



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

RELAÇÃO ENTRE A OSCILAÇÃO QUASE-BIENAL E O MODO ANULAR SUL

**RELATÓRIO DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Maria Lívia Lins Mattos Gava (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: livialmg@hotmail.com

Dr. Clovis AngeliSansigolo (CPTEC/INPE, Orientador)
E-mail: clovis.sansigolo@cptec.inpe.br

COLABORADORES

Dra. Fernanda Cerqueira Vasconcellos (IGEO/UFRJ)
E-mail: fecvasconcellos@gmail.com

Julho de 2018

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Espectro de energia das ondeletas do índice da QBO (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....10
- Figura 2:** Espectro de energia das ondeletas do índice SAM em 700 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....11
- Figura 3:** Espectro de energia das ondeletas do índice SAM em 500 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....12
- Figura 4:** Espectro de energia das ondeletas do índice SAM em 200 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....12
- Figura 5:** Espectro de energia das ondeletas do índice SAM em 30 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....13
- Figura 6:** Espectro de energia das ondeletas cruzadas do índice da QBO e do índice SAM em 30 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....14
- Figura 7:** Espectro de energia das ondeletas cruzadas do índice da QBO e do índice SAM em 200 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....14
- Figura 8:** Espectro de energia das ondeletas cruzadas do índice da QBO e do índice SAM em 500 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....15
- Figura 9:** Espectro de energia das ondeletas cruzadas do índice da QBO e do índice SAM em 700 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).....15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. DADOS E MÉTODOS.....	8
3. RESULTADOS.....	10
4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	16
5. ETAPAS FUTURAS.....	16
6. BIBLIOGRAFIA	16

1. INTRODUÇÃO

Na região extratropical, o Modo Anular destaca-se como principal padrão de variabilidade climática nos extratrópicos. Esse termo é utilizado para descrever uma simetria zonal em ambos os hemisférios e um balanço Norte-Sul de massa atmosférica entre altas latitudes e médias. Esse padrão é conhecido como Modo Anular Sul (SAM) ou Oscilação Antártica (AAO) no Hemisfério Sul, e Modo Anular Norte (NAM) ou Oscilação Ártica (AO) no Hemisfério Norte (THOMPSON; WALLACE, 2000). A estrutura desse padrão de variabilidade é bem similar em ambos os hemisférios, ocorrendo na troposfera em todos os meses do ano. O SAM atinge seu “período ativo” - máximo em intensidade na estratosfera - ao final da primavera, enquanto que para o NAM, esse estágio se dá durante o inverno boreal (THOMPSON; WALLACE, 2000).

A fase positiva do Modo Anular é caracterizada por anomalias negativas de altura geopotencial sobre regiões polares e anomalias positivas em latitudes médias. O oposto ocorre durante a fase negativa (THOMPSON; WALLACE, 2000). Estudos sugerem que durante a fase positiva do SAM há uma intensificação dos ventos de oeste e da baroclinia nas altas latitudes, enquanto as latitudes médias experimentam um enfraquecimento dos mesmos; um deslocamento em direção ao pólo sul do limite polar da célula de Hadley e do limite equatorial da célula de Ferrel, em relação à sua posição climatológica; um aquecimento anômalo nas latitudes médias e resfriamento anômalo das latitudes polares e uma anomalia negativa da coluna total de ozônio nas altas latitudes, indicando um aumento da tropopausa nesta região (THOMPSON; WALLACE, 2000).

Carvalho et al. (2005) utilizaram regressões das anomalias de vento zonal em 200 hPa e de altura geopotencial em 700 hPa para os meses de verão austral, afim de verificar a influência das fases do SAM nos jatos subtropical e polar. Segundo o estudo, a intensificação do jato subtropical, seu deslocamento em direção ao equador e o enfraquecimento do jato polar, conduz o SAM para a fase negativa; já na fase positiva do SAM, o jato subtropical desloca-se em direção ao pólo sul e o jato polar intensifica-se. Os autores investigaram também a influência da oscilação nos transientes, e seus resultados indicam que as fases distintas do SAM modulam a latitude de formação dos

ciclones e seu deslocamento máximo em direção ao equador. O deslocamento do jato subtropical para o equador durante a fase negativa do SAM favorece o deslocamento da localização de frontogênese e de dissipação de ciclones para latitudes mais baixas.

Diversos estudos investigam os impactos do SAM no clima do Hemisfério Sul. Gillet et al. (2006) fizeram uma investigação deste impacto e demonstraram que a fase positiva do SAM está associada a um significativo resfriamento na Antártica e boa parte da Austrália e aquecimento na Península Antártica, Argentina, Tasmânia e sul da Nova Zelândia. A fase positiva está associada também a condições secas anômalas sobre o sul da América do Sul, Nova Zelândia e Tasmânia, e condições chuvosas anômalas sobre a Austrália e África do Sul.

Assim como Carvalho et al. (2005), Reboita et al. (2009) também observaram que, na fase negativa do SAM, a trajetória dos ciclones em todo o Hemisfério Sul desloca-se para norte, quando comparado com a fase positiva. Os autores também encontraram que na região da América do Sul (AS) e Atlântico Sul ocorre intensa atividade frontogenética e anomalias positivas de precipitação na costa sudeste da AS na fase negativa, o oposto é observado na fase positiva

Vasconcelos e Cavalcanti (2010) analisaram a influência das fases do SAM na precipitação sobre parte da Região Sudeste do Brasil, durante o verão austral, através de compostos para anos extremos secos e chuvosos. E observaram que verões extremos chuvosos (secos) estão relacionados com a fase positiva (negativa) do SAM.

Outro padrão de teleconexão ocorre na estratosfera equatorial (aproximadamente 16-50 km), onde prevalece um regime de variação na direção do vento zonal no sentido Leste-Oeste, que se propaga para a baixa estratosfera com o tempo, diminuindo a velocidade do vento com o decréscimo de altitude. Essa variação é conhecida como Oscilação Quase-Bienal (QBO) (ANGELL; KORSHOVER, 1964) e possui um período que varia de 22 a 34 meses, com média em torno de 28 meses (BALDWIN ET AL., 2001). A amplitude e o período da oscilação variam razoavelmente de ciclo para ciclo e a transição entre as fases Leste e Oeste, ocorrem entre 30 e 50 hPa (NAUJOKAT, 1986). A fase Leste da QBO é a mais intensa, caracterizando-se por ventos que sopram de leste para oeste. Analogamente, durante a fase Oeste, os ventos sopram de oeste para

leste e se propagam mais rapidamente para baixo favorecendo a prevalência dessa fase por mais tempo em níveis mais baixos da estratosfera (NAUJOKAT, 1986). Acredita-se que a QBO seja impulsionada pela propagação vertical de ondas planetárias (Kelvin, ondas mistas de gravidade e Rossby e possivelmente ondas de gravidade) no guia de onda equatorial (HOLTON; LINDZEN, 1972; PLUMB, 1977).

Vários estudos já foram realizados investigando os efeitos da QBO no clima. Gray (1984) investigou a aparente associação entre as fases da QBO e a temporada de furacões no Atlântico; e concluiu que durante a fase Oeste da QBO furacões são mais frequentes do que na fase Leste.

Ebdon (1975) mostrou que a fase Leste da QBO coincide com um aquecimento estratosférico súbito, jatos do Atlântico enfraquecidos, e invernos mais frios no norte da Europa e leste dos Estados Unidos, enquanto que a fase Oeste frequentemente está associada com inversos menos intensos no leste dos Estados Unidos, jatos do Atlântico mais intensos e invernos com um número elevado de tempestades no norte da Europa.

Salby e Callaghan (2000) descobriram, usando dados de radiossondagem próximos ao equador em 45 hPa de 1956 a 1996 (da *Free Universit of Berlin*), que a duração da fase Oeste varia em um ciclo decadal de 12 meses a 23 meses, sendo mais longa durante o mínimo solar e mais curta durante o máximo solar. A fase Leste desse nível, por outro lado, parece ter sempre cerca de 12 meses de duração. Os autores sugeriram que a propagação descendente dos ventos de leste tende a parar próximo de 30 hPa durante o mínimo solar, em vez de descer e substituir os ventos de oeste abaixo, prolongando assim a fase Oeste de cerca de 45 hPa. Hamilton (2002) apresentou que essa aparente conexão se mostra mais fraca para o máximo solar de 1981, e essa relação de enfraquece quando uma série temporal maior é analisada. Hamilton sugere que outros mecanismos não relacionados ao ciclo solar podem ser os responsáveis por gerar essa variação quase-decadal na fase da QBO, tais como variações de aerossóis na estratosfera devido à inserção associada a erupções vulcânicas, ou variações sistemáticas nas forçantes de ondas troposféricas.

Embora seja um fenômeno tropical, a influência da QBO na estratosfera extratropical vem sendo investigada por diversos autores, principalmente no Hemisfério

Norte. Van Loon e Labitzke (1987) e Holton e Tan (1982) sugerem que a fase Leste (Oeste) da QBO está associada a vórtices polares estratosféricos enfraquecidos (mais intensos). Holton e Tan (1980, 1982) mostraram que a intensidade do jato polar noturno e as ondas planetárias na alta troposfera e na baixa estratosfera estão correlacionadas com a QBO tropical. Além disso, eles mostraram que no Hemisfério Norte, durante o início do inverno, quando a fase QBO é de leste em 50 hPa, as alturas geopotenciais em latitudes altas são significativamente maiores, o vórtice polar mais fraco e a onda zonal 1 (ZW1) correspondentemente maior do que durante a fase Oeste da QBO. Baldwin e Tung (1994) e Holton e Tan (1982) relacionaram variáveis da estratosfera extratropical, como concentração da coluna de ozônio e momento angular, com o sinal da QBO. Para o Hemisfério Norte, Coughlin e Tung (2001) mostraram que existe uma influência estatisticamente significativa entre o sinal da QBO e cada nível do NAM, de 10 mb até 1000 mb, em que todos eles apresentam um pico com a mesma frequência da QBO. No entanto a relação entre o NAM e a QBO não está bem estabelecida para a superfície. Somente quando usadas apenas médias mensais e considerando os meses de inverno boreal (DJFM, quando a altura geopotencial apresenta maior variância nesse hemisfério) é que se torna possível encontrar um pico de mesma frequência entre as oscilações. Para essa análise, os autores utilizaram a transformada rápida de Fourier (FFT, sigla em inglês) com a janela de Hanning para processar os dados.

Apesar de estudos variados analisarem a relação entre a QBO e o Modo Anular, em geral, eles têm como foco o NAM. Poucos trabalhos relacionam a QBO com o SAM, especificamente. Como exemplo, Roy e Haigh (2011) que utilizaram um modelo de regressão para analisar a influência de diversos fatores no SAM, dentre eles um índice que combina a atividade solar e as fases da QBO (solar*QBO). A partir dos resultados obtidos, eles mostram um sinal robusto da influência do índice solar*QBO, no entanto não apresentam resultados de como esse índice influencia o SAM. Eles mostram que a combinação de uma baixa atividade solar durante a fase Oeste da QBO e alta atividade solar durante a fase Leste da QBO estão associados ao fortalecimento das fases dos modos polares (fase positiva do SAM e do NAM). Enquanto que a combinação contrária corresponde ao enfraquecimento dos mesmos (fase negativa do SAM e do NAM).

Desta forma, entender a possível relação entre a QBO e o SAM pode contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica troposfera-estratosfera e também para conhecer melhor os impactos desses dois fenômenos no clima. Além de poder auxiliar na melhoria da previsão climática. Tendo isso em vista as considerações acima, esse trabalho tem como objetivo cooperar para um melhor entendimento dessa relação, através de análises estatísticas entre os índices SAM, em diversos níveis da atmosfera, e o índice QBO.

2. DADOS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse estudo foram utilizadas saídas mensais do geopotencial e da componente zonal do vento da Reanálise Era-Interim do *European Centre for Medium-Range WeatherForecasts* (ECMWF). A resolução horizontal utilizada foi de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ lat./lon e o período considerado para o estudo, de 1981-2010. Maiores informações sobre essa reanálise podem ser obtidas em Dee et al. (2011).

A partir dessas saídas, foram calculados o índice da QBO e o índice SAM, esse último para 4 diferentes níveis na troposfera e estratosfera sendo eles: 700, 500, 200 e 30 hPa. O índice SAM em cada nível foi obtido a partir da Função Ortogonal Empírica (*Empirical Orthogonal Function - EOF*), da anomalia de altura geopotencial em cada nível selecionado, no intervalo de latitude de 30° - 90° S. O conceito de EOF foi introduzido por Lorenz (1986) como metodologia ao realizar um estudo com a finalidade de encontrar uma maneira eficaz de extrair uma representação simplificada ou compacta de um conjunto de dados. O objetivo era uma representação otimizada do estado da atmosfera, em função do tempo e do espaço, ou seja, uma sequência temporal de campos meteorológicos. Através do método de EOF, pode-se obter padrões espaciais de variabilidade e a variação temporal de um único campo escalar (BJÖRNSSON; VENEGAS, 1997). A série temporal do índice SAM em cada nível foi obtida através da primeira Componente Principal (CP) do EOF do nível correspondente. Os valores positivos (negativos) do índice SAM representam anomalias positivas (negativas) de altura geopotencial nas latitudes médias e anomalias negativas (positivas) em altas latitudes, ou seja, a fase positiva (negativa) do SAM. Quando o padrão da EOF apresentou o sinal oposto ao citado acima, a série temporal da CP foi multiplicada por -1.

Essa metodologia foi baseada no trabalho de Baldwin e Thompson (2009) e na metodologia aplicada para o cálculo do índice SAM fornecido pelo *Climate Prediction Center* (CPC)/*National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/history/method.shtml). Entretanto, na literatura e no CPP/NOAA, o índice SAM é calculado a partir das anomalias de altura geopotencial entre 20°-90°S. Neste trabalho, a área foi reduzida para 30°-90°S, de forma a minimizar o sinal de fenômenos da região tropical, como por exemplo, o El Niño- Oscilação Sul (ENOS), no cálculo do EOF.

Para a obtenção do índice da QBO foi realizada uma média longitudinal (0°-360°) da velocidade da componente zonal do vento, na latitude 0°, para o nível de 30 hPa. Na fase Leste, os valores do índice são negativos, enquanto que na fase Oeste os valores são positivos. Essa metodologia foi baseada no trabalho de Naujokat (1986).

O SAM é um padrão que sofre influência de diversas escalas temporais (SCHENZINGER; OSPREY, 2015). A fim de verificá-las foram geradas figuras da Transformada de Ondeletas Contínuas (CWT) a partir da série temporal de seu índice, nos níveis anteriormente citados. A figura da CWT também foi confeccionada para o índice da QBO. Para o cálculo da CWT a metodologia utilizada foi baseada em Grinsted et al. (2004).

A transformada em ondeletas possui janelas móveis, no tempo ou no espaço, que se dilatam ou se comprimem para capturar sinais de baixa e alta frequência, respectivamente. Ondeletas se tornaram uma ferramenta comum para a análise de variações locais de energia dentro de uma série temporal, pela decomposição da mesma em tempo-frequência-espaço. Ela é capaz de determinar os modos dominantes de variabilidade e, como estes modos variam no decorrer do tempo (LABAT, 2005).

A partir de duas CWT, pode ser construída a Transformada de Ondelela Cruzada (XWT) que irá expor sua potência comum e fase relativa no espaço de tempo-frequência (GRINSTED ET AL., 2004). Dessa forma foram confeccionadas as figuras de XWT entre o índice da QBO e do índice do SAM, uma para cada nível em que esse último índice foi calculado. A metodologia utilizada para o cálculo da XWT, também foi baseada em Grinsted et al., (2004).

3. RESULTADOS

As Figuras 1-5 apresentam as CWT de cada índice. Para o espectro de energia das ondeletas, as cores quentes apresentam o pico de energia, ou seja, onde a maior parte da energia da série está concentrada, e o contorno preto representa o nível de 95% de significância.

Ao analisar a Figura 1, é possível observar um intenso pico de energia na escala de 2 anos, algo que já era esperado devido a natureza da QBO e seu período de oscilação. É possível verificar ainda, apesar de menos intensa, um pico de energia na escala de aproximadamente 1 ano, em praticamente todo o período analisado.

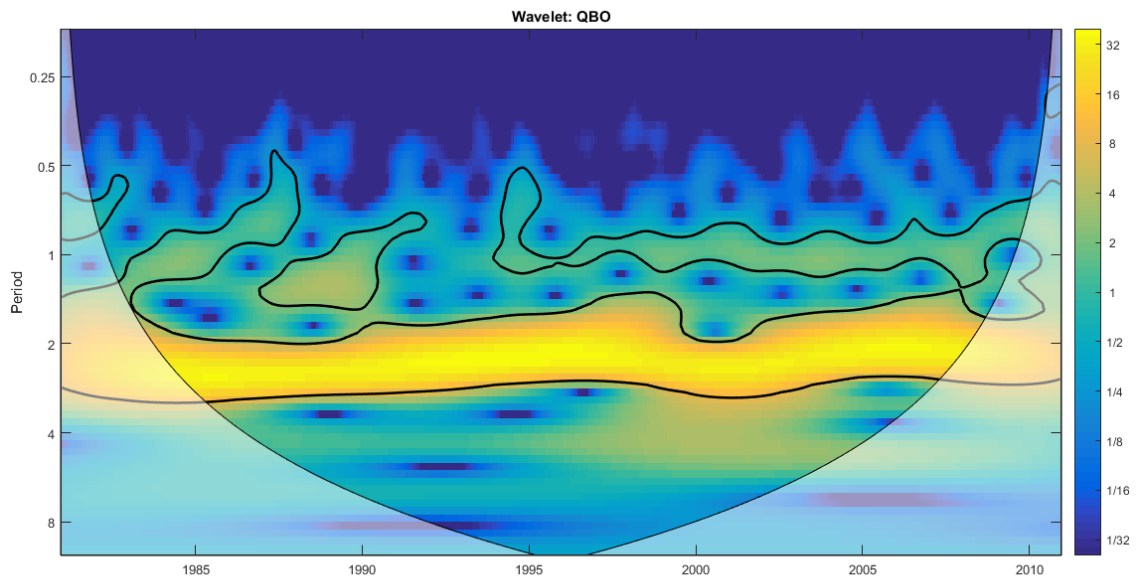


Figura 1: Espectro de energia das ondeletas do índice da QBO (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

As Figuras 2-5 apresentam os resultados para os 4 níveis em que o índice do SAM foi calculado. A Figura 2, apresenta o espectro de energia das ondeletas do índice SAM para o nível de 700 hPa. Nele observamos picos nos períodos de 0,25 a 0,5 ano, em diversos anos da série temporal, cessando em 2005. Ele também apresenta algumas regiões com altos valores de energia no intervalo de 1 a 2 anos, no período de 1985-1990, 2000 e 2007; e ainda um pico em torno de 4 anos entre 1993 e 2001.

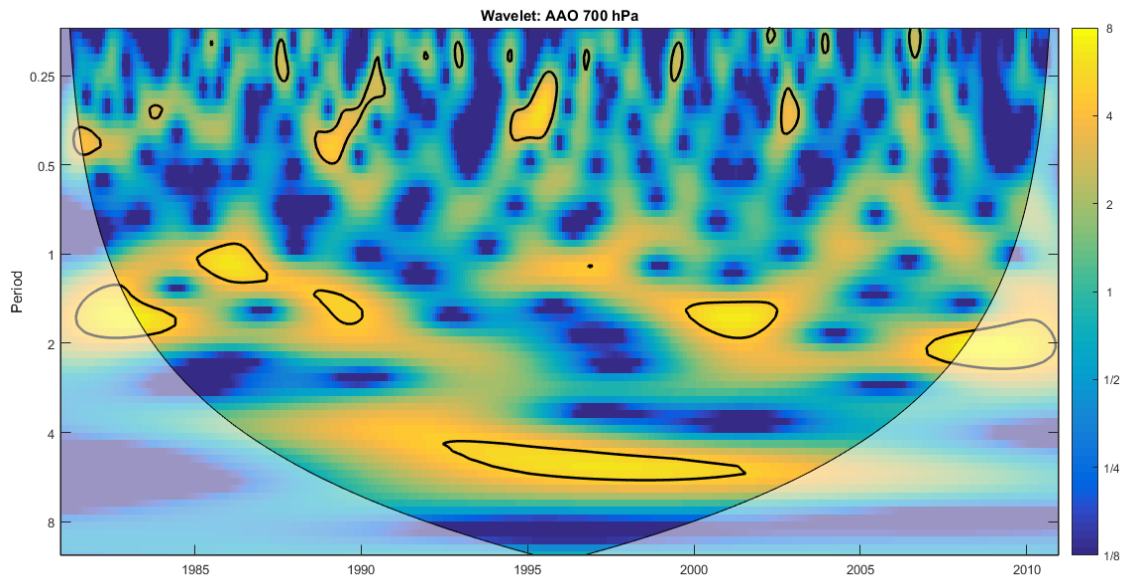


Figura 2: Espectro de energia das ondeletas do índice SAM, para o nível de 700 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

Os resultados das ondeletas obtidos para o índice SAM no nível de 500 hPa e 200 hPa (Figura 3 e 4) são similares aos encontrados para o nível de 700 hPa (Figura 2). A Figura 4 (200 hPa) apresenta, diferentemente das anteriores, um pico no período de 2 anos entre 2000 e 2004.

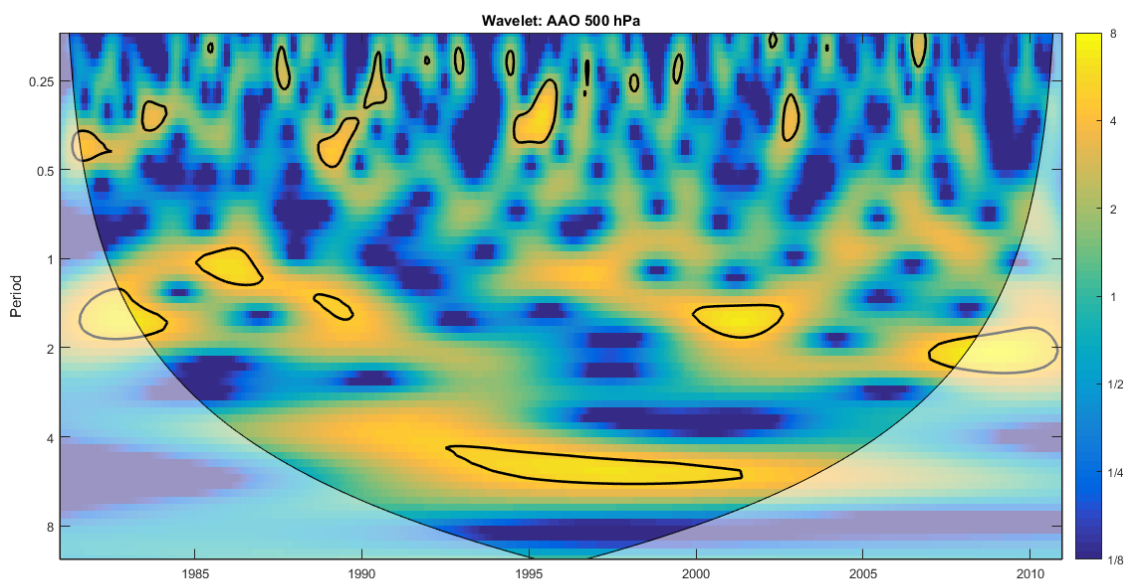


Figura 3: Espectro de energia das ondeletas do índice SAM, para o nível de 500 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

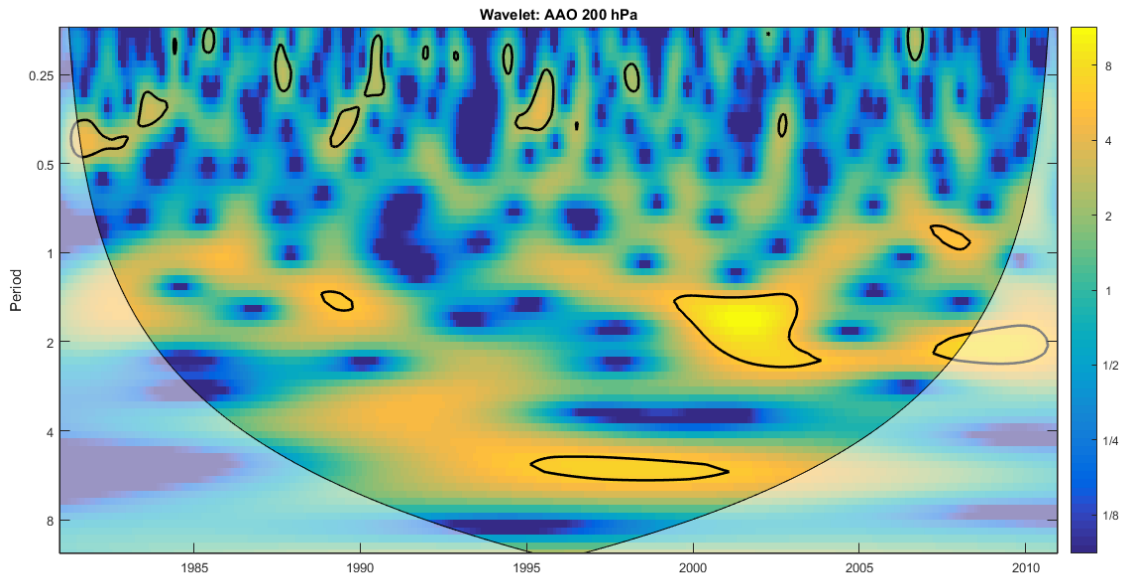


Figura 4: Espectro de energia das ondeletas do índice SAM, para o nível de 200 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

As ondeletas obtidas para o índice do SAM para o nível de 30 hPa apresentam significativas diferenças em relação as anteriores, como podemos observar na Figura 5. Primeiramente, os picos significativos de energia na escala de 0,25 se apresentam menos frequentes. Destacam-se agora picos significativos de energia no período de 0,5, 1 e 2 anos e os picos em torno de 4 anos não são mais

verificados.

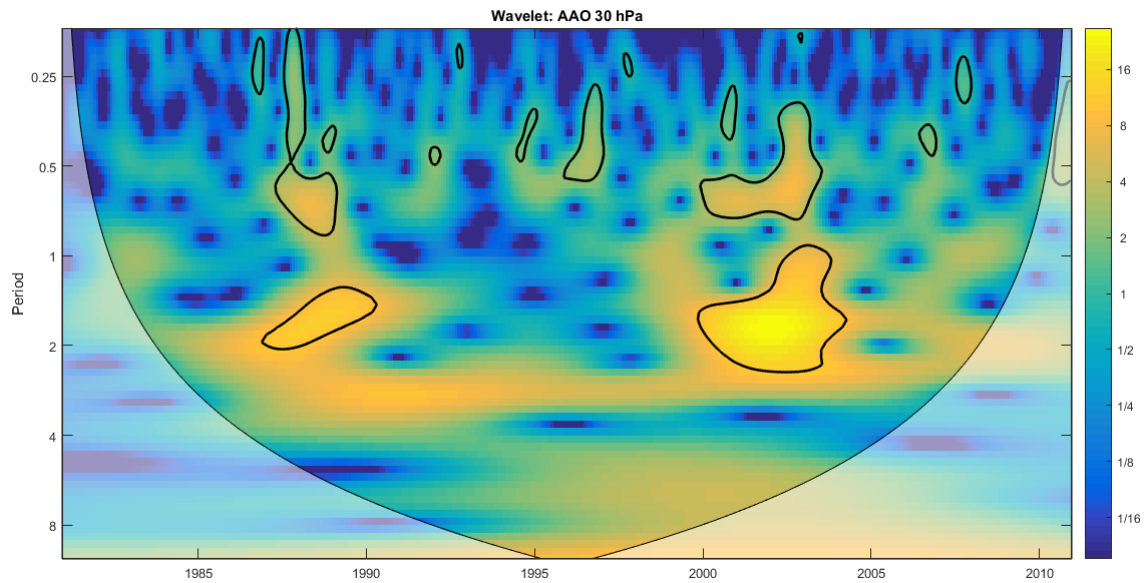


Figura 5: Espectro de energia das ondeletas do índice SAM, para o nível de 30 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

As Figuras 6-9 apresentam os resultados obtidos a partir das XWT do índice da QBO e o índice do SAM. O que podemos observar é que o comportamento observado nas quatro figuras é bastante similar.

Na Figura 6, correspondente a XWT do índice da QBO e índice do SAM calculado para 30 hPa, podem ser observados picos intensos de energia entre 1985-1995 e de 2000 ao fim da série temporal analisada, no período de 2 anos. Ao analisar os vetores de fase, diferenças de fase entre as séries temporais do índice QBO e SAM podem ser vistas, com uma defasagem de aproximadamente 18 meses no período 1985-1990, passando para 3 meses para 1990-1995 e retornando para 18 meses para 2000-2005. Para as ondeletas cruzadas entre o índice QBO e outros níveis do índice SAM, os resultados são semelhantes, exceto que não mostram um pico no período 1985-1987 e os outros dois picos observados anteriormente apresentam menor

intensidade.

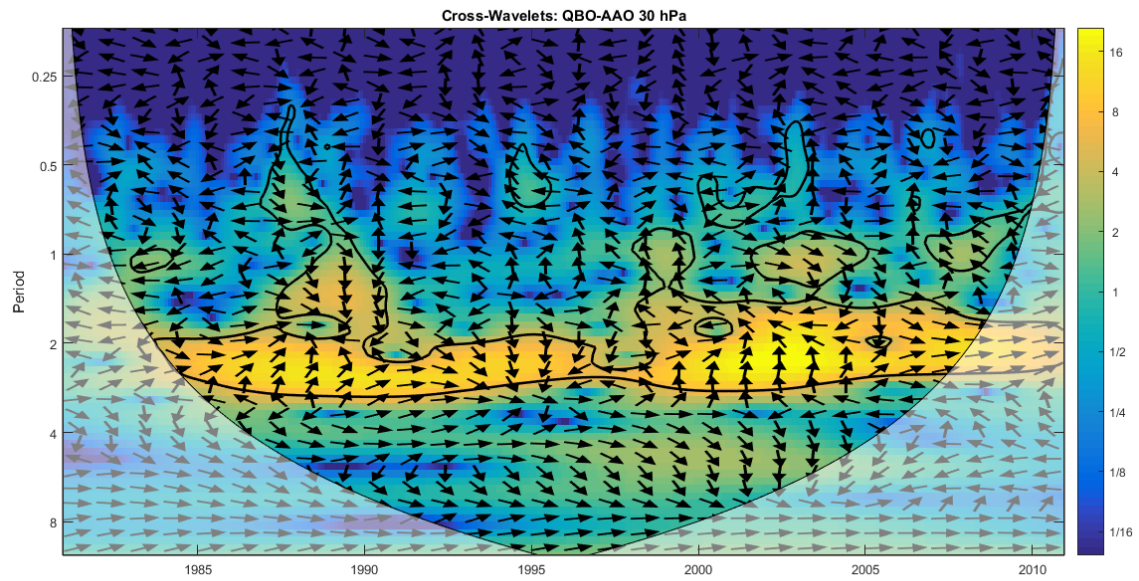


Figura 6: Espectro de energia das ondeletas cruzadas do índice da QBO e do índice SAM em 30 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

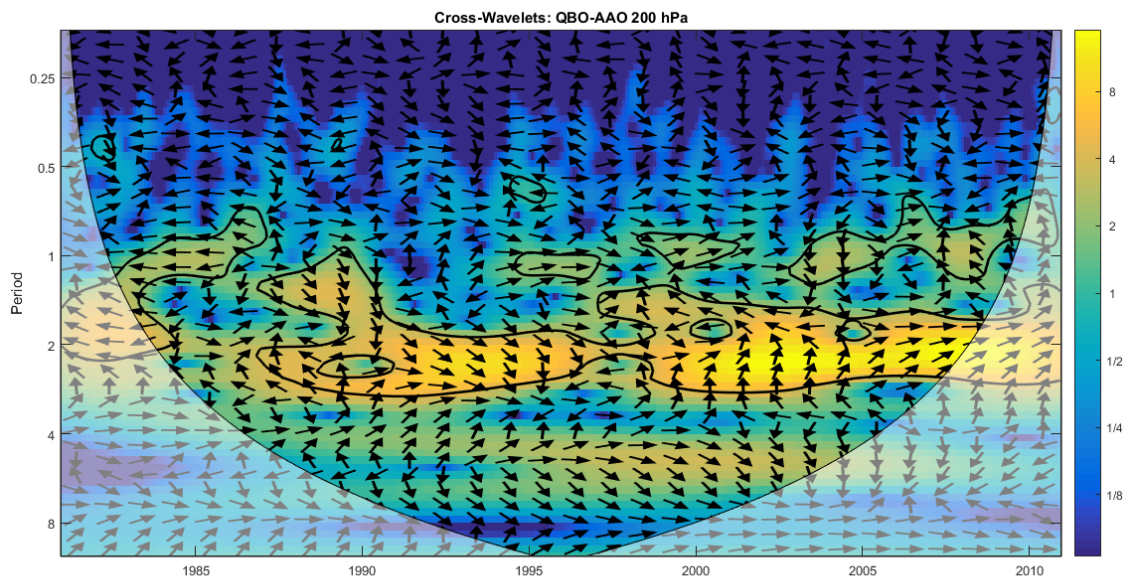


Figura 7: Espectro de energia das ondeletas cruzadas do índice da QBO e do índice SAM em 200 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

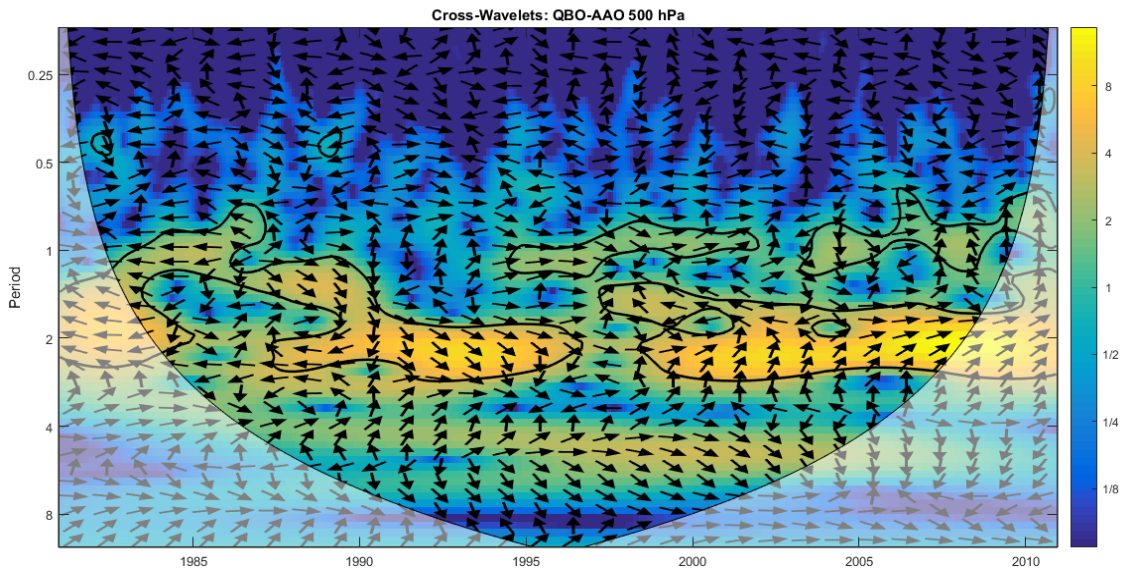


Figura 8: Espectro de energia das ondeletas cruzadas do índice da QBO e do índice SAM em 500 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

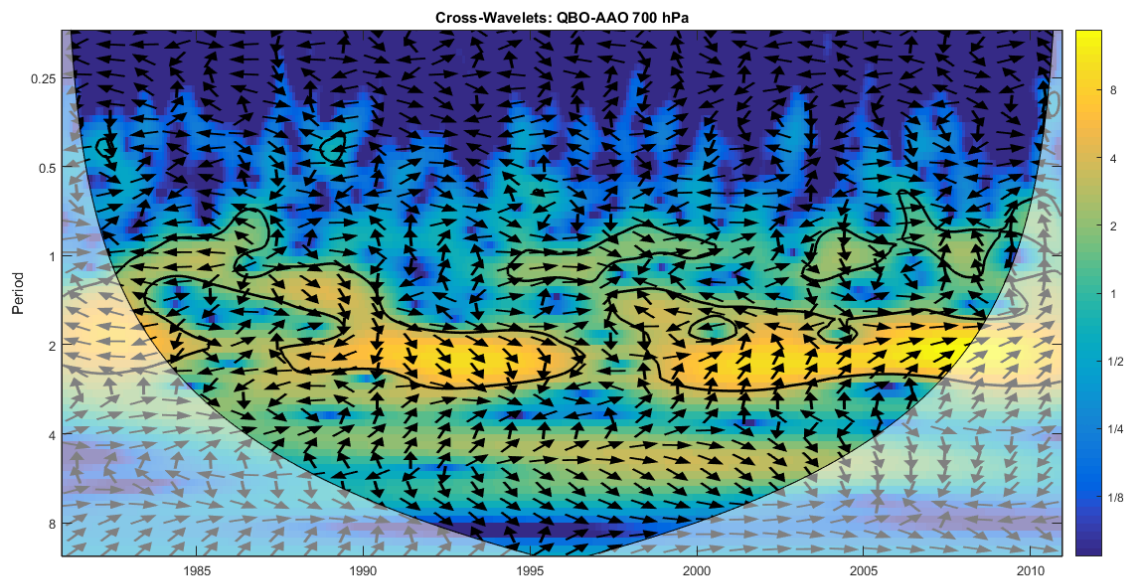


Figura 9: Espectro de energia das ondeletas cruzadas do índice da QBO e do índice SAM em 700 hPa (o contorno preto representa o nível de 95% de significância).

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A partir da CWT do índice da QBO, encontramos um pico de energia no período de 2 anos, como era esperado devido a natureza dessa oscilação.

Observamos pelas CWT geradas para o índice do SAM calculado em diferentes níveis, que todas elas apresentam picos de energia no período de 0,25 a 0,5, 2 anos e 4 anos, com exceção da CWT de 30 hPa que não apresenta este último pico.

Ao analisar as figuras de XWT obtidas, podemos ver um pico de energia no período de 2 anos para todos os resultados obtidos. A partir dos vetores de fase, da WXT para o nível de 30 hPa, observamos variações na defasagem entre as séries ao longo do período analisado. No período de 1985 a 1990, o índice da QBO lidera o índice do SAM por aproximadamente 18 meses, passando para 3 meses para 1990-1995 e retornando para 18 meses para 2000-2005. Para a XWT dos outros níveis do SAM, o resultado é similar, apenas não apresentando o pico no período 1985-1987 e os outros dois picos observados anteriormente possuem menor intensidade.

5. ETAPAS FUTURAS

Uma vez identificada uma relação entre as duas oscilações estudadas, e tendo conhecimento que elas possuem impacto no clima do Hemisfério Sul, os próximos passos serão analisar os impactos conjuntos da QBO e do SAM no clima da AS através de técnicas estatísticas.

6. BIBLIOGRAFIA

ANGELL, J. K.; KORSHOVER, J. Quasi-biennial variations in temperature, total ozone, and tropopause height. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 21, n. 5, p. 479-492, 1964.

BALDWIN, M. P. ET AL. The quasi-biennial oscillation. **Reviews of Geophysics**, v. 39, n. 2, p. 179-229, 2001.

BALDWIN, M. P.; THOMPSON, D. W. J. A critical comparison of stratosphere-troposphere coupling indices. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 135, n. 644, p. 1661-1672, 2009.

BALDWIN, M. P.; TUNG, K-K. Extra-tropical QBO signals in angular momentum and wave forcing. **Geophysical research letters**, v. 21, n. 24, p. 2717-2720, 1994.

BJÖRNSSON, H.; VENEGAS, S. A. **A manual for EOF and SVD analysis of climatic data**. Montreal: McGill University, 1997. 247 p.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; AMBRIZZI, T. Opposite phases of the antarctic oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. **Journal of Climate**, v. 18, n. 5, p. 702–718, 2005.

COUGHLIN, K.; TUNG, K-K. QBO signal found at the extratropical surface through northern annular modes. **Geophysical Research Letters**, v. 28, n. 24, p. 4563-4566, 2001.

DEE, D. P. ET AL. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, p. 553–597, 2011.

EBDON, R. A. The quasi-biennial oscillation and its association with tropospheric circulation patterns. **Meteorological Magazine**, v. 104, p. 282-297, 1975.

GILLETT, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 23, 2006.

GRAY, W. M. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences. **Monthly Weather Review**, v. 112, n. 9, p. 1649-1668, 1984.

GRINSTED, A. ; MOORE, J. C.; JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series, **Nonlinear Processes in Geophysics**, 11, 561-566, 2004.

HAMILTON, K. On the quasi-decadal modulation of the stratospheric QBO period. **Journal of climate**, 15, 2562–2565, 2002.

HOLTON, J. R.; LINDZEN, R. S. An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 29, n. 6, p. 1076-1080, 1972.

HOLTON, J. R.; TAN, H-C. The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 37, n. 10, p. 2200-2208, 1980.

HOLTON, J. R.; TAN, H-C. The quase-biennial oscillation in the Northern Hemisphere lower stratosphere. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 60, p. 140-148, 1982.

LABAT, D. Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. **Journal of Hydrology**, v. 314, n. 1, p. 275-288, 2005.

LORENZ, E. N. Rotation of principal components. **International Journal of Climatology**, v. 6, n. 3, p. 293–335, 1986. Article review of: Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Science Report 1, Statistical Forecast Project. Depto. of Meteorology. Mass: Institute of Technology, 1956.

NAUJOKAT, B. An update of the observed quasi-biennial oscillation of the stratospheric winds over the tropics. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, n. 17, p. 1873-1877, 1986.

PLUMB, R. A. The interaction of two internal waves with the mean flow: Implications for the theory of the quasi-biennial oscillation. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 34, n. 12, p. 1847-1858, 1977.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. D. Relationship between the southern annular mode and the southern hemisphere atmospheric systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 48–55, 2009.

ROY, I.; HAIGH, J. D. The influence of solar variability and the quasi-biennial oscillation on sea level pressure. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 10, n. 12, p. 30453-30471, 2011.

SALBY, M.; P. CALLAGHAN. Connection between the solar cycle and the QBO: The missing link. **Journal of climate**, 13, 2652– 2662, 2000.

SCHENZINGER, V.; OSPREY, S. M. Interpreting the nature of Northern and Southern Annular Mode variability in CMIP5 Models. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, n. 21, 2015.

THOMPSON, D. W.; WALLACE, J. M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. **Journal of climate**, v. 13, n. 5, p. 1000-1016, 2000.

VAN LOON, H.; LABITZKE, K. The Southern Oscillation. Part V: The anomalies in the lower stratosphere of the Northern Hemisphere in winter and a comparison with the quasi-biennial oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 2, p. 357-369, 1987.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, n. 1, p. 21-26, 2010.