



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

**CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DO
ANTICICLONE SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO
SUL: CLIMA PRESENTE E FUTURO**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Daniela Laís de Freitas Costa

Itajubá, MG, Brasil

2017

**CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DO
ANTICICLONE SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL:
CLIMA PRESENTE E FUTURO**

por

Daniela Laís de Freitas Costa

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

Orientador: Dra. Michelle Simões Reboita

Coorientador: Dr. Roger Rodrigues Torres

Itajubá, MG, Brasil

2017

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Monografia

**CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DO ANTICICLONE
SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL**

elaborada por

Daniela Laís de Freitas Costa

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

Comissão Examinadora:



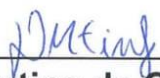
Michelle Simões Reboita, Dr^a. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Roger Rodrigues Torres, Dr. (UNIFEI)



Luiz Fernando Santos, MSc. (INPE)



Débora Martins de Oliveira, Bel. Met. (UNIFEI)

Itajubá, 17 de novembro de 2017.

A DEUS, PELO CONFORTO NOS MOMENTOS DE TRISTEZA E DESÂNIMO,
AGRADEÇO

AOS MEUS IRMÃOS THAIS, JUNINHO,
MEU PAI EDMUNDO
E MEU PAI DE CORAÇÃO CLECIUS
POR ACREDITAREM SEMPRE NO MEU POTENCIAL,
DEDICO

À MINHA AVÓ AUXILIADORA, MEU AVÔ JOÃO (*IN MEMORIAN*)
POR SE ESFORÇAREM TANTO PARA QUE EU CHEGASSE ATÉ AQUI,
E A MEU COMPANHEIRO DE VIDA DOUGLAS,
PELO APOIO INCONDICIONAL EM TODOS OS MOMENTOS
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pelo fim dessa etapa e o início de uma nova jornada.

À professora Michelle Simões Reboita pela calma, paciência e dedicação durante todo esse processo de aprendizado e desenvolvimento. Obrigada, pois, além de orientadora, foi uma grande amiga, ensinando e incentivando a buscar sempre ser uma boa profissional.

À terapeuta Vanessa por estar caminhando comigo nessa árdua jornada.

À amiga Bruna pelo apoio, o qual foi essencial nesse trabalho, ficando comigo até tarde no CEPremG para descobrirmos onde estava dando erro no modelo, muito obrigada.

Ao corpo docente do curso de Ciências Atmosféricas por todo incentivo, ensinamentos e disposição em ajudar sempre que precisei. Sem vocês nenhum graduando em Ciências Atmosféricas teria aprendido e se preparado tanto para tudo o que virá nos próximos passos da vida profissional. Vocês são exemplos para mim e para muitos. Hoje venço essa nova etapa guardando em mim um pouquinho de cada um.

À todo o corpo técnico e administrativo da Unifei, em especial a Tati pela companhia, pelos almoços e cafés da tarde no HabTati Café.

À meus colegas Amanda, André, Wilson, Matias, Diogo. Sem vocês eu não teria tido forças para completar todo esse ciclo com tanto suor, noites sem dormir estudando, festas, REPIC's, encontros só para tomar uma cerveja ou simplesmente uma visita para matar a saudade.

Aos meus irmãos em Deus, Pastoral Universitária Católica por todo o ensinamento, REPIC's e os momentos gostosos que passamos juntos, em especial à meu querido pai de coração Clecius pelas orações e pela força.

À minha querida irmã do coração, Shaine, uma pessoa especial e muito guerreira.

À meu pai Edmundo, meus irmãos Thais, Juninho, meus sobrinhos, que mesmo não expressando seus sentimentos, nos amamos muito. Obrigada, em especial, à meu companheiro Douglas e minha avó Maria Auxiliadora (por ser pai, mãe e avó), os quais fizeram de tudo pra que esse dia chegasse.

À minhas queridas amigas Thais, Sheyla e Fiorita. Cada uma seguiu seu destino e hoje moramos em cidades diferentes, mas a amizade nos faz estar juntas sempre.

Meus sinceros agradecimentos a todos que aqui não foram citados, mas que de alguma forma estiveram presentes nos momentos mais importantes e decisivos de minha vida.

“AS NUVENS MUDAM SEMPRE DE POSIÇÃO,
MAS SÃO SEMPRE NUVENS NO CÉU.
ASSIM DEVEMOS SER TODO DIA, MUTANTES,
PORÉM LEAIS COM O QUE PENSAMOS E SONHAMOS;
LEMBRE-SE, TUDO SE DESMANCHA NO AR,
MENOS OS PENSAMENTOS”.

(PAULO BALEKI)

RESUMO

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

CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DO ANTICILONE SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL: CLIMA PRESENTE E FUTURO

AUTOR: DANIELA LAIS DE FREITAS COSTA
ORIENTADORA: DRA. MICHELLE SIMÕES REBOITA
COORIENTADOR: DR. ROGER RODRIGUES TORRES
Local e Data da Defesa: Itajubá, 17 de novembro de 2017.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a climatologia do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no clima presente (1979-2005) e futuro (2073-2099). Para isso, foram utilizadas séries históricas de pressão a nível médio do mar (PNMM) da reanálise ERA-Interim, ERA-20C e do modelo HadGEM2-ES. Foi utilizado um código automático para identificar mensalmente a posição do ASAS nas três séries no presente. Também foi observado o comportamento futuro do sistema de alta pressão por meio de uma projeção do HadGEM2-ES em um cenário de aquecimento global – forçante radiativa RCP 8.5. No clima presente, a variação latitudinal e a pressão central do ASAS apresentaram um comportamento sazonal atingindo latitudes mais a norte e maior pressão nos meses de inverno, e latitudes mais a sul e menores pressões nos meses de verão. Já a variação longitudinal do ASAS não mostrou um comportamento dependente das estações do ano, apesar de estar em torno de 5°W em sua média climatológica. Com relação aos dados futuros, o ASAS tende a estar mais intenso e expandido para sul e próximo do continente até o final do século XXI, propiciando um aumento nos movimentos subsidentes na região central da América do Sul (AS).

Palavras-chave: ASAS; Climatologia; PNMM; Código Automático; HadGEM2-ES.

LISTA DE FIGURAS

2.1.	Distribuição temporal de pressão (hPa) a nível médio do mar. Centros de alta pressão (A) e centros de baixa pressão (B) bem como os ventos dominantes á superfície indicado a) no inverno e b) no verão. Fonte: Varejão (2006).....	3
2.2.	Esquema do movimento de circulação horizontal e vertical do ar de um sistema de alta pressão no a) HN e b) HS. Fonte: Varejão-Silva (2006).....	4
2.3.	Modelo de circulação geral da atmosfera. (a) em duas dimensões e (b) em três dimensões. Fonte: Varejão-Silva (2006).....	5
2.4.	Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica global para cada um deles. Fonte: http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/	10
3.1.	Representação do posicionamento dos pontos de grade do rastreamento....	13
3.2.	Região delimitada entre 40°S – 20°S e 42°W – 12°E, utilizada no rastreamento do ASAS.....	13
4.1.	Ciclo sazonal do ASAS por meio da a) reanálise ERA-Interim, b) modelo HadGEM2-ES e c) diferença entre o modelo HadGEM2-ES (presente) e ERA-Interim para 1979-2005.....	16
4.2.	Médias mensais de PNMM entre o período de 1979-2005 para diferentes isóbaras: (a) 1017 hPa; (b) 1018 hPa; (c) 1019 hPa; (d) 1020 hPa.....	19
4.3.	Representação espacial da variação bidimensional do ciclo anual do ASAS para a média mensal com base nos dados do ERA-Interim a) feita por Degola (2013), entre 1989-2010 e b) para este estudo (1979-2005).....	21
4.4.	Representação espacial da posição do ASAS com base na climatologia da reanálise a) ERA-Interim, b) ERA20C e modelo c) HadGEM2-ES (1979-2005).....	21
4.5.	Representação espacial do ciclo anual do ASAS para a média entre 1979-2005 das reanálises ERA-Interim (azul), ERA20C (vermelho) e do modelo presente HadGEM2-ES (verde). a) Variação mensal de pressão central do ASAS, b) Variação longitudinal, c) Variação latitudinal.....	22

- 4.6.** Perfil vertical médio [hPa/s] (em sombreado) e divergência horizontal de massa [m/s] (em linhas contínuas) para a média anual de 1979-2005. Corte latitudinal do ASAS entre 60° S – 10°N e longitudinal em 5°W.....26
- 4.7.** Perfil vertical médio [hPa/s] (em sombreado) e divergência horizontal de massa [m/s] (em linhas contínuas) para a média sazonal de 1979-2005. Corte latitudinal do ASAS entre 60° S – 10°N e longitudinal em 5°W.....27
- 4.8.** Perfil vertical médio [hPa/s] (sombreado) e divergência horizontal de massa [m/s] (linhas contínuas) para a média mensal de 1979-2005. Corte latitudinal do ASAS entre 60° S – 10°N e longitudinal em 5°W.....28
- 4.9.** Ciclo sazonal do ASAS por meio do **a)** modelo HadGEM2-ES no presente (1979-2005), **b)** projeção do modelo HadGEM2-ES no futuro (2073-2099) **c)** diferença entre o modelo HadGEM2-ES presente e projeção do modelo.....30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Concentração radiativa dos cenários de mudanças climáticas.....	10
TABELA 4.1. Resumo dos resultados extremos encontrados pelo algoritmo de rastreamento do ASAS para o período de 1979-2005.....	23
TABELA 4.2. Resultados mensais da posição do ASAS para diversos trabalhos...	24
TABELA 4.3. Resultados sazonais da posição do ASAS para diversos trabalhos..	24
TABELA 4.4. Correlação entre as reanálises e o modelo no presente (1979-2005).....	25
TABELA 4.5. Comparação entre as ERA-Interim, ERA20C e HadGEM2-ES no presente (1979-2005).....	25

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AS – América do Sul

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

CMIP5 - *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*

DivH – Divergência horizontal

DJF – Dezembro, janeiro, fevereiro

ECMWF- *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*

GEE – Gases do efeito estufa

HadGEM2-ES - *Hadley Global Environment Model 2 - Earth System*

HN – Hemisfério Norte

hPa - Hectopascal

HS – Hemisfério Sul

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPCC AR5 - *IPCC Fifth Assessment Report*

JJA – Junho, julho e agosto

NCEP – National Centers for Environmental Prediction

NEB – Nordeste do Brasil

MATLAB – *Matrix Laboratory*

MAM – Março, abril e maio

MMA – Ministério do Meio Ambiente

OAS – Oceano Atlântico Sul

PNMM – Pressão ao nível médio do mar

RCPs – *Representative Concentration Pathways*

RegCM4 – *Regional Climate Model* – versão 4

REQM – Raiz do Erro Quadrático Médio

S – *South*

SigRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

SON – Setembro, outubro e novembro

W – *Weast*

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Inter Tropical

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I. Ciclo mensal do ASAS por meio da **a)** reanálise ERA-Interim, **b)** modeloHadGEM2-ES e **c)** diferença entre o modelo HadGEM2-ES (presente) e ERA-Interim para 1979-2005.....38

ANEXO II. Ciclo mensal do ASAS por meio do **a)** modelo HadGEM2-ES no presente (1979-2005), **b)** projeção do modelo HadGEM2-ES no futuro (2073-2099) **c)** diferença entre o modelo HadGEM2-ES presente e projeção do modelo.....41

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Circulação Geral da Atmosfera.....	3
2.2. Estudos Climatológicos do ASAS e sua influência na AS.....	5
2.3. Projeções futuras do ASAS.....	8
3. MATERIAIS E METODOLOGIA	12
3.1. Dados.....	12
3.2. Metodologia de rastreamento da posição do ASAS.....	12
3.3. Perfis verticais.....	13
3.4. Análises estatísticas.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Padrão Sazonal do ASAS.....	16
4.2. Rastreamento do ASAS.....	20
4.3. Perfil Vertical do ASAS.....	26
4.4. Projeção do ASAS com o HadGEM2-ES.....	29
5. CONCLUSÃO	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
7. ANEXOS	38

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de alta pressão ou anticiclones são fenômenos caracterizados por pressão maior em seu centro do que em sua periferia e estão associados com subsidência de ar. Esses sistemas apresentam giro anti-horário (horário) no Hemisfério Sul (Hemisfério Norte) e, em geral, produzem bom tempo na sua região central, pois a subsidência de ar impede a formação de nebulosidade, tornando o céu limpo e a atmosfera estável.

Os anticiclones podem ser transientes ou semi-estacionários. Os sistemas semi-estacionários ou subtropicais estão associados à circulação geral da atmosfera, que surgem devido à movimentos subsidentes da célula de Hadley em latitudes tropicais. Os anticiclones subtropicais ocorrem próximos a 30° de latitude, em ambos os hemisférios, por isso, recebem também a denominação de semipermanentes. Um exemplo desse tipo de sistema é o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), localizado no oceano Atlântico Sul (HASTENRATH, 1985; REBOITA et al., 2010; DEGOLA, 2013). O ASAS é uma circulação de grande relevância para a América do Sul (AS) e influencia diretamente o tempo e o clima do leste do Brasil tanto no inverno quanto no verão.

Nos meses de verão, o sistema apresenta-se menos intenso e deslocado para leste (comparado ao inverno) do oceano Atlântico Sul (OAS) e, dessa forma, atua como um mecanismo importante para o transporte de umidade do oceano para o continente (HASTENRATH, 1991; LENTERS; COOK, 1999; TASCHETTO; WAINER, 2008), contribuindo para a formação de diversos sistemas meteorológicos, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as quais exercem papel importante no regime de chuvas nas regiões onde atuam. No inverno, o ASAS atinge a sua posição mais a oeste (HASTENRATH, 1991), fazendo com que o centro do sistema localize-se mais próximo ao continente, dificultando o avanço de sistemas frontais mais a norte da AS, causando longos períodos de estiagem, inversão térmica e alta concentração de poluentes nas regiões densamente populosas, em especial, nos principais centros urbanos da região sudeste e sul do Brasil, que são os mais populosas e economicamente importantes do país (BASTOS; FERREIRA, 2000). Nessas duas

regiões concentram-se cerca de 56% do total populacional do Brasil, com índice de urbanização acima de 90% (IBGE, 2017). Além disso, as regiões sudeste e sul apresentam a maior taxa de lançamento de poluentes na atmosfera, causando problemas respiratórios sérios para as pessoas e para o meio ambiente em que vivem. Um melhor conhecimento do comportamento do ASAS e sua interação com outros sistemas são fundamentais para proporcionar importantes informações, tendo em vista diminuir os impactos das diversas mudanças climáticas em uma região.

Nesse contexto, também é importante saber o comportamento do anticiclone subtropical no clima futuro. Diante do exposto, o presente estudo consiste em determinar a climatologia do ASAS no clima presente (1979-2005) através de dados de pressão ao nível médio do mar (PNMM) das reanálises ERA-Interim, ERA-20C e do modelo global HadGEM2-ES, tanto no presente quanto no futuro (2073-2099), além de avaliar o deslocamento e a intensidade do sistema em níveis verticais por meio de velocidade vertical e divergência horizontal.

Esse estudo está organizado em 5 capítulos. O capítulo 1 apresentou uma breve introdução do trabalho. O capítulo 2 mostra a revisão bibliográfica, proporcionando algum embasamento teórico sobre o conhecimento do ASAS. O capítulo 3 apresenta os principais meios de obtenção e tratamento dos dados utilizados. No capítulo 4 os resultados são expostos e analisados. Finalmente, as conclusões e demais considerações deste trabalho são descritas no capítulo 5.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFIA

2.1. Circulação Geral da Atmosfera

Assim como mencionado anteriormente, sistemas de alta pressão (anticiclones ou altas) são sistemas que possuem pressão maior no centro do que nas extremidades, com movimento circulatório de sentido anti-horário no Hemisfério Sul (HS) e horário no Hemisfério Norte (HN) (Figura 2.1) e estão associados a movimento vertical subsidente. As parcelas de ar de um sistema de alta pressão causam divergência de massa em superfície, afastando o ar em superfície da região central (Figura 2.2). Após formado esse processo de rotação a parcela é defletida pelo movimento de rotação da Terra (Coriolis), que atua perpendicularmente desviando o movimento do sistema para a direita no HN e para a esquerda no HS (VAREJÃO-SILVA, 2006).

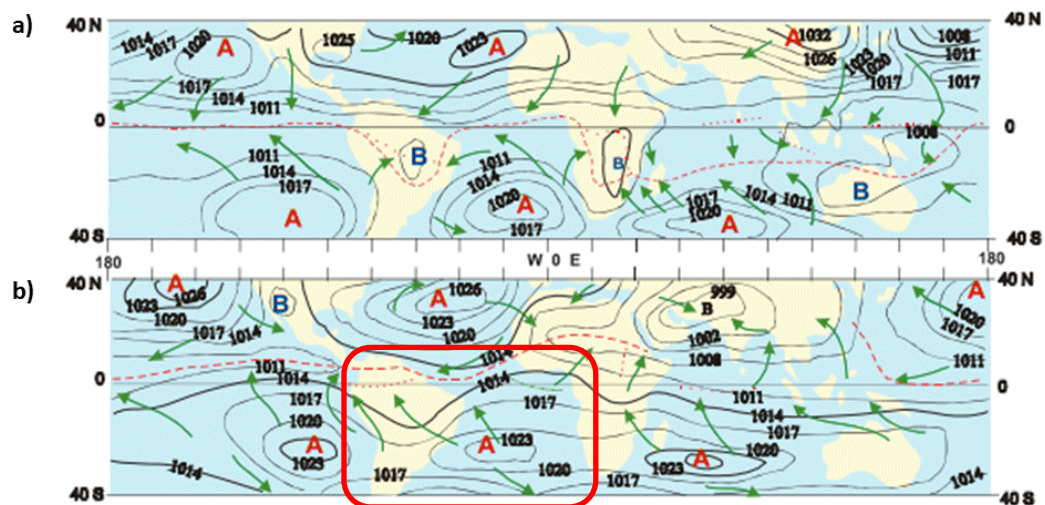


Figura 2.1. Distribuição temporal de pressão (hPa) a nível médio do mar. Centros de alta pressão (A) e centros de baixa pressão (B), bem como os ventos dominantes à superfície indicado a) no inverno e b) no verão. Fonte: Varejão-Silva (2006).

Anticiclones podem ser do tipo migratórios (transientes) ou semipermanentes. As altas semipermanentes persistem durante todo o ano sobre uma determinada região, em geral entre 25°- 45° (SINCLAIR, 1996; PESQUERO, 2004; REBOITA, 2008), tendo um pequeno deslocamento com o tempo em torno de sua posição média. Embora o número de anticiclones semipermanentes permaneça constante

ao longo do ano, há uma variabilidade sazonal nos locais de seu posicionamento. Em geral, a latitude máxima de ocorrência é deslocada cerca de 4° para norte/sul no inverno/primavera em relação a posição no verão/outono de cada hemisfério (SINCLAIR, 1996). Existem dois conjuntos de anticlones semipermanentes localizados na região tropical, sendo no HN próximo a latitude de 30°N (com exceção a alta da Sibéria, localizada em 45°N no inverno boreal) e no HS, em torno de 25°S (Figura 2.1). Em geral, as altas semipermanentes se tornam mais intensas no inverno.

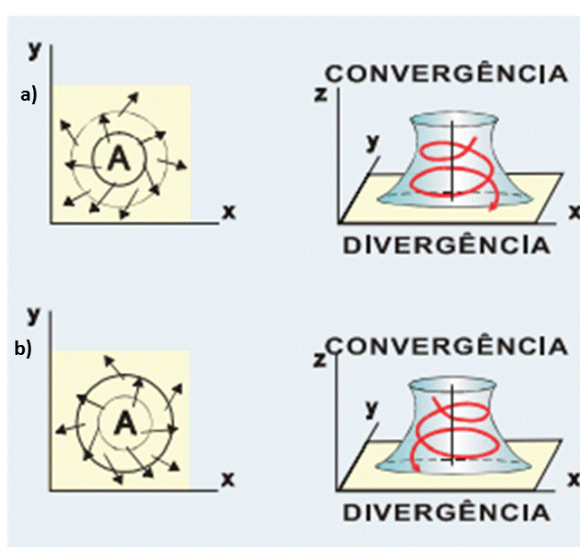


Figura 2.2. Esquema do movimento de circulação horizontal e vertical do ar de um sistema de alta pressão no a) HN e b) HS. Fonte: Varejão-Silva (2006).

O processo de formação dos sistemas semipermanentes de alta pressão ocorre em virtude do acúmulo de energia absorvida nos trópicos. Visto que o ar nas regiões tropicais em ambos os hemisférios é mais quente, consequentemente mais leve, ele induz a convergência dos ventos em superfície em ambos os hemisférios na região tropical para a região próxima e subsidem em torno de 30° , fechando a circulação térmica. Essa região é denominada cinturão de alta pressão e localiza-se entre duas grandes células de circulação planetária: Ferrel e Hadley (Figura 2.3), auxiliando na circulação geral da atmosfera.

A subsidência de ar nas latitudes tropicais impede a formação de nuvens, formando condições de céu claro com ventos fracos e frequente calmaria. Uma vez que nas regiões tropicais ocorre o acúmulo de radiação solar absorvida, nos polos

ocorre o oposto. Dessa forma, com objetivo de uniformizar o campo de temperatura, surgem as ondas atmosféricas, em função da incursão de ar quente (frio) em regiões mais frias (quentes). No setor oeste dessas ondas, em médios e altos níveis, ocorre a convergência e subsidência de ar, formando assim as altas migratórias. Os anticiclones migratórios (ou anticiclones transientes) surgem, se desenvolvem e desaparecem, alterando as condições atmosféricas por onde passam. Esses sistemas possuem a mesma circulação das altas semipermanentes, no entanto, com estrutura fria, pois são formados predominantemente em latitudes médias e polares e migram para latitudes mais baixas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

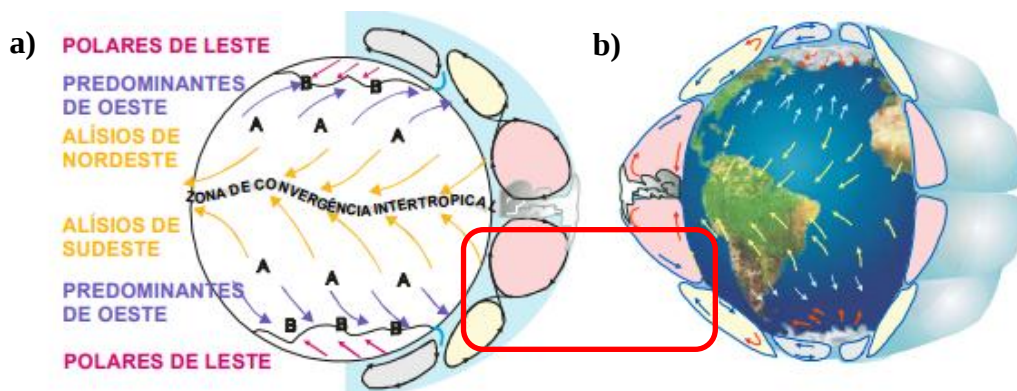


Figura 2.3. Modelo de circulação geral da atmosfera. **(a)** em duas dimensões e **(b)** em três dimensões. Fonte: Varejão-Silva (2006).

2.2 Estudos Climatológicos do ASAS e sua influência na AS

Mudanças nas condições do tempo e clima do Brasil estão geralmente associadas à passagem, formação ou intensificação de sistemas meteorológicos, típicos de latitudes médias e atuantes em todas as épocas do ano, causando oscilação e deslocamento nos campos de pressão atmosférica, de vento, além de outras variáveis atmosféricas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Um estudo importante foi desenvolvido por Hastenrath (1985), que, utilizando 5 anos de dados de pressão, investigou as características de todas as altas subtropicais semipermanentes do HN e HS. O autor realizou uma análise da variação mensal em latitude e longitude do posicionamento dos centros de alta pressão e determinou as características intra e interanual. Com base nisso, foi

identificado que os anticiclones ficam mais próximos da região equatorial no inverno. Quanto ao ASAS, Hastenrath observou seu posicionamento médio mais a norte (entre 27°S e 28°S) e mais a oeste (entre 12°W e 14°W) nos meses de inverno e mais a leste nos meses de verão (entre 30°S-33°S e 0°-7°W).

Machel et al. (1998) analisaram o comportamento dos centros de pressão sobre o oceano Atlântico (Baixa da Islândia, Alta dos Açores, ZCIT e ASAS), utilizando dados mensais de 1881 a 1995. Para esse estudo, foram investigadas as variações de intensidade e posicionamento, mudanças intra-anuais e de períodos mais longos, incidência de anomalias e tendências lineares dos centros de alta pressão. Em particular, quanto ao ASAS observaram que sua variação sazonal é caracterizada por uma oscilação longitudinal, ou seja, pelo movimento de leste para oeste do sistema, com sua posição mais a leste ocorrendo em outubro e abril e a posição mais a oeste, em julho, agosto e de janeiro a março. O deslocamento do ASAS para sul favorece seu fortalecimento. Foi visto que a pressão no centro do sistema alcançou 1021 hPa entre dezembro e abril e 1026 hPa no mês de agosto.

Ito (1999), utilizando procedimento automatizado para localizar e rastrear centros de alta pressão no inverno, confirmou os resultados de Machel et al (1998) para o ASAS, descrevendo em detalhes o seu deslocamento leste e oeste. O maior deslocamento longitudinal foi obtido no mês de julho (cerca de 10°W), mostrando que o ASAS fica mais próximo do continente sul-americano durante esse mês. Por outro lado, a variação latitudinal do centro apresentou pouco deslocamento no decorrer dos meses.

Como visto na Figura 2.1, no inverno o ASAS ocupa uma maior área comparado ao verão, favorecendo um maior volume de precipitação sobre o leste do Brasil. No verão do HS, o aquecimento continental e a grande disponibilidade de umidade proveniente do oceano Atlântico favorecem condições de instabilidade e convecção na atmosfera. O ar quente e úmido é transportado para o sudeste do Brasil através dos ventos da borda oeste do ASAS. Esse ar quente e úmido converge em superfície e ascende na atmosfera, propiciando a formação de nebulosidade e auxiliando no regime de chuvas na costa litorânea do Brasil (REBOITA et al. 2010). Nessa época do ano, o ASAS pode ser visto com uma menor área e afastado da costa brasileira; deslocado para leste sobre o oceano

Atlântico Sul (OAS), favorecendo a atuação de um sistema de baixa pressão sobre o continente, o qual auxilia no transporte de umidade para o interior do continente e contribui para altos acumulados de precipitação. No inverno, o resfriamento continental mantém a atmosfera estável, o que reduz os acumulados de precipitação. O deslocamento do ASAS nessa época do ano para próximo da região continental também impede a passagem de outros sistemas atmosféricos, causado pela forte subsidência atmosférica, consequentemente, diminuindo os acumulados de chuva (REBOITA et al., 2010; DEGOLA, 2013).

Quando o ASAS está deslocado para sul de sua posição climatológica e próximo da AS, os ventos vindos do setor norte e nordeste do ASAS intensificam os ventos de leste e sudeste (alísios) que chegam ao Nordeste do Brasil, beneficiando o transporte de umidade marítima, favorecendo, assim, a precipitação. Molion et al. (2004), Reboita et al. (2010) e Reboita et al. (2015) também ressaltam que o clima na região Nordeste do Brasil é fortemente afetado pelo posicionamento longitudinal do centro do ASAS, destacando este como fundamental para o regime de precipitação dessa região. Quando o ASAS se encontra afastado do continente, os ventos se desintensificam, diminuindo assim os níveis de precipitação sobre essa região.

Barbieri (2005), visando um melhor conhecimento do comportamento do clima e sua variabilidade, analisou o regime de precipitação das regiões Sul e Sudeste do Brasil através da climatologia pentadal de dados de precipitação das estações meteorológicas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH). Barbieri também utilizou uma série de dados provenientes da reanálise do NCEP, com dados de 1981 a 1996. O autor identificou que a estação chuvosa na região Sudeste do Brasil tem início no mês de outubro e término no mês de março e destacou que o regime de chuvas na Região Central do Brasil é fortemente influenciado pela posição e intensidade do ASAS, assim como observado por Ferreira et al. (2006), que, descrevendo um episódio de extremos de baixa umidade relativa sobre a região central do Brasil, observaram que esses casos estão diretamente relacionados ao processo de continentalização do ASAS.

Degola (2013) observou que, ao longo do ano, o anticiclone expande (comprime) de tamanho, aumentando (diminuindo) também sua intensidade. Entre os meses de novembro e maio, o ASAS apresenta seu menor domínio, está menos intenso e deslocado para o centro do OAS. Já entre junho e outubro, o ASAS se intensifica, expande e adentra ao continente sul-americano, influenciando no clima das regiões Sudeste e Nordeste. O sistema atua mais a norte do OAS (entre 29°S) nos meses de inverno e mais a sul (33°S) entre fevereiro e março. Encontrou-se que, quando o ASAS está deslocado para oeste da sua posição climatológica, foi observada uma intensificação dos ventos alísios em toda a Região Nordeste do Brasil (NEB) e resfriamento (aquecimento) do NEB (da região Sul e parte da região Sudeste), especialmente nos meses de primavera e verão. Em contrapartida, quando o ASAS está deslocado para leste da sua posição climatológica, foi observado um enfraquecimento dos ventos alísios na Região Nordeste e o ciclo de resfriamento e aquecimento se inverte.

2.3 Projeções futuras do ASAS

Estudos de projeções de mudanças climáticas realizados usando modelos climáticos indicam que as modificações no clima impactam na circulação de larga escala e, conseqüentemente, o regime chuvoso e os períodos de seca na AS. Marengo et al. (2010), realizando a comparação entre três modelos regionais (Eta CCS, RegCM3 e o HadRM3P), identificaram que o ASAS aparece mais intenso e próximo ao continente no inverno até o final do século XXI, impedindo a passagem de sistemas frontais e diminuindo os acumulados de precipitação sobre o Sudeste. Em um estudo com nove modelos do CMIP3 avaliando as mudanças no ciclo anual da monção na AS, Seth et al. (2010) identificaram que, até o final do século, as mudanças na circulação da atmosfera fazem com que o ASAS tenha uma maior expansão da parte polar e se desloque mais para sul. Valverde e Marengo et al. (2010) e Marengo et al. (2012) verificaram ainda que todas as mudanças na circulação do ASAS serão mais intensas depois de 2040. Essas mudanças no clima também foram computadas no 5º Relatório do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (MARENGO et al., 2010).

Valverde e Marengo (2010), usando projeções dos modelos climáticos do IPCC AR4 de 2011 a 2100, analisaram os cenários futuros de mudança do padrão de circulação da AS e sua influência como consequência do aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa. As projeções mostram o ASAS mais próximo do continente no inverno (JJA) em relação a climatologia. No outono (MAM), o sistema fica mais intenso e deslocado para noroeste/norte e não houve nenhuma diferença significativa no inverno (JJA). Na primavera (SON), o ASAS esteve mais intenso em relação à climatologia no presente (1961-1990).

O *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) envolveu um novo conjunto de experiências coordenadas em modelagem climática (Disponível em: http://cmip5.who.edu/?page_id=55). Para cada modelo são considerados diferentes membros. O presente estudo utiliza apenas o modelo do sistema terrestre *Hadley Global Environment Model 2* (HadGEM2-ES) do *Met Office Hadley Center* (mais informações disponíveis em: <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>).

Como parte da fase preparatória para o desenvolvimento dos novos cenários utilizados no 5º Relatório de Avaliação (AR5) do Painel intergovernamental em Mudanças Climáticas (do inglês, IPCC), foram criados cenários de forçantes radiativas (*Representative Concentration Pathways* – RCPs), que servem como entrada para modelagem climática (RCP2.6, RCP4.5 RCP6.0 e RCP8.5) nos experimentos numéricos do CMIP5. Os quatro cenários criados mostram o que ocorreria com o planeta em diferentes forçantes radiativas – do muito otimista ao muito pessimista. Os RCPs recebem seus nomes a partir do nível da forçante radiativa total, representando uma medida das emissões de gases do efeito estufa e aerossóis (em Wm^{-2}) até o final do século XXI (vide Tabela 1). O cenário RCP 2.6 é o mais otimista, onde se considera uma grande redução pela sociedade dos níveis de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e ainda colocar em prática ações corretivas satisfatórias. As projeções baseadas nesse cenário preveem uma forçante radiativa atingindo um nível máximo até a metade do século XXI, decaindo posteriormente até atingir a menor forçante radiativa ($\sim 2,6 \text{ Wm}^{-2}$). Os cenários RCP 4.5 e RCP 6.0 são considerados cenários intermediários, com um aumento possível na temperatura média global maior que 2°C até o final de 2100, atingindo uma forçante radiativa de 4,5 e 6,0 Wm^{-2} , respectivamente. Já o cenário RCP 8.5,

considerado o mais pessimista, projeta as consequências causadas caso a sociedade continue emitindo a mesma concentração atual de GEEs, além de não realizar ações mitigadoras na redução das emissões, acarretando em consequências adversas das mudanças climáticas, podendo atingir uma forçante radiativa de $8,5 \text{ Wm}^{-2}$ até o final do século XXI. As forçantes criadas estimam o que ocorreria com o planeta em diferentes cenários – do otimista ao pessimista. Na Figura 2.4 podem ser vistos esses cenários.

Tabela 1. Descrição dos cenários *Representative Concentration Pathways*. Fonte: Van Vuuren et al. (2011).

CENÁRIO	DESCRIÇÃO
RCP 2.6	Pico de forçante radiativa em $\sim 3 \text{ Wm}^{-2}$ antes do final do século e declínio para 2.6 Wm^{-2} até 2100
RCP 4.5	Estabilização em $\sim 4,5 \text{ Wm}^{-2}$ após 2100
RCP 6.0	Estabilização em $\sim 6,0 \text{ Wm}^{-2}$ após 2100
RCP 8.5	Caminho crescente da força radiativa levando a $8,5 \text{ Wm}^{-2}$

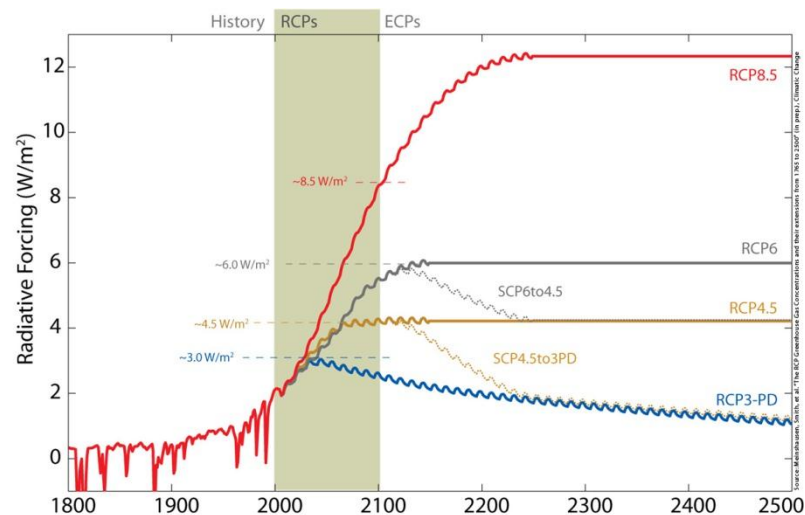


Figura 2.4. Cenários do IPCC-AR5 quanto a forçante radiativa antropogênica global para cada um deles. Fonte: Van Vuuren et al. (2011).

Reboita et al. (2017), usando o modelo regional de clima versão 4 (RegCM4) aninhado a três modelos climáticos considerando o cenário RCP8.5, sobre a AS e oceanos adjacentes, projetaram as mudanças na intensidade do vento e na

densidade de energia eólica. Comparando dois períodos do clima futuro (2020-2050 e 2070-2098) com o atual, Reboita et al. (2017) observaram que há um aumento na intensidade do vento sobre as regiões Norte da AS e Centro-leste do Brasil em todo o período (com exceção ao verão), especialmente sobre o final do século XXI (2070-2098).

3. MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1. Dados

Para este estudo foram utilizados dados da reanálise ERA-Interim (DEE et al., 2011) e ERA-20C (POLI et al., 2016; EMERTON et al., 2017) do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Foram obtidos dados mensais dessas reanálises no período de 1979 a 2005 com resolução horizontal de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude/longitude e resolução temporal mensal. Para verificar o deslocamento do ASAS, foi utilizada a variável de pressão ao nível médio do mar. Além disso, para estudar o perfil vertical do ASAS, foram utilizadas as variáveis velocidade vertical (ω) e componentes zonal e meridional do vento da reanálise ERA-Interim.

Simulações do clima presente, comumente referidas como simulações do século XX, são caracterizadas no experimento do modelo HadGEM2-ES como *historical*. A “rodada histórica” é feita forçando os modelos com as mudanças nas composições atmosféricas observadas durante os séculos XIX e XX, que retratam tanto as fontes de emissão natural quanto antrópica. Neste estudo, utilizou-se o período de 1979 a 2005 dessa simulação. Na projeção futura do ASAS (2073 a 2099), utilizou-se a projeção do modelo HadGEM2-ES no cenário de mudanças climáticas de maior forçante (RCP 8.5). A simulação do HadGEM2-ES em ambos os períodos possui resolução horizontal de $1,87^\circ \times 1,25^\circ$ e resolução temporal mensal (COLLINS et al., 2008).

As grades foram interpoladas para a plotagem das figuras, no entanto para o procedimento do rastreamento foi utilizada a resolução original para cada uma das séries.

3.2. Metodologia de rastreamento da posição do ASAS

A latitude e longitude do ASAS é identificada com base em um algoritmo de rastreamento que utiliza a metodologia do vizinho mais próximo, similar ao descrito por Sugahara (2000) e Degola (2013). Esse algoritmo foi desenvolvido pela professora Dra. Michelle Simões Reboita e utilizado pela primeira vez por Degola

(2013). O esquema numérico foi escrito em linguagem Matlab e, para o presente estudo, foram considerados 48 pontos à volta de um ponto de grade central, conforme mostrado na Figura 3.1. A malha de 48 pontos se desloca sobre a grade de dados entre a região de $40^{\circ}\text{S} - 20^{\circ}\text{S}$ e $42^{\circ}\text{W} - 12^{\circ}\text{E}$ (Figura 3.2). Quando a pressão do ponto central é maior do que a dos vizinhos, este ponto é um candidato a ser o centro do ASAS. O código identifica a latitude, longitude e o valor de pressão máxima no centro do ASAS com base nos dados mensais. O algoritmo foi utilizado com os dados das reanálises ERA-Interim, ERA-20C e com a simulação do clima presente do modelo HadGEM2-ES. Foram calculadas a latitude média e longitude média, tanto sazonalmente quanto mensalmente de cada produto.

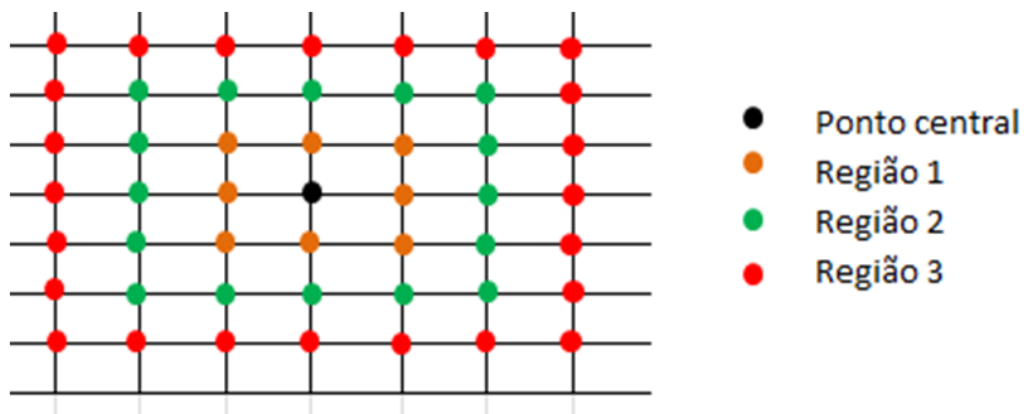


Figura 3.1. Representação do posicionamento dos pontos de grade do rastreamento.

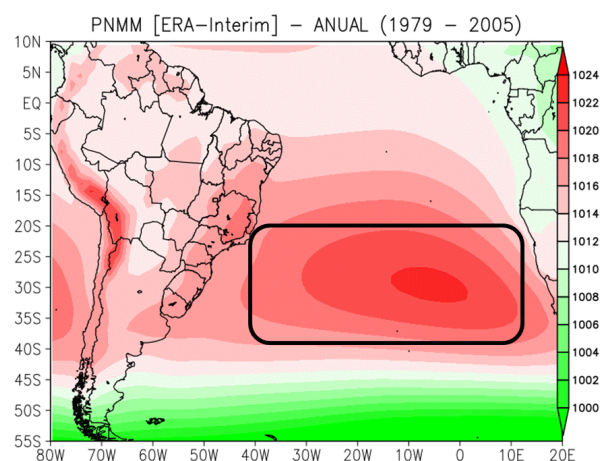


Figura 3.2. Região delimitada entre $40^{\circ}\text{S} - 20^{\circ}\text{S}$ e $42^{\circ}\text{W} - 12^{\circ}\text{E}$, utilizada no rastreamento do centro do ASAS.

3.3. Perfis verticais

Foram elaborados perfis verticais sazonal e mensalmente com a velocidade vertical (Pa/s) e as componentes zonal (m/s) e meridional (m/s) do vento em 37 níveis verticais, obtidos da reanálise ERA-Interim, durante o período de 1979-2005, para analisar a posição e a estrutura vertical do ASAS. Vale ressaltar que na figura foram utilizados os níveis entre 1000hPa e 100hPa.

3.4. Análises estatísticas

Foi utilizado o método do coeficiente de correlação de Pearson (GALVANI, 2005) (Equação 3.1), indicado pela letra r , apontando a relação entre duas séries distintas, com objetivo de avaliar a relação entre o modelo e as reanálises. Esse coeficiente assume valores entre -1 e 1, onde o sinal mostra a direção da correlação, ou seja, se é positiva ou negativa. Caso o resultado for 1, significa uma correlação perfeita e positiva entre duas variáveis (as duas crescem ou diminuem juntas), caso for -1, indica uma correlação perfeita inversamente proporcional entre duas variáveis (se uma aumenta, a outra diminui e vice-versa), caso for 0 não há correlação entre as duas séries. A expressão matemática é dada por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})(yi - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x}) * \sum_{i=1}^N (yi - \bar{y})}} \quad (3.1)$$

em que,

r é o coeficiente de correlação;

N é o número de elementos da série;

$\bar{y}$ e $\bar{x}$ são o valor médio de cada série;

x e y são duas séries distintas.

A partir das séries históricas mensais geradas do rastreamento do ASAS descrito no tópico 3.2, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson sobre variação da posição e intensidade do ASAS entre as duas reanálises e o modelo no

presente. Dessa forma, foi obtido o valor de correlação de latitude, longitude e intensidade do ASAS entre as três séries.

Para avaliar a qualidade do rastreamento do ASAS considerando as reanálises ERA-Interim e ERA20C como dados observados e o modelo HadGEM2-ES como previsto, foram calculados os parâmetros REQM (Raiz do Erro Quadrático Médio) e BIAS (JOLLIFFE e STEMHENSON, 2003). Esses parâmetros indicam o grau de semelhança entre a previsão e a observação.

Sabe-se que a Raiz do Erro Quadrático Médio calcula a amplitude do erro (equação 3.2):

$$REQM = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{previsto}(i) - X_{observado}(i))^2} \quad (3.2)$$

O coeficiente BIAS (também conhecido por erro médio) descreve a direção do erro (equação 3.3):

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{previsto}(i) - X_{observado}(i)) \quad (3.3)$$

em que,

n o número de previsões;

$X_{previsto}(i)$ a previsão para um determinado i ;

$X_{observado}(i)$ a observação para um determinado i ;

A REQM é uma medida de precisão mais sensível a erro e sempre será positiva, pois a diferença entre a observação e a previsão é elevada ao quadrado. Caso resulte em zero, indica uma coerência perfeita na previsão. Esse valor aumenta conforme os valores de simulação e observação se tornam mais distintos.

O erro médio (BIAS) ajuda a avaliar se o modelo superestima (BIAS positivo) ou subestima (BIAS negativo) os valores observados. Segundo Cardoso et al. (2006), a remoção do BIAS é um método de correção estatística que, quando aplicado às previsões, pode aumentar a sua acurácia e reduzir erros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Padrão Sazonal do ASAS

Para compreender melhor o comportamento sazonal do ASAS, foi calculada a climatologia da PNMM de toda a série histórica de 26 anos (1979-2005) de dados da reanálise ERA-Interim e do modelo HadGEM2-ES no presente. Na Figura 4.1.a observa-se, no verão austral, que o ASAS é menos intenso, afastado do continente em relação às outras estações do ano e localizado mais para o sul, atingindo latitudes mais elevadas. Já no inverno austral, o ASAS se encontra mais intenso e expandido zonalmente, o que permite atuar sobre a AS. O posicionamento e a intensidade do ASAS refletem diretamente no posicionamento interanual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). No verão, o enfraquecimento da alta faz com que a ZCIT se desloque para latitudes tropicais (em torno de 30°) e no inverno austral, a alta intensidade do ASAS desloca a ZCIT para o HN. No período que compreende os meses de primavera e outono são observadas posições intermediárias e de transição entre o verão e o inverno do sistema de alta pressão.

Comparando o ciclo sazonal do sistema pelo HadGEM2-ES com a reanálise, nota-se que o modelo subestima o observado sobre o continente e a região costeira da AS, sendo mais intenso nos meses de verão e outono, e no sul do domínio, superestima. Na região sul do Brasil, o modelo simula resultados coerentes com a observação.

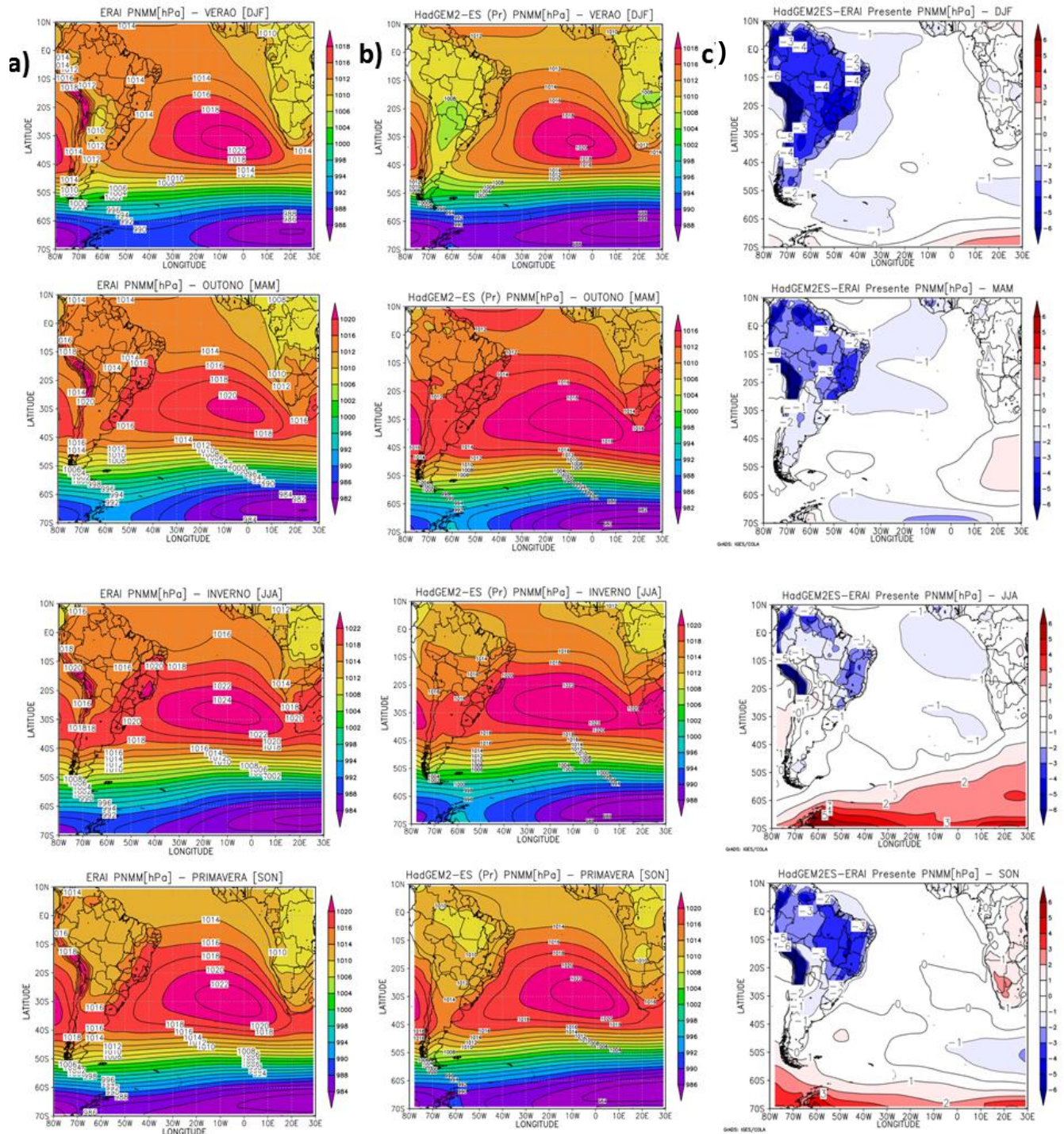


Figura 4.1. Ciclo sazonal do ASAS por meio da **a)** reanálise ERA-Interim, **b)** modelo HadGEM2-ES e **c)** diferença entre o modelo HadGEM2-ES (presente) e ERA-Interim para 1979-2005.

Também, foi realizada uma análise mês a mês da posição e intensidade do ASAS da reanálise ERA-Interim, do modelo e da diferença entre modelo e reanálise (Anexo I). Segundo a observação, o sistema está mais intenso nos meses de junho à agosto, com pressão central de 1024 hPa. Por outro lado, nos meses de dezembro

à fevereiro, o ASAS está mais contraído, afastado da costa leste do Brasil e menos intenso, atingindo valores de pressão em torno de 1020 hPa (Anexo I), resultados coerentes aos obtidos por Machel et al. (1998) e Degola (2013). Com base na variação latitudinal, nota-se que o sistema de alta pressão acompanha o deslocamento norte/sul aparente do sol ao longo do ano. Com respeito a diferença mensal entre modelo e observação, nota-se que o modelo subestima a pressão sobre o continente em todos os meses do ano, com exceção ao mês de agosto, onde quase não há subestimativa e superestima em boa parte da região sul do domínio. No mês de abril, tanto o modelo quanto a reanálise mostram uma bifurcação do sistema, que é superestimado pelo modelo. Em dezembro, também há uma superestimativa do modelo em até 1 hPa na região onde o ASAS está localizado. Em contrapartida, nos meses de fevereiro, março junho e julho, o modelo subestima a reanálise.

Outra forma de avaliar a evolução mensal do ASAS é através da análise de algumas isóbaras. Na Figura 4.2 (apenas para a reanálise ERA-Interim) foram fixados os valores das isóbaras de 1017, 1018, 1019 e 1020 hPa para cada média mensal. O objetivo dessa figura é identificar a expansão do ASAS a cada mês espacialmente. Observa-se maior valor de pressão de 1020 hPa com ramo centrado em 30°, se estendendo de 20°W a 10°E para a média dos doze meses do ano, apontando seu menor tamanho e intensidade nos meses de verão (DJF) e com pouco deslocamento zonal. Nos meses de inverno (JJA), o gradiente de pressão se mantém praticamente fixo, estendendo-se desde o Uruguai, atingindo a região sul, grande parte da região sudeste e o estado da Bahia. A variação sazonal é mais discrepante nas isóbaras inferiores, destacando a isóbara de 1017 hPa, onde pode identificar o máximo de extensão do sistema de alta, permanecendo em boa parte do leste da América do Sul nos meses de maio a outubro, especialmente sobre o Brasil, localizada nas regiões de maior desenvolvimento econômico, como a região Sudeste. No sul da África do Sul, o sistema se mantém fixo. Nos meses de inverno, nota-se que o ASAS varia significativamente tanto em domínio espacial quanto em intensidade, atingindo a região continental do leste da AS. Já nos meses de verão, a região continental do HS se aquece e o ASAS se enfraquece. A alta pressão não consegue adentrar nos continentes por conta das baixas térmicas geradas nessa época do ano. Por outro lado, com o declínio da temperatura no inverno sobre o

continente, o mecanismo de circulação induz movimentos subsidentes que ajudam no entranhamento do ASAS no continente sul-americano e sul-africano, servindo como ferramenta na ausência de nuvens e estabilidade na atmosfera. Esse aspecto de estabilidade e calmaria impede a dispersão de poluentes na atmosfera, aumentando, assim, os níveis de concentração nessa época do ano, especialmente sobre os grandes polos econômicos. Além disso, a ausência de nuvem causada pela subsidência de ar acarreta em uma alta perda radiativa, especialmente a noite, resultando em uma grande taxa de resfriamento do solo, podendo ocasionar fenômenos de geada.

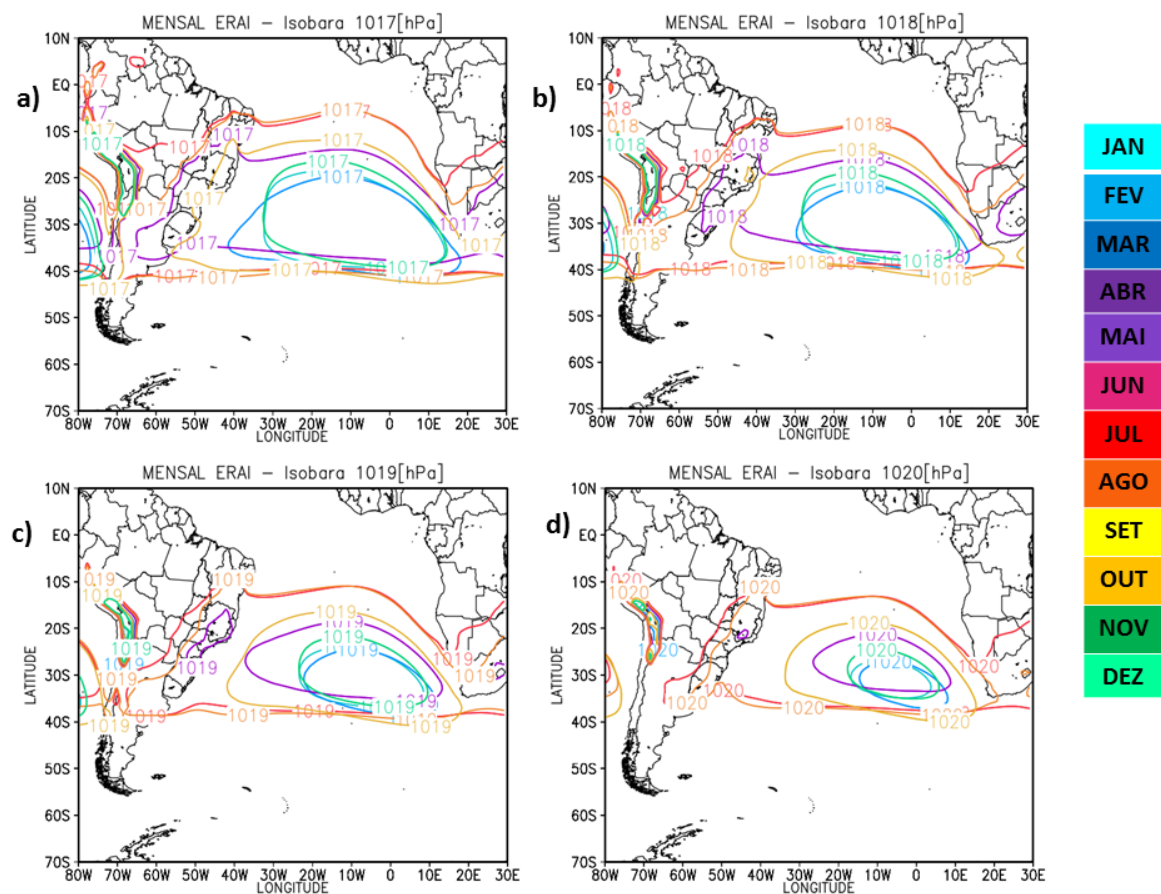


Figura 4.2. Médias mensais de PNMM entre o período de 1979-2005 para diferentes isóbaras: **(a)** 1017 hPa; **(b)** 1018 hPa; **(c)** 1019 hPa; **(d)** 1020 hPa.

Resumidamente, o padrão observado do ASAS é mais fechado nos meses de novembro a março, chegando a 30°W e 20°E e 40°S a 20°S. Em contrapartida, o sistema ocupa boa parte do OAS nos meses de maio a outubro (40°S-5°S e 65°W-20°E). Sintetizando a figura mostrada, nos meses de inverno (entre junho e agosto)

o sistema está mais expandido, atingindo o oeste da AS, especialmente sobre as regiões Sul, Sudeste e boa parte da região Nordeste, enquanto nos meses de verão sua extensão é menor e ele se encontra mais próximo a costa leste sul-africana. Majoritariamente, o sistema de alta mantém sua maior intensidade entre 25°S-30°S (Figura 4.2) e seu centro em torno de 5°W. Esse valor de longitude foi fixado com intuito de realizar um corte vertical no ASAS para serem analisados níveis verticais de pressão do sistema, mostrados na Figura 4.6.

4.2. Rastreamento do ASAS

Hastenrath (1985), Machel et al. (1998) e Degola (2013), utilizando o método de rastreamento do ASAS, analisaram objetivamente a representação espacial média mensal em latitude e longitude da posição de seus centros e estudaram as características do ciclo anual do sistema de alta pressão. Com base na série de cinco anos de estudo, Hastenrath (1985) identificou um ciclo anual do posicionamento do ASAS bem definido, orientado no sentido noroeste nos meses de inverno e no sentido sudeste na primavera e outono. O sistema esteve mais deslocado para oeste nos meses de junho a agosto, centrado próximo a 15°W, e mais deslocado para leste, próximo de 0°W no mês de fevereiro. Machel et al. (1998) usou dados mensais do período de 1881-1989 e identificou resultados parcialmente coerentes aos de Hastenrath (1985), exceto no mês de fevereiro, onde observou-se como o terceiro mês em que o ASAS esteve mais deslocado para oeste.

A Figura 4,3.a mostra a climatologia elaborada por Degola (2013) e a Figura 4.3.b foi a elaborada no presente estudo. As análises feitas para este trabalho mostram a localização do ASAS próxima a obtida por Degola (2013). Ressalta-se aqui que esse autor utilizou uma grade espacial de 1,5° X 1,5° de latitude/longitude e para este estudo foi utilizada uma grade espacial de 1°x1°, além de uma série com 5 anos a mais (1979-2005) que a série utilizada por Degola (1989-2010), o que explica possivelmente a discrepância na posição do ASAS entre os dois estudos. Climatologicamente, o maior deslocamento do ASAS para norte foi no mês de julho (28°S) - atingindo maior intensidade (1025 hPa), para sul nos meses de fevereiro e

março (33°S), para leste em março e abril (2°W e 2,5°W, respectivamente) e sua fase neutra em janeiro e abril (1021 hPa) - (Tabela 4.1).

O resultado do rastreamento durante 1979-2005 das reanálises ERA-Interim, ERA20C e modelo HadGEM2-ES apresentado pela Figura 4.4, foi que ambas as reanálises apresentam uma boa relação no posicionamento latitudinal e longitudinal, no entanto, o ASAS está brevemente deslocado para sudeste no ERA20C com relação ao ERA-Interim. Comparando com as reanálises, o modelo representa bem a latitude, enquanto na longitude o modelo desloca o centro do ASAS para oeste, ou seja, próximo da AS.

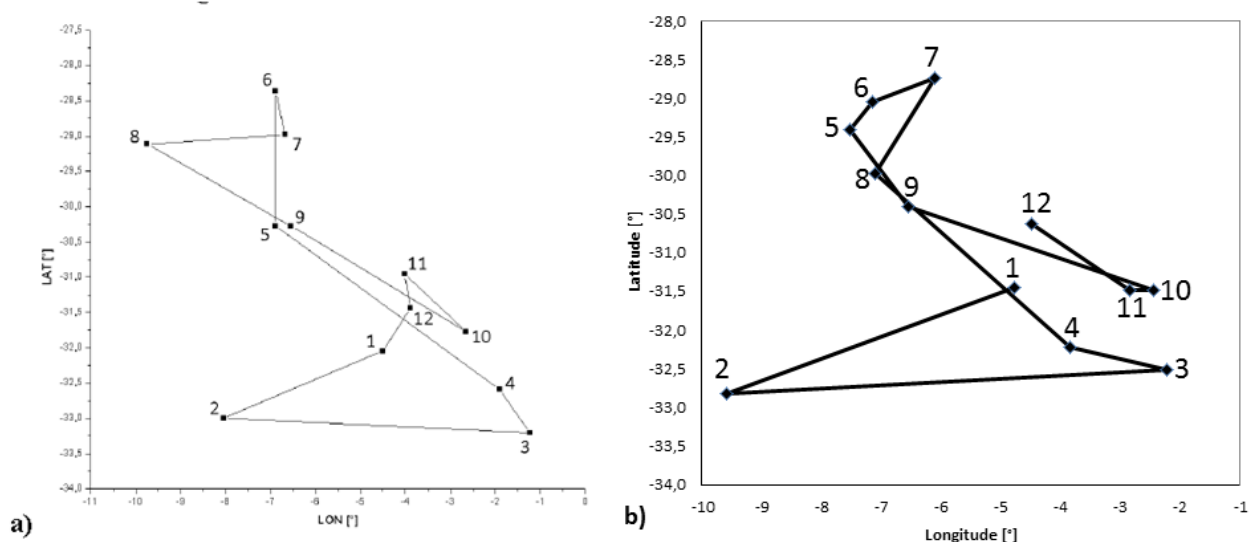


Figura 4.3. Representação espacial da variação bidimensional do ciclo anual do ASAS para a média mensal com base nos dados do ERA-Interim a) feita por Degola (2013), entre 1989-2010 e b) para este estudo (1979-2005).

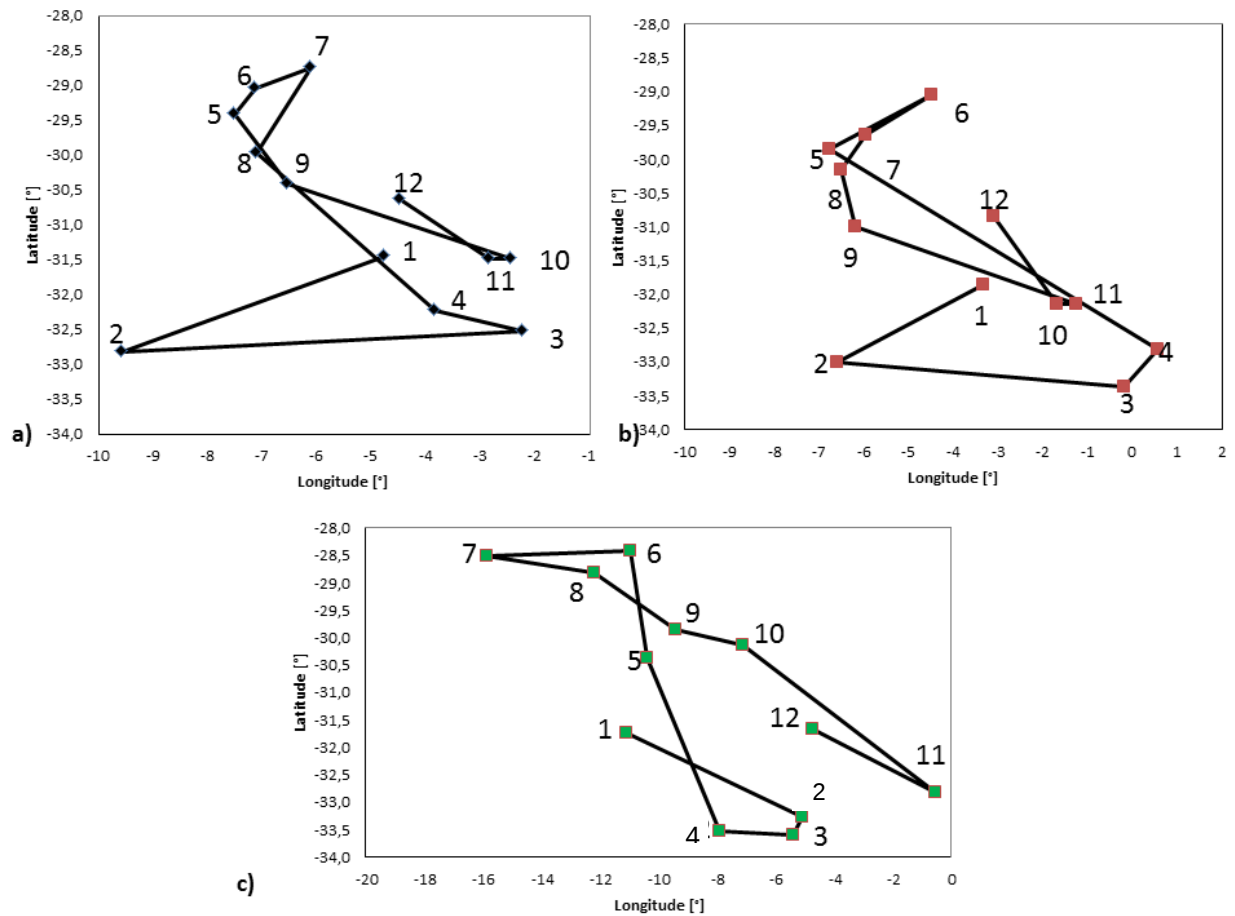


Figura 4.4. Representação espacial da posição do ASAS com base na climatologia da reanálise **a)** ERA-Interim, **b)** ERA20C e modelo **c)** HadGEM2-ES (1979-2005).

Nota-se que o ASAS possui um ciclo anual bem definido em relação a posição latitudinal (Figura 4.4c) e magnitude do centro de máxima pressão (Figura 4.4a) para as três séries de dados. O sistema se encontra mais a norte e com centro menos intenso entre fevereiro e abril, com latitude média de 33,5°S. Nos meses de fevereiro, maio, julho e agosto, as três séries indicam o ASAS mais deslocado para oeste nas duas reanálises, ou seja, mais próximo do continente, enquanto que o modelo mostra o ASAS próximo de 16°W no mês de julho. Já nos meses de março e abril, as reanálises mostram o ASAS mais deslocado para o leste, próximo a 0°, ou seja, mais afastado do continente. O modelo no período presente mostra o ASAS mais afastado do continente no mês de novembro. As duas reanálises obtiveram resultados bem próximos do esperado, no entanto, o modelo subestimou a posição longitudinal do sistema de alta (Figura 4.4.b). Um resumo da posição e intensidade do ASAS é apresentado na Tabela 4.1.

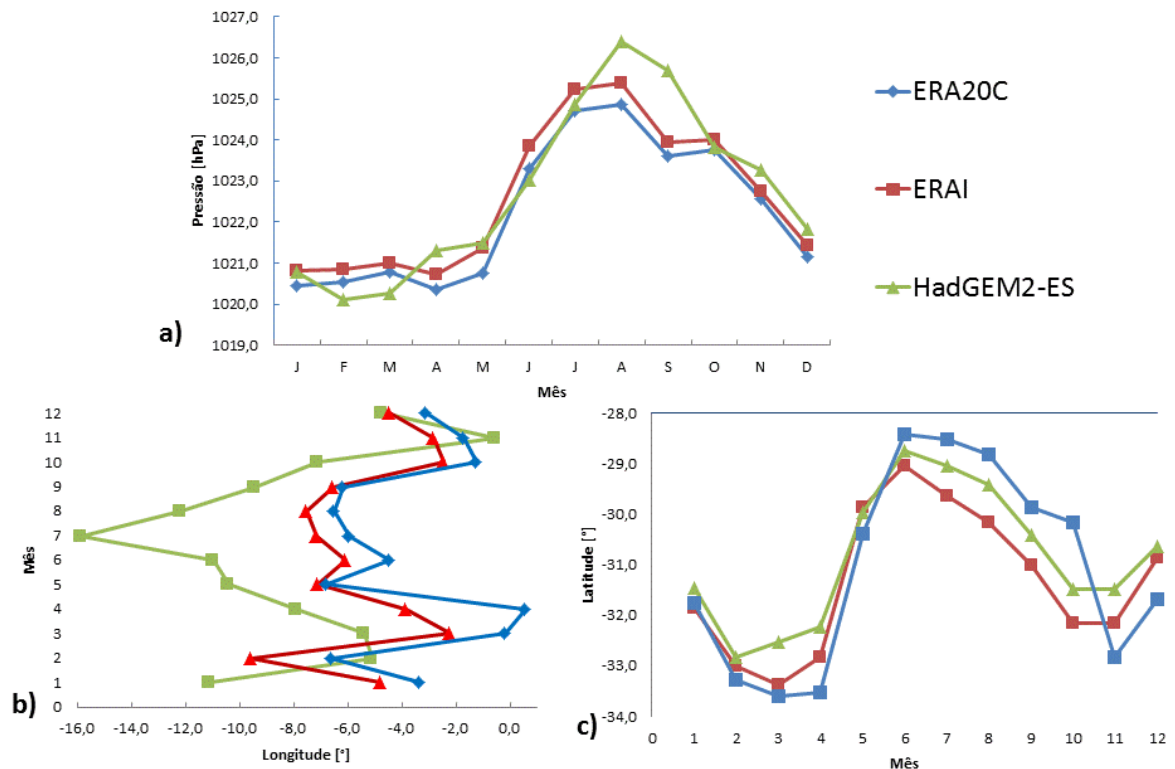


Figura 4.5. Representação espacial do ciclo anual do ASAS para a média entre 1979-2005 das reanálises ERA-Interim (azul), ERA20C (vermelho) e do modelo presente HadGEM2-ES (verde). **a)** Variação mensal de pressão central do ASAS, **b)** Variação longitudinal, **c)** Variação latitudinal.

Tabela 4.1. Resumo dos resultados extremos encontrados pelo algoritmo de rastreamento do ASAS para o período de 1979-2005.

Resumo do rastreamento do ASAS (1979-2005)			
	ERA-Interim	ERA20C	HadGEM2-ES
Norte	Julho(28°S)	Junho(29°S)	Junho e julho (28,5°S)
Sul	Fevereiro, março(33°S)	Março (33,5°S)	Fevereiro e março (33,5°S)
Leste	Março(2°W), outubro(2,5°W)	Abril (1°W)	Novembro (0,5°W)
Oeste	Fevereiro(9,5°W),agosto(7,5°W)	Fevereiro e maio (7°W)	Julho(16°W)
Mais intenso	Julho(1025hPa),agosto(1025,5hPa)	Julho(1025hPa)	Agosto (1026hPa)
Menos intenso	Janeiro e abril(1021hPa)	Abril (1018hPa)	Abril (1018hPa)

A comparação entre o presente trabalho e trabalhos anteriores (HASTENRATH 1985; MACHEL et al., 1998; ITO; AMBRIZZI, 2000; DEGOLA, 2013), está disposta na Tabela 4.2, identificando a posição central mensal do ASAS (latitude e longitude). Observa-se que, para a posição latitudinal do centro do ASAS ao longo do ano, os resultados obtidos por todos os trabalhos são similares. Os valores não diferem mais do que 2° para norte ou para sul ao longo o ano. Entretanto, ao analisar o deslocamento leste/oeste do centro do ASAS ao longo dos meses do ano, observa-se uma discrepância entre os resultados obtidos por todos os trabalhos, atingindo uma diferença de 10° no mês de agosto ao comparar-se os resultados obtidos neste trabalho com os obtidos por Degola (2013). A Tabela 4.3 contém o posicionamento sazonal do centro do ASAS (em latitude e longitude).

Tabela 4.2. Resultados mensais da posição do ASAS para diversos trabalhos.

Posição mensal do ASAS							
Mês	Resultado ERAI	Resultado ERA20C	Resultado HadGEM2-ES	Degola (2013)	Hastenrath (1985)	Ito e Ambrizzi (2000)	Machel et al. (1998)
Janeiro	31,4°S 4,8°W	31,8°S 3,3°W	31,7°S 11,1°W	31°S 8°W	31°S 7°W	28°S 5°W 28°S 10°W 29°S 4°W	31°S 10°W
Fevereiro	32,8°S 9,6°W	33°S 6,6°W	33,2°S 5,1°W	32,5°S 12°W	33°S 0°W		32°S 10,5°W
Março	32,5°S 2,2°W	33,3°S 0,2°W	33,5°S 5,4°W	32,5°S 2°W	29,5°S 4°W		33°S 10°W
Abril	32,2°S 3,9°W	32,8°S 0,6°E	33,5°S 7,9°W	31°S 3°W	30°S 2°W		31,5°S 6,5°W
Maio	30°S 7,1°W	29,8°S 6,8°W	30,3°S 10,4°W	28°S 5°W	29°S 1°W		29°S 12,5°
Junho	28,7°S 6,1°W	29°S 4,5°W	28,4°S 11°W	27°S 10°W	27,5°S 12°W		29°S 9°W
Julho	29°S 7,1°W	29,6°S 6°W	28,5°S 15,9°W	29°S 9°W	28°S 12°W		29°S 12,3°W
Agosto	29,4°S 7,5°W	30,1°S 6,5°W	28,8°S 12,2°W	28°S 18°W	27°S 14°W		28,7°S 12°W
Setembro	30,4°S 6,6°W	31°S 6,2°W	29,8°S 9,4°W	28,5°S 12,5°W	29°S 7,5°W		29°S 9,5°W
Outubro	31,4°S 2,4°W	32,1°S 1,3°W	30,1°S 7,1°W	32°S 3°W	28,5°S 3,5°W		30°S 4°W
Novembro	31,5°S 2,9°W	32,1°S 1,7°W	32,8°S 0,6°W	30,5°S 6°W	29°S 4,2°W		31°S 6,5°W
Dezembro	30,6°S 4,5°W	30,8°S 3,1°W	31,6°S 4,7°W	31°S 6°W	30°S 4°W		30°S 8°W

Tabela 4.3. Resultados sazonais da posição do ASAS para diversos trabalhos.

Posição sazonal do ASAS							
Mês	Resultado ERAI	Resultado ERA20C	Resultado HadGEM2-ES	Degola (2013)	Hastenrath (1985)	Ito e Ambrizzi (2000)	Machel et al. (1998)
Verão (DJF)	31,7°S 6,2°W	32°S 4,3°W	32,3°S 6,9°W	31°S 9°W	31,3°S 3,6°W	30°S 0°W 30°S 7°W	31°S 8,1°W
Outono (MAM)	31,7°S 4,4°W	31,9°S 2,1°W	32,3°S 7,9°W	31°S 2,5°W	29,3°S 2,3°W		31,1°S 8°W
Inverno (JJA)	31,8°S 7°W	32°S 5,6°W	32,2°S 13°W	28°S 11°W	27,3°S 12,6°W		29°S 11,5°W
Primavera (SON)	31,8°S 4°W	32,1°S 3,0°W	32,2°S 5,7°W	30°S 6°W	29°S 5,1°W		30°S 6,6°W

Na Tabela 4.4 são mostradas as estimativas de correlação entre o modelo e as duas reanálises. Observa-se que ambas as comparações possuem uma alta correlação positiva (em torno de 0,9), exceto em longitude, onde a correlação fica em torno de 0,5. Esse resultado condiz com o apresentado na Figura 4.5, onde as três séries possuem um padrão anual de posicionamento e intensidade do ASAS similar, exceto na posição longitudinal subestimada pelo modelo, o qual indica o centro do ASAS deslocado mais próximo da AS. Dessa forma, o modelo descreve o deslocamento em latitude do sistema e sua intensidade mais próxima do esperado, porém subestima (BIAS negativo) o posicionamento longitudinal, especialmente quando comparado com a reanálise ERA20C, e superestima ligeiramente a latitude comparado com a reanálise ERA-Interim (0,48), e a pressão central, comparado com o ERA20C, em torno de 0,5 (Tabela 4.5). Assim como o erro médio, o modelo também indicou uma previsão longitudinal baixa comparada as duas observações, mostrada pelo RQME, e valores próximos do esperado de latitude e intensidade do sistema.

Tabela 4.4. Correlação entre as reanálises e o modelo no presente (1979-2005).

Correlação	ERA-Interim e HadGEM2-ES	ERA20C e HadGEM2-ES
Posição latitudinal [°]	0,92	0,89
Posição longitudinal [°]	0,47	0,51
Pressão central do ASAS [hPa]	0,93	0,93

Tabela 4.5. Comparação entre as ERA-Interim, ERA20C e HadGEM2-ES no presente (1979-2005).

		ERA-Interim e HadGEM2-ES	ERA20C e HadGEM2-ES		ERA-Interim e HadGEM2-ES	ERA20C e HadGEM2-ES
Posição Latitudinal [°]	REQM	0,16	0,27	BIAS	0,48	0,26
Posição Longitudinal [°]		0,56	1,66		-1,59	-4,61
Pressão central [hPa]		0,11	0,26		0,37	0,49

4.3 Perfil Vertical do ASAS

A fim de descrever a circulação vertical do ASAS, a Figura 4.6 mostra a velocidade vertical (preenchido) e a divergência de massa (linhas) média anual. Com relação à velocidade vertical, movimentos ascendentes aparecem na cor azul e movimentos subsidentes na cor vermelha. Já a divergência de massa é caracterizada em linhas contínuas, onde valores positivos (negativos) indicam divergência (convergência) dos ventos. Nessa seção, foi utilizada apenas a reanálise ERA-Interim. A figura considera um corte longitudinal em 5°W, variando as latitudes e acompanhando todos os níveis verticais. Um corte na longitude permite avaliar a célula de circulação de Hadley. Na média anual, há subsidência (valores positivos) entre 40°S e 5°S, com divergência em baixos níveis e convergência em altos níveis. Na região entre 0° e 5°N, há movimentos ascendentes, convergência em baixos níveis e divergência em níveis médios. Segundo Degola (2013), esse perfil médio representa a dinâmica da circulação de Hadley (descrito no Capítulo 2.1), sendo evidente o comportamento do ASAS (em vermelho) e da ZCIT (em azul) juntamente com a convergência dos ventos próximo da região equatorial, também chamados de alísios, uma vez que na faixa equatorial são gerados movimentos ascendentes e, por conservação de massa, se formam movimentos subsidentes na região onde é identificado o ASAS.

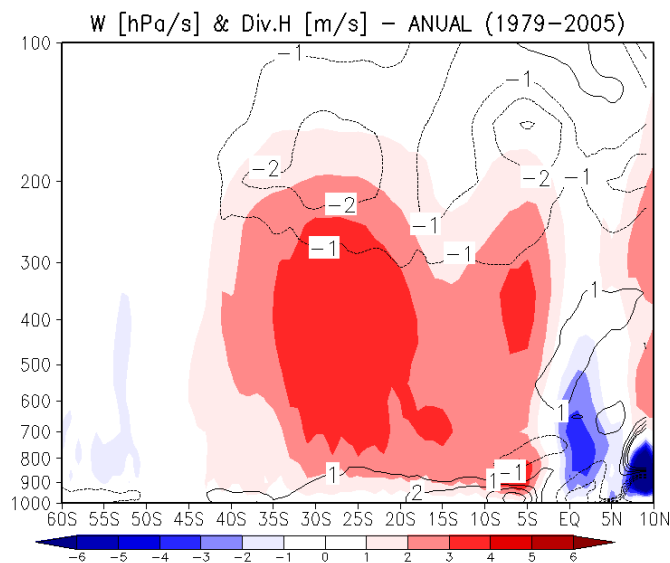


Figura 4.6. Perfil médio anual de velocidade vertical [hPa/s] (sombreado) e divergência horizontal [m/s] (linhas contínuas) - média sazonal de 1979-2005. Corte latitudinal do ASAS entre 60°S – 10°N e longitudinal em 5°W.

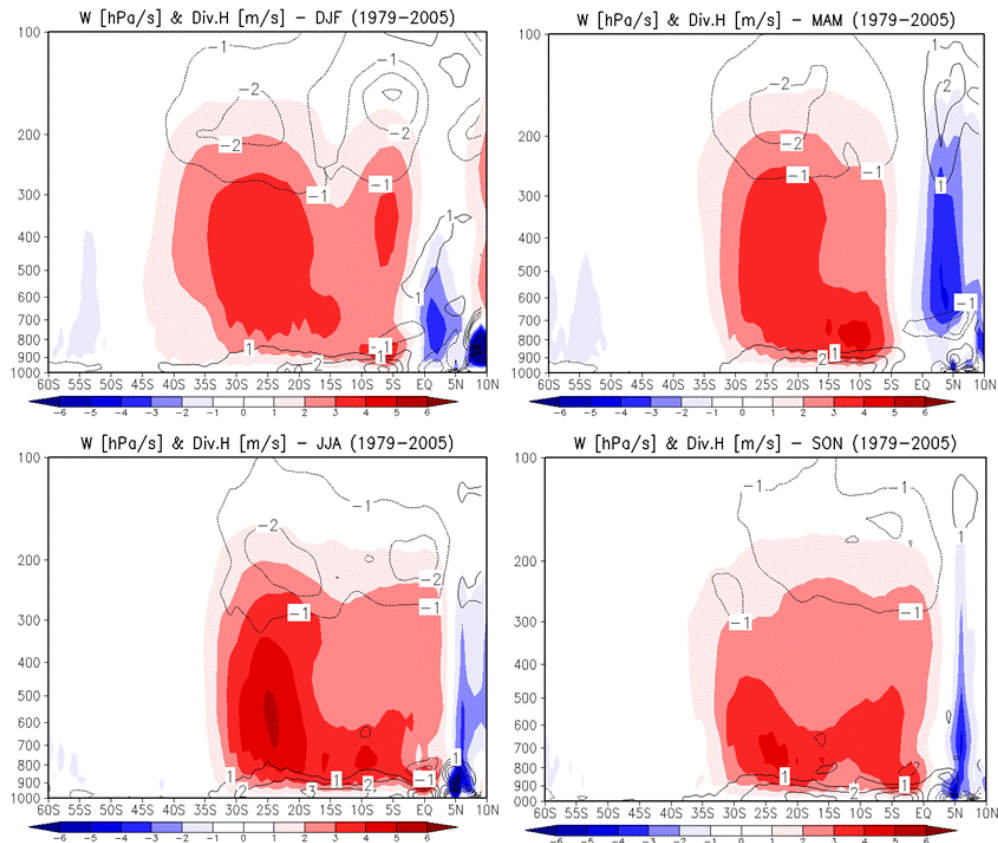


Figura 4.7. Perfil médio sazonal de velocidade vertical [hPa/s] (sombreado) e divergência horizontal [m/s] (linhas contínuas) - média sazonal de 1979-2005. Corte latitudinal do ASAS entre 60°S – 10°N e longitudinal em 5°W.

Em termos médios sazonais (Figura 4.7) e mensais (Figura 4.8), os movimentos subsidentes mais intensos e extensos verticalmente ocorrem entre 500 e 1000 hPa. Observa-se um ciclo anual do sistema de alta bem definido, assim como da ZCIT. Além da variação da posição latitudinal do ASAS, fica evidente a da ZCIT, que acompanha o deslocamento do sistema de alta pressão. Percebe-se que o ASAS atinge sua maior intensidade e extensão latitudinal nos meses de inverno (JJA), chegando na faixa equatorial. Com a alta intensidade do ASAS e seu deslocamento próximo do leste da AS, a ZCIT se desloca mais a norte, permanecendo entre 5°N nos meses de inverno (JJA) e primavera (SON), retornando para o HS apenas nos meses de verão (DJF), ficando em torno de 0°. Já no outono (MAM), a ZCIT atinge sua maior intensidade entre 0° e 5°, enquanto o ASAS encontra-se enfraquecido e menor (entre 30°S e 5°S). Nos meses de junho e julho, o alto resfriamento continental e a incursão de movimentos subsidentes mostram a fase do sistema de alta pressão mais intenso atingindo 5hPa/s. Já em dezembro, com o aquecimento continental, o menor gradiente térmico e a incursão de

sistemas frontais, o ASAS torna-se mais enfraquecido, atingindo no máximo 2hPa/s (Figura B.1)

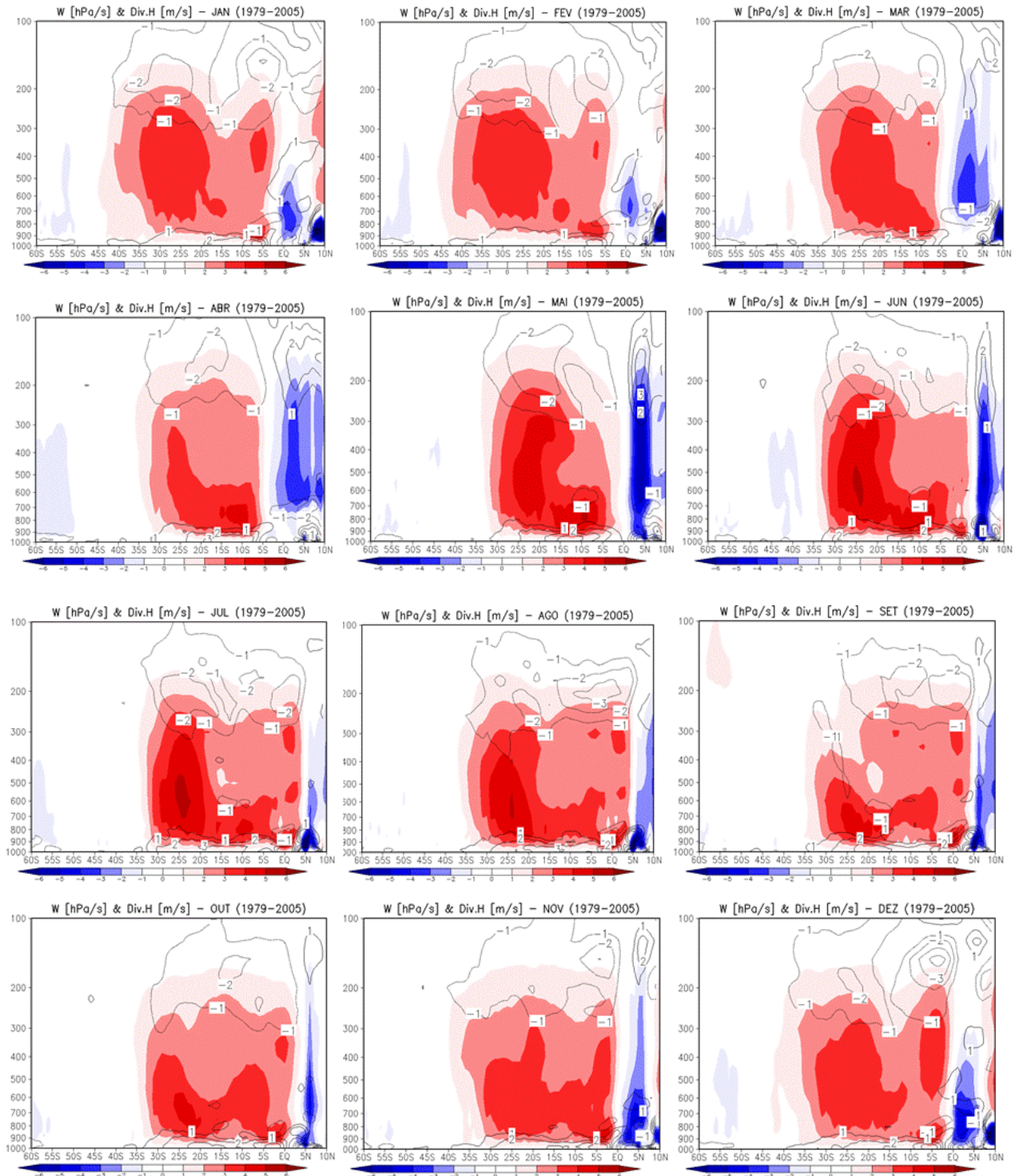


Figura 4.8. Perfil médio mensal de velocidade vertical [hPa/s] (sombreado) e divergência horizontal [m/s] (linhas contínuas) - média sazonal de 1979-2005. Corte latitudinal do ASAS entre 60°S – 10°N e longitudinal em 5°W.

4.4. Projeção do ASAS com o HadGEM2-ES

Com base na projeção do modelo HadGEM2-ES, utilizando o cenário de mudanças climáticas mais pessimista (RCP 8.5), foi realizada a diferença entre projeção e a simulação do modelo no presente, objetivando mostrar o grau de impacto descrito pelo modelo para o final do século. A diferença entre a projeção do modelo e a simulação no presente vista na Figura 4.9 mostra uma diminuição da pressão em latitudes mais altas durante o ano todo e um aumento de PNMM nos meses de primavera e verão sobre todo o OAS, atingindo até 5hPa nos meses de verão

De janeiro à março e outubro à dezembro (mais quentes do ano), meses onde o ASAS está menos intenso, observa-se um aumento na pressão até o final do século com maior intensidade localizada a leste do OAS, próximo a costa sul-africana. Já entre abril e setembro (meses mais frios), fase onde o sistema atinge maior intensidade e se encontra mais próximo do oeste, os maiores valores de pressão se concentram próximo ao sul da AS. Não são consideradas mudanças de pressão significativas sobre a AS, exceto no extremo sul do continente, onde há o aumento da PNMM (Anexo II), ressaltando que o ASAS estará mais deslocado para sul até o final do século XXI, concordando com o descrito por Seth et al. (2010), Marengo et al. (2010) e Degola (2013). Vale ressaltar que outros processos meteorológicos podem ser responsáveis pelo aumento da pressão a região sul do OAS, alguns autores descrevem como responsáveis por essa interação deslocamento os chamados “Storm tracks”, que são responsáveis por variações da temperatura da superfície do mar parecem ter grande contribuição na redistribuição da atividade ciclônica no cenário climático futuro evidenciadas pelas maiores anomalias positivas (FERREIRA, 2010; DE FREITAS et al., 2013).

Sugere-se que, nos próximos anos, a tendência seja que o ASAS se desloque cada vez mais para oeste e esteja mais intenso nos meses de inverno, impactando no declínio das chuvas, consequentemente aumento da temperatura nas regiões Sudeste e Sul. Por outro lado, estando mais próximo ao continente, o ASAS causará um aumento na intensidade dos ventos sobre a região Nordeste que alimentam a ZCIT, consequentemente aumento no transporte de umidade e na taxa de precipitação sobre essa região. Como proposto por Degola (2013), do ponto de vista da geração de energia eólica, esse resultado é importante, pois a Região Nordeste do Brasil possui grandes

investimentos em projetos de geração de energia limpa, o que estabelecerá cada vez mais como uma fonte essencial na matriz energética do Brasil.

Todavia, os resultados obtidos nesse estudo foram encontrados utilizando-se apenas um dos diversos modelos climatológicos relacionados ao IPCC. Para melhor avaliação de tais tendências no rastreamento do ASAS, recomenda-se a utilização de um maior número de modelos climáticos.

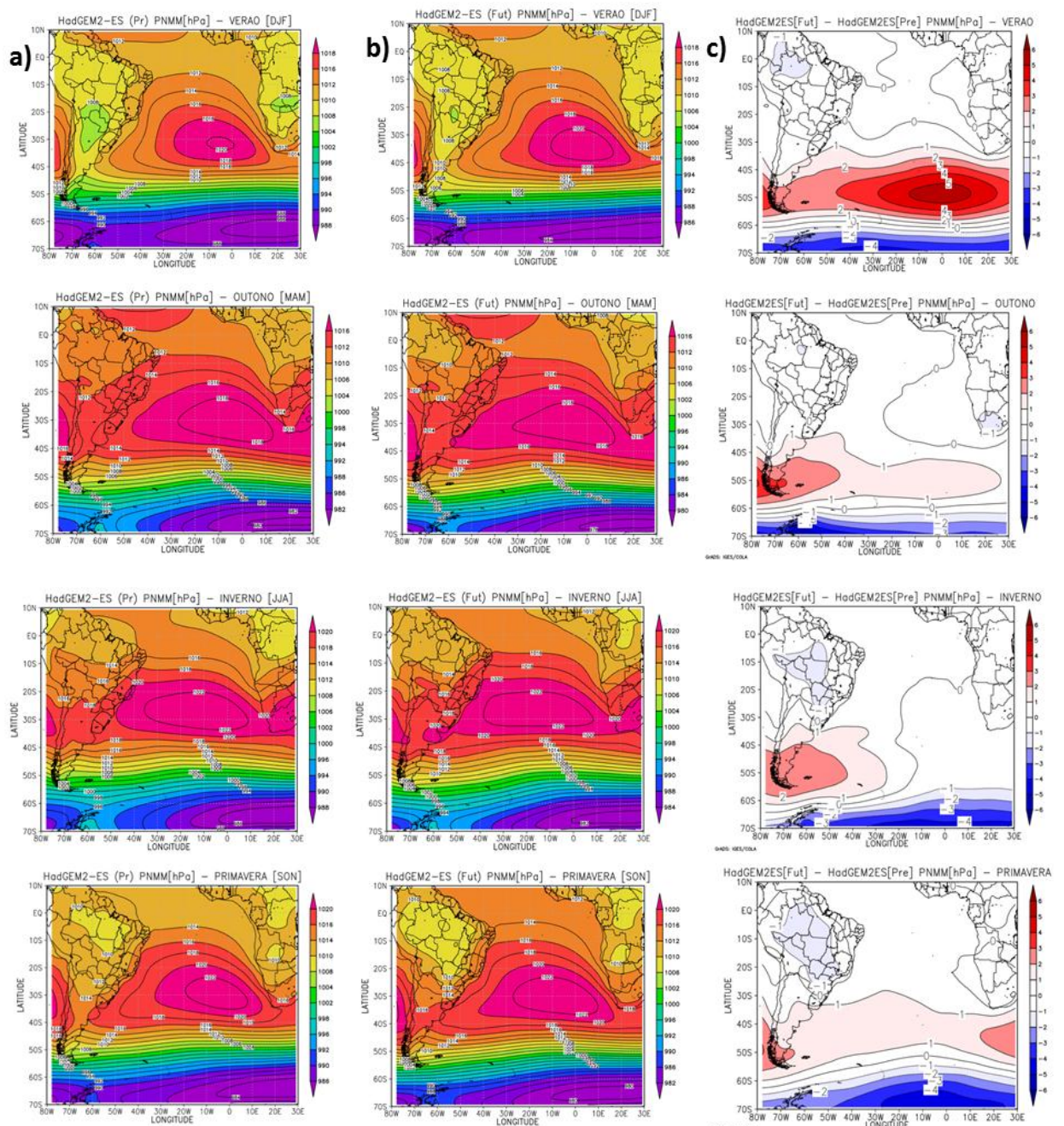


Figura 4.9. Ciclo sazonal do ASAS por meio do **a)** modelo HadGEM2-ES no presente (1979-2005), **b)** projeção do modelo HadGEM2-ES no futuro (2073-2099) **c)** diferença entre o modelo HadGEM2-ES presente e projeção do modelo.

Para avaliar a projeção futura do sistema de alta com maior convicção seriam necessários a utilização de um numero maior de variáveis, uma vez que o campo de pressão pode identificar outro fenômenos de circulação atuantes que auxiliam nesse aumento de pressão. Alguns estudos descrevem o padrão de variáveis atmosféricas com a atividade ciclônica que caracterizam as “Storm Tracks”, ou seja, áreas de formação e deslocamento preferenciais de ciclones. Trenberth (1991) define “Storm Track” como sendo a região de máxima variância da altura geopotencial na média e alta troposfera para distúrbios com período de aproximadamente uma semana (escala sinótica). A consideração do tempo de vida implicou em trajetórias de tempestades que estão associadas à variação de geopotencial negativa ou positiva (centros de baixa ou de alta pressão no nível considerado, respectivamente) enquanto que estudos tradicionais incluíam somente centros de baixa pressão.

5. CONCLUSÃO

Através da realização deste estudo buscou-se entender o comportamento climatológico do ASAS. De maio a outubro, a alta aumenta sua intensidade, se expande e se desloca para o leste do continente da AS e sudoeste da África do Sul. Porém, a maior intensidade do ASAS ocorre entre julho e agosto, causando a subsidência no continente, impedindo a formação de nebulosidade e, consequentemente, diminuindo o volume de chuvas sobre parte do leste do Brasil. Por outro lado, nos meses de março a junho, fase de transição do fortalecimento do ASAS, ocorre a intensificação dos ventos responsáveis pela formação da ZCIT, identificada nos perfis verticais. Conclui-se que nessa fase de transição, os ventos de nordeste vindos do ASAS auxiliam no transporte de umidade para a região Nordeste do Brasil, consequentemente, aumentando os acumulados de precipitação. Em contrapartida, nos demais meses, em especial quando o ASAS está deslocado para leste de sua posição climatológica, ocorre o período de chuvas mais intensas sobre o sul e sudeste e infere-se que os ventos da parte oeste do sistema ajudam a transportar umidade para o Sudeste do Brasil. Complementando, quando o ASAS está deslocado para leste da sua posição climatológica, foi observado um enfraquecimento dos ventos alísios na Região Nordeste.

Nas análises do rastreamento da alta foram utilizados dados das duas reanálises (ERA-Interim e ERA-20C) e do modelo global HadGEM2-ES no período 1979-2005. Para tanto, foi utilizado um procedimento computacional de localização do valor de maior pressão do domínio de grade proposto. Feito isso, foram encontrados máximos de pressão para cada mês em uma dada posição latitudinal e longitudinal e gerada uma série histórica mensal para cada uma das três fontes.

Em relação a posição latitudinal, no inverno nota-se que o sistema de alta pressão localiza-se mais a norte, atingindo 28°S no mês de julho e localizado mais a sul nos meses de fevereiro e março, chegando aos 33°S . Para o posicionamento longitudinal, nos meses de março e outubro, o anticiclone esteve mais deslocado para leste, próximo de 2°E . Por outro lado, fevereiro e agosto foram os meses em que o sistema esteve mais a oeste, variando entre 9°W e 7°W . Ao longo dos 26 anos (1979-2005), observou-se uma maior variação longitudinal em sua posição no verão e inverno. Entretanto, no outono e primavera, o sistema apresentou posições de transição longitudinal entre as duas

estações, sem grandes variações na longitude. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Hastenrath (1991), Machel et al. (1998), Ito e Ambrizzi (2000), Degola (2013). O modelo HadGEM2-ES mostrou uma boa aproximação estatística do esperado em latitude e intensidade do ASAS, mas subestimou a longitude em toda a série climatológica mensal. Os resultados gerados pela diferença entre a série histórica do modelo e a observação mostram um bom desempenho do modelo quanto a representação do ASAS, apesar do modelo subestimar a observação sobre o continente em todos os meses do ano.

Na projeção futura, os resultados obtidos preveem o ASAS mais intenso, especialmente nos meses de verão, mais a sul e próximo ao continente da AS entre os meses de abril e agosto, semelhantes aos de Seth et al. (2010) e Marengo et al. (2010). As possíveis consequências disso são a diminuição ainda maior na precipitação sobre a costa leste do Brasil na fase mais intensa do sistema, causando prováveis períodos de seca mais severos sobre essas duas regiões e enchentes e aumento das chuvas sobre o nordeste. Os resultados para o futuro foram encontrados utilizando-se apenas um dos diversos modelos climatológicos do IPCC.

Para trabalhos futuros sugere-se fazer esse mesmo tipo de estudo utilizando mais modelos climáticos, validando, assim, as tendências de aumento na intensidade e de deslocamento para oeste do ASAS. Além disso, sugere-se a utilização de mais variáveis meteorológicas, como precipitação, vento e correlacionar com a posição do ASAS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO, T. R. **Análise dos ventos à superfície na América do Sul e adjacências no clima presente e futuro.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI. Itajubá – MG. 121 p. 2015

BARBIERI, P. R. B. **Caracterização da estação chuvosa nas regiões sul e sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. São José dos Campos. INPE, 2005. 118 p.

BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. Análise climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Meteorologia, **Anais...** pp 612-619. 2000.

CARDOSO, A. O.; MENDONÇA, A. M.; ARAVÉQUIA, J. A.; BONATTI, J. P.; SILVA DIAS P. L. Correção estatística das previsões de tempo por conjunto do MGCA CPTEC/COLA através da remoção do viés. **Anais...** XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis-SC, 2006.

COLLINS, W. J., BELLOUIN, N., DOUTRIAUX-BOUCHER, M., GEDNEY, N., HINTON, T., JONES, C. D., LIDDICOAT, S., MARTIN, G., O'CONNOR, F., RAE, J., SENIOR, C., TOTTERDELL, I., WOODWARD, S., REICHLER, T., KIM, J. Evaluation of HadGEM2 model, Hadley Centre Technical Note, 74, **Met Office Hadley Center**, Exeter, UK, 47 pp 2008.

DE FREITAS, R. A. P.; DE SOUZA, R. B. INFLUÊNCIA DAS ANOMALIAS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR EM REGIÕES DE LATITUDES MÉDIAS E ALTAS NA TRAJETÓRIA PREFERENCIAL DOS CICLONES EXTRATROPICAIS SOB CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE AQUECIMENTO GLOBAL. **Ciência e Natura**, v. 35, p. 449, 2013.

DEE, D. P. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. 2011. 137 f. p. 553–597. DOI: 10.1002/qj.828

DEGOLA, T, S, D. **Impacts and variability of the South Atlantic Subtropical High pressure over Brazil in the presente climate and future scenarios**, 91p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo, 2013.

EMERTON, R.; CLOKE, H. L.; STEPHENS, E. M.; ZSOTER, E.; WOOLNOUGH, S. J.; PAPPENBERGER, F. Complex picture for likelihood of ENSO-driven flood hazard. **Nature Communications** 2017. v. 8, n 14796. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms14796>

FERREIRA, E. A.; MELO, M. L.; ALMEIDA, J. M. V.; BEZERRA, W. A.; REINKE, C. K.; SEABRA, M. S. Estudo de Caso: Configuração da atmosfera na ocorrência de baixo índice de umidade relativa do ar no Centro-Oeste do Brasil. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6p. **Anais...** Florianópolis:, 2006.

FERREIRA, N. J. STORM-TRACK NA AMERICA DO SUL E VIZINHANÇAS: CLIMATOLOGIA, VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 112 p., 2010.

GALVANI, Emerson. Sistema de Dados Quantitativos. In: VENTURI, Luis Antônio Bittar (Org.). **Praticando a Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 175- 186.

HASTENRATH, S. Climate and Circulation of the Tropics. D. **Reidel Publish Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, Netherlands. Co., 455 pp. 1985.

HASTENRATH, S. Climate Dynamics of the Tropics. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, Netherlands, 488 p., 1991.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. 2017. Censo Demográfico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15/08/17.

ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno. In: XI CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBERICO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro.. Sociedade Brasileira de Meteorologia - SMBET, **Anais...** Rio de Janeiro p. 860-865. 2000.

ITO, E. R. K, **Um estudo Climatológico do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e sua influência em Sistemas Frontais**.Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 126p. 1999.

JOLLIFFE, I. T.; STEPHENSON, D. B. Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science. **Wiley**, New York. 292 p. 2003.

LENTERS, J. D.; COOK, K.H. Summertime Precipitation Variability over South America: Role of the Large-Scale Circulation. **Monthly Weather Review**, 127p, 409–431, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1999\)127<0409:SPVOSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1999)127<0409:SPVOSA>2.0.CO;2)

MACHEL, H., A. KAPALA, e H. FLOHN. Behaviour of the Centres of Action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. **International Journal of Climatology**. v. 18, p. 1-22. 1998.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; ALVES, M. L.; CUANDRA, S. V.; VALVERDE, M. C.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C.; FERRAZ, S. E. T. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, New York, v. 35, n. 6, p. 1073-1097, 2010.

MARENGO, J. A.; CHOU S. C.; KAY G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS, D. C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections:

Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. **Climate Dynamics**, New York, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; OLIVEIRA, C. P. Variabilidade da Circulação da Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

PESQUERO, J. F. **Um Estudo de Avaliação Estatística do Modelo Global do CPTEC com Relação ao Número, Trajetória e Intensidade de Ciclones e Anticiclones para o Hemisfério Sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP. 149 p. 2004.

POLI, P., et al. ERA-20C: An atmospheric reanalysis of the 20th century, **International Journal of Climatology**. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, United Kingdom. p. 4083–4097. v. 29. n11, 2016, DOI: <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0556.1>>

REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG. Universidade de São Paulo. São Paulo, 359 p., 2008.

REBOITA, M. S.; M. A. GAN; R. P. DA ROCHA; T. AMBRIZZI. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, 185-204. 2010.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia (CLIMATE ASPECTS IN MINAS GERAIS STATE)*. **Revista Brasileira de Climatologia**, 11. v. 17, 209-229. 2015.

REBOITA, M. S.; AMARO, T. R.; DE SOUZA, M. R. Winds: intensity and power density simulated by RegCM4 over South America in present and future climate. *Climate Dynamics*, p. 1-19, 2017.

SETH, A.; ROJAS, M.; RAUSCHER, S. A. CMIP3 projected changes in the annual cycle of the South American Monsoon. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 331-357, 2010.

SINCLAIR, M. R. A Climatology of Anticyclones and Blocking for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**. 124 f, p. 245-264. 1996. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1996\)124<0245:ACOAAB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1996)124<0245:ACOAAB>2.0.CO;2)

SUGAHARA, S. Variação Anual da Frequência de Ciclones no Atlântico Sul. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia – II Encontro Brasileiro de Interação Oceano-Atmosfera. **Anais...** Rio de Janeiro. p 2607-2611. 2000.

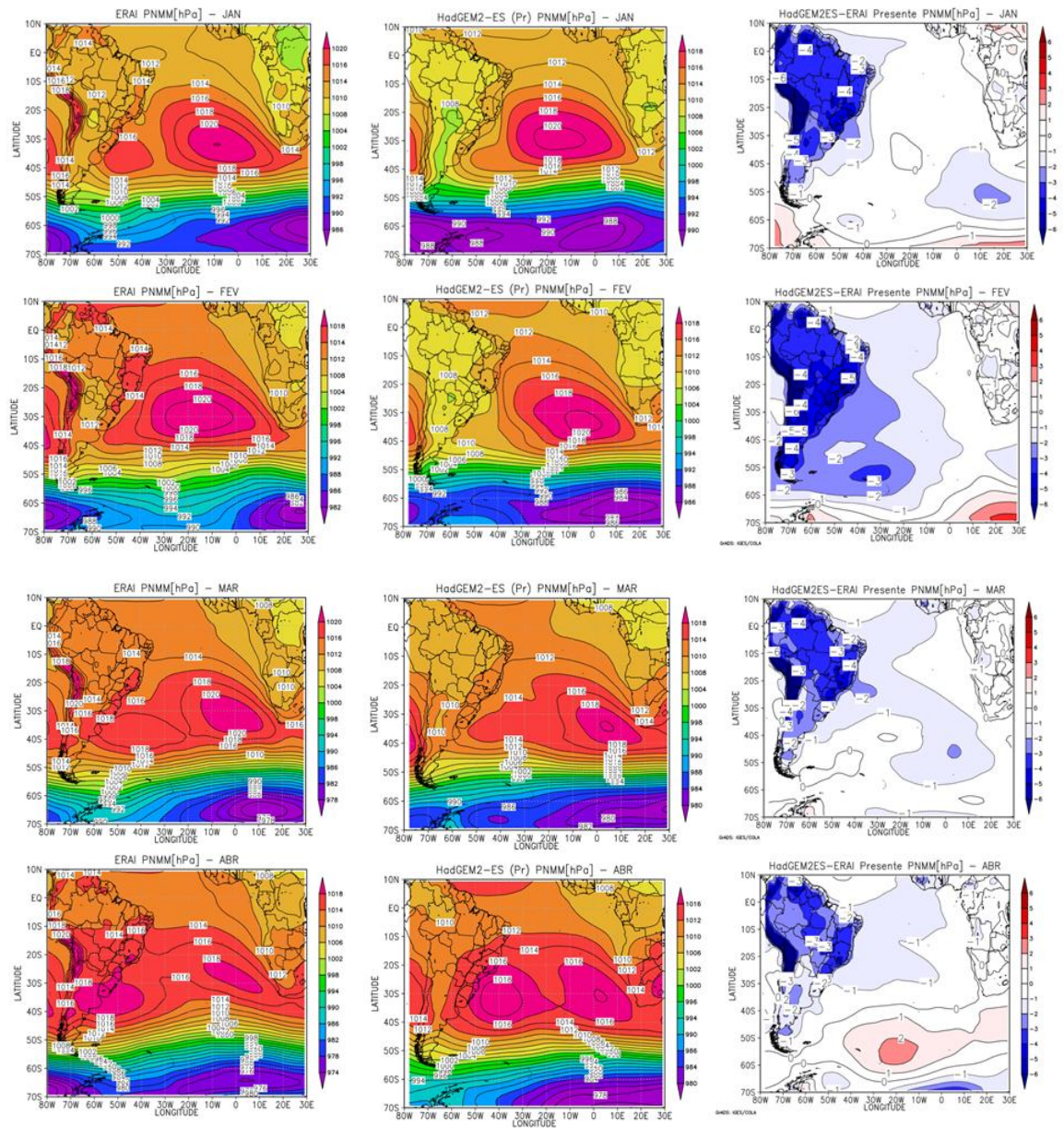
TASCHETTO, A. S; WAINER, I. The impact of subtropical South Atlantic SST on South American precipitation. *Ann Geophys* 26. p.3457–3476. 2008. Disponível em: <http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/16719>. Acesso em: 02/09/2017

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.25, n.1, pp.125-145. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000100011>.

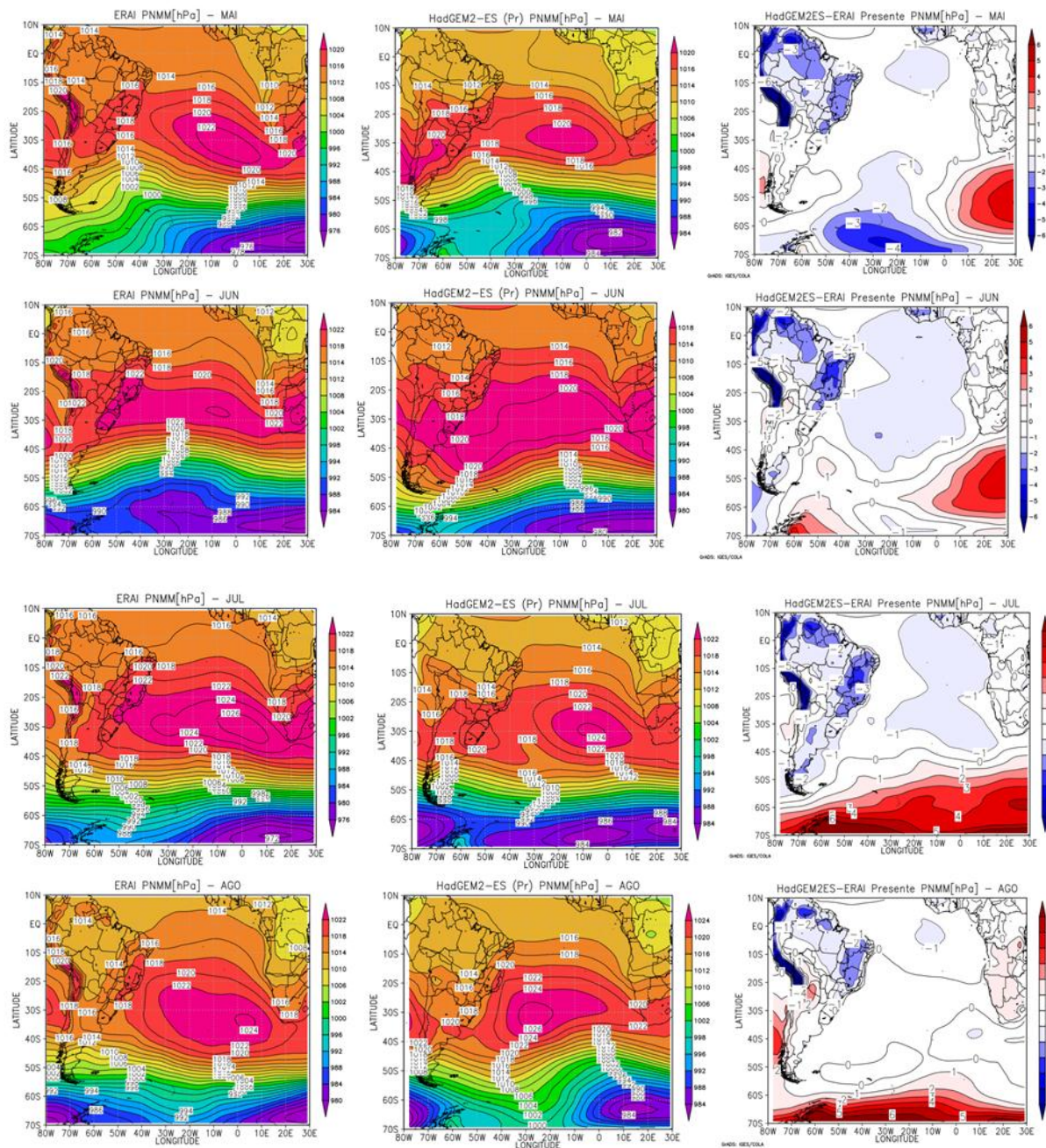
VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife – PE..463 p. 2006. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce5702/Meteorologia_e_Climatologia_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: 02/09/2017.

VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM T.; KREY, V.; LAMARQUE J.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, v. 109, p. 5-31, 2011. DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z.

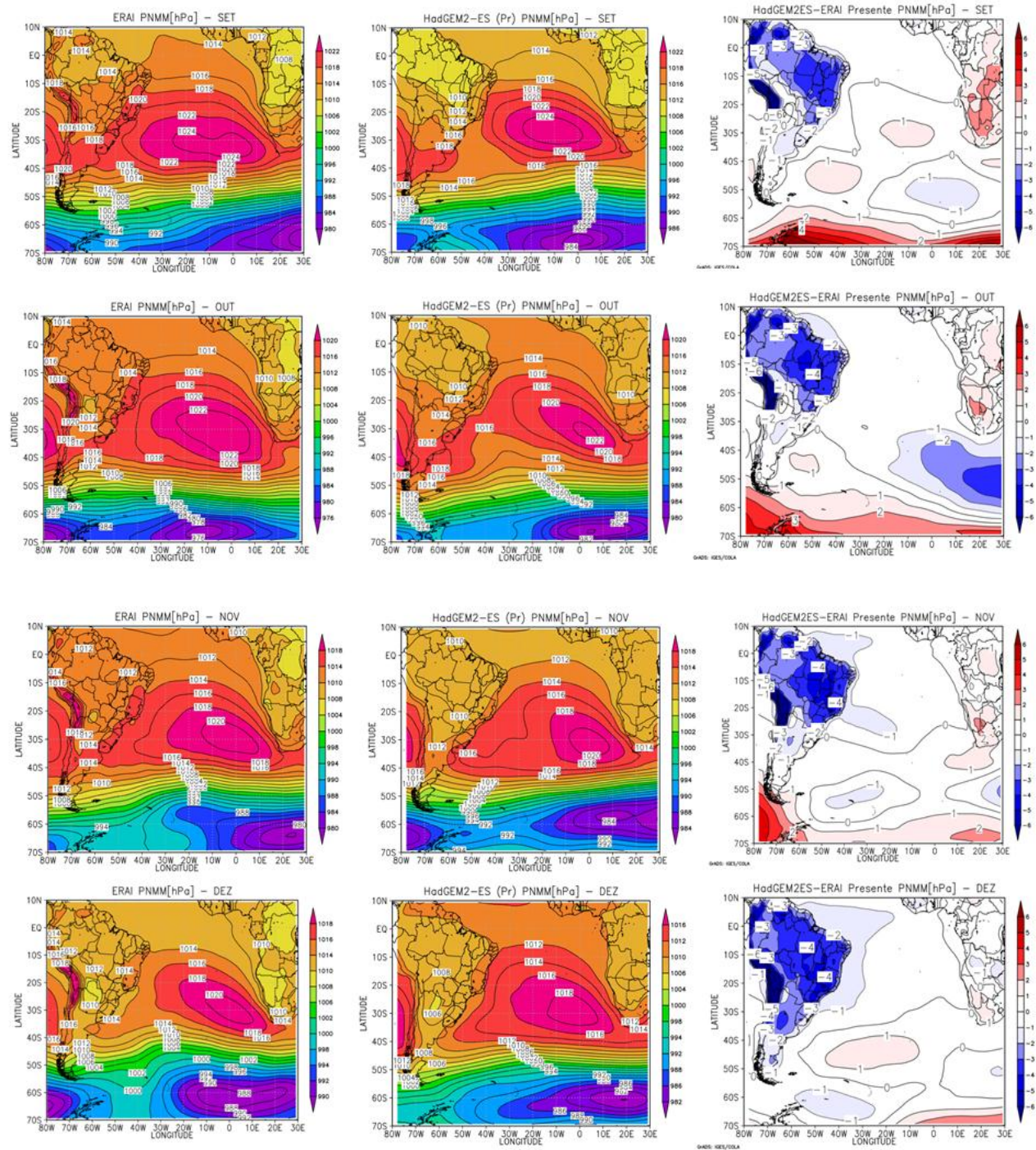
7. ANEXOS



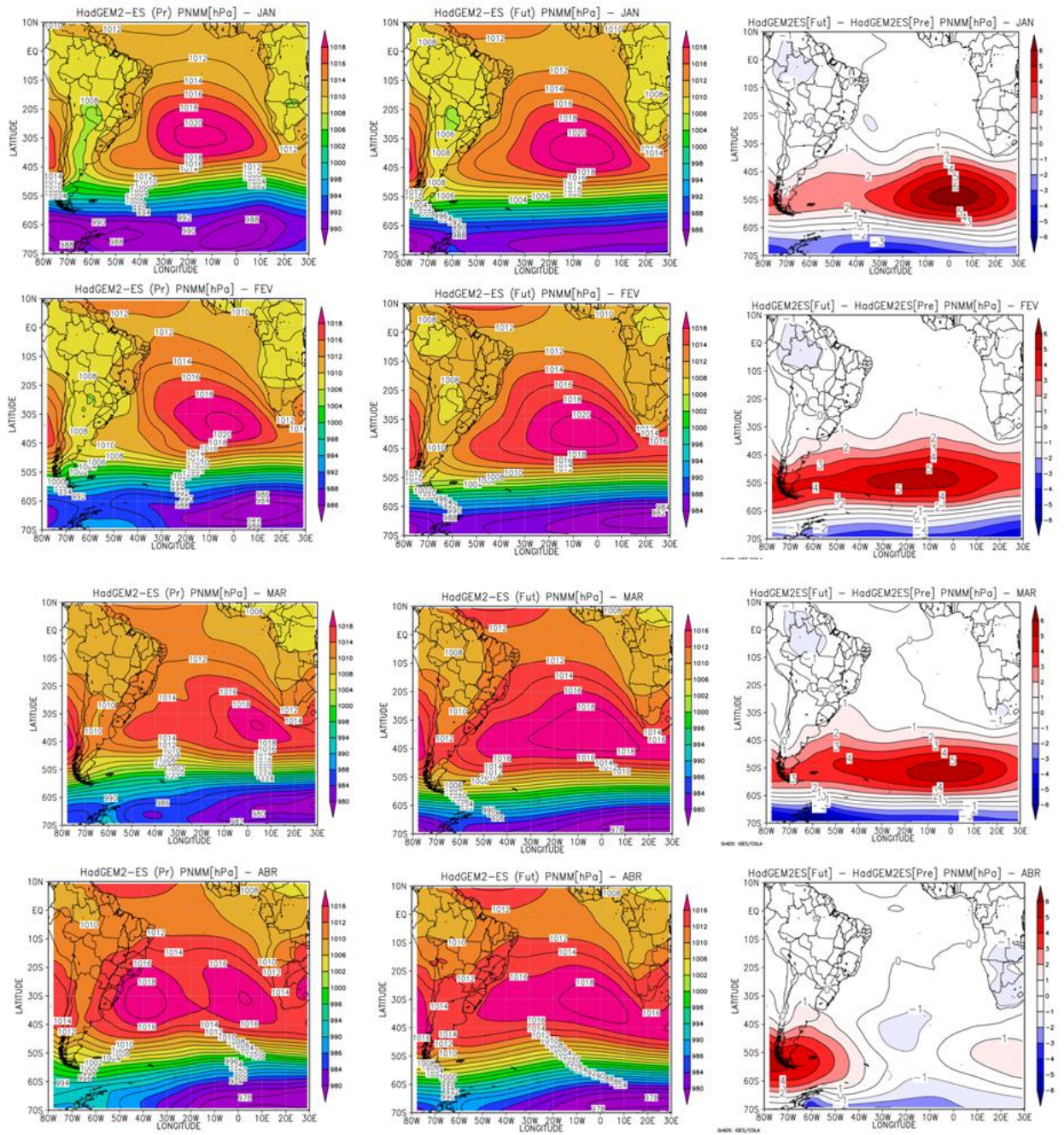
ANEXO I. Ciclo mensal do ASAS por meio da **a)** reanálise ERA-Interim, **b)** modelo HadGEM2-ES e **c)** diferença entre o modelo HadGEM2-ES (presente) e ERA-Interim para 1979-2005.



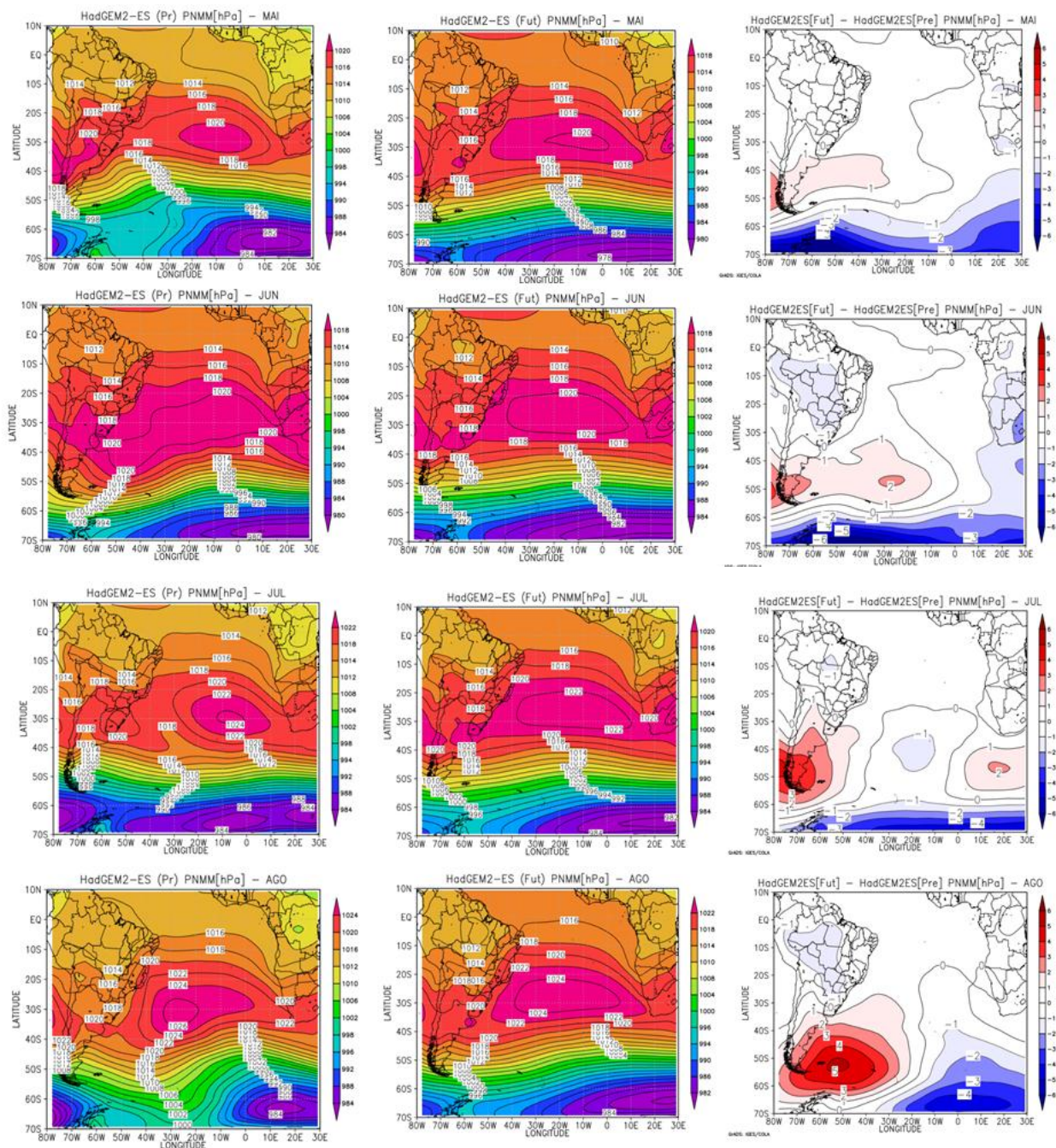
ANEXO I. Continuação.



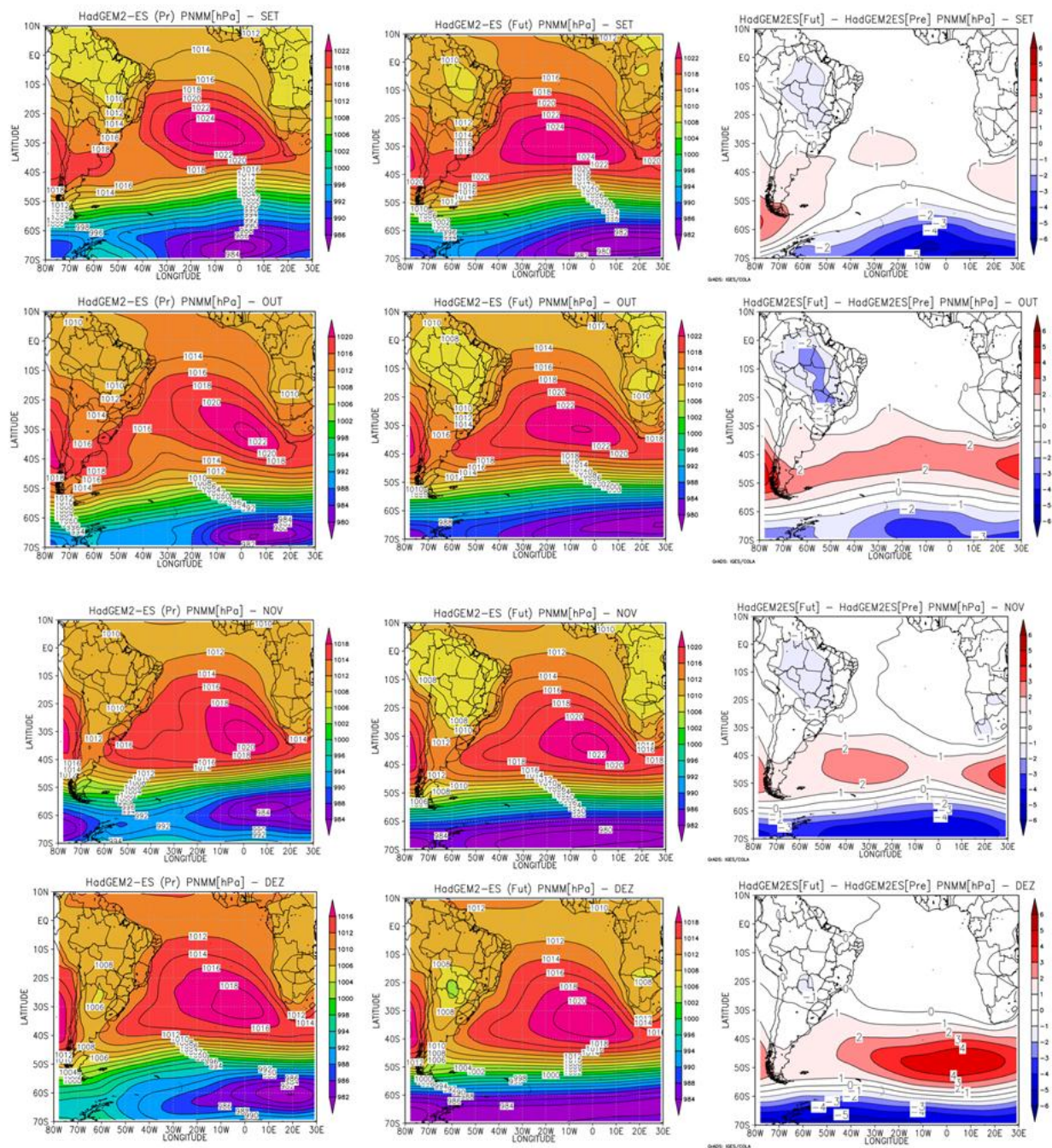
ANEXO I. Continuação.



ANEXO II. Ciclo mensal do ASAS por meio do **a)** modelo HadGEM2-ES no presente (1979-2005), **b)** projeção do modelo HadGEM2-ES no futuro (2073-2099) **c)** diferença entre o modelo HadGEM2-ES presente e projeção do modelo.



ANEXO II. Continuação.



ANEXO II. Continuação.