDO consiste em uma fase quente e outra fria, sendo que a mudança na fase pode ter implicações significativas no clima global, afetando a atividade de ciclones, alteração no trajeto das correntes de jatos, secas e inundações em torno da bacia do Pacífico e os padrões globais de temperatura (MANTUA; HARE, 2002). O PDO pode intensificar ou diminuir os impactos do ENSO de acordo com sua fase. Se o ENSO e o PDO estiverem na mesma fase, acredita-se que os impactos do El Niño/La Niña possam ser fortalecidos ou enfraquecidos. Esse índice segue a metodologia descrita em (<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo>). Na fase positiva a temperatura fica acima da média na costa do Alasca ao Equador, as águas quentes evoluem em uma forma de “ferradura” em torno de um núcleo de água mais fria que a média. Já na fase negativa, ocorre o oposto.

2.1.11 Oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation*)

Walker e Bliss (1932) identificaram três padrões de teleconexão, chamados de Oscilação do Atlântico Norte (NAO), a Oscilação do Pacífico Norte (NPO) e o índice Oscilação do Sul (SOI). A NAO é caracterizada por anomalias de pressão ao nível do mar com sinais opostos entre a Islândia-Groenlândia e o Atlântico Norte subtropical. O índice é explicado com a metodologia no *website* da NOAA: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>. Os valores positivos indicam o aumento da diferença de pressão entre essas duas regiões, resultando em uma corrente de jato mais forte no Oceano Atlântico. Quando a NAO está em sua fase negativa a baixa subpolar e a alta subtropical estão mais fracas que a média e a corrente de jato do Atlântico têm uma orientação mais oeste-leste.

2.1.12 Oscilação Quase-Bienal (*Quasi-Biennial Oscillation*)

A *Quasi-Biennial Oscillation* (QBO) é um dos fenômenos marcantes na atmosfera da Terra. Na estratosfera equatorial, fortes ventos zonais contornam a Terra e permanecem de leste ou oeste num período médio de 28 a 29 meses (BALDWIN et al., 2001). A metodologia e informações do índice da QBO é fornecida em https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/qbo.html. Em sua fase positiva denotam ventos de oeste e sua fase negativa denotam ventos de leste.

2.1.13 Oscilação Multidecadal do Atlântico (*Atlantic Multidecadal Oscillation*)

A *Atlantic multidecadal Oscillation* (AMO) é uma variação da temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico Norte. Essa oscilação multidecadal varia em uma escala de tempo de 50 a 70 anos, com anomalias positivas por aproximadamente 40 anos, seguidas por anomalias negativas de TSM por aproximadamente 20 anos no Atlântico Norte (ENFIELD et al., 2001). A metodologia para obtenção do índice de monitoramento da AMO é mostrada em (<https://www.psl.noaa.gov/data/timeseries/AMO>). Quando o índice está em fase positiva (negativas), a TSM é anormalmente quente (fria) na maior parte do Oceano Atlântico Norte (região na cor laranja na Figura 1).

2.1.14 Índice do Pacífico Oeste (*Western Pacific Index*)

O *Western Pacific* (WP) é um modo de variabilidade de baixa frequência no setor oeste do Oceano Pacífico Norte. O padrão WP emergiu como o segundo ou terceiro principal modo de variabilidade no registro de 1950-1984 de anomalias mensais da pressão ao nível do mar (BARNSTON; LIVEZEY, 1987). A metodologia pode ser encontrada em (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/wp.shtml>). Durante o inverno e a primavera, o padrão consiste em um dipolo norte-sul de anomalias, com um centro localizado sobre a Península de Kamchatka e um outro centro de sinal oposto cobrindo porções do sudeste da Ásia e do Pacífico subtropical ocidental do Norte. Portanto, fases positivas ou negativas intensas desse padrão refletem as variações zonais e meridionais pronunciadas na localização e na intensidade das correntes de jatos sobre a região.

2.1.15 Oscilação de Madden-Julian (*Madden-Julian Oscillation*)

A Madden-Julian Oscillation (MJO) é uma oscilação intrasazonal que tem como fonte as anomalias quentes da TSM no oceano Índico. A MJO se desloca para leste e seu ciclo ocorre entre 60-90 dias (MADDEN; JULIAN, 1972). Ao longo do seu percurso a MJO é caracterizada em 8 fases (regiões circulares nas cores azuis na Figura 1). A identificação dessas fases é feita através de dois índices conforme a metodologia de Wheeler e Hendon (2004). O índice está disponível no website (<http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>). Nas fases 8, 1 e 2, há condições propícias à convecção no nordeste do Brasil.

2.1.16 Dipolo do Atlântico Sul (*Southern Atlantic Dipole*)

O *Southern Atlantic Dipole* (SAD) corresponde à anomalias da temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico nas latitudes do sul do Brasil e Uruguai e positivas na parte mais tropical. Na literatura, há dois índices para o SAD. O *South Atlantic Subtropical Dipole index* (SASDI) que é o definido por Morioka *et al.* (2011) e obtido através do cálculo das médias espaciais das anomalias de temperatura da superfície do mar para o setor nordeste do Atlântico Sul e para o setor subtropical (regiões indicadas pelo contorno lilás na Figura 1). E o segundo índice sendo o *South Atlantic Ocean dipole index* (SAODI) que é definido por Nmanchi *et al.* (2011) e obtido através do setor nordeste do Atlântico Sul, e para o setor subtropical

(regiões indicadas pela cor azul na Figura 1). Esse índice encontra-se disponível até 2016 em <http://ljp.gcess.cn/dct/page/65592>.

Como esses índices não estão sendo disponibilizados até o presente, portanto, a metodologia é implementada na página web da UNIFEI a fim de fornecê-los de forma atualizada. Para tanto, o conjunto de TSM utilizada é o *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) versão 5 (HUANG et al., 2017) para os cálculos. Para a metodologia Morioka *et al.* (2011), os setores nordeste e subtropical foram invertidos para os sinais dos índices do SAD se coincidirem.

2.1.17 Índice do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (IASAS)

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) influencia a precipitação ao longo do leste da América do Sul (Reboita et al., 2019; Garbarini et al. 2019; Di Luca et al., 2006). Além de impactar sazonalmente tal região, há períodos anômalos em que esse sistema adquire características similares à do inverno no período de verão (Coelho et al, 2015). Dessa forma, a região Sudeste do Brasil passa por um período seco (apresentando anomalia positiva de pressão atmosférica), enquanto a região Sul por um período chuvoso (apresentando anomalia negativa de pressão atmosférica), já que o jato de baixos níveis a leste dos Andes se dirige para sul. Para monitorar o ASAS, a Dra. Michelle Reboita, durante as reuniões climáticas do Grupo de Estudos Climáticos (GrEC) da USP, propôs um índice que agora é implementado no *website* da UNIFEI. O índice do ASAS (IASAS) é obtido computando-se a diferença das anomalias mensais de pressão atmosférica ao nível médio do mar entre a região sudeste (25°S-15°S;50°O-40°O) e sul (37.5°S-27.5°S;60°O-50°O) do Brasil, como mostra a Figura 1. Quando o índice é positivo, a pressão atmosférica ao nível do mar está maior na região sudeste do Brasil. O índice é computado usando dados de pressão ao nível médio do mar da reanálise ERA 5 (HERSBACH et al., 2020).

2.1.18 Índice de TSM na RG2 (ITSMRG2)

O GrEC/USP, desde a década de 2000, observa a presença de anomalias de TSM na região entre o Uruguai e o extremo sul do Brasil, que é conhecida como região ciclogênica RG2 nos estudos de Reboita et al. (2010, 2019) e de Jesus et al. (2020). Exemplos de episódios de anomalias quentes na referida região são

mostrados na Figura 2. A fim de monitorar essas anomalias, foi implementado no *website* da UNIFEI o cálculo das anomalias na região de 40°S-30°S e 57°-47°W (destacada na cor roxa na Figura 1).

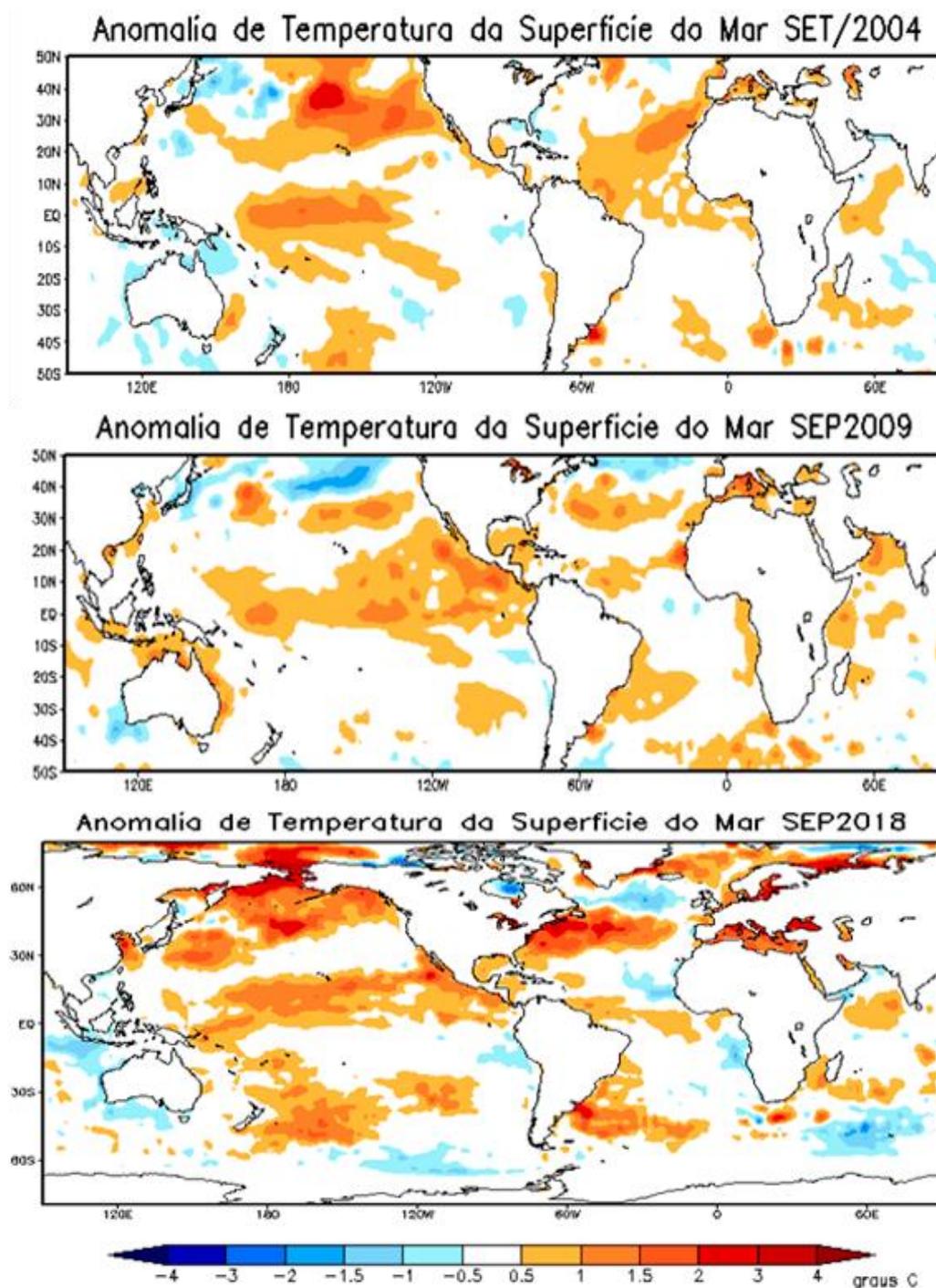


Figura 2 – Exemplos de anomalias mensais de TSM. Fonte: CPTEC/INPE.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da página há várias etapas que incluem desde a automatização das coletas de dados, processamento de figuras e índices, pós-processamentos, ferramentas *web* entre outras. Assim, são utilizadas diversas linguagens de programação, cada uma com seu propósito, como por exemplo: PHP para manipulação das séries temporais dos índices climáticos e texto, o *Javascript* para manipular os objetos orientados, geração de mapas e gráficos entre outros; o CSS pelo estilo e *design* da ferramenta e o SQL para o gerenciamento de banco de dados e alguns *frameworks*.

A Figura 3 mostra o fluxograma de desenvolvimento da ferramenta online. Para o armazenamento dos índices climáticos (Tabela 1) foi utilizado o SQL (*Structured Query Language*) que é uma linguagem de gerenciamento do banco de dados. Ela permite a consulta de um grande volume de dados em milésimos de segundos, dessa maneira é possível obter vários cálculos estáticos utilizando todo o período histórico dos dados em tempo real pelos usuários no *website*. No banco de dados da página web, o período disponível de cada índice varia entre si, como mostrado na Tabela 1.

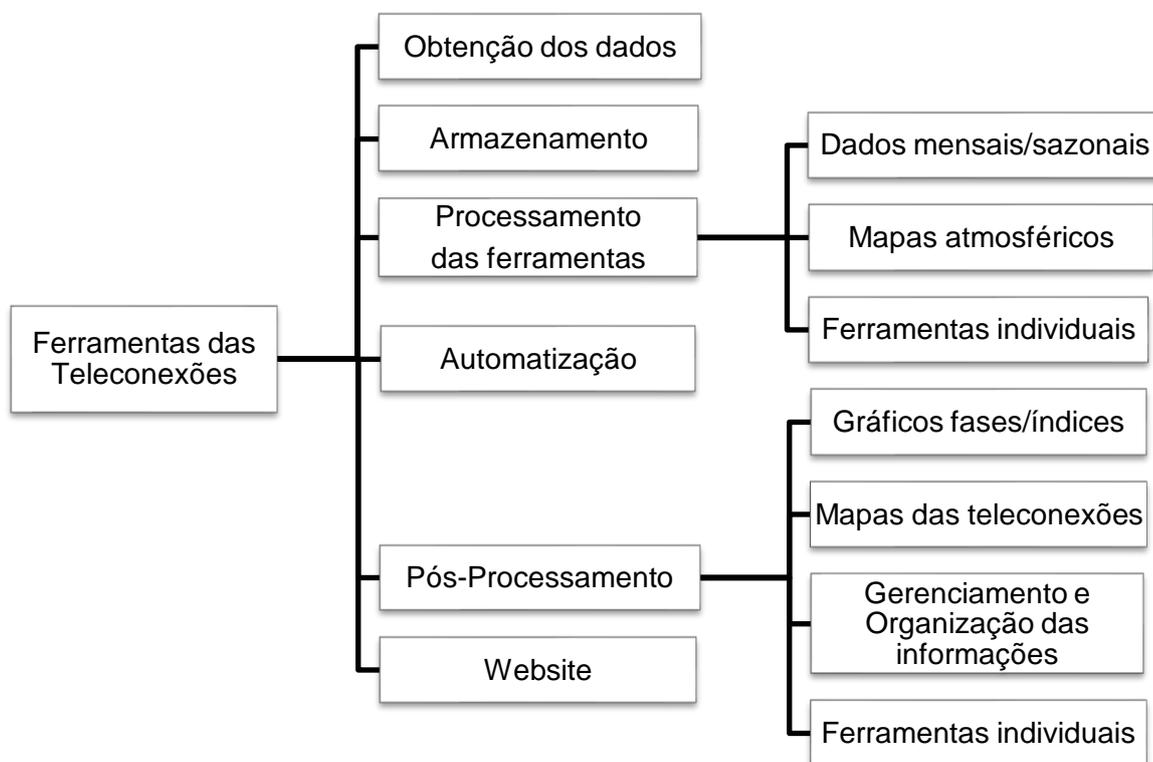


Figura 3 – Esquema dos processos da ferramenta *online* dos índices de teleconexões.

A etapa seguinte consiste no processamento e cálculos dos índices das teleconexões que não estão disponíveis para obtenção nos centros de meteorologia (IASAS, ITSMRG2, SAODI e SASDI). A página também foi implementada de forma a permitir a visualização dos valores mensais dos índices bem como os mapas das variáveis atmosféricas. A automação da execução desses processos é independente para cada índice, pois os diferentes centros internacionais atualizaram e disponibilizam suas informações em períodos distintos. Por esse motivo, a ferramenta desenvolvida faz a checagem a cada 10 dias para acrescentar os novos dados mensais.

Após cada processamento, os resultados são enviados a um servidor *online* da Universidade Federal de Itajubá. Dessa forma, os programas de pós-processamento podem acessar e organizar as informações e ferramentas para os usuários.

O usuário pode gerar as figuras descritas na Tabela 2. Esse processo está atualmente configurado para utilizar a reanálise ERA 5 (HERSBACH et al., 2020) com resolução horizontal de 0,25° e as análises de precipitação do CPC (CHEN et al., 2008), com 0,5° de resolução horizontal. Os mapas das variáveis atmosféricas são gerados com a frequência temporal mensal e são disponibilizadas médias e anomalias calculada de 1979 até o presente.

Tabela 1 – Relação entre os índices e a fonte de dados.

Índices	Fontes/Links	Banco de dados
AAO	NOAA/CPC https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/method.shtml	01/01/1979 - Presente
AMO	NOAA/PSL https://www.psl.noaa.gov/data/timeseries/AMO/	01/01/1948 - Presente
AO	NOAA/PSL https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml	01/01/1950 - Presente
EN03	NOAA/CPC https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/	01/01/1982 - Presente
EN04	NOAA/CPC https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/	01/01/1982 - Presente
EN12	NOAA/CPC https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/	01/01/1982 - Presente
EN34	NOAA/CPC https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/	01/01/1982 - Presente
MEI	NOAA/PSL https://psl.noaa.gov/enso/mei/	01/01/1979 - Presente
NAO	NOAA/PSL	01/01/1950 - Presente

	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml	
ONI	NOAA/PSL https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php	01/01/1950 - Presente
PDO	NOAA/NCDC https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/	01/01/1854 - Presente
PNA	NOAA/PSL https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/pna.shtml	01/01/1950 - Presente
QBO	NOAA/PSL https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/qbo.html	01/01/1948 - Presente
SOI	NOAA/NCDC https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/	01/01/1951 - Presente
TNA	NOAA/PSL https://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/atl/tna.php	01/01/1948 - Presente
TSA	NOAA/PSL https://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/atl/tsa.php	01/01/1948 - Presente
WP	NOAA/PSL https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/wp.shtml	01/01/1950 - Presente
MJO	BUREAU/AU http://www.bom.gov.au/climate/mjo/	01/06/1974 - Presente
SASDI	Produzido/Gerado	01/01/1979 - Presente
SAODI	Produzido/Gerado	01/01/1979 - Presente
IASAS	Produzido/Gerado	01/06/1979 - Presente
ITSMRG2	Produzido/Gerado	01/06/1979 - Presente

Tabela 2 – Variáveis utilizadas para a geração dos mapas.

ERA 5		
Variável	Unidade	Método
Pressão Atmosférica	hPa	Média
		Anomalia
Temperatura a 2 metros	°C	Média
		Anomalia
Temperatura em 850 hPa	°C	Média
		Anomalia
Temperatura em 500 hPa	°C	Média
		Anomalia
Altura Geopotencial em 850 hPa	m ² s ⁻²	Média
		Anomalia
Altura Geopotencial em 500 hPa	m ² s ⁻²	Média
		Anomalia
Altura Geopotencial em 500-850 hPa	m ² s ⁻²	Diferença
Temperatura da superfície do mar	°C	Média
		Anomalia
CPC		
Variável	Unidade	Método
Precipitação	mm	Média
		Anomalia

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo principal deste trabalho é oferecer um produto funcional para auxiliar os usuários na previsão climática sazonal. Dessa forma, vários índices de teleconexões foram compilados numa página web desenvolvida, que também é chamada de ferramenta, e está disponível no website do curso de meteorologia da UNIFEI: <https://meteorologia.unifei.edu.br/teleconexoes>. A seguir será apresentada uma descrição detalhada do *website*.

A página inicial da ferramenta (Figura 4) inicia apresentando: (a) uma síntese dos valores mensais atuais dos índices de teleconexão; (b) três destaques para acesso de informações mais detalhadas: Análises das Teleconexões, Região das Teleconexões e Fases das Teleconexões; (c) opção teleconexão que permite a visualização das séries temporais; (d) uma opção para visualização das regiões utilizadas no cálculo dos índices de teleconexões.

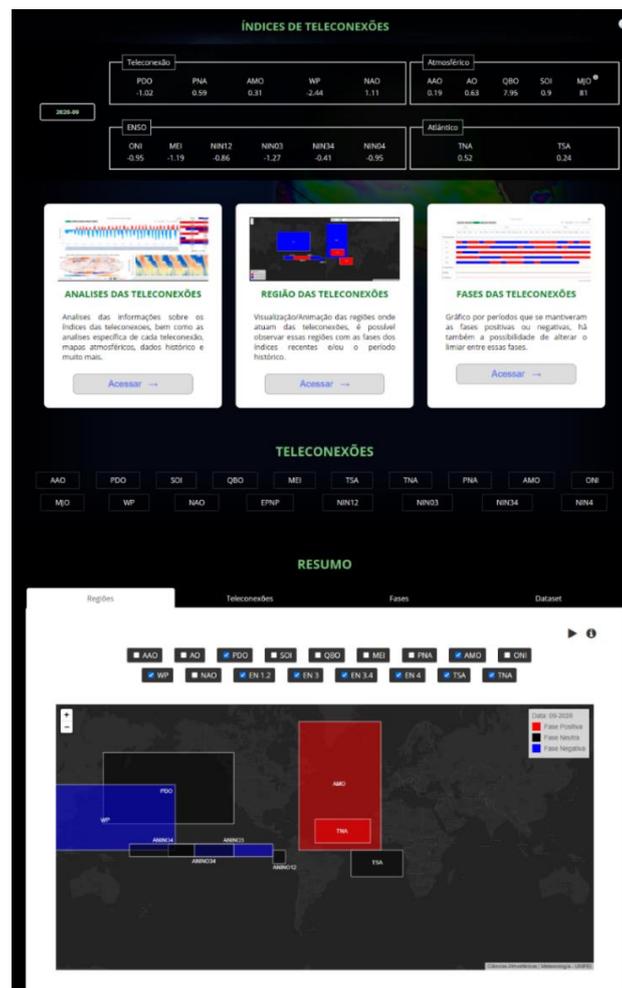


Figura 4 – Página inicial do *website*.

(1) Análise das Teleconexões: Quando o usuário acessa a opção Análise das Teleconexões na página inicial, irá encontrar uma lista com os índices de teleconexões (Figura 5) agrupados nas categorias (i) atmosférico, (ii) teleconexões, (iii) ENSO e (iv) Atlântico.

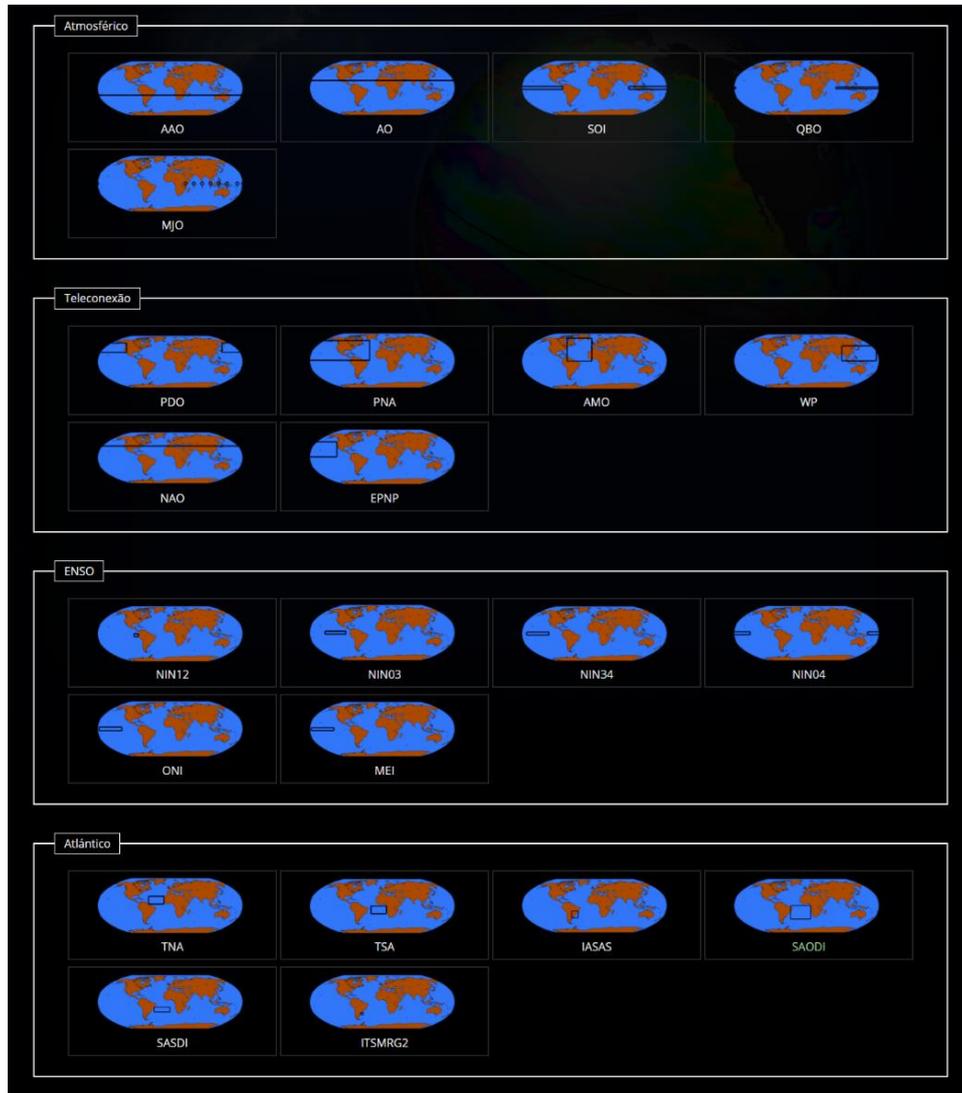


Figura 5 – Página da seleção dos índices.

Ao escolher um índice, o usuário é levado a uma nova página (Figura 6) que se inicia com um gráfico interativo e dinâmico com todo o período histórico do índice e que poderá ser visualizado também por períodos específicos, como os últimos 30, 10, 5 anos. O usuário também conseguirá exportar essas informações nos formatos: png, jpg, csv, xls, pdf entre outros.



Figura 6 – Página principal dos índices, mostrando para o índice PDO.

Nessa página ainda há 4 abas para navegação: visão geral, métodos, mapas e dados históricos (alguns índices mostram uma quinta ou sexta opção com informações adicionais). A aba visão geral fornece uma descrição do padrão de teleconexão escolhido e uma breve revisão da literatura. Nessa mesma aba ainda há uma ficha de detalhamento do índice de teleconexão, como, por exemplo, a fase atual, sua intensidade, gráficos mensais e anuais de sua variabilidade, cálculo estatísticos de correlação. A aba método apresenta a metodologia do cálculo de cada índice de teleconexão (Figura 7).

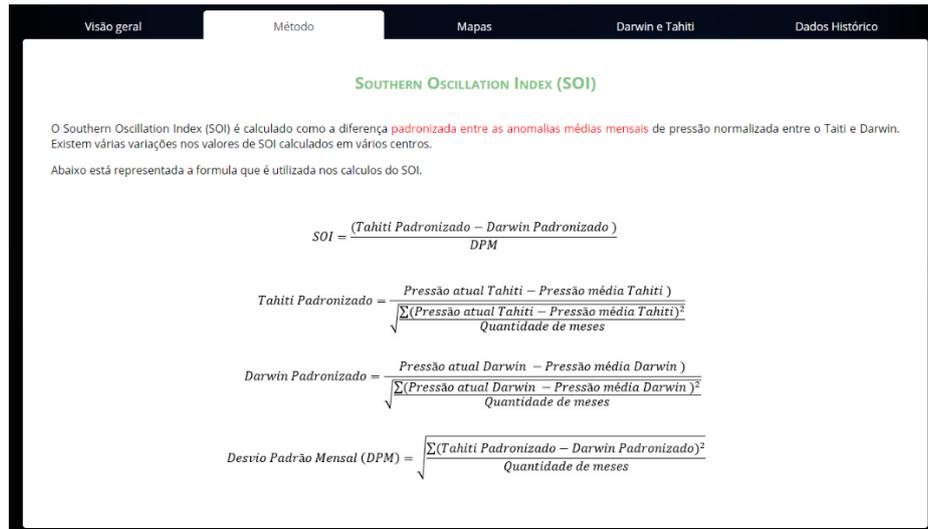


Figura 7 – Aba dos métodos, na página principal dos índices, mostrando para SOI.

A aba mapas (Figura 8) é uma das partes mais interessantes da ferramenta, pois permite que o usuário visualize mapas mensais da média ou da anomalia de diferentes variáveis atmosféricas (Tabela 2). Além disso, é possível escolher o mês desejado. Para a precipitação é utilizado o banco de dados do CPC (CHEN et al., 2008) enquanto que para as demais variáveis, a reanálise ERA5 (HERSBACH et al., 2020). A anomalia corresponde à média do mês escolhido menos a média climatológica e o período utilizado para esses cálculos são de 1979-Presente.

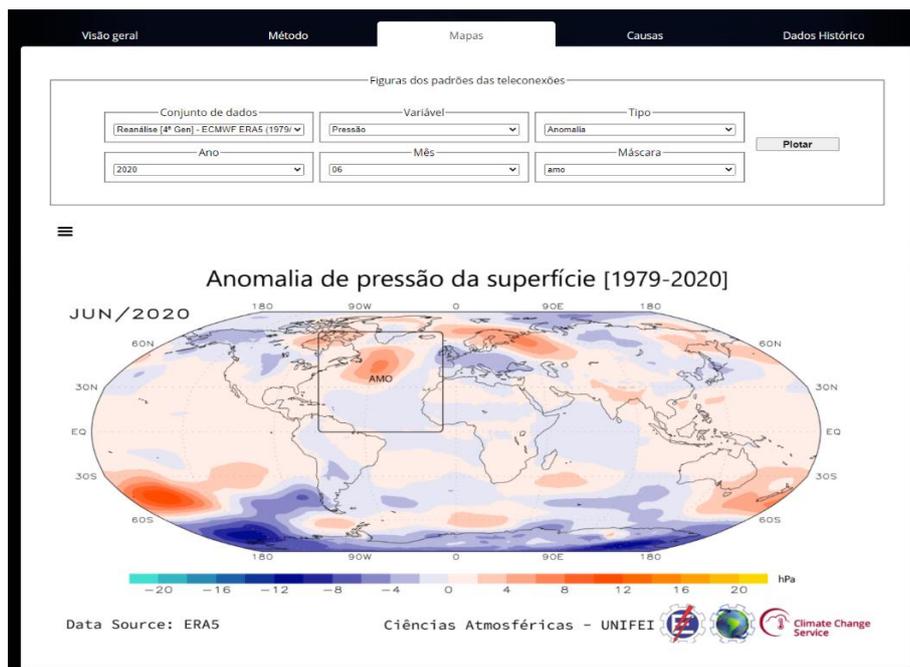


Figura 8 – Ferramenta da figura das condições atmosféricas.

Por fim, a aba dados histórico (Figura 9) mostra uma tabela mensal e outra trimestral com os dados históricos de cada índice. Além disso, são destacados em cor azul os valores mais negativos que o desvio-padrão e em vermelho os maiores do que o desvio-padrão. O usuário pode fazer o download da série histórica em vários formatos, como em csv, xls, pdf, png e etc.

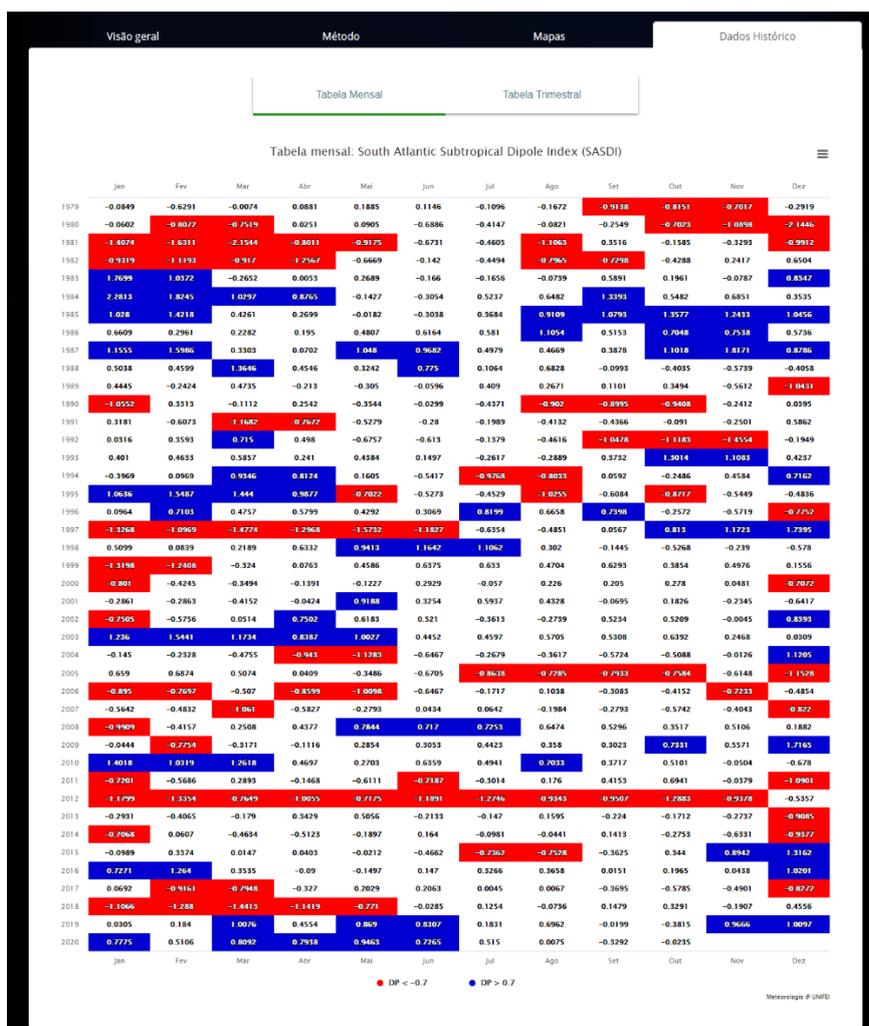


Figura 9 – Ferramenta dos dados históricos.

Alguns dos índices possuem aba adicional, como por exemplo, os índices relacionados ao ENSO, em que suas séries temporais são mostradas concomitantemente.

(2) Região das Teleconexões: selecionando essa opção o usuário é levado a uma nova janela onde é mostrado, em mapa, as regiões usadas no cálculo dos índices e é mostrada uma evolução temporal da fase do índice através da cor da região (Figura 10).

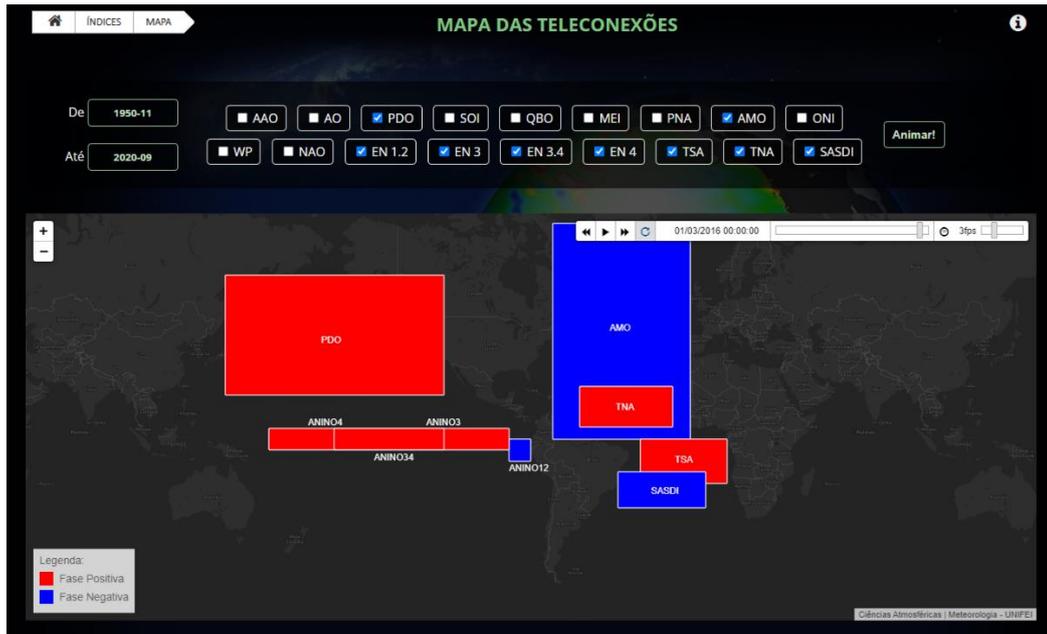


Figura 10 – Ferramenta do mapa com animação das teleconexões.

(3) Fases das Teleconexões: ao clicar nessa opção, o usuário visualiza as fases dos índices de teleconexões (Figura 11). Também há possibilidade do usuário alterar o limiar entre essas fases, assim, possibilitando analisar períodos em que os índices de teleconexões ultrapassem a um determinado valor de limiar, por padrão essa limiar é selecionado como zero e há opções de escolher entre o desvio padrão de todo o período ou definir algum valor da escolha do usuário.



Figura 11 – Página das fases dos índices.

3. CONCLUSÕES

Esse estudo aplicou conhecimentos de Ciências Atmosféricas e de Computação para desenvolver uma ferramenta *online* para organização e visualização de informações sobre índices de teleconexões e padrão das variáveis atmosféricas a fim de facilitar as práticas de previsão climática. Ao todo 22 índices de teleconexões foram implementados no website, sendo 2 exclusivos desse trabalho (IASAS e ITSMRG2). Para isso, foram utilizadas várias técnicas de programação desde o processo de automatização para obter esses dados, processamento de alguns índices, geração das ferramentas visuais como os gráficos interativos, mapas das teleconexões e figuras das variáveis atmosféricas até a organização final dos resultados para o usuário. Também foram empregados vários métodos estatísticos e comparativos para que outros usuários utilizem essa ferramenta para realizar análises sobre as características do clima com os índices do passado e do presente.

Essa ferramenta foi projetada para que receba de forma simples, novos conjuntos de dados de índices de teleconexões e novas funcionalidade dessa ferramenta, permitindo a fácil implementação de novos índices e funções. Desta forma, para trabalhos futuros, recomendo a realização de estudos sobre as causas e consequências das variáveis atmosféricas relacionadas às teleconexões sobre os domínios regionais e globais, utilizando a ferramenta desenvolvida no presente trabalho.

4. REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, R. V. *et al.* The influence of different El Niño types on the South American rainfall. **International Journal Of Climatology**, v. 37, n. 3, p. 1374-1390, 16 mai 2016.
- BALDWIN, M. P. *et al.* The quasi-biennial oscillation. **Reviews of Geophysics**, v. 39, n. 2, p. 179-229, 1 maio 2001.
- BARNSTON, A. G.; LIVEZEY, R. E. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 6, p. 1083–1126, 01 jun. 1987.
- CAZES-BOEZIO, G. *et al.* Seasonal Dependence of ENSO Teleconnections over South America and Relationships with Precipitation in Uruguay. **Journal of Climate**, v. 16, n. 8, p. 1159–1176, 15 abr. 2003.
- CHEN, M. *et al.* Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. D4, 29 fev. 2008.
- COELHO, C. A. S *et al.* The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, p. 3737–3752, 15 set. 2015.
- COZANNET, G. L. *et al.* Teleconnection Pattern Influence on Sea-Wave Climate in the Bay of Biscay. **Journal of Climate**, v. 24, n. 3, p. 641–652, 11 fev. 2011.
- DI LUCA, A. *et al.*, Sea-Level Pressure Patterns In South America And The Adjacent Oceans In The Ippc-Ar4 Models. **8 ICSHMO**, p. 235-243, 24 abr. 2006.
- ENFIELD, D. B. *et al.* How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures?. **Journal Of Geophysical Research**, v. 104, n. 4, p. 7841-7848, 15 abr. 1999.
- ENFIELD, D. B. *et al.* The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. **Geophysical research letters**, v. 28, n. 10, p. 7841-7848, 15 mai. 2001.
- GARBARINI, E. M. *et al.* The influence of Atlantic High on seasonal rainfall in Argentina. **International journal of climatology**, v. 39, n. 12, p. 4688-4702, 11 abr. 2019.
- HERSBACH, H. *et al.* The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 17 maio 2020.
- HUANG, B. *et al.* Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons. **Journal of Climate**, v. 30, n. 20, p. 8179–8205, 15 out. 2017.

JESUS, E. M. **Ciclones e ciclones subtropicais sobre o sudoeste do Oceano Atlântico Sul: projeções climáticas e ventos associados**. 2020. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2020.

KUTZBACH, J. E. Empirical Eigen vectors of Sea-Level Pressure, Surface Temperature and Precipitation Complexes over North America. **Journal of Applied Meteorology**, v. 6, n. 5, p. 791–802, 01 out. 1967.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Description of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40–50 Day Period. **J. Atmos. Sci.**, v. 29, n. 6, p. 1109–1123, 15 mai. 1972.

MANTUA, N. J. *et al.* A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1069–1080, 01 jun. 1997.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**, v. 58, p. 35–44, 1 fev. 2002.

MORIOKA, Y. *et al.* On the Growth and Decay of the Subtropical Dipole Mode in the South Atlantic. **Journal of Climate**, v. 24, n. 21, p. 5538–5554, 1 nov. 2011.

NNAMCHI, H. C. *et al.* Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean?. **Geophysical Research**, v. 116, n. 15, p. 442–457, 4 ago. 2011.

REBOITA, M. S. *et al.* South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). **Climate Dynamics**, v. 35, p. 1331–1347, 1 dez. 2010.

REBOITA, M. S. *et al.* The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, n. 8, 26 fev. 2019.

REBOITA, M. S., *et al.* Trend and teleconnection patterns in the climatology of extratropical cyclones over the Southern Hemisphere. **Climate Dynamics**, v. 45, n. 7-8, p. 1929–1944, 01 out. 2015.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. **Geophysical research letters**, v. 25, n. 9, p. 1297-1300, 01 mai. 1998.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771–2778, 01 dez. 1997.

WALKER, G. T. World Weather. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 54, n. 226, p. 79–87, 01 abr. 1928.

Walker, G.T.; Bliss, E.W. World Weather V. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v. 4, p. 53-84. jan. 1932.

WALLACE, J. M.; GUTZLER, D. S. Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 4, p. 784–812, 01 abr. 1981.

WILKS, D. S. *et al.* **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 3. ed. Burlington, MA: Academic Press, 2011. 704 p. v. 100. ISBN 9780123850232.

WOLTER, K.; M.S. TIMLIN. Monitoring ENSO in COADS with a Seasonally Adjusted Principal Component Index. **17th Climate Diagnostics Wkshop**. p. 52-57, jan. 1993.