

Theor Appl Climatol (2011) 106:307–319

DOI 10.1007/s00704-011-0427-7

ORIGINAL PAPER

The impact of El Niño on South American summer climate during different phases of the Pacific Decadal Oscillation

Gyrlene Aparecida Mendes da Silva • Anita Drumond • Tércio Ambrizzi

1. Introduction
2. Data and methodology
 - 2.1. Data
 - 2.2. Methodology
 - 2.2.1 Observational study
 - 2.2.2 The AGCM numerical experiments
3. Results
 - 3.1. Summertime South American atmospheric circulation, El Niño, and PDO: observational analysis
 - 3.2. Summertime South American atmospheric circulation, El Niño, and PDO: numerical experiments
4. Summary and concluding remarks

1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* - PDO).

1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* - PDO).

- Mantua et al. (1997), por exemplo, descreve a PDO como sendo o primeiro modo obtido por meio da análise da Função Ortogonal Empírica (EOF) das anomalias mensais da SST observadas no Pacífico Norte no período entre 1900 e 1993.

1. Introdução

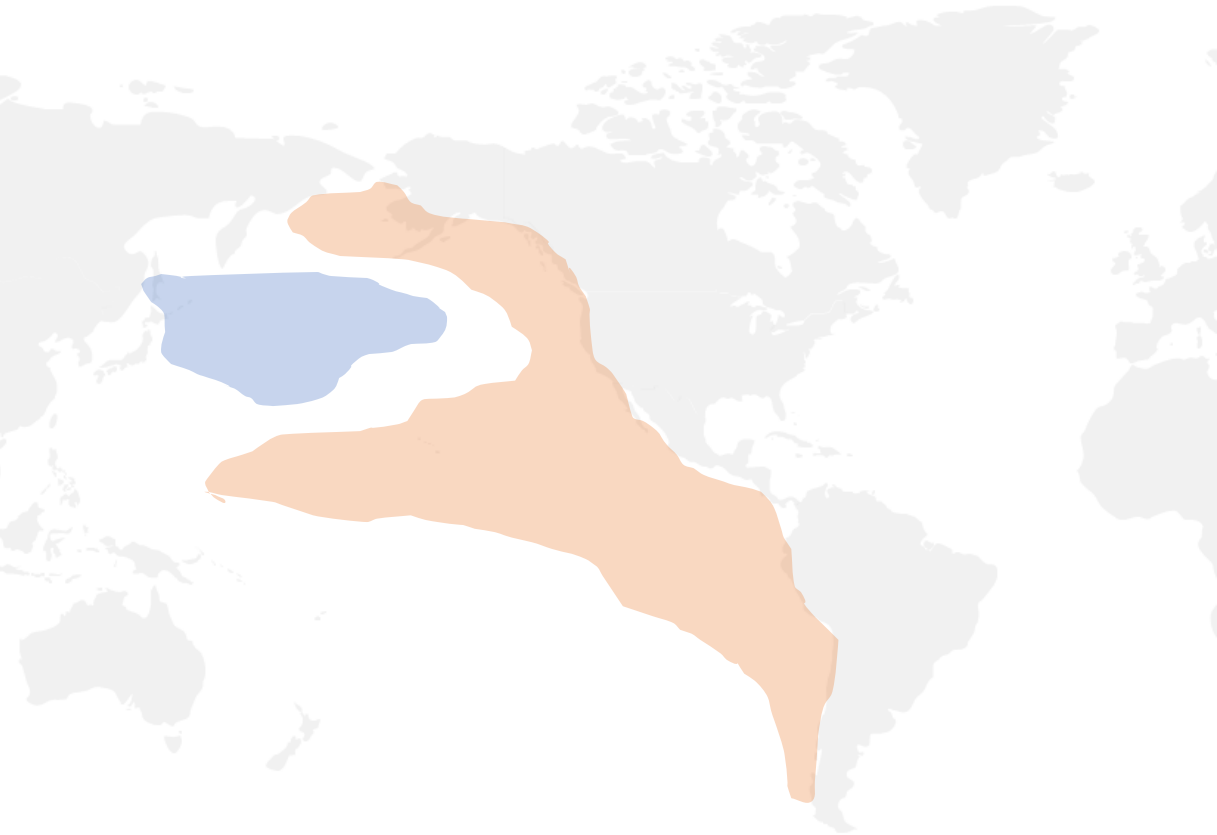
Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* - PDO).

- Mantua et al. (1997), por exemplo, descreve a PDO como sendo o primeiro modo obtido por meio da análise da Função Ortogonal Empírica (EOF) das anomalias mensais da SST observadas no Pacífico Norte no período entre 1900 e 1993.
- Power et al. (1999) e Folland et al. (2002) apontaram que a variabilidade interdecadal na série temporal do PDO é muito semelhante à evolução da Oscilação Interdecadal do Pacífico (*Interdecadal Pacific Oscillation* - IPO), que é um padrão de variabilidade semelhante ao ENSO em toda a bacia do Pacífico.

1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*).

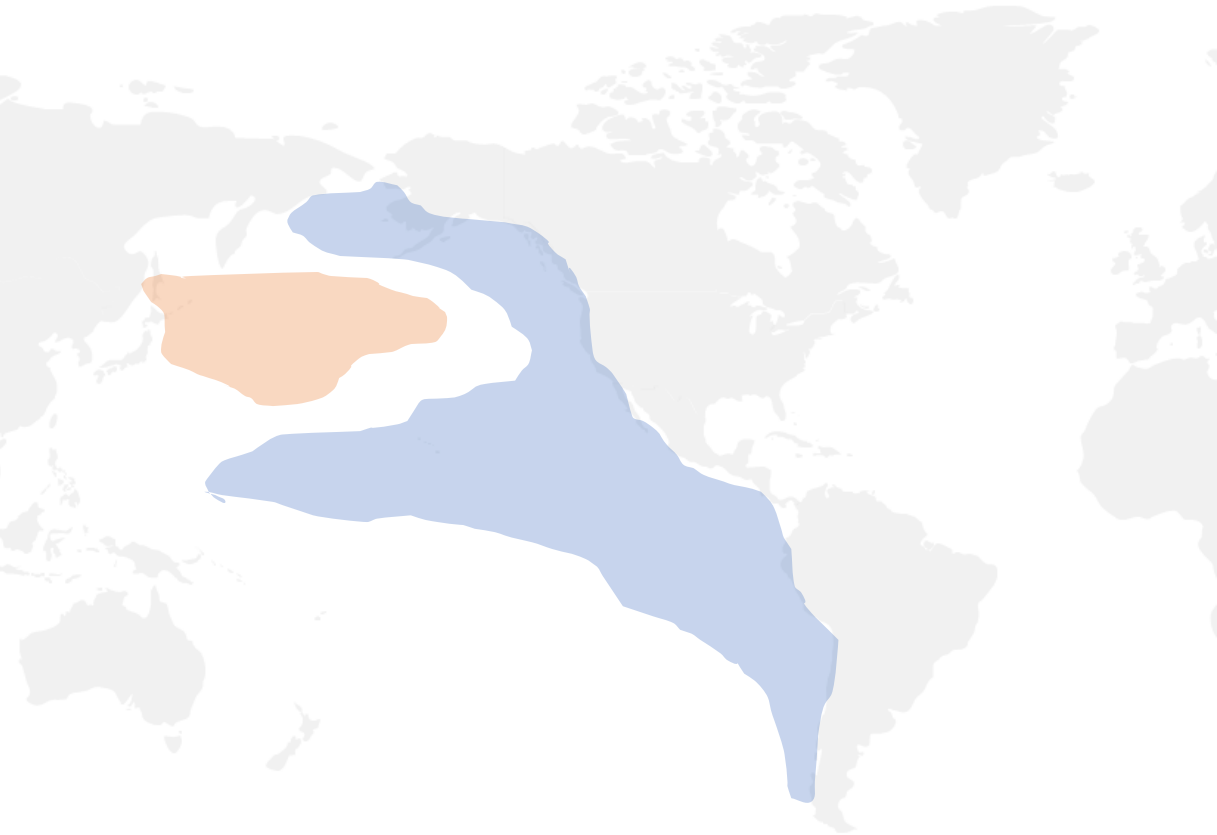
- Mantua et al. (1997), por exemplo, descreve a PDO como sendo o primeiro modo obtido por meio da análise da Função Ortogonal Empírica (EOF) das anomalias mensais da SST observadas no Pacífico Norte no período entre 1900 e 1993.
- Power et al. (1999) e Folland et al. (2002) apontaram que a variabilidade interdecadal na série temporal do PDO é muito semelhante à evolução da Oscilação Interdecadal do Pacífico (*Interdecadal Pacific Oscillation - IPO*), que é um padrão de variabilidade semelhante ao ENSO em toda a bacia do Pacífico.
 - A fase quente, PDO (+) ou fase da PDO semelhante ao El Niño e IPO, exibe um sistema de baixa pressão anormalmente profundo nas Aleutas, águas mais frias no oeste e centro do Pacífico Norte e águas mais aquecidas na costa oeste das Américas e no centro e leste do Pacífico Central.



1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*).

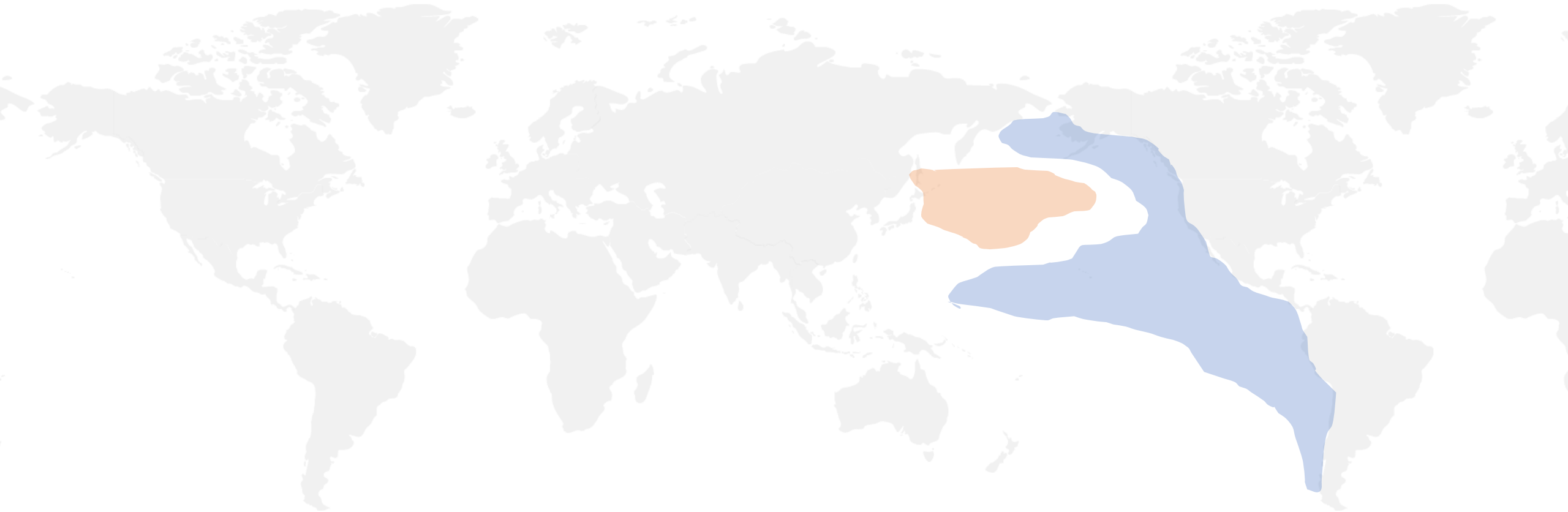
- Mantua et al. (1997), por exemplo, descreve a PDO como sendo o primeiro modo obtido por meio da análise da Função Ortogonal Empírica (EOF) das anomalias mensais da SST observadas no Pacífico Norte no período entre 1900 e 1993.
- Power et al. (1999) e Folland et al. (2002) apontaram que a variabilidade interdecadal na série temporal do PDO é muito semelhante à evolução da Oscilação Interdecadal do Pacífico (*Interdecadal Pacific Oscillation - IPO*), que é um padrão de variabilidade semelhante ao ENSO em toda a bacia do Pacífico.
 - A fase quente, PDO (+) ou fase da PDO semelhante ao El Niño e IPO, exibe um sistema de baixa pressão anormalmente profundo nas Aleutas, águas mais frias no oeste e centro do Pacífico Norte e águas mais aquecidas na costa oeste das Américas e no centro e leste do Pacífico Central.
 - A fase fria, PDO (-) ou do tipo La Niña, apresenta padrões invertidos.



1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*).

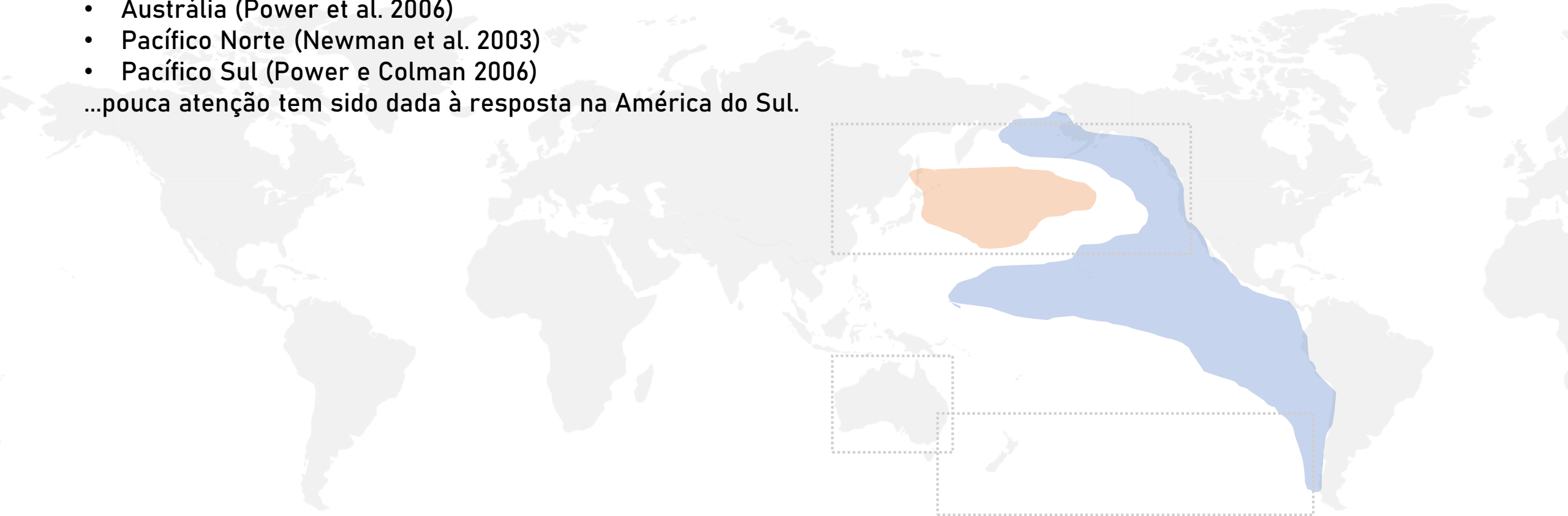
- Estudos investigando o impacto do PDO e do IPO nas teleconexões ENSO:



1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*).

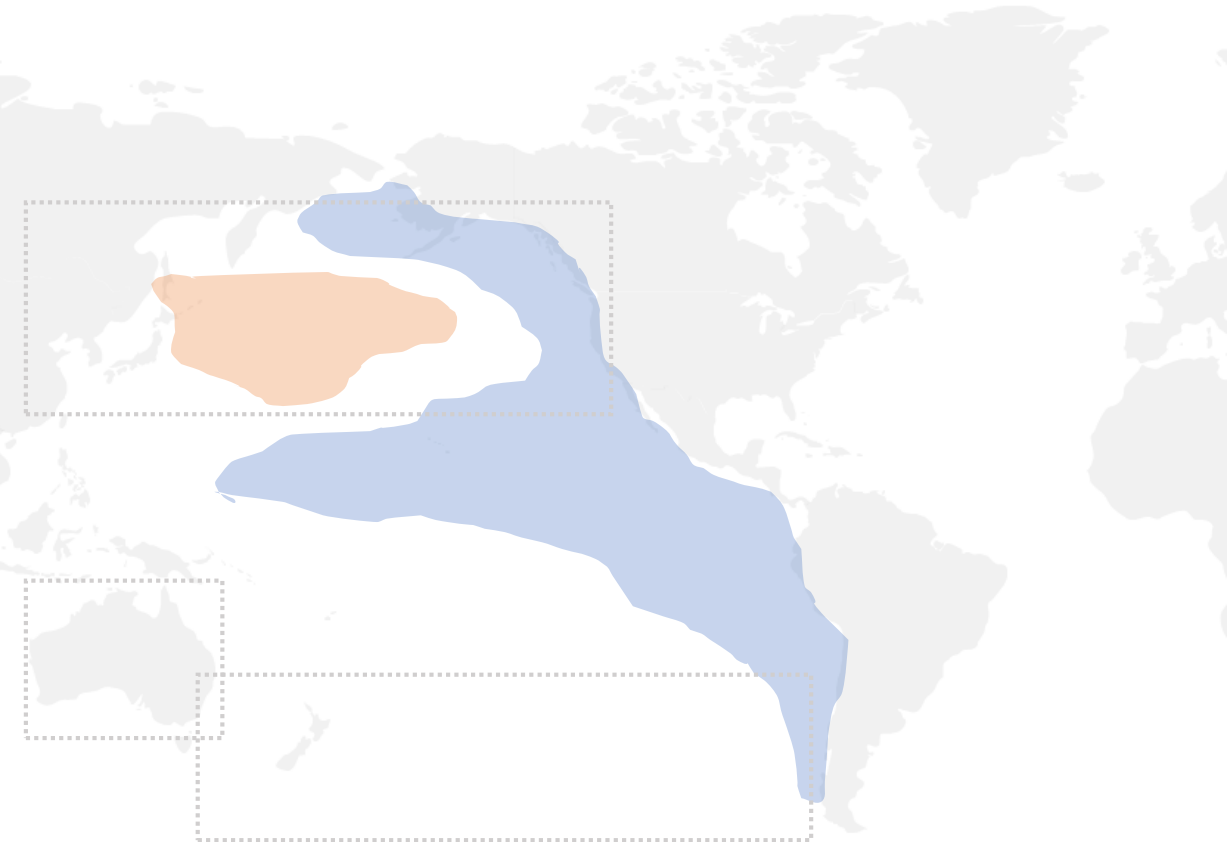
- Estudos investigando o impacto do PDO e do IPO nas teleconexões ENSO:
 - Austrália (Power et al. 2006)
 - Pacífico Norte (Newman et al. 2003)
 - Pacífico Sul (Power e Colman 2006)
- ...pouca atenção tem sido dada à resposta na América do Sul.



1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*).

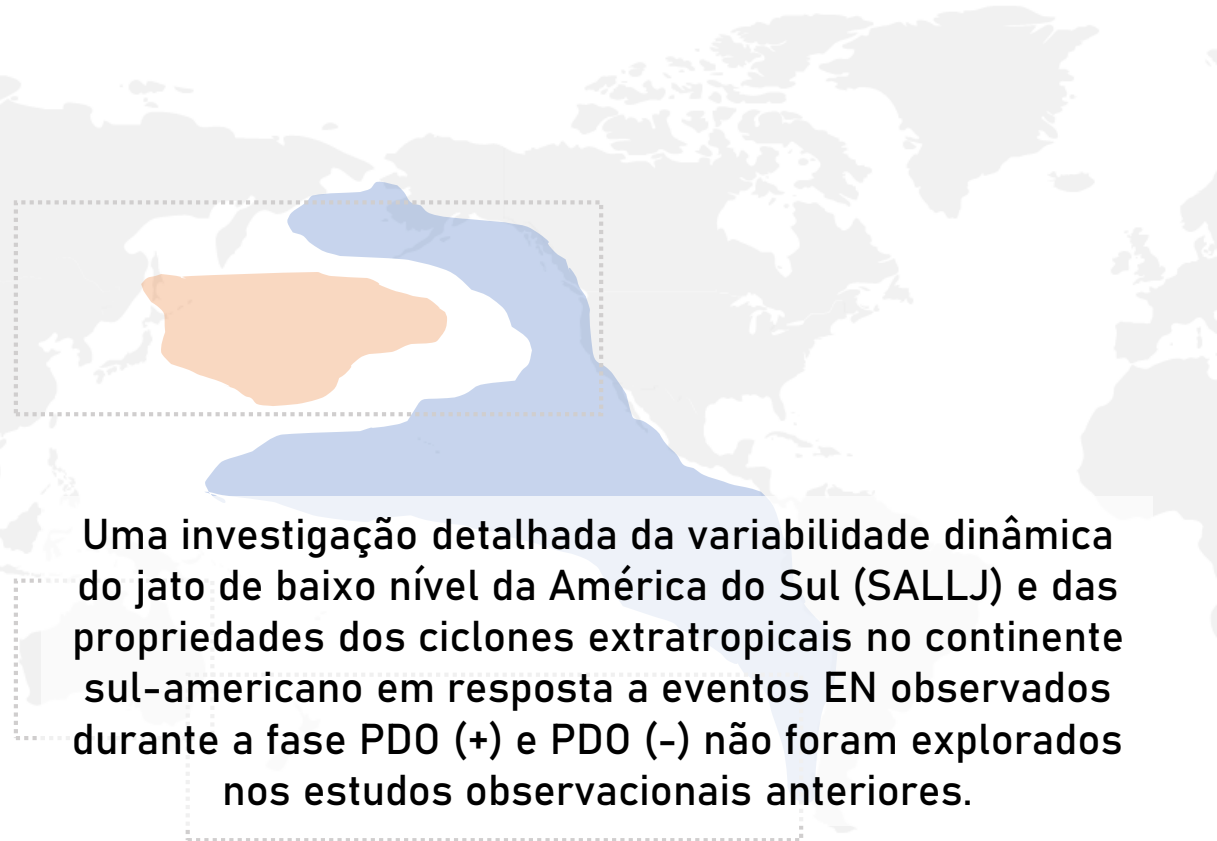
- Estudos investigando o impacto do PDO e do IPO nas teleconexões ENSO:
 - Austrália (Power et al. 2006)
 - Pacífico Norte (Newman et al. 2003)
 - Pacífico Sul (Power e Colman 2006)...pouca atenção tem sido dada à resposta na América do Sul.
- Estudos recentes:
 - Andreoli e Kayano (2005) verificaram que o sinal EN na precipitação na América do Sul durante janeiro e fevereiro é mais pronunciado durante a PDO (+) em comparação com a PDO (-).
 - Por outro lado, Kayano e Andreoli (2007) descobriram que entre novembro e abril, as diferenças nas intensidades da teleconexão ENSO aumentam (diminuem) quando ENSO e PDO estão na mesma fase (oposta).
 - Além disso, o impacto da PDO nos ciclones extratropicais sobre o Hemisfério Sul foi explorado por Schneider (2005) e Pezza et al. (2007).



1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*).

- Estudos investigando o impacto do PDO e do IPO nas teleconexões ENSO:
 - Austrália (Power et al. 2006)
 - Pacífico Norte (Newman et al. 2003)
 - Pacífico Sul (Power e Colman 2006)...pouca atenção tem sido dada à resposta na América do Sul.
- Estudos recentes:
 - Andreoli e Kayano (2005) verificaram que o sinal EN na precipitação na América do Sul durante janeiro e fevereiro é mais pronunciado durante a PDO (+) em comparação com a PDO (-).
 - Por outro lado, Kayano e Andreoli (2007) descobriram que entre novembro e abril, as diferenças nas intensidades da teleconexão ENSO aumentam (diminuem) quando ENSO e PDO estão na mesma fase (oposta).
 - Além disso, o impacto da PDO nos ciclones extratropicais sobre o Hemisfério Sul foi explorado por Schneider (2005) e Pezza et al. (2007).



Uma investigação detalhada da variabilidade dinâmica do jato de baixo nível da América do Sul (SALLJ) e das propriedades dos ciclones extratropicais no continente sul-americano em resposta a eventos EN observados durante a fase PDO (+) e PDO (-) não foram explorados nos estudos observacionais anteriores.

1. Introdução

Vários estudos observacionais documentaram extensivamente anomalias de precipitação relacionadas ao ENSO em todo o mundo e sua aparente modulação pela Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* - PDO).

- Estudos investigando o impacto do PDO e do IPO nas teleconexões ENSO:
 - Austrália (Power et al. 2006)
 - Pacífico Norte (Newman et al. 2003)
 - Pacífico Sul (Power e Colman 2006)...pouca atenção tem sido dada à resposta na América do Sul.
- Estudos recentes:
 - Andreoli e Kayano (2005) verificaram que o sinal EN na precipitação na América do Sul durante janeiro e fevereiro é mais pronunciado durante a PDO (+) em comparação com a PDO (-).
 - Por outro lado, Kayano e Andreoli (2007) descobriram que entre novembro e abril, as diferenças nas intensidades da teleconexão ENSO aumentam (diminuem) quando ENSO e PDO estão na mesma fase (oposta).
 - Além disso, o impacto da PDO nos ciclones extratropicais sobre o Hemisfério Sul foi explorado por Schneider (2005) e Pezza et al. (2007).

Portanto, o principal objetivo do presente estudo é investigar possíveis diferenças na circulação atmosférica do verão austral na América do Sul durante eventos EN observados em diferentes fases da PDO.

Complementando nossa análise observacional, experimentos numéricos com um Modelo Geral de Circulação Atmosférica (AGCM) serão conduzidos para investigar se diferentes fases da PDO podem afetar as teleconexões canônicas da EN na América do Sul.

Uma investigação detalhada da variabilidade dinâmica do jato de baixo nível da América do Sul (SALLJ) e das propriedades dos ciclones extratropicais no continente sul-americano em resposta a eventos EN observados durante a fase PDO (+) e PDO (-) não foram explorados nos estudos observacionais anteriores.

2. Dados e Metodologia

Dados:

- verão austral (dezembro-janeiro-fevereiro) entre 1950 e 1999.
 - ocorre um transporte de umidade meridional mais intenso dos trópicos para os subtropicais devido ao SALLJ nesta temporada e esse mecanismo é intensificado em anos EN.
 - Consequentemente, pode-se observar uma interação mais pronunciada entre a convecção continental tropical e os ciclones extratropicais.

2. Dados e Metodologia

Dados:

- verão austral (dezembro-janeiro-fevereiro) entre 1950 e 1999.
 - ocorre um transporte de umidade meridional mais intenso dos trópicos para os subtropicais devido ao SALLJ nesta temporada e esse mecanismo é intensificado em anos EN.
 - Conseqüentemente, pode-se observar uma interação mais pronunciada entre a convecção continental tropical e os ciclones extratropicais.
- Seleção de apenas eventos fortes e fracos do EN.
 - Associados com maior variabilidade da amplitude das anomalias de SST no Pacífico Equatorial.
 - Os eventos e EN foram agrupados de acordo com o índice da PDO.

Table 1 El Niño and neutral events selected according to the Oceanic Niño Index (ONI)/NOAA criterion and separated according to warm and cold PDO phases

	El Niños	Neutral events
PDO(-)	1952/53, 1957/58, 1958/59, 1963/64, 1969/70, 1972/73	1951/52, 1953/54, 1956/57, 1959/60, 1960/61, 1961/62, 1962/63, 1966/67, 1967/68, 1971/72
PDO(+)	1976/77, 1977/78, 1979/80, 1982/83, 1987/88, 1990/91, 1991/92, 1992/93, 1994/95, 1997/98	1978/79, 1980/81, 1981/82, 1985/86, 1989/90, 1993/94, 1996/97

2. Dados e Metodologia

Metodologia:

- Estudo das observações:

- Experimentos numéricos com AGCM:

2. Dados e Metodologia

Metodologia:

- **Estudo das observações:** a técnica composta foi usada para calcular os padrões anômalos relacionados à EN durante os dois regimes distintos de PDO.

- **Experimentos numéricos com AGCM:** dois experimentos de sensibilidade foram realizados com o objetivo de investigar o impacto das anomalias canônicas da EN SST nas fases opostas da PDO na circulação atmosférica na América do Sul.

2. Dados e Metodologia

Metodologia:

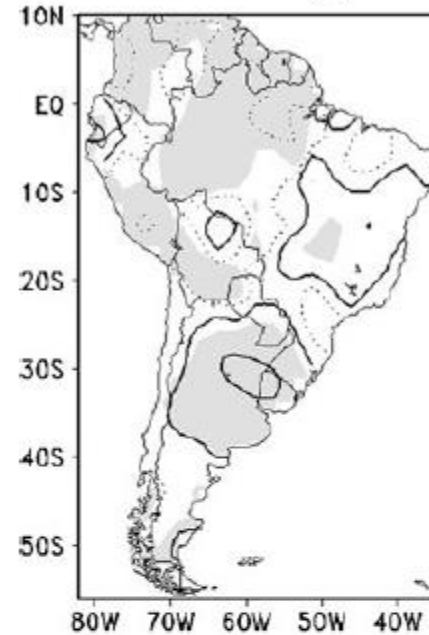
- **Estudo das observações:** a técnica composta foi usada para calcular os padrões anômalos relacionados à EN durante os dois regimes distintos de PDO.
 - Precipitação, SST, função de fluxo assimétrica zonal e mudanças de transporte de umidade.
 - As anomalias mensais das variáveis são calculadas pelas diferenças entre os eventos de EN menos os anos neutros separadamente para cada fase da PDO.
 - Um esquema de rastreamento automático identifica os centros ciclônicos próximos à superfície sobre a parte sul do continente, incluindo o domínio SESA, desenvolvido por Murray e Simmonds (1991). As propriedades analisadas são a Densidade do Sistema (SD) e Pressão Central (CP).
- **Experimentos numéricos com AGCM:** dois experimentos de sensibilidade foram realizados com o objetivo de investigar o impacto das anomalias canônicas da EN SST nas fases opostas da PDO na circulação atmosférica na América do Sul.

3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

Anomalias de precipitação.

a EN PDO(+)



b Anomalias de temperatura

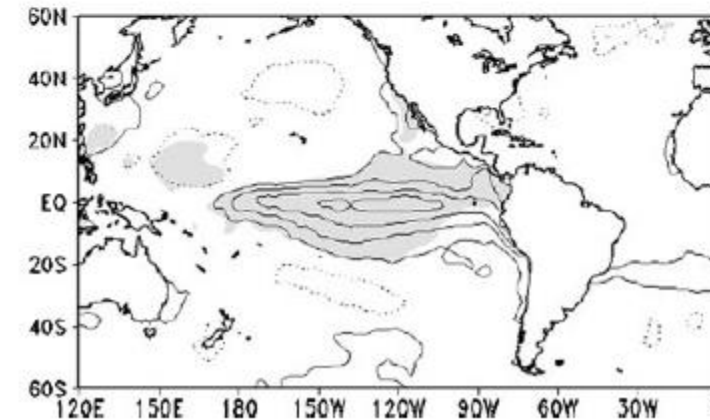


Fig. 1 Anomaly composites during austral summer of EN years for PDO(+) phase or El Niño-like: **a** Precipitation; **b** SST. **c**, **d** As in **a** and **b** but for PDO(-) phase or La Niña-like. Contour intervals are

3 mm day⁻¹ and 0.4°C. Negative contours are *dotted*, and the zero contours are the *continuous line*. Areas where the anomalies are statistically significant according to a *t* test at 90% level are *shaded*

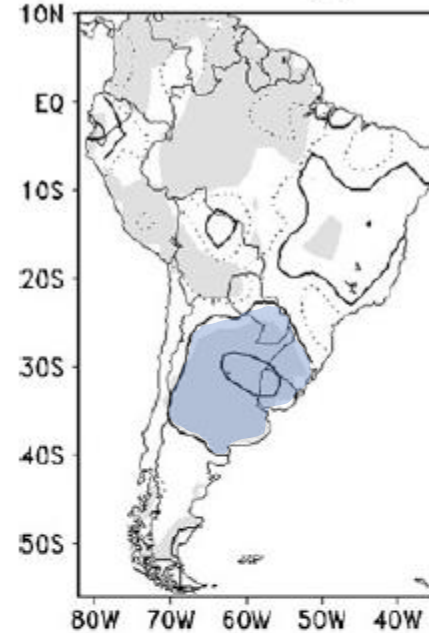
3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Anomalias positivas de precipitação são observadas na maior parte da SESA, particularmente no sul do Brasil, Uruguai, sul do Paraguai e norte da Argentina central durante a PDO (+).

Anomalias de precipitação.

a EN PDO(+)



b Anomalias de temperatura

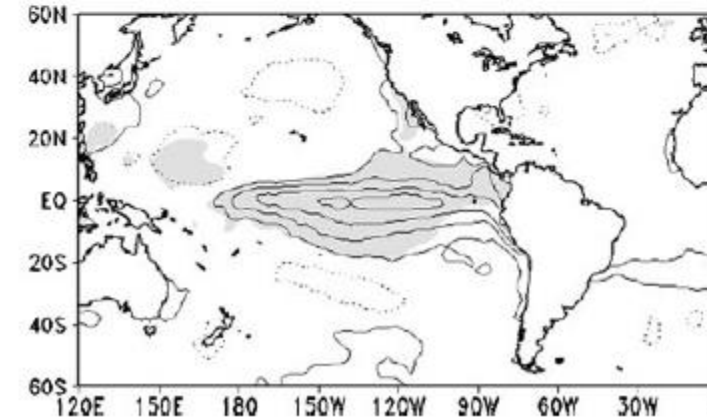


Fig. 1 Anomaly composites during austral summer of EN years for PDO(+) phase or El Niño-like: **a** Precipitation; **b** SST. **c**, **d** As in **a** and **b** but for PDO(-) phase or La Niña-like. Contour intervals are

3 mm day⁻¹ and 0.4°C. Negative contours are *dotted*, and the zero contours are the *continuous line*. Areas where the anomalies are statistically significant according to a *t* test at 90% level are *shaded*

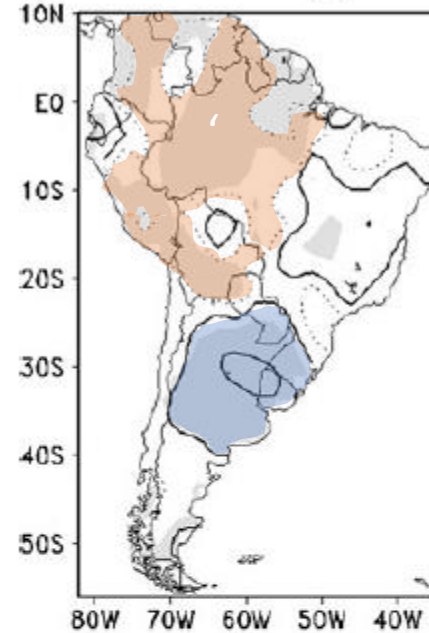
3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Anomalias positivas de precipitação são observadas na maior parte da SESA, particularmente no sul do Brasil, Uruguai, sul do Paraguai e norte da Argentina central durante a PDO (+).
- Anomalias levemente negativas predominam na parte norte do continente incluindo a região amazônica entre 0 e 10°S.

Anomalias de precipitação.

a EN PDO(+)



b Anomalias de temperatura

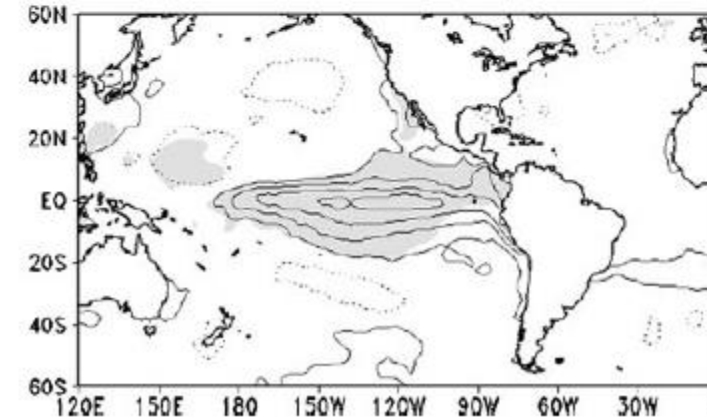


Fig. 1 Anomaly composites during austral summer of EN years for PDO(+) phase or El Niño-like: **a** Precipitation; **b** SST. **c**, **d** As in **a** and **b** but for PDO(-) phase or La Niña-like. Contour intervals are

3 mm day⁻¹ and 0.4°C. Negative contours are *dotted*, and the zero contours are the *continuous line*. Areas where the anomalies are statistically significant according to a *t* test at 90% level are *shaded*

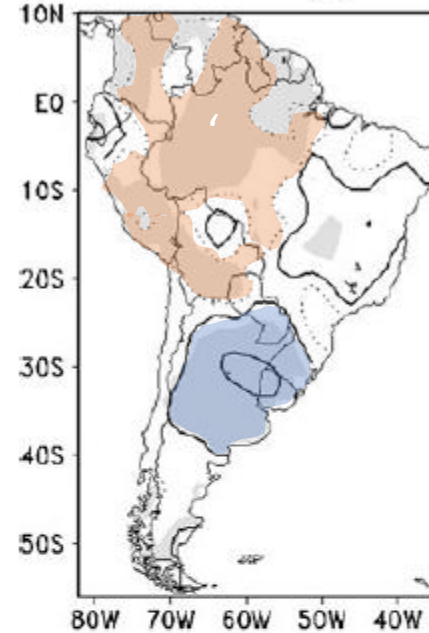
3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Anomalias positivas de precipitação são observadas na maior parte da SESA, particularmente no sul do Brasil, Uruguai, sul do Paraguai e norte da Argentina central durante a PDO (+).
- Anomalias levemente negativas predominam na parte norte do continente incluindo a região amazônica entre 0 e 10°S.
- A composição SST exhibe águas mais quentes anômalas sobre o Pacífico equatorial entre 180–80°W.

Anomalias de precipitação.

a EN PDO(+)



b Anomalias de temperatura

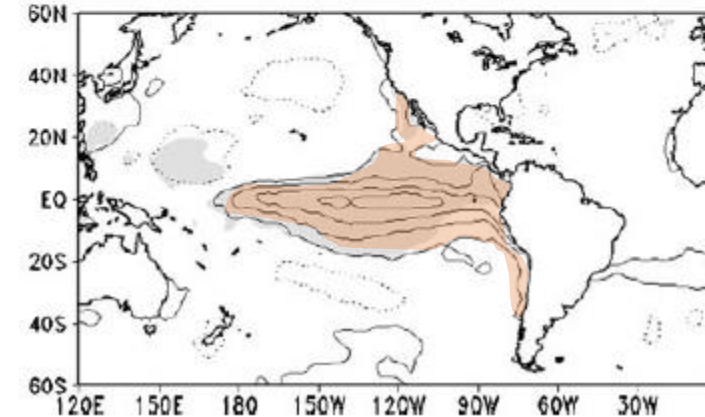


Fig. 1 Anomaly composites during austral summer of EN years for PDO(+) phase or El Niño-like: **a** Precipitation; **b** SST. **c**, **d** As in **a** and **b** but for PDO(-) phase or La Niña-like. Contour intervals are

3 mm day⁻¹ and 0.4°C. Negative contours are *dotted*, and the zero contours are the *continuous line*. Areas where the anomalies are statistically significant according to a *t* test at 90% level are *shaded*

3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Durante os anos EN na fase PDO (-), foram observadas anomalias negativas de precipitação no norte da Amazônia, mas foram mais fracas do que as observadas nos anos EN durante os anos PDO (+).

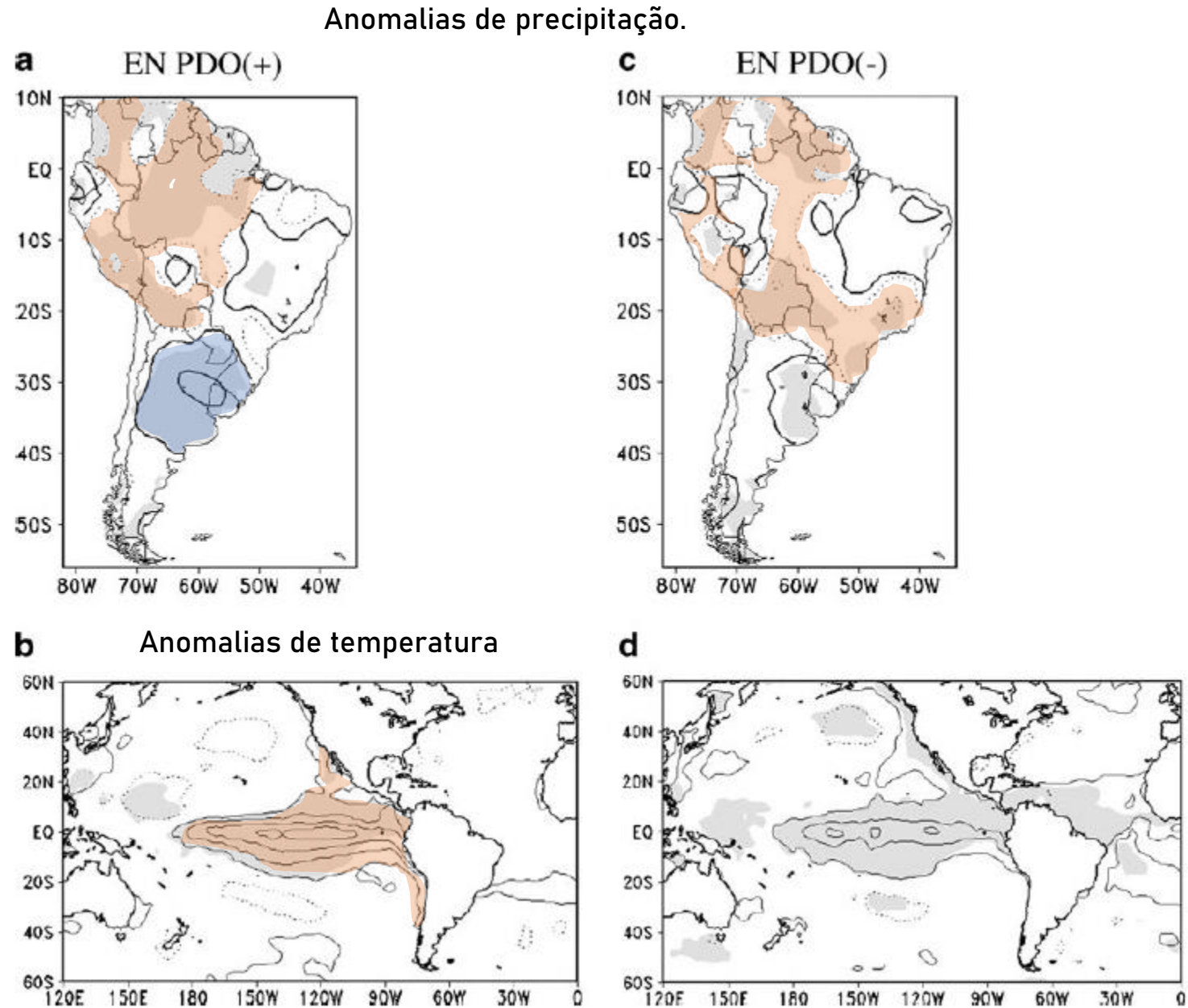


Fig. 1 Anomaly composites during austral summer of EN years for PDO(+) phase or El Niño-like: **a** Precipitation; **b** SST. **c**, **d** As in **a** and **b** but for PDO(-) phase or La Niña-like. Contour intervals are

3 mm day^{-1} and 0.4°C . Negative contours are *dotted*, and the zero contours are the *continuous line*. Areas where the anomalies are statistically significant according to a *t* test at 90% level are *shaded*

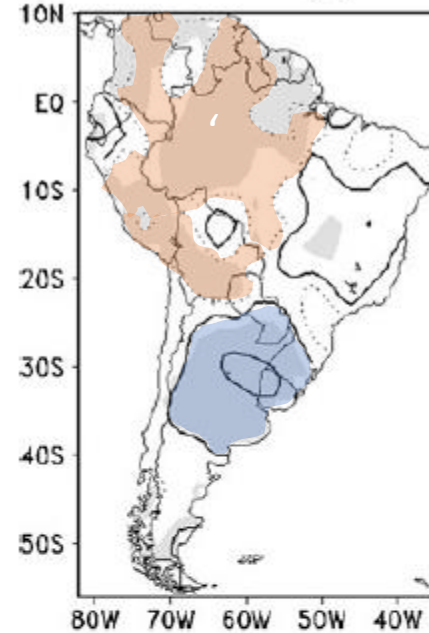
3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

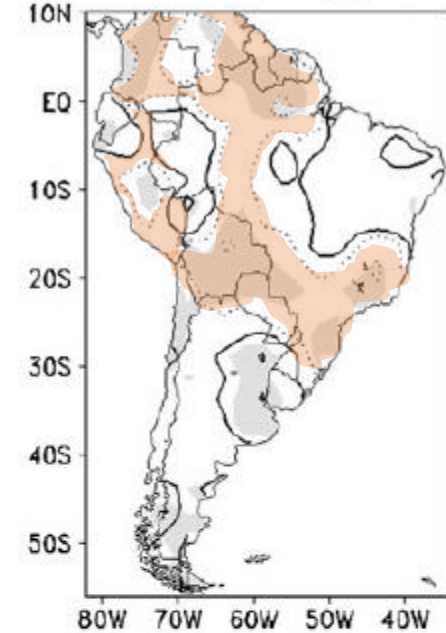
- Durante os anos EN na fase PDO (-), foram observadas anomalias negativas de precipitação no norte da Amazônia, mas foram mais fracas do que as observadas nos anos EN durante os anos PDO (+).
- As anomalias mais quentes da SST observadas no Pacífico Equatorial são mais fracas, e a anomalia máxima é deslocada para o oeste quando comparada à Fig. 1b.

Anomalias de precipitação.

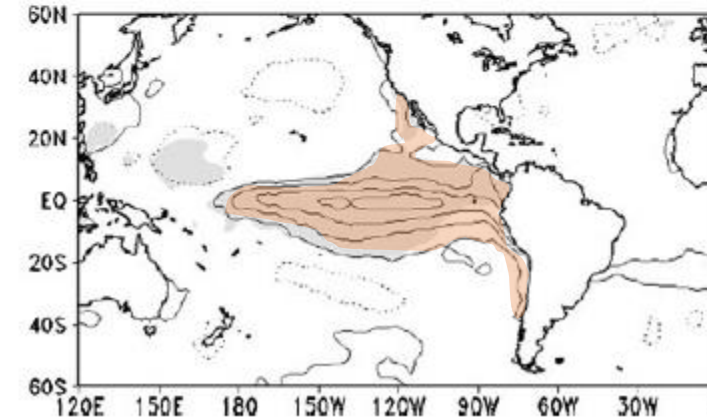
a EN PDO(+)



c EN PDO(-)



b Anomalias de temperatura



d

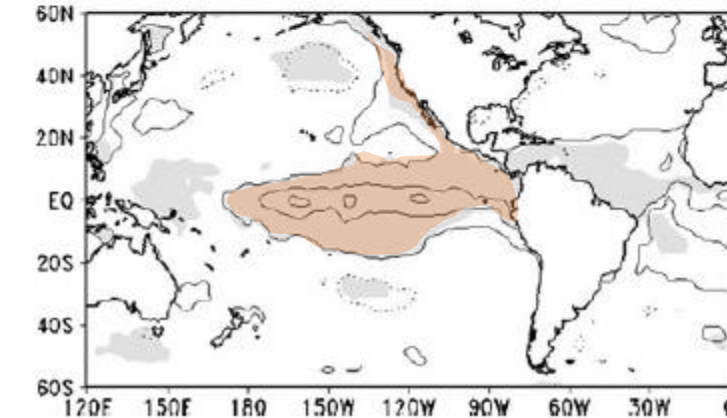


Fig. 1 Anomaly composites during austral summer of EN years for PDO(+) phase or El Niño-like: **a** Precipitation; **b** SST. **c**, **d** As in **a** and **b** but for PDO(-) phase or La Niña-like. Contour intervals are

3 mm day^{-1} and 0.4°C . Negative contours are *dotted*, and the zero contours are the *continuous line*. Areas where the anomalies are statistically significant according to a *t* test at 90% level are *shaded*

3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Durante os anos EN na fase PDO (-), foram observadas anomalias negativas de precipitação no norte da Amazônia, mas foram mais fracas do que as observadas nos anos EN durante os anos PDO (+).
- As anomalias mais quentes da SST observadas no Pacífico Equatorial são mais fracas, e a anomalia máxima é deslocada para o oeste quando comparada à Fig. 1b.
- Sobre o Oceano Pacífico subtropical, anomalias SST levemente negativas são encontradas em ambos hemisférios.

Anomalias de precipitação.

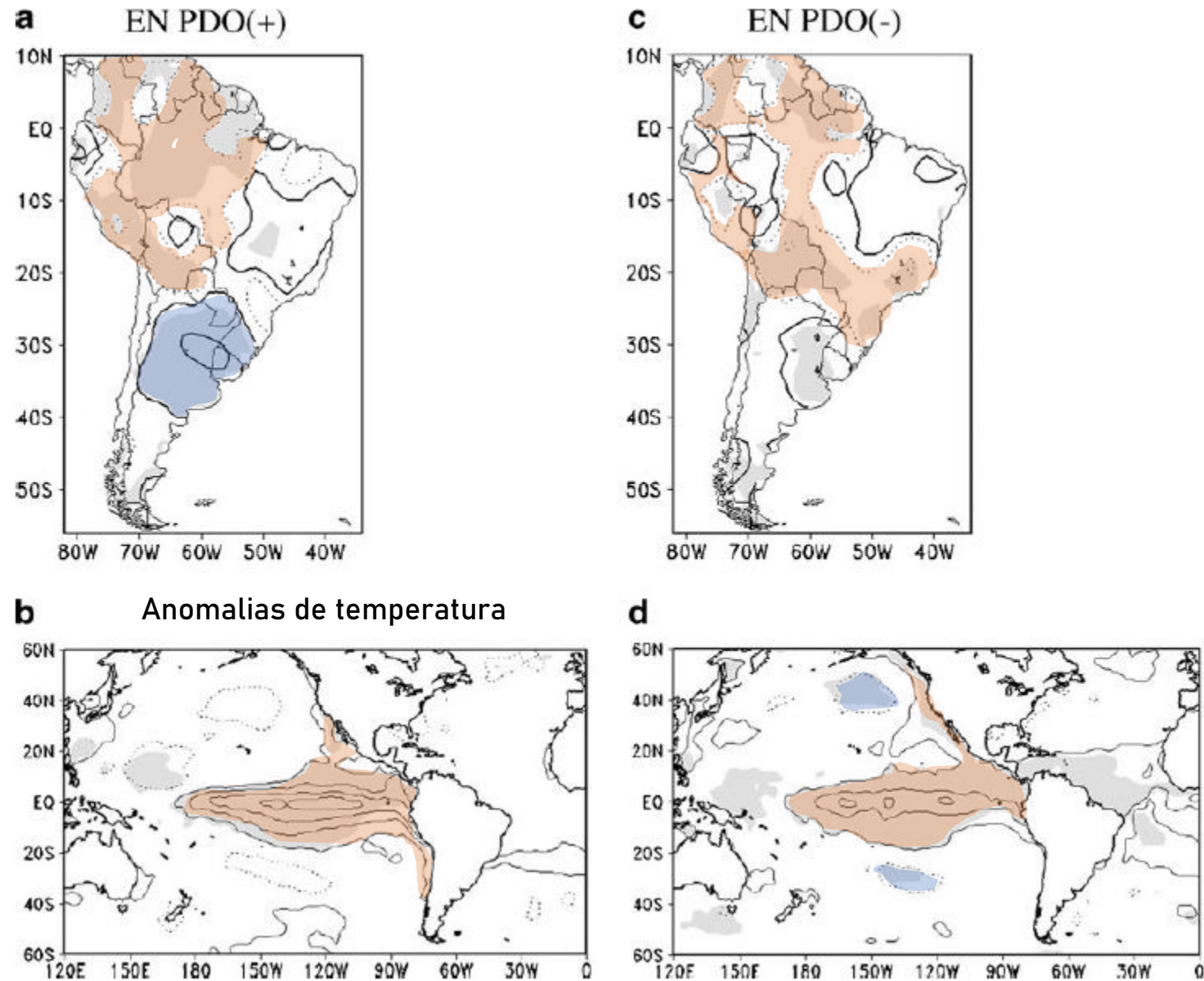


Fig. 1 Anomaly composites during austral summer of EN years for PDO(+) phase or El Niño-like: **a** Precipitation; **b** SST. **c**, **d** As in **a** and **b** but for PDO(-) phase or La Niña-like. Contour intervals are

3 mm day^{-1} and 0.4°C . Negative contours are *dotted*, and the zero contours are the *continuous line*. Areas where the anomalies are statistically significant according to a *t* test at 90% level are *shaded*

3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Durante os anos EN na fase PDO (-), foram observadas anomalias negativas de precipitação no norte da Amazônia, mas foram mais fracas do que as observadas nos anos EN durante os anos PDO (+).
- As anomalias mais quentes da SST observadas no Pacífico Equatorial são mais fracas, e a anomalia máxima é deslocada para o oeste quando comparada à Fig. 1b.
- Sobre o Oceano Pacífico subtropical, anomalias SST levemente negativas são encontradas em ambos hemisférios.
- Anomalias positivas de SST são observadas sobre o Oceano Atlântico equatorial, próximo à América do Sul continente. (precisa ser melhor investigada)

Anomalias de precipitação.

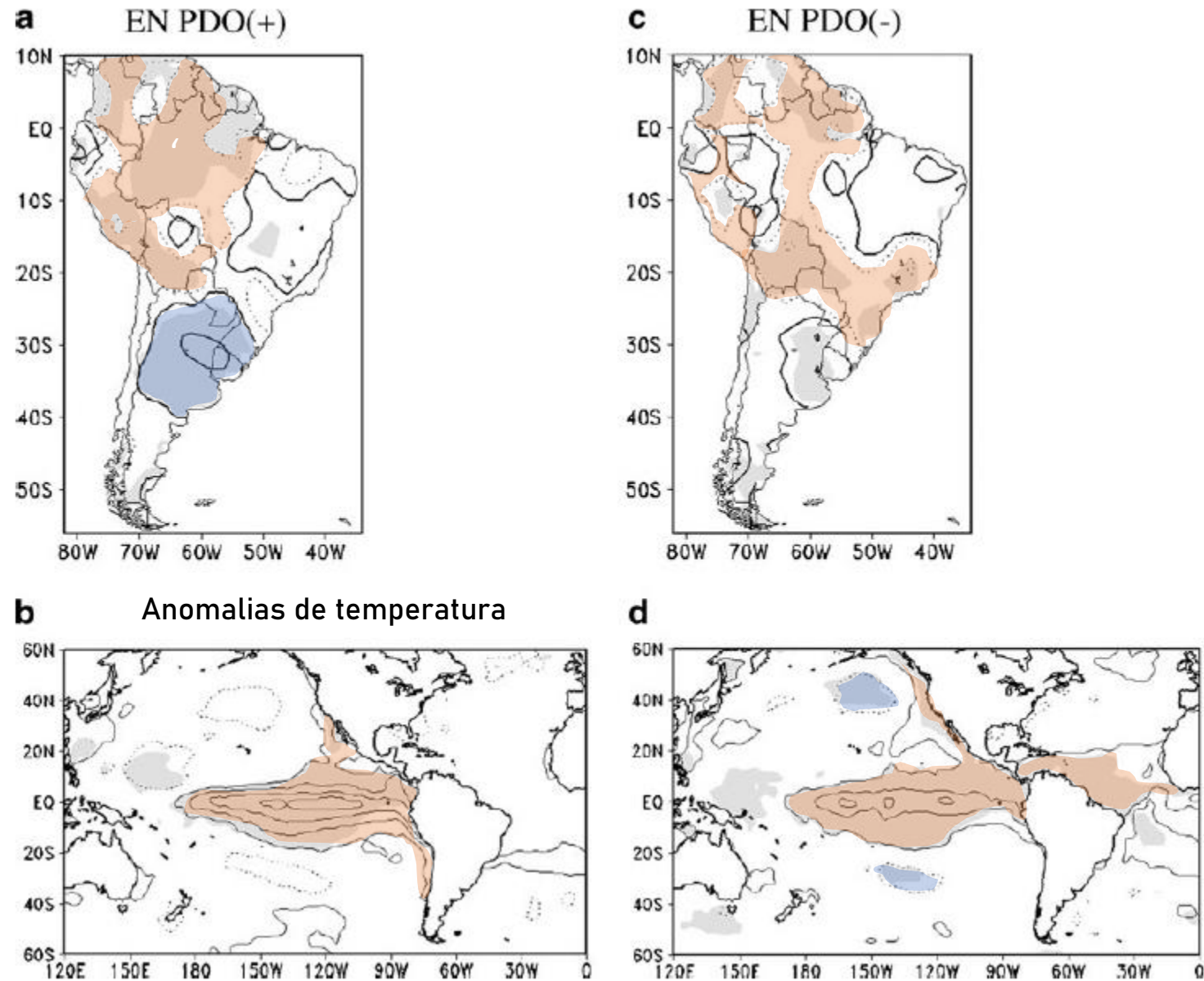


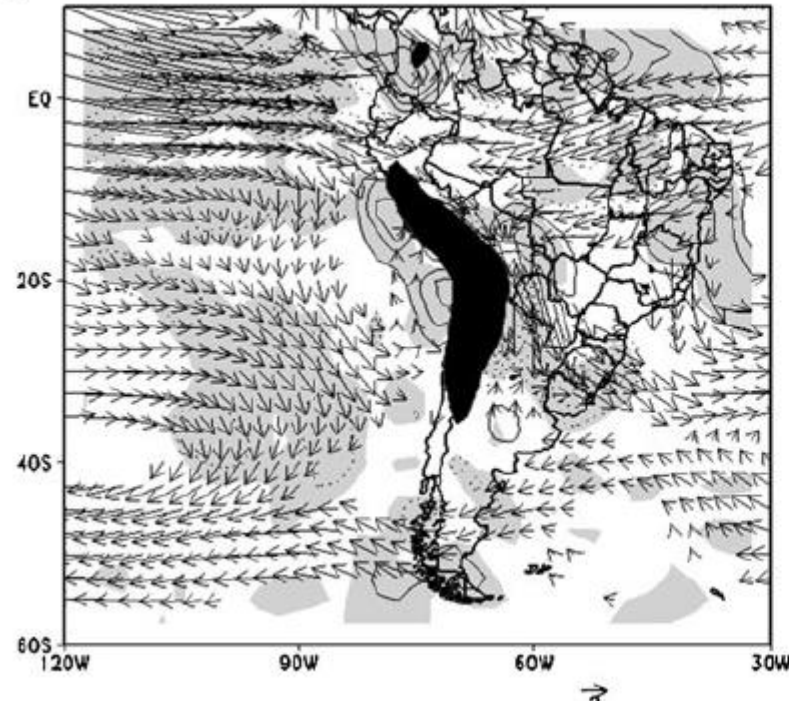
Fig. 1 Anomaly composites during austral summer of EN years for PDO(+) phase or El Niño-like: a Precipitation; b SST. c, d As in a and b but for PDO(-) phase or La Niña-like. Contour intervals are

3 mm day⁻¹ and 0.4°C. Negative contours are *dotted*, and the zero contours are the *continuous line*. Areas where the anomalies are statistically significant according to a *t* test at 90% level are *shaded*

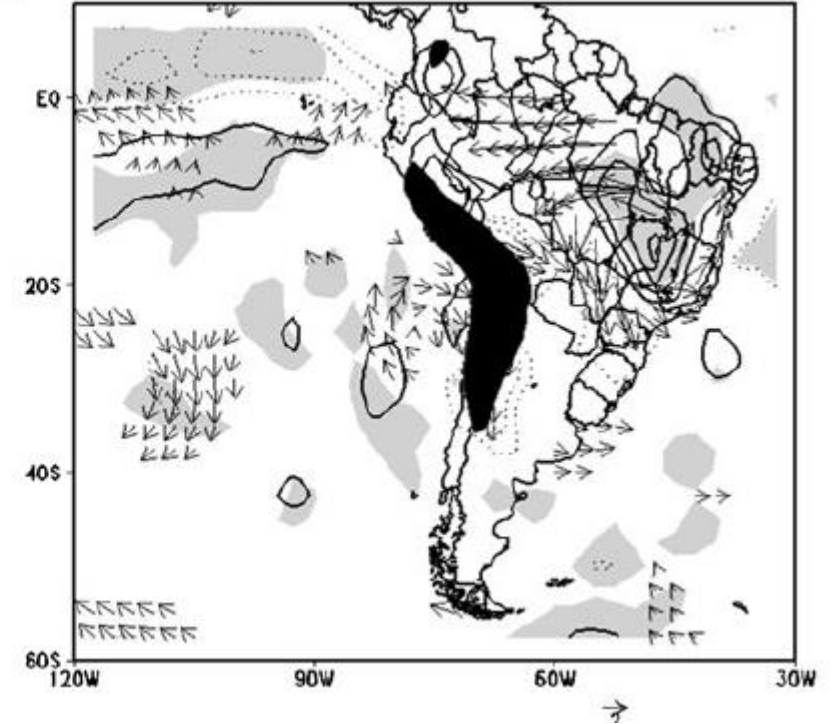
3. Resultados

3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

c EN PDO (+)



f EN PDO (-)



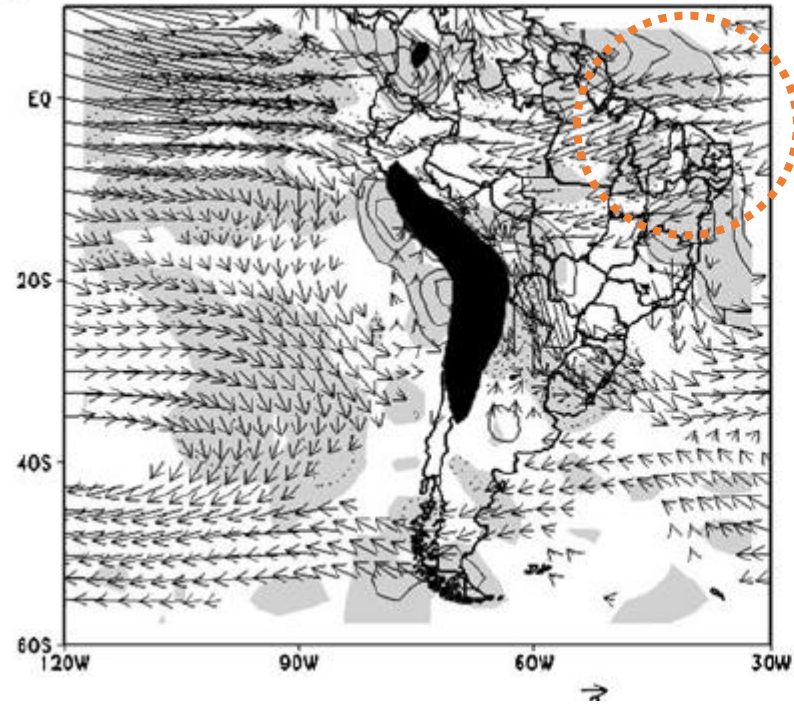
c Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa.

3. Resultados

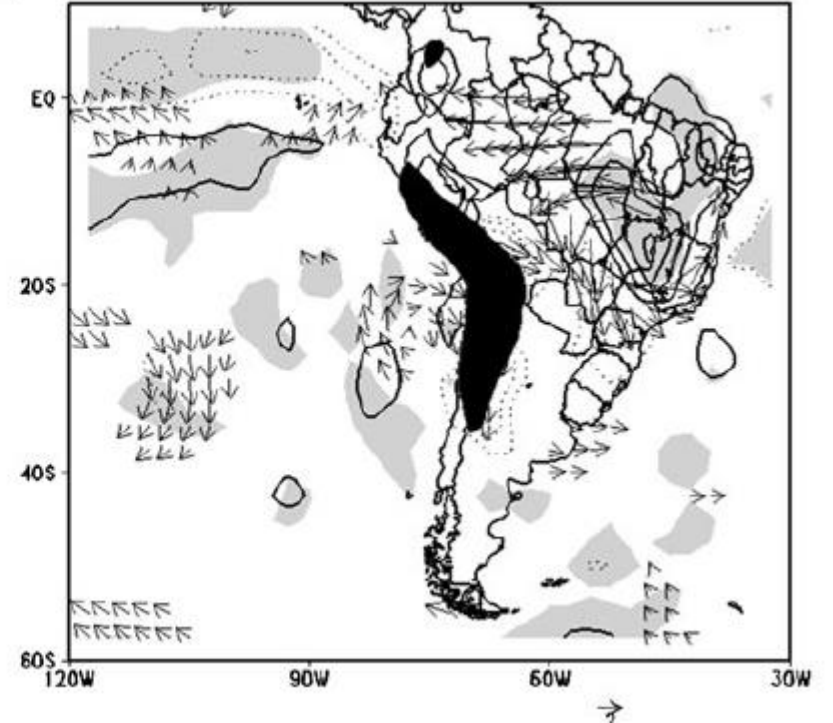
3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- O baixo nível de fluxo de umidade verticalmente integrado e sua divergência (Fig. 2c) mostram fluxo anômalo de leste e divergência sobre o Oceano Atlântico equatorial.

c EN PDO (+)



f EN PDO (-)



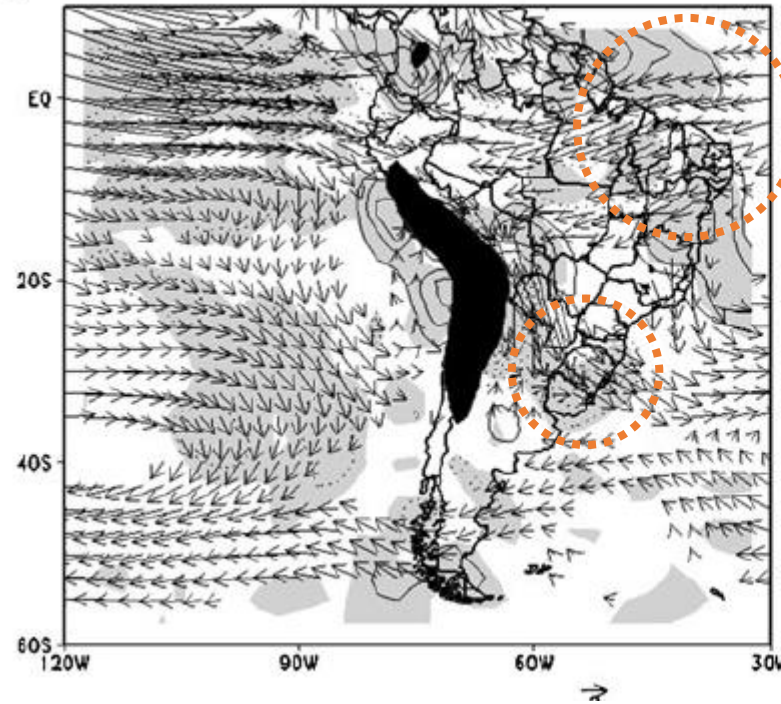
c Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa.

3. Resultados

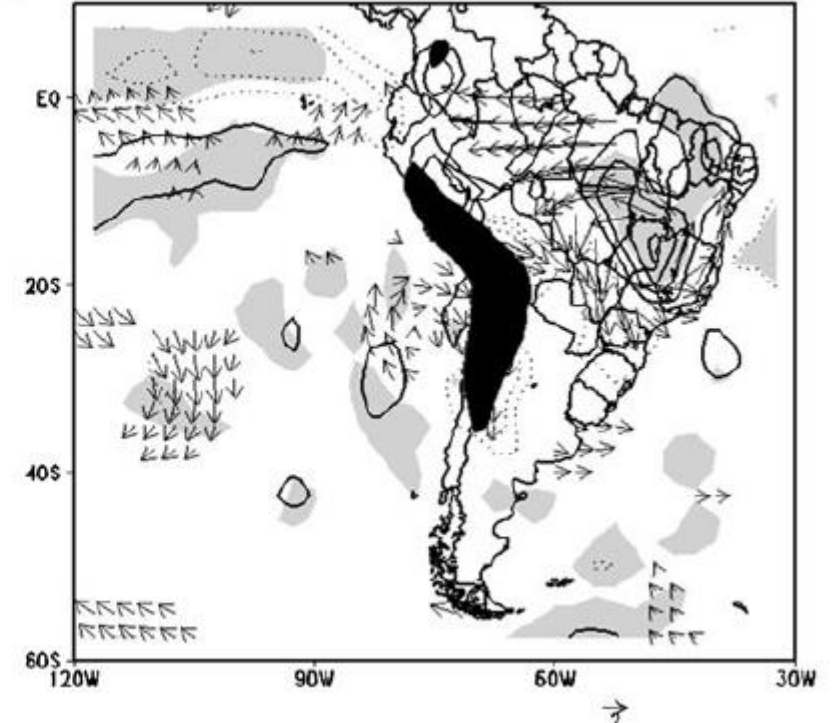
3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- O baixo nível de fluxo de umidade verticalmente integrado e sua divergência (Fig. 2c) mostram fluxo anômalo de leste e divergência sobre o Oceano Atlântico equatorial.
- Além disso, na Amazônia ocidental, observa-se uma divergência anômala do fluxo de umidade, enquanto predominam sobre a porção SESA um fluxo anômalo no noroeste e uma convergência anômala do fluxo de umidade.

c EN PDO (+)



f EN PDO (-)



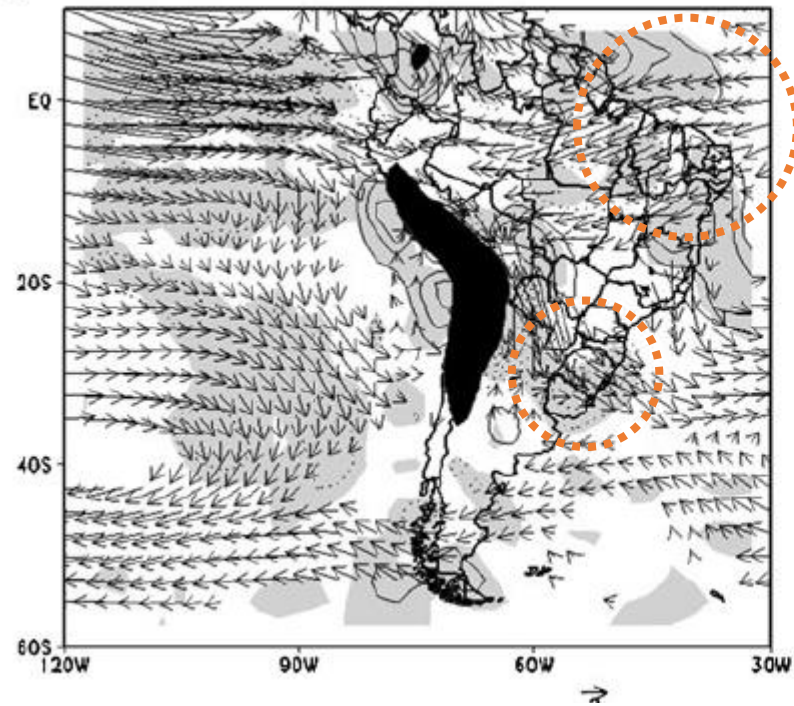
c Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa.

3. Resultados

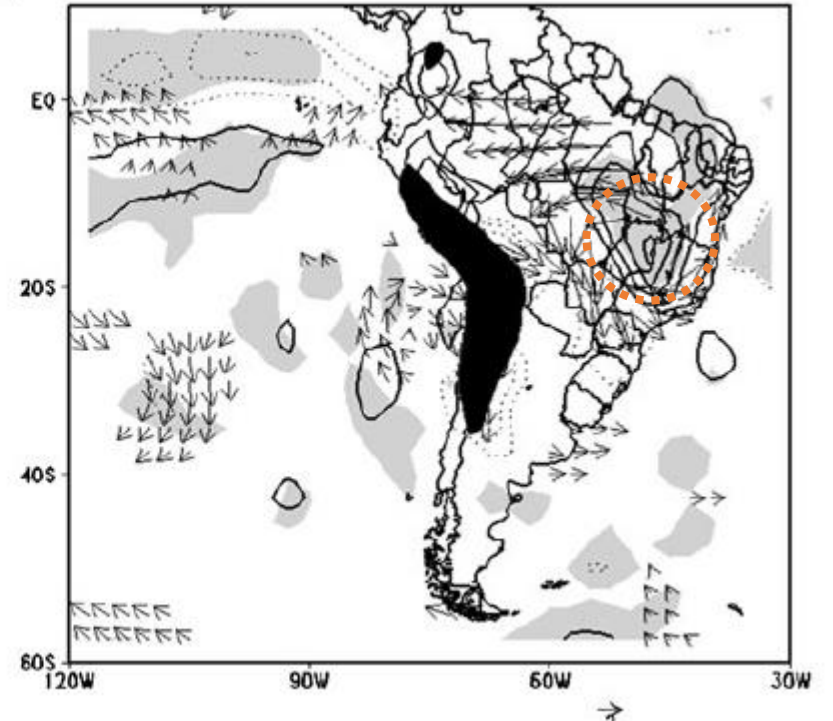
3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Na Fig. 2f, divergência anômala de fluxo de umidade com curvatura anticiclônica no centro-sudeste do Brasil que podem ter contribuído para o enfraquecimento dos ventos de leste na região.

c EN PDO (+)



f EN PDO (-)



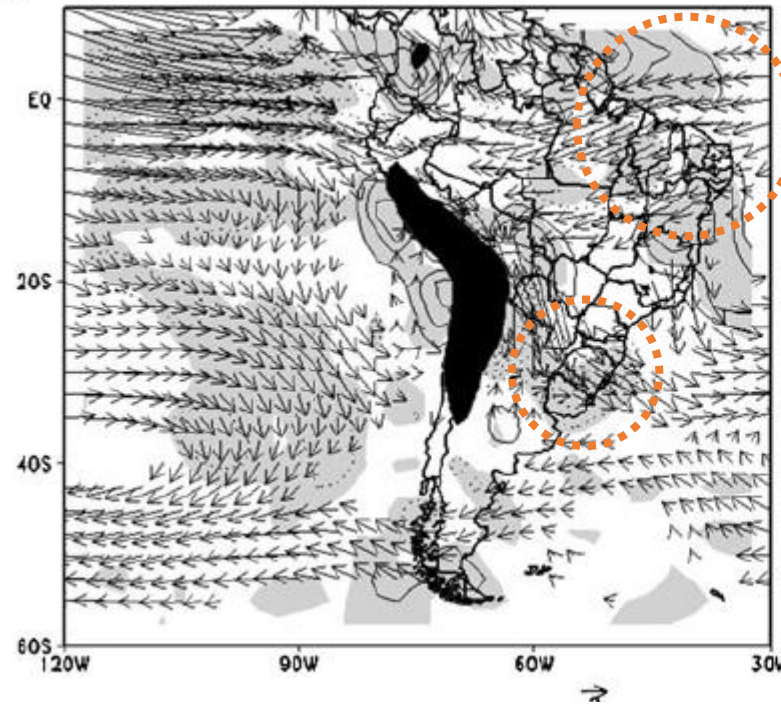
c Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa.

3. Resultados

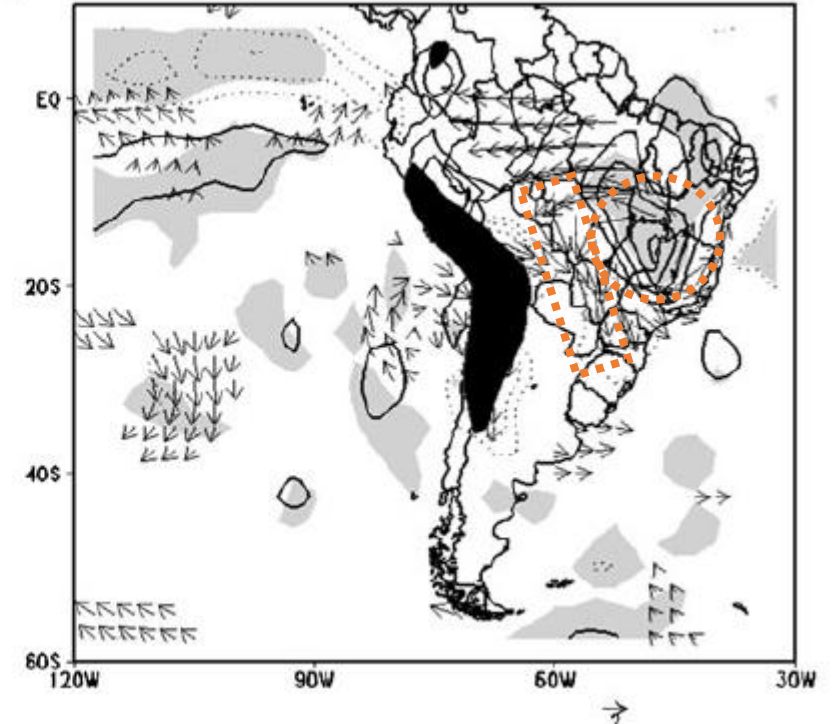
3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Na Fig. 2f, divergência anômala de fluxo de umidade com curvatura anticiclônica no centro-sudeste do Brasil que podem ter contribuído para o enfraquecimento dos ventos de leste na região.
- O ramo oeste da circulação anticiclônica contribui para o intenso fluxo anômalo de umidade meridional da Amazônia para o sul do Brasil, sugerindo que a disponibilidade de umidade da região do Atlântico equatorial é mais importante na geração de anomalias positivas intensas de precipitação na região SESA do que o fluxo de umidade da região amazônica.

c EN PDO (+)



f EN PDO (-)



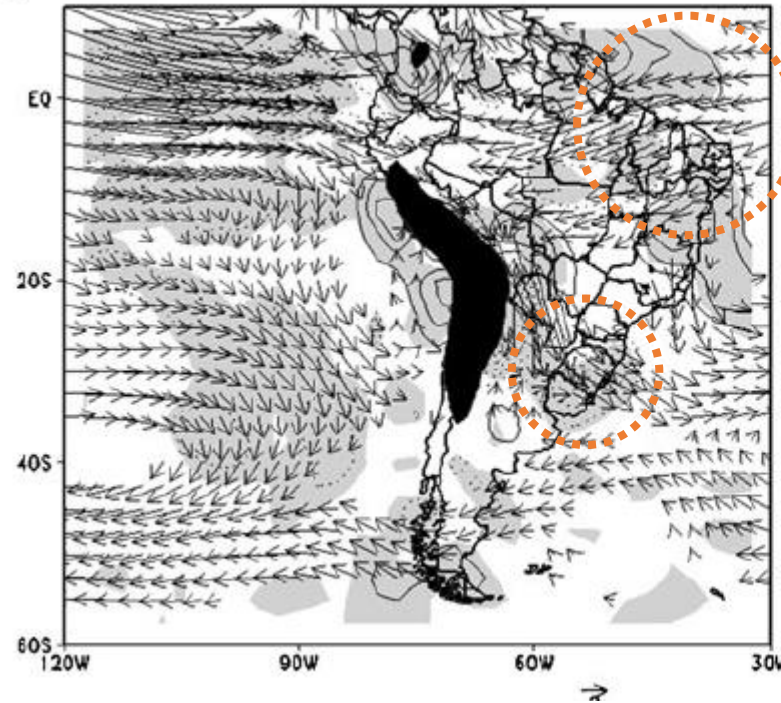
c Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa.

3. Resultados

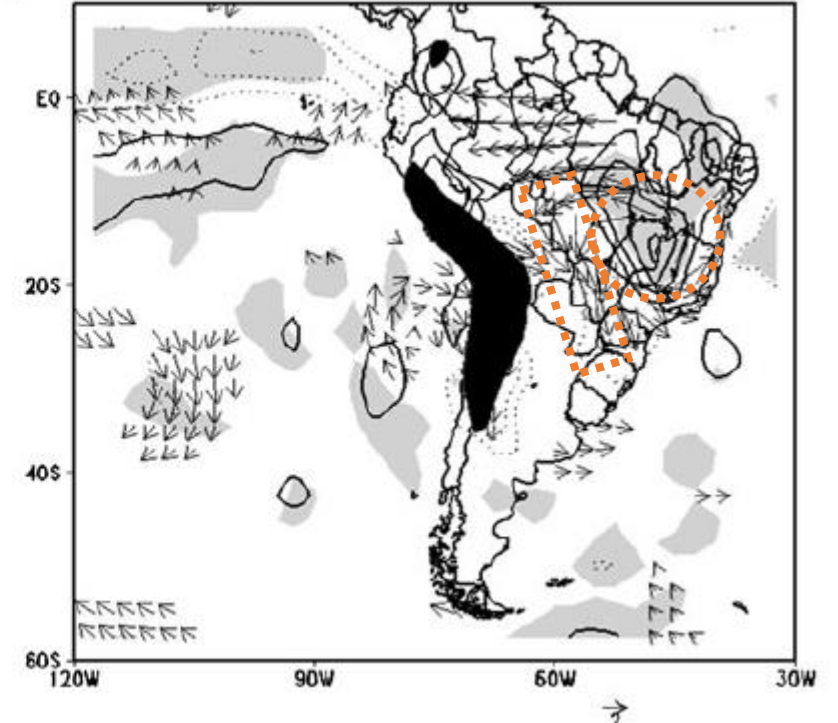
3.1 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: análise observacional.

- Na Fig. 2f, divergência anômala de fluxo de umidade com curvatura anticiclônica no centro-sudeste do Brasil que podem ter contribuído para o enfraquecimento dos ventos de leste na região.
- O ramo oeste da circulação anticiclônica contribui para o intenso fluxo anômalo de umidade meridional da Amazônia para o sul do Brasil, sugerindo que a disponibilidade de umidade da região do Atlântico equatorial é mais importante na geração de anomalias positivas intensas de precipitação na região SESA do que o fluxo de umidade da região amazônica.

c EN PDO (+)



f EN PDO (-)



c Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa.

- De fato, esse padrão parece favorecer as anomalias negativas de precipitação sobre o norte da SESA, uma região que geralmente é afetada pela SACZ oceânica.

2. Dados e Metodologia

Metodologia:

- **Estudo das observações:** a técnica composta foi usada para calcular os padrões anômalos relacionados à EN durante os dois regimes distintos de PDO.
 - Precipitação, SST, função de fluxo assimétrica zonal e mudanças de transporte de umidade.
 - As anomalias mensais das variáveis são calculadas pelas diferenças entre os eventos de EN menos os anos neutros separadamente para cada fase da PDO.
 - Um esquema de rastreamento automático identifica os centros ciclônicos próximos à superfície sobre a parte sul do continente, incluindo o domínio SESA, desenvolvido por Murray e Simmonds (1991). As propriedades analisadas são a Densidade do Sistema (SD) e Pressão Central (CP).
- **Experimentos numéricos com AGCM:** dois experimentos de sensibilidade foram realizados com o objetivo de investigar o impacto das anomalias canônicas da EN SST nas fases opostas da PDO na circulação atmosférica na América do Sul.
 - As condições mensais de SST global e gelo marinho ao longo dos anos, caracterizadas por (a) PDO (+) e (b) PDO (-) foram definidas como “campos de climatologia”.
 - Um composto de anomalias mensais de SST para todos os eventos do El Niño observados em 1950-1999 foi considerada como “forçante EN” (EN SST).
 - Assim, no experimento ENPDO (+), o modelo é forçado pela anomalia composta EN SST no Pacífico Equatorial adicionado às PDOs globais (+). O experimento ENPDO (-) foi forçado com o mesmo EN SST, mas considerando a fase PDO (-).
 - Os experimentos foram realizados de setembro a março, e o período analisado foi de dezembro a fevereiro.

3. Resultados

3.2 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: experimentos numéricos.

- Como a fase da PDO afeta as teleconexões do EN na América do Sul?

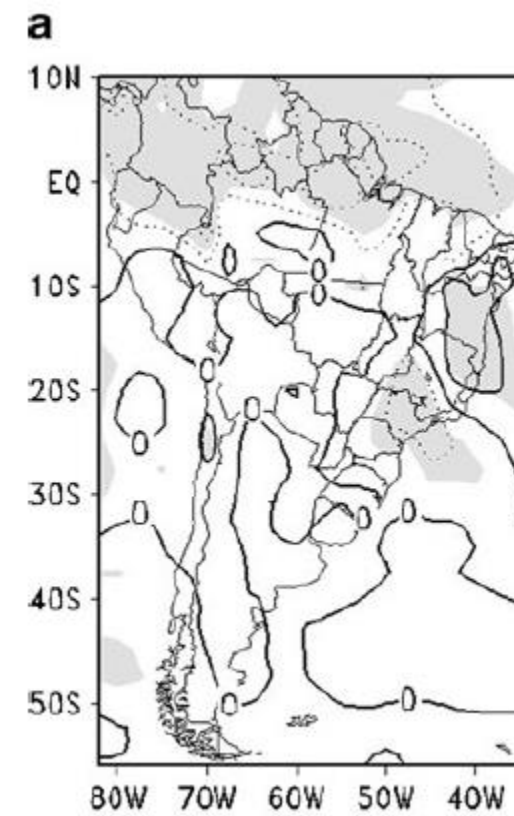


Fig. 5 Difference between the ensemble of the ENPDO(+) and ENPDO(-) numerical experiments. **a** Precipitation; **b** Zonally asymmetric 200-hPa streamfunction— ψ ; **c** 500-hPa Omega— ω ; and **d** Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa. Contours intervals are 1 mm day^{-1} , $2 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, 1 hPa s^{-1} , and 0.5 mm day^{-1} , respectively. Negative contours are *dotted*, and the zero contours are exhibited as *continuous line*. The *shaded* indicates areas where the difference between two mean of the numerical experiments is statistically significant at the 90% level of a two-tailed *t* test assuming 1° of freedom per event

Experiments: ENPDO(+) - ENPDO(-)

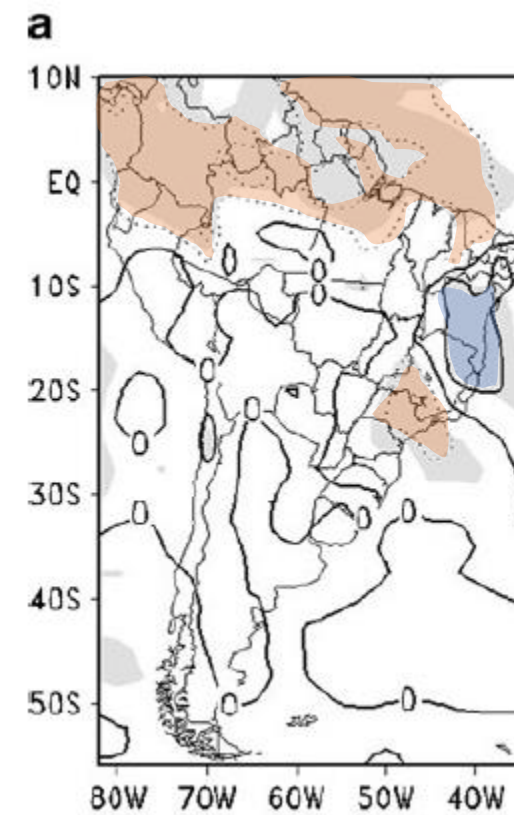
3. Resultados

3.2 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: experimentos numéricos.

- Como a fase da PDO afeta as teleconexões do EN na América do Sul?

A Figura 5 mostra a diferença entre ENPDO (+) menos a ENPDO (-).

- Para precipitação, a diferença mais pronunciada está localizada no continente norte com valores negativos, além de um dipolo meridional com diferença positiva no leste do Brasil tropical e valores negativos na maior parte do Sudeste do Brasil (Fig. 5a).
- Tais diferenças indicam um regime de precipitação mais intenso no continente norte e na maior parte do sudeste do Brasil durante a EN canônica na PDO (-) em comparação com a PDO (+) EN.



Experiments: ENPDO(+) - ENPDO(-)

Fig. 5 Difference between the ensemble of the ENPDO(+) and ENPDO(-) numerical experiments. a Precipitation; b Zonally asymmetric 200-hPa streamfunction— ψ ; c 500-hPa Omega— ω ; and d Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa. Contours intervals are 1 mm day^{-1} , $2 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, 1 hPa s^{-1} , and 0.5 mm day^{-1} , respectively. Negative contours are *dotted*, and the zero contours are exhibited as *continuous line*. The *shaded* indicates areas where the difference between two mean of the numerical experiments is statistically significant at the 90% level of a two-tailed *t* test assuming 1° of freedom per event

3. Resultados

3.2 Circulação atmosférica sul-americana no verão, El Niño e PDO: experimentos numéricos.

- Como a fase da PDO afeta as teleconexões do EN na América do Sul?

A Figura 5 mostra a diferença entre ENPDO (+) menos a ENPDO (-).

- Para precipitação, a diferença mais pronunciada está localizada no continente norte com valores negativos, além de um dipolo meridional com diferença positiva no leste do Brasil tropical e valores negativos na maior parte do Sudeste do Brasil (Fig. 5a).
- Tais diferenças indicam um regime de precipitação mais intenso no continente norte e na maior parte do sudeste do Brasil durante a EN canônica na PDO (-) em comparação com a PDO (+) EN.
- A Figura 5d mostra que as diferenças positivas no fluxo de umidade integrado de baixo nível e sua divergência estão associadas a uma circulação anticiclônica no continente nordeste e no Oceano Atlântico equatorial.

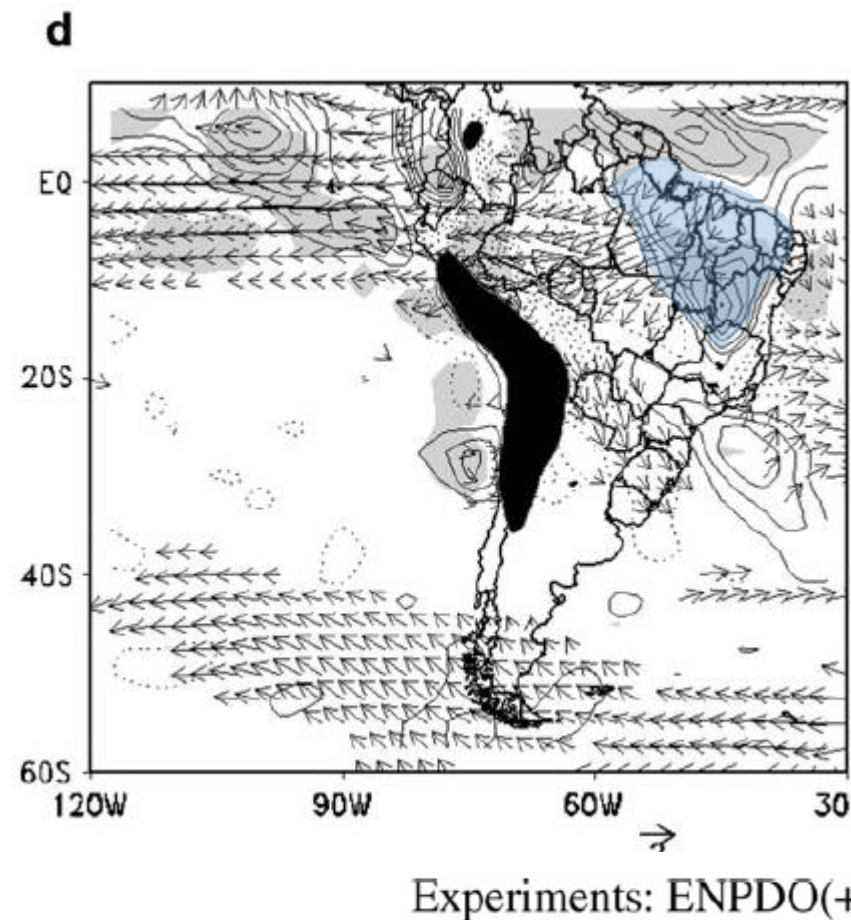


Fig. 5 Difference between the ensemble of the ENPDO(+) and ENPDO(-) numerical experiments. a Precipitation; b Zonally asymmetric 200-hPa streamfunction— ψ ; c 500-hPa Omega— ω ; and d Vertically integrated moisture flux ($\text{g kg}^{-1} \text{m s}^{-1}$) and its divergence between 1,000 and 850 hPa. Contours intervals are 1 mm day^{-1} , $2 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, 1 hPa s^{-1} , and 0.5 mm day^{-1} , respectively. Negative contours are *dotted*, and the zero contours are exhibited as *continuous line*. The *shaded* indicates areas where the difference between two mean of the numerical experiments is statistically significant at the 90% level of a two-tailed *t* test assuming 1° of freedom per event

4. Resumo e considerações finais

- Na Fig. 6a, para os eventos EN durante PDO (+), a presença de anomalias negativas de precipitação no norte da Amazônia (círculo amarelo) e anomalias positivas no SESA (círculo azul) estão associados a intensa anomalias SST positivas sobre o Pacífico equatorial, apresentando valores máximos na bacia oriental (círculo vermelho).

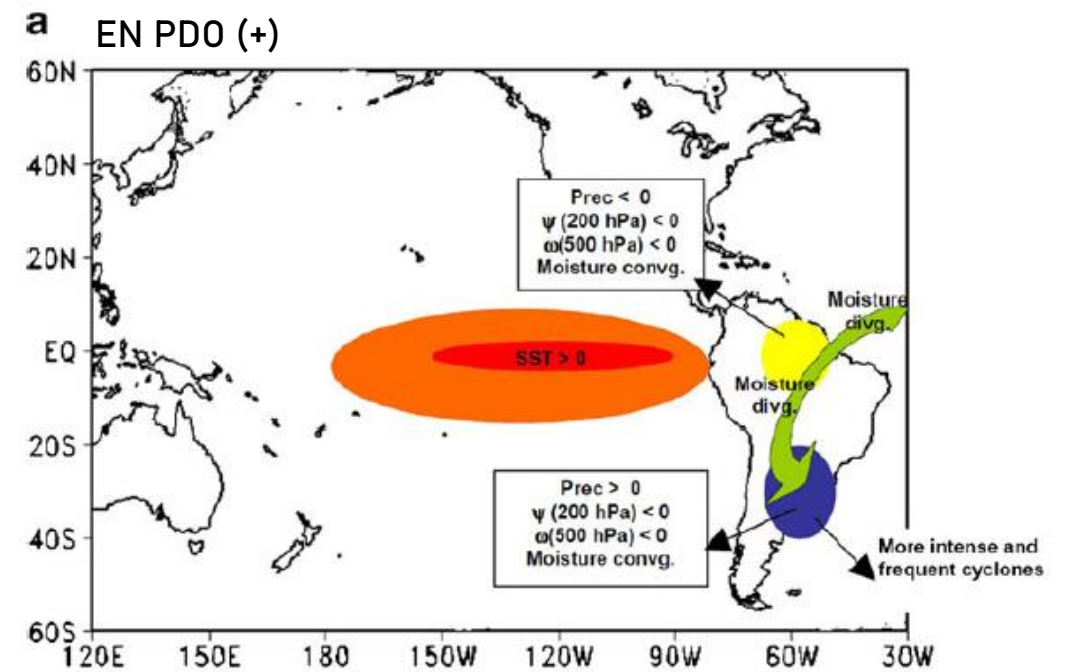


Fig. 6 Conceptual diagram of the observed anomalies obtained from the observational and numerical results during EN events for a PDO(+) and b PDO(-) phases. The *green arrows* represent the meridional moisture flux from the tropics to the extratropics. The weaker SST, precipitation (*Prec*), and atmospheric circulation anomalies occurred during PDO(-) are represented by *light colors* compared to the more intense anomalies occurred during PDO (+) represented by *dark colors*

4. Resumo e considerações finais

- Na Fig. 6a, para os eventos EN durante PDO (+), a presença de anomalias negativas de precipitação no norte da Amazônia (círculo amarelo) e anomalias positivas no SESA (círculo azul) estão associados a intensa anomalias SST positivas sobre o Pacífico equatorial, apresentando valores máximos na bacia oriental (círculo vermelho).
- A divergência anômala do fluxo de umidade (setas verdes) é observada sobre a Amazônia ocidental, seguida por um fluxo anômalo no noroeste e convergência anômala do fluxo de umidade sobre a porção SESA.

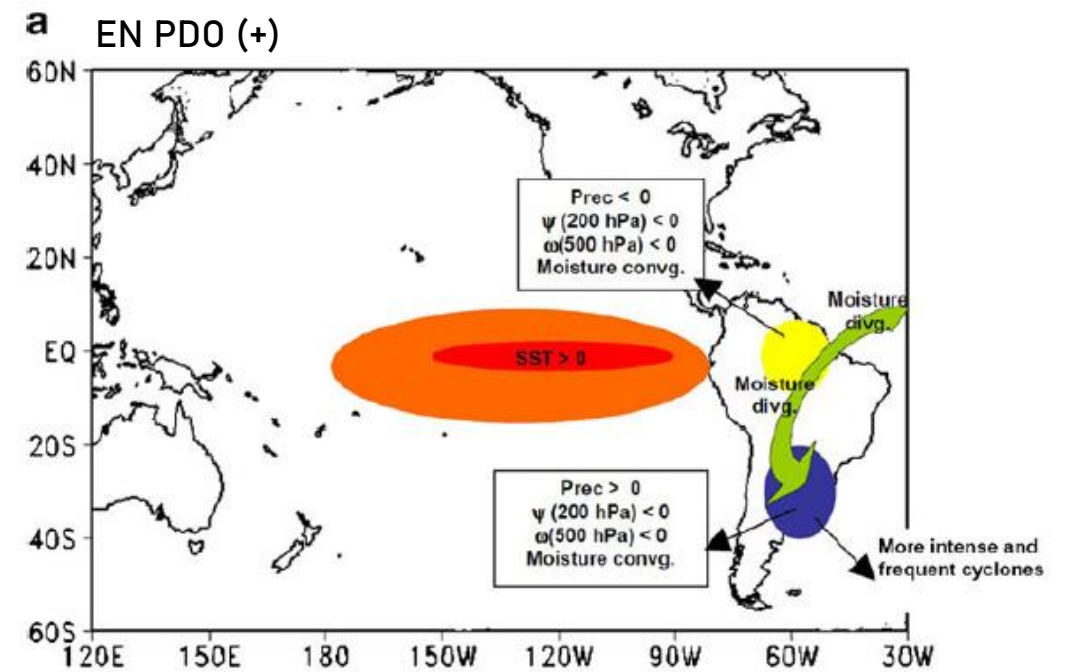
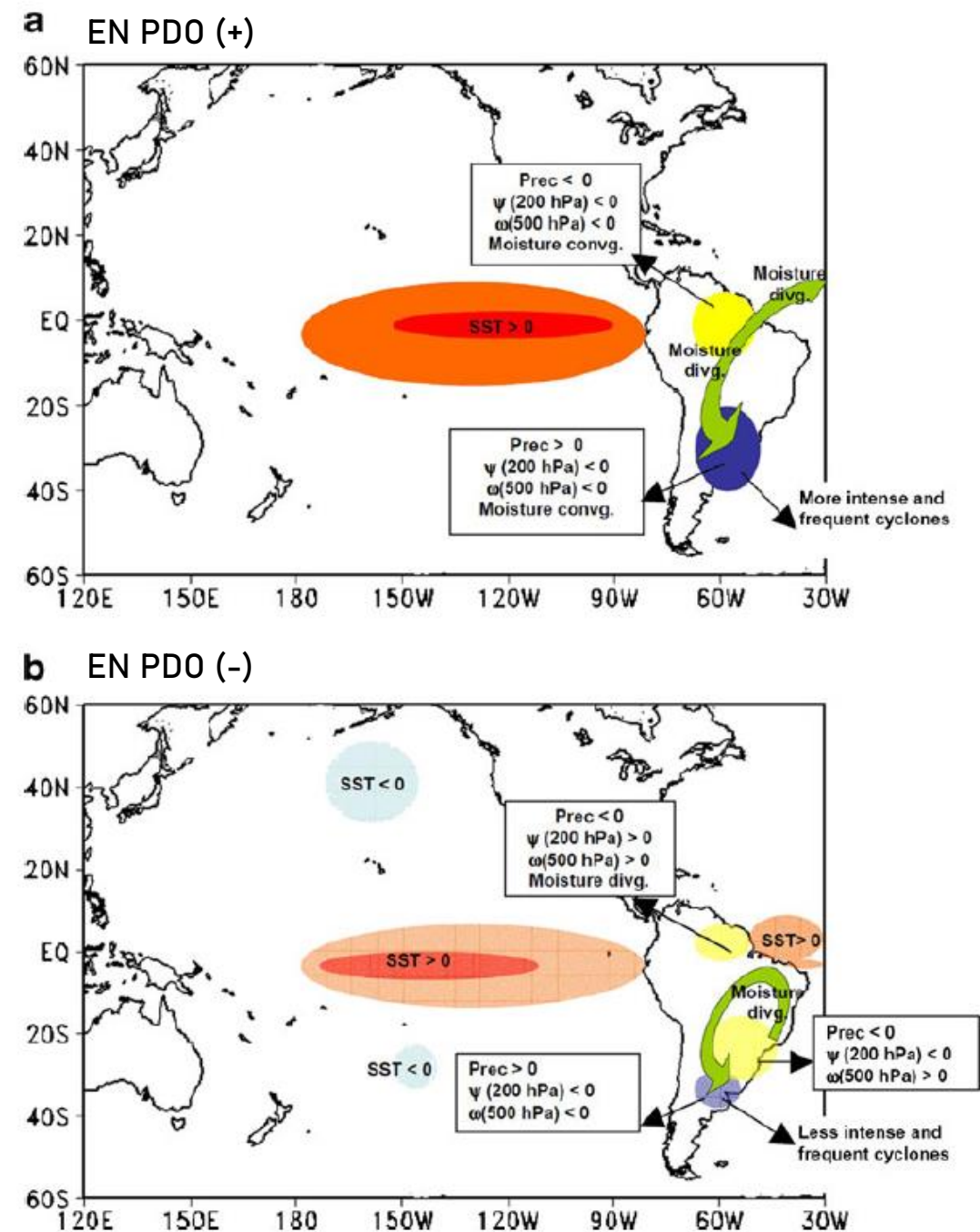


Fig. 6 Conceptual diagram of the observed anomalies obtained from the observational and numerical results during EN events for a PDO(+) and b PDO(-) phases. The *green arrows* represent the meridional moisture flux from the tropics to the extratropics. The weaker SST, precipitation (*Prec*), and atmospheric circulation anomalies occurred during PDO(-) are represented by *light colors* compared to the more intense anomalies occurred during PDO (+) represented by *dark colors*

4. Resumo e considerações finais

- Na Fig. 6a, para os eventos EN durante PDO (+), a presença de anomalias negativas de precipitação no norte da Amazônia (círculo amarelo) e anomalias positivas no SESA (círculo azul) estão associados a intensa anomalias SST positivas sobre o Pacífico equatorial, apresentando valores máximos na bacia oriental (círculo vermelho).
- A divergência anômala do fluxo de umidade (setas verdes) é observada sobre a Amazônia ocidental, seguida por um fluxo anômalo no noroeste e convergência anômala do fluxo de umidade sobre a porção SESA.
- Para os eventos EN durante a PDO (-) (Fig. 6b), a precipitação tende a ser acima do normal na região sul da SESA, mas menos intensa.

Fig. 6 Conceptual diagram of the observed anomalies obtained from the observational and numerical results during EN events for a PDO(+) and b PDO(-) phases. The *green arrows* represent the meridional moisture flux from the tropics to the extratropics. The weaker SST, precipitation (*Prec*), and atmospheric circulation anomalies occurred during PDO(-) are represented by *light colors* compared to the more intense anomalies occurred during PDO (+) represented by *dark colors*



4. Resumo e considerações finais

- Na Fig. 6a, para os eventos EN durante PDO (+), a presença de anomalias negativas de precipitação no norte da Amazônia (círculo amarelo) e anomalias positivas no SESA (círculo azul) estão associados a intensa anomalias SST positivas sobre o Pacífico equatorial, apresentando valores máximos na bacia oriental (círculo vermelho).
- A divergência anômala do fluxo de umidade (setas verdes) é observada sobre a Amazônia ocidental, seguida por um fluxo anômalo no noroeste e convergência anômala do fluxo de umidade sobre a porção SESA.
- Para os eventos EN durante a PDO (-) (Fig. 6b), a precipitação tende a ser acima do normal na região sul da SESA, mas menos intensa.
- Esse padrão anômalo parece influenciar o movimento descendente e a divergência anômala no leste do Brasil, seguido de um enfraquecimento do fluxo de umidade do Atlântico equatorial e redução da disponibilidade de umidade para a região do SESA.

Fig. 6 Conceptual diagram of the observed anomalies obtained from the observational and numerical results during EN events for a PDO(+) and b PDO(-) phases. The *green arrows* represent the meridional moisture flux from the tropics to the extratropics. The weaker SST, precipitation (*Prec*), and atmospheric circulation anomalies occurred during PDO(-) are represented by *light colors* compared to the more intense anomalies occurred during PDO (+) represented by *dark colors*

