

ONDAS DE FRIO, ÍNDICES DE OSCILAÇÃO E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DAS VARIABILIDADES CLIMÁTICAS DE BAIXA FREQUÊNCIA NA AMÉRICA DO SULⁱ

Ondas de frío, índices de oscilación e impactos socioambientales de las variabilidades climáticas de baja frecuencia en América del Sur

Cold waves, oscillation index and socio-environmental impacts of low frequency climate variability in South America

Magaly Mendonçaⁱⁱ

Universidade Federal de Santa Catarina

Hugo Romeroⁱⁱⁱ

Universidade do Chile

Resumo

São apresentadas as trajetórias e características das ondas de frio que afetaram o continente sul americano em 2010 e 2011 causando numerosas perdas de vida, danos econômicos e interrupções nas comunicações e abastecimento de energia. São analisadas as causas climáticas de macroescala que se conjugaram para a ocorrência destes eventos, identificando as condições apresentadas pelo Índice de Oscilação Sul, associado à ocorrência de La Niña; a Oscilação Decadal do Pacífico, que explica o predomínio das águas frias na superfície do mar, a Oscilação do Atlântico Norte e a Oscilação Antártica ou Modo Sul Anular, que favorece a presença anômala de massas de ar frio sobre o continente. As trajetórias das massas de ar complementam a análise espacial de situações geográficas que requerem crescentemente visões integradas entre os países da região.

Palavras-chave: ondas de frio; oscilação sul; La Niña; oscilação decadal do Pacífico; oscilação Antártica; oscilação do Atlântico Norte.

Abstract

The extension and characteristics of cold waves that have affected the South American continent causing numerous life losses, economic damages and interruptions in energy and communications systems are presented. Climatic factors at macro scale level, which were acting together in those days are analyzed, including observed conditions of Southern Oscillation Index, associated to La Niña phenomena; the Pacific Decadal Oscillation, that explains the predominance of sea surface cold waters, the Atlantic Oscillation Index and the Antarctic Oscillation or Southern Annular Mode, which strengths the anomalous presence of cold air masses on the continent. The spatial analyses based on geographical tracks of air masses support a geographical approach that requires a more integrated regional vision including different countries.

Keywords: cold wave; south oscillation; Pacific decadal oscillation; oscillation Antarctic; North Atlantic oscillation.

Resumen

Se presentan los alcances y características de las ondas de frío que afectaron al continente sudamericano en 2010 e 2011 causando numerosas pérdidas de vida, daños económicos e interrupciones en las comunicaciones y abastecimiento de energía. Se analizan las causas climáticas de macroescala que se conjugaron para la ocurrencia de estos eventos, identificando las condiciones presentadas por el Índice de Oscilación del Sur, asociado a la ocurrencia del Fenómeno La Niña; la Oscilación Decadal del Pacífico, que explica el predominio de las aguas frías en la superficie del mar, la Oscilación del Atlántico y la Oscilación Antártica o Modo Sur Anular, que favorece la presencia anómala de masas de aire frío sobre el continente. Las trayectoria de las masas de aire complementan el análisis espacial de situaciones geográficas que requieren crecientemente visiones integradas entre los países de la región.

Palabras clave: ondas de frío; oscilación del sur; oscilación decadal del Pacífico; oscilación Antártica; oscilación del Atlántico Norte.

INTRODUÇÃO

Ondas de frio e neve foram registradas durante as temporadas de inverno de 2010 e 2011 na América do Sul. As ondas de frio intercontinentais, que por vezes ultrapassam a linha do Equador, provocaram enfermidades e morte de pessoas e perdas econômicas,

impactando o desenvolvimento de atividades habituais na cidade e campo, danificando pastagens, culturas e gado na Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Chile, Paraguai e Uruguai. O Deserto de Atacama e seu entorno, situado em latitudes tropicais e subtropicais, que representa uma das regiões mais áridas do

mundo, registrou, durante os invernos de 2010 e 2011, chuvas catastróficas, neve e temperaturas muito baixas.

Em trabalhos anteriores (MENDONÇA e ROMERO, 2010 e 2012 e ROMERO e MENDONÇA, 2011) informamos perplexos a respeito dessas ondas de frio, pois, enquanto a maioria da sociedade está esperando efeitos de aquecimento, parece ser muito raro ter episódios frios frequentes, que alcançam latitudes tropicais, e, que poderiam ser mais bem interpretados como parte de um processo de glaciação.

Neste artigo são apresentadas a identificação e classificação dos tipos de tempo que explicam a ocorrência de ondas de frio e neve nas zonas subtropicais de América do Sul e padrões de circulação de massas de ar, relacionados com o desempenho de alguns índices globais hemisféricos. Inicialmente foram compiladas informações da imprensa, selecionadas a partir de fontes na internet, que relatavam os eventos, provenientes dos distintos países e regiões afetados pelas ondas de frio registradas nos invernos de 2010 e 2011 na América do Sul. Foram analisados dados meteorológicos e cartas sinóticas, dos dias em que a imprensa anunciou a ocorrência de catástrofes, para conhecer a distribuição de frentes e massas de ar e trajetórias das ondas de frio selecionadas. Foram considerados os antecedentes climáticos de macroescala que caracterizaram o inverno dos países do Cone Sul, selecionando-se como modelos explicativos os índices de Oscilação Sul, Oscilação Decadal do Pacífico, Oscilação do Atlântico Norte e Modo Anular Sul ou Oscilação Antártica, obtidos de boletins climáticos elaborados por organismos meteorológicos internacionais. Também foram

consultados os Boletins Climáticos do Departamento de Geofísica da Universidade do Chile e o Boletim Climanalise além de outros relatórios técnicos, disponibilizados na rede pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

A análise geográfica das massas de ar continentais e sua relação com o desempenho de alguns dos indicadores hemisféricos indicados, parecem ser a causa destes eventos climáticos, que estão exigindo inédita mitigação social e medidas de adaptação para esta parte da América do Sul.

A partir da compilação e análise de dados e informações fornecidos pelos serviços meteorológicos nacionais e internacionais e instituições ambientais, busca-se uma perspectiva de macro e mesoescala, que contribua para superar o predomínio dos limites nacionais na interpretação dos fenômenos e eventos climáticos extremos e na compreensão da necessidade de implementar medidas comuns de mitigação e adaptação social. Espera-se que no futuro se possa integrar uma rede de investigação acadêmica em diferentes países sul-americanos, para discutir a relação (espacial) geográfica entre variabilidade de longo e curto prazo e processos de mudança do clima, chamando a atenção sobre a falha nos procedimentos de planejamento urbano e rural, que não têm considerado as variabilidades climáticas como uma fonte de incerteza e de catástrofes naturais.

CARACTERIZAÇÃO DAS ONDAS DE FRIO

Em 2010, grandes ondas de frio cruzaram sobre o Cone Sul da América do Sul no inverno.

Em julho, com a atuação da mais intensa, muita gente, especialmente em áreas urbanas e rurais pobres contraiu enfermidades respiratórias ou faleceu devido à hipotermia, por falta de aquecimento em suas habitações, localizadas em zonas subtropicais, e oportuna assistência médica. Milhares de hectares de terras agrícolas foram cobertos por gelo e neve e a pecuária foi severamente danificada na Patagônia (Argentina e Chile), pela queima das pastagens nos “pampas” (Uruguai, Paraguai, Argentina e Brasil), no planalto meridional no Brasil, vales semiáridos (Chile e Argentina) e altiplanos andinos (Argentina, Bolívia, Chile e Peru). A vida urbana também foi afetada em todos os países, com crise energética em muitas cidades (como em Buenos Aires), que permaneceram sem eletricidade ou foram desconectadas por terra e ar por vários dias, devido à obstrução de rodovias e pistas para poço e decolagem de aeronaves (como na Patagônia). Em 2010, no Brasil, o fenômeno da “friagem”, que se caracteriza pela chegada do ar frio Polar pelo menos até o sul da Amazônia, causando quedas de temperatura de até 10°C, foi registrado por cinco vezes, de maio a agosto. No inverno de 2011, essas condições climáticas foram observadas novamente quase sobre as mesmas áreas, chamando a atenção das comunidades regionais e locais, que estão esperando alguma explicação dos pesquisadores.

Em julho de 2011 vários eventos de neve ocorreram ao longo do altiplano árido Andino e vales semiáridos do Chile, especializados em cultivos de uvas de mesa e paltas (abacate) orientados para a exportação. Estes eventos meteorológicos causaram problemas à produção vegetal, com efeitos socioeconômicos. Em alguns lugares, como

Los Loros em Copiapó (27°S), onde as temperaturas permaneceram abaixo de 0° C durante muitos dias, não havia registros históricos da ocorrência de neve.

As ondas de frio abrangem grandes porções da atmosfera e diferem das geadas ou esfriamentos locais, cuja origem é essencialmente radiativa, comprometendo as camadas limites atmosféricas. O comportamento atmosférico ligado às ondas de frio inclui pressões atmosféricas anormalmente altas, céu claro, redução ou substituição das precipitações líquidas, períodos de geadas e temperaturas anormalmente baixas.

As ondas de frio correspondem a tipos de tempo que representam variabilidades de grande escala espacial e curto prazo temporal, que cobrem por três ou mais dias os territórios da América do Sul, provocando uma brusca e persistente diminuição de temperaturas que acentua os dias de frio típicos de inverno. As ondas de frio se produzem regularmente, porém as de maior magnitude e alcance espacial se devem à sinergia de um conjunto de fatores: Fase Positiva da Oscilação Sul, com Fenômeno La Niña, Fase Fria da Oscilação Decadal do Pacífico, Fase Positiva da Oscilação Antártica e Fase Negativa da Oscilação do Atlântico Norte (NAO).

VARIABILIDADES DE BAIXA FREQUÊNCIA

As ondas de frio correspondem a episódios climáticos extremos e como tais, o incremento em sua frequência e severidade se associam às mudanças climáticas de mediano prazo, de carácter anual ou multianual, que caracterizam a variabilidade dos climas sul-americanos e que se expressam como

aparentes teleconexões entre diversas regiões e lugares.

Nesta seção são apresentadas algumas das variabilidades de baixa frequência, que se acredita estejam relacionadas com a recorrência dos episódios de frio, principalmente em função de algumas combinações entre elas.

O Fenômeno El Niño, associado às anomalias positivas do índice de Oscilação Sul e a altas temperaturas superficiais do mar produz chuvas abundantes no Chile Central e em muitos lugares do sul do continente, porém ao mesmo tempo é responsável por estiagens (secas) persistente no Altiplano Andino e no Norte e Nordeste do Brasil. Os anos frios de La Niña, ao contrário, produzem secas ou redução significativa das chuvas no Chile Central e Sul do Brasil e chuvas abundantes no Altiplano e no interior do nordeste brasileiro.

As variações do Índice de Oscilação Sul (Southern Oscillation Index - SOI), calculado como a diferença normalizada entre a pressão atmosférica no nível do mar registrada nas estações do Taiti e Darwin (Austrália), que representam as bordas ocidentais e orientais da bacia do Pacífico Sul (multiplicada por 10 ou índice de Troup), indicavam que desde março de 2010 se registrou a fase mais positiva já observada desde 2005, o que explica a ocorrência de ventos do Sudeste, o traslado das águas frias da Corrente de Humboldt até latitudes subtropicais e a ocorrência de La Niña, sob a qual se registraram as ondas frias de 2010. Desde 1951 que não se registravam anomalias de temperaturas superficiais do mar tão baixas quanto às registradas no Fenômeno La Niña das costas do Pacífico Sudeste como as de março de 2010 (Boletim DGF, 2010 y 2011).

As mudanças no transporte de umidade

repercutem na distribuição das chuvas. Na América do Sul, o evento La Niña aumenta as precipitações nas regiões tropicais e diminui nas latitudes médias e altas, em ambas vertentes da Cordilheira dos Andes. Também influi nas anomalias negativas de temperatura, pois com a redução das diferenças de temperatura entre o Polo Sul e o Equador, há o enfraquecimento da corrente de jato, o que contribui para as frentes se deslocarem mais rapidamente pelo sul chegando muitas vezes a latitudes tropicais. A correlação entre o Fenômeno ENOS e as precipitações foram comprovadas em alguns estudiosos (ZANG et al., 1997; ROBERTSON e MECHOSO, 2000; MARENGO, 2004). Correlações entre a temperatura e o ENOS também foram comprovadas para o Sul do Brasil (GRIMM, 2009).

Para identificação dos índices que configuram o evento La Niña foi utilizado o Índice Niño Oceânico (Oceanic Niño Index - ONI) pelo qual a NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) considera como um evento ENOS, o limite de +/- 0,5°C para a anomalia da TSM da região Niño 3.4 observada em pelo menos cinco trimestres. A região Niño 3.4 sobre o Pacífico Equatorial é considerada aquela em que as anomalias de TSM possuem maior impacto no regime de circulação atmosférica da América do Sul.

Com respeito à Oscilação Decadal do Pacífico (ODP ou Pacific Decadal Oscillation - PDO), se trata de uma mudança nos padrões de temperatura do Oceano Pacífico do Norte (que também se reconhece no Pacífico Sul (URIBE, 2007), que ocorre em ciclos de 20 a 30 anos. A fase positiva ou quente (fria ou negativa) se registra quando as anomalias nas temperaturas superficiais do mar no Pacífico

do NW (ou do SW no Pacífico Sul) são negativas (positivas) enquanto que as anomalias da superfície do mar do Pacífico Equatorial Oriental são positivas (negativas) (MAXWELL e HOLBROOK, 2002; NOAA, 2002; MANTUA et. al., 1997). Ainda que derivado de dados de temperatura superficial do mar, o índice PDO se correlaciona altamente com muitos registros climáticos e ecológicos do Pacífico do Norte e do Noroeste, incluindo pressão ao nível do mar, temperatura e precipitações na terra e no mar. Há correlação ainda entre ODP e ENOS, que cria um efeito que atua construtivamente (destrutivamente) quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase (fase oposta) (KAYANO e ANDREOLI, 2007). Isso pode significar que anos de La Niña e fase fria da ODP, o padrão de anomalia negativa da temperatura seja mais evidente do que quando ocorre El Niño e fase fria da ODP ou La Niña e a fase quente da ODP.

A Oscilação Decadal do Pacífico apresentou uma fase negativa nos índices trimestrais nas somas dos meses desde 2009, que seguiu a uma fase positiva apresentada entre 2003 y 2009. Enquanto entre 1976 y 1999 predominou claramente uma fase positiva, com posterioridade se alternaram com fases frias, a uma das quais correspondem o período das ondas de frio analisadas.

O Índice de Oscilação Antártico (Antarctic Oscillation - AAO) também se denomina Modo Anular do Sul (SAM ou Southern Anular Mode) e corresponde à diferença estandarizada da pressão atmosférica zonal ao nível do mar entre as latitudes 40 y 65°S. Os padrões de pressão atmosférica associados a SAM são anulares em torno a um grande centro de baixas pressões centrado no Polo Sul e que se elevam até anéis de alta pressão localizados nas latitudes medias.

Quando o SAM é alto se produzem importantes anomalias dos ventos zonais (Oestes) que aumentam suas velocidades em uma ampla banda ao redor dos 55°S. Uma elevação do Índice da Oscilação Antártica provoca condições anormalmente secas no sul de América do Sul, Austrália e Sul da África, ao mesmo tempo em que os fortes ventos zonais aumentam o isolamento da Antártica, reduzindo o intercambio de calor com os trópicos e provocando um esfriamento deste continente e dos mares que o rodeiam, originando as massas de ar que são responsáveis pelas ondas de frio. A análise do Índice de Oscilação Antártica demonstra uma elevação sistemática no ano 2010. Carvalho et. al. (2005) relacionam a intensificação (redução) da circulação entre os trópicos e as latitudes médias com as fases negativas (positivas), argumentando que os ciclones tendem a se formar e se deslocar para latitudes mais baixas na fase negativa. Santos e Franco (2010) indicam que na fase positiva há configuração de bloqueios com início nos setores central e leste do Oceano Pacífico Sul e persiste sobre a costa leste da América do Sul e Oceano Atlântico Sul. O Pacífico Sul ativa um padrão de circulação que conduz a um sistema de bloqueios sobre o setor oceano leste e sul aumentando os períodos de estiagem na fase positiva de AAO. Sobre a costa leste da América do Sul, a fase positiva contribui para um clima mais úmido que o normal no norte da Argentina e sul do Brasil. Isto talvez explique o aumento na frequência episódios de precipitação nival e acumulação de neve por mais tempo e em maior espessura no período.

A Oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation* - NAO) representa uma variabilidade sazonal que tem maior impacto

no tempo e clima das regiões do Atlântico Norte e de alguns continentes vizinhos, como a América do Sul (HURREL, 1995). Na fase positiva, durante o inverno do Hemisfério Norte (DJF), a Baixa pressão da Islândia e Alta pressão dos Açores (ou Alta Subtropical do Atlântico Norte) ficam mais intensas o que intensifica os ventos oestes sobre o Atlântico Norte. Estes causam tempestades mais frequentes e mais intensas cruzando o Atlântico Norte numa trajetória mais meridional, gerando invernos mais quentes e úmidos na Europa e leste dos EUA e mais frios e secos no norte do Canadá e Groenlândia. Na América do Sul a intensificação da Alta pressão dos Açores favorece a intensificação dos ventos alísios de nordeste em direção ao continente, aumentando o transporte de umidade que penetra mais para o interior. Na fase negativa a Baixa da Islândia e Alta dos Açores ficam menos intensas do que o normal, o que torna os ventos de oeste mais fracos sobre o Atlântico Norte, reduz a frequência e intensidade das tempestades que o cruzam numa trajetória mais zonal, acarretando invernos mais úmidos no Mediterrâneo e mais frios no norte da Europa e no leste dos EUA e temperaturas de inverno mais amenas na Groenlândia. O enfraquecimento da Alta pressão dos Açores na América do Sul contribui para o enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste e conseqüentemente reduz o transporte de umidade para o interior da América do Sul. No período investigado, nos invernos de 2010 e 2011, os índices da NAO foram sempre negativos. A pouca penetração da umidade no interior do continente pode também ter influenciado na maior penetração das ondas de frio pelo oeste do continente, costeando os Andes.

CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS DE FRIO REGISTRADAS NA AMÉRICA DO SUL

O período entre 2010 e 2012 foi marcado pela persistência de La Niña, cujo Índice Oceânico Niño (ONI) de -0,8 marcou seu início no trimestre JJA de 2010. O episódio retrocedeu um pouco em 2011 nos trimestres AMJ a JAS, caracterizando uma fase de neutralidade com ONI ainda negativo.

Em maio de 2010 já foram registradas temperaturas abaixo da média tanto no Chile como no Brasil. No centro sul do Chile (30 e 40° S), as temperaturas ficaram abaixo das médias das máximas e mínimas, com anomalias negativas entre -1,5° C e -3,2° C, assim como anomalias negativas e positivas nas temperaturas diárias e alta frequência de geadas, especialmente nos vales interiores da região situada entre 38 e 41° S (Boletim Climático DGF, maio 2010). De maneira semelhante, a incursão de massas de ar frio também influenciou no declínio da temperatura máxima no Brasil, antecipando condições meteorológicas típicas de inverno na maior parte do centro sul, com registro de geadas e dois episódios de friagem no oeste do Mato Grosso e em Rondônia no sul da Amazônia (INFOCLIMA, JUNHO, 2010).

Em junho tanto no Chile como no Brasil foram registradas anomalias positivas de temperatura, entretanto pelo menos quatro episódios anormalmente frios foram registrados no centro sul do Chile, especialmente em Santiago (33°S), que repercutiram também no Brasil. As anomalias negativas neste mês em Santiago foram de -2,0 a -2,5°C. O episódio registrado no dia 02 que seguiu o último de maio ocorreu no Brasil nos dias 03 e 04 com atuação de um anticiclone de

1030 hPa que causou resfriamento na costa tropical, intensificando a atuação da massa de ar frio seguinte, entre 05 e 07, que causou o único episódio de friagem do mês no sul da Amazônia, em Rondônia (13°S). Neste período registrou-se geadas no interior do centro sul do Brasil e temperaturas inferiores a -5°C abaixo de 40°S no Chile. No dia 08, um anticiclone com 1043hPa, posicionado no Atlântico (42°S 41°W), causou anomalias negativas de temperatura no sul do Brasil até o dia 15. Em Santiago outros dois episódios de frio foram registrados nos dias 10 e 20, enquanto entre os dias 15 e 22 foram registradas temperaturas abaixo de -9,4°C no extremo sul do Chile. Nos dias 25 a 27, baixas temperaturas foram registradas de Santiago a São Paulo (23°S), onde em Campos do Jordão, região serrana, foi registrada a mínima de -0,2°C (BOLETÍN CLIMÁTICO DGF E CLIMANÁLISE, JUN., 2010).

Em julho de 2010 uma sequência de seis massas frias reduziram as temperaturas nas regiões tropicais do Brasil. No dia 4, uma massa de ar frio com centro de 1034 hPa atuou na faixa leste do Brasil, chegando a São Paulo, onde na região serrana em Campos do Jordão, as temperaturas baixaram entre os dias 1 e 8 a respectivamente 2,4 e 2,0° C. Na sequência outras duas massas com centros de 1020 e 1024 hPa, entre os dias 8 e 10, reduziram a temperatura de 4° para 2,8° C no extremo sul do Rio Grande do Sul (33°S). A partir de 12 de julho se registrou a mais forte onda de frio do século XXI no continente sul Americano (FIGURA 1). No Chile, o sistema frontal ingressou no dia 10 de julho, por Curicó (35°S), com a massa de ar frio em sua retaguarda causando a maior nevada registrada nos últimos 30 anos em Aysén, alcançando a neve 70 cm de altura em Coyhaique (45°S), a cidade

capital de uma das regiões mais austrais do Chile e a um metro e meio em Balmaceda (46°S), que se localiza a Este de Coyhaique. As temperaturas regionais caíram a -15°C e numerosos povoados permaneceram isolados por vários dias. No dia 12 essa intensa massa de ar frio ingressou no Rio Grande do Sul estendendo-se desde o sul ao Centro Oeste e Sudeste do Brasil. No dia 13 uma estação do centro da cidade de Santiago registrou temperatura de -1,9°C enquanto outra, na região do aeroporto, localizado no NE da cidade, alcançou -4,5°C. Em 16 de julho a onda de frio se havia estendido pelo continente e se registraram temperaturas muito baixas no centro da Argentina, onde alcançou os 9,4°C negativos, em Villa Reynolds na Província de Buenos Aires (34°S), ao mesmo tempo em que grandes regiões desse país e Uruguai ficaram abaixo da neve, produzindo-se um caos no abastecimento de energia.

No mesmo dia o centro do anticiclone associado encontrava-se na Argentina com 1043 hPa e a massa já atingia o sul da Amazônia causando a friagem, no Mato Grosso, onde a temperatura máxima em Cuiabá (15°S) declinou 9,2° C entre os dias 12 e 13, com registro de mínima de 9,7° C no dia 18, quando o anticiclone com 1034 hPa posicionou-se sobre o Atlântico. No sul da Amazônia brasileira (cerca de 10°S), algumas localidades registraram temperatura mínima inferior a 16°C. No sul, o município de São Joaquim (27° S), registrou no dia 14 a temperatura mínima de -5,2°C, segundo dados do INMET, sendo também registrada precipitação de neve em 10 municípios no planalto de Santa Catarina (CLIMANÁLISE, JUL. 2010).

No Rio Grande do Sul a mínima foi -4,9°C em Cambara do Sul e temperaturas inferiores a

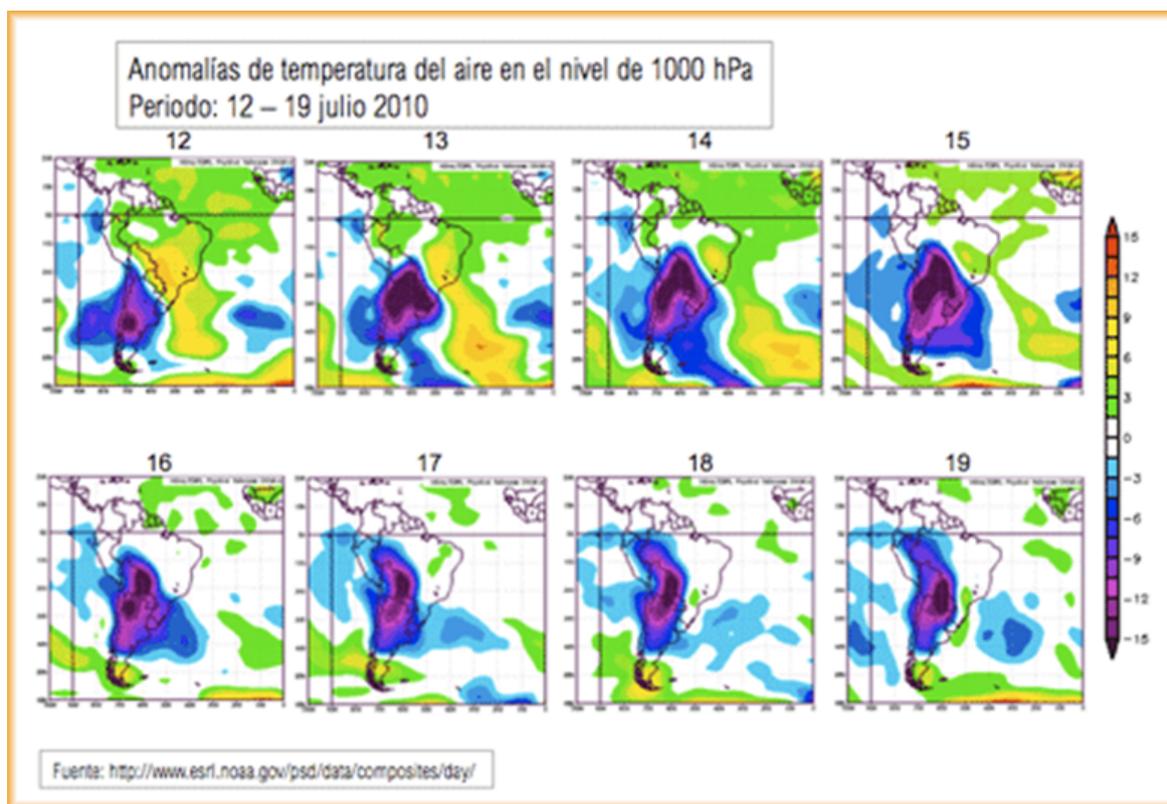


FIGURA 1 - Trajetória da onda de frio mostrando a entrada pelo Chile e seu deslocamento pelo continente entre os dias 12 e 19 de julho de 2010. As cores representam gradiente horizontal da temperatura junto à superfície. Fonte: Noaa.

5°C foram registradas em Porto Alegre e Florianópolis. No Centro Oeste se registraram 4,7°C em Campo Grande, Mato Grosso do Sul e 10°C em Vilhena (12°S), Rondônia.

Em Iquitos (3°S), Amazônia peruana, se registraram temperaturas baixas em torno dos 14,2°C no dia 18 e 15,5°C em 19 de julho e em outros lugares alcançaram somente a 9°C. Na serra andina peruana, a temperatura chegou a cair a -25°C. Nevou no Chaco boliviano e paraguaio.

Cidades equatoriais brasileiras, como São Gabriel da Cachoeira, na fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela, registraram em 19 de julho uma mínima de 16,4°C. Em Boa Vista (2°49'N), a capital do Estado de Roraima, localizado no extremo norte de Brasil, a mínima foi de 20,9°C, demonstrando que a influência do frio antártico ultrapassou a linha do equador.

Registraram-se pessoas mortas no Brasil, Bolívia, Argentina, Peru, Chile, Paraguai e Uruguai. Na Bolívia, o país mais pobre da região, se contaram 23 mortos, especialmente por hipotermia, a maioria dos quais eram indigentes que residiam no Departamento (Estado) de Santa Cruz (17°S). No Peru, o governo contabilizou 104 pessoas mortas, devido aos efeitos do frio, com casos de pneumonia e outras enfermidades respiratórias, ainda que não indicasse quantas pessoas morreram por hipotermia. Na Argentina, no mesmo período, 13 pessoas morreram de hipotermia e outras 33 por intoxicação por monóxido de carbono, devido ao uso de calefadores em mal estado. No Paraguai se registraram cinco mortes e no Chile duas, causadas por hipotermia. Milhares de cabeças de gado morreram no Brasil, Paraguai e Chile. No Chile se decretou

emergência agrícola em três regiões do sul do país.

Após esta onda de frio de fluxo contínuo, outras três atingiram o sul do Brasil, a primeira com anticiclone que se posicionou no oceano, na altura de Baía Blanca com centro de 1034 hPa e a última que chegou no oeste do RS no dia 31 causando um declínio de temperatura em Santana do Livramento, onde a mínima passou de 12,9°C, neste dia, para 3,0°C no dia seguinte (CLIMANÁLISE, JUL., 2010). A chegada dessa massa marcou também um segundo episódio de frio anômalo no Chile que se estendeu do dia 29 até a primeira semana de agosto (FIGURA 2), atuando ao sul de 30° S, causando geadas generalizadas e temperaturas de -10,6 em Coyhaique e -19,7 em Balmaceda. Na região metropolitana de Santiago, na estação do centro da cidade se registrou no dia 4, mínima de -1,4° C e geadas nos dias 3,4 e 9, enquanto na região do aeroporto foram registradas sete geadas (BOLETÍN CLIMÁTICO DGF, JUL., 2010).

A partir de 1° de agosto esta massa atuou sobre todo o sul do Brasil, centro-oeste e sul da Amazônia, causando geadas e neve em dez municípios do planalto de Santa Catarina mais próximos ao mar. No sul da Amazônia, a temperatura mínima declinou de 18,7°C para 12,3°C, entre os dias 2 e 4 (Fonte: INMET), caracterizando outro episódio de friagem. No dia 02 de agosto foram registradas mínimas de -2,7°C em Cambará do Sul (Rio Grande do Sul), -2,5°C em São Joaquim (Santa Catarina), 2,1°C no município paranaense de General Carneiro e geadas na madrugada em 15 estações meteorológicas da região Sul do Brasil. Em Bom Jesus (28°S) a mínima declinou para -3,0°C. Em São Joaquim, os termômetros marcaram -2,8°C no dia 04 e no dia seguinte, no estado de Mato Grosso do Sul houve registro de geada em Dourados (20°S) e de temperatura mínima de 1,9°C em Ponta Porã (23°S), sendo esta a terceira menor temperatura do País (Fonte: INMET). Na região metropolitana de São Paulo foi registrada temperatura de 10,5°C

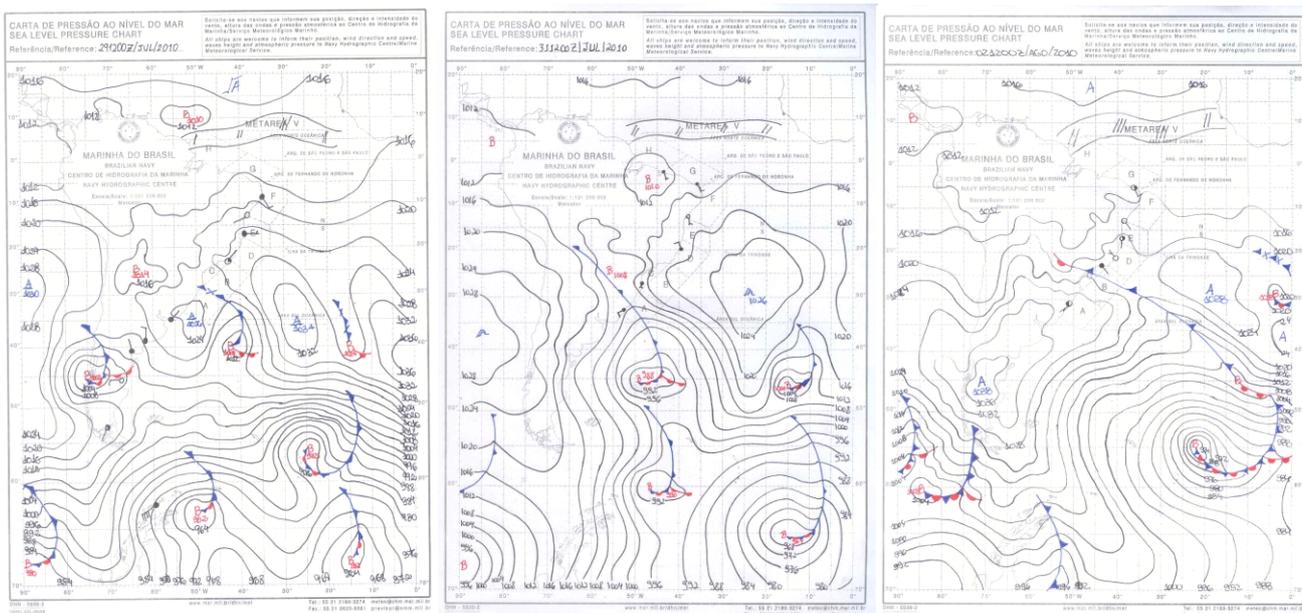


FIGURA 2 - Sequência de cartas sinóticas mostrando a atuação da massa de ar frio que ingressou pelo Chile no dia 29 de julho. A frente fria deslocava-se pelo sul do Brasil no dia 31 com um ciclone extratropical no Atlântico. No dia 02 um anticiclone com centro de 1038 hPa na Patagônia Argentina manteve as temperatura baixas até o dia 4/08/2010.
Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação.



FIGURA 3 - Fotos das paisagens nevadas do planalto catarinense.

Fonte: METSUL

na madrugada do dia 05 (CLIMANÁLISE, AGO., 2010).

Neste evento nevou em 11 municípios de Santa Catarina, em seis pela primeira vez em 11 anos. A neve caiu de forma contínua e intensidade moderada, deixando acúmulo generalizado de 5,0 cm, mas também de aproximadamente 15 cm e 30 cm nos pontos mais elevados. As geadas também atingiram todo estado com exceção da zona costeira (FIGURA 3). A onda de frio atuou em todo Cone Sul e causou queda brusca da temperatura no sul e oriente da Bolívia, inclusive negativas, para uma normal superior a 20,0°C. O prefeito de Santa Cruz de la Sierra (oriente) declarou alerta na região pela morte de 6 milhões de peixes por causa da onda de frio.

Após a rápida passagem de uma massa de trajetória costeira que chegou ao sul da Bahia, outra massa de ar frio continental atuou sobre o RS e sudoeste do Mato Grosso do Sul no dia 13/08, com anticiclone associado que se deslocou pelo centro oeste e sudeste do Brasil, posicionando-se sobre o Atlântico, onde atingiu 1036 hPa no dia 17, atuando no Estado da Bahia até o dia 19. Temperatura mínima foi registrada em Urubici (SC), igual a -3,7°C e em

General Carneiro (PR), igual a -2,5°C, segundo dados do INMET. Geou em várias localidades da Região Sul. No estado do Paraná, na cidade de Maringá (23° S), as temperaturas oscilaram entre 6,2°C e 6,9°C. Está massa também entrou pela região central do Chile e causou, entre os dias 13 e 15 de agosto, geadas no vale central de Curicó para o sul, entretanto em Santiago iniciou-se um período anormalmente quente, entre os dias 12 e 29 de agosto, que resultou em temperatura média máxima 0,4°C acima e média mínima 0,2°C abaixo da média climatológica do período 1961-2000 (BOLETÍN CLIMÁTICO DGF, AGO, 2010).

As entradas de ar frio no Brasil amenizaram as temperaturas e elevaram os baixos valores de umidade relativa do ar que predominaram ao longo deste mês no setor central do Brasil. Registrou-se ainda elevados totais diários de precipitação em algumas cidades no setor centro-sul no sul do país, além de granizo devido à atuação conjunta do jato em baixos níveis e um sistema frontal (INFOCLIMA, AGO., 2010).

Junho de 2011 iniciou com acentuado declínio das temperaturas no centro-sul do Brasil, com ondas de frio que atingiram o país nos dias 4 e 5, 14 e 26 a 28. No dia 2 uma frente

fria encontrava-se na costa do Chile e no dia 03 um anticiclone já se configurava na Patagônia Argentina com 1020 hPa intensificando-se para 1029 hPa no oeste da Buenos Aires. As incursões de massas de ar frio causaram acentuado declínio de temperatura no sul e centro sul do Brasil e o fenômeno de friagem no Acre. Em Urupema, Santa Catarina, registrou-se $-4,2^{\circ}\text{C}$, no dia 4 e $-7,9^{\circ}\text{C}$ no dia 5. Em 06 de junho também foram registradas nevadas no vale do Elqui, no interior de La Serena (30°S). Entre Santiago e Curicó, ao sul, as anomalias estiveram entre $-1,6$ e $-2,0^{\circ}\text{C}$ (BOLETIM TÉCNICO, JUN. 2011 E INFOCLIMA, JUL., 2011).

No dia 13 um anticiclone migratório com 1027 hPa estava sobre o Atlântico e no dia 14 foi registrada temperatura mínima de $-5,8^{\circ}\text{C}$ em Urupema. No dia 26, registrou-se o primeiro episódio de neve na Região Sul (FIGURA 4), com temperatura mínima negativa em várias localidades. O frio resultou de uma alta pressão continental de 1032 hPa no oeste da Patagônia Argentina, a qual migrou da Alta Subtropical do Pacífico. Os dias subsequentes foram ainda mais frios com mínimas de $-3,2$ em São Joaquim no dia 27 e $-6,2$ em Cambará do Sul no dia 28, segundo dados do INMET. No centro-sul do Brasil, as chuvas ocorreram predominantemente abaixo do esperado, exceto no oeste de Santa Catarina e Rio Grande do Sul pela caracterização de um ciclone extratropical. (BOLETIM TÉCNICO, JUN. 2011 E INFOCLIMA, JUL., 2011).

No Chile, na segunda metade do mês, foram registradas condições mais frias ao norte de 43°S e alta frequência de geadas na região central, associada a menor cobertura noturna do céu e ingresso de massas de ar frio associadas a sistemas frontais, atmosfera seca e



FIGURA 4 - Imagem de sincelos formados pelo congelamento da água em Urupema-SC.
Fonte: CPTEC/INPE.

altas pressões. Condições extremas foram registradas nos dias 18, 28 e 29, com média diária cerca de 4°C inferior à média climatológica. Em Santiago a mínima do mês ($2,8^{\circ}\text{C}$) foi $2,1^{\circ}\text{C}$ inferior à média climatológica de $4,9^{\circ}\text{C}$. A manhã mais fria ocorreu no dia 26, quando foram registradas mínimas de $-1,7^{\circ}\text{C}$ no centro de Santiago e $-3,0^{\circ}\text{C}$ na região do aeroporto. Foram registradas geadas matinais nos setores rurais da região metropolitana entre 22 e 28. (BOLETÍN CLIMÁTICO DGF, JUN., 2011).

A ocorrência de neve no sul do Brasil no dia 26 de junho de 2011 esteve relacionada com uma massa de ar frio de características polares e aporte de umidade mantida pelo giro do ciclone extratropical, que atuou próximo à costa brasileira (FIGURA 5), impulsionada pela ação de um vértice ciclônico em nível médio, que contribuiu para o confinamento do ar frio em toda a coluna, apresentando-se com o modelo clássico do fenômeno na região. O fenômeno foi previsto com dois dias de antecedência pelo Grupo de Trabalho de Previsão (GTP), devido à experiência do previsor e o uso do modelo numérico ETA, que roda operacionalmente no CPTEC, com resolução horizontal de 20 km. A população foi

alertada através da internet, televisão e defesa civil, entretanto a massa de ar que continuou atuando no continente causou queda de temperatura desde o Rio Grande do Sul até o sul do Acre, abrangendo os estados do Centro Sul incluindo São Paulo e Minas Gerais. Apesar de a neve ser efêmera no Brasil, as baixas temperaturas acarretam transtornos e neste evento houve impacto no setor econômico e social, que determinaram perdas humanas e materiais, principalmente no setor agrícola (PINHEIRO, 2011).



FIGURA 5 - Imagem mostrando o posicionamento do anticiclone e ciclone extratropical responsáveis pela queda de neve e significativo resfriamento do continente sul americano.

Fonte: Boletim Técnico - CPETC/INPE

Em julho de 2011, pelo menos, quatro eventos de ondas de frio e neve foram registrados sobre paisagens subtropicais. No Chile foram de 3 a 8 e de 30 a 31 causadas por baixas segregadas e dois outros de 08 a 17 e de 24 a 28 gerados por sistemas frontais associados a cavados extratropicais. Nos primeiros episódios mencionados, acumularam-se de 15 a 30 cm de neve em setores da pré-cordilheira dos Andes em vales da Região de Atacama e Coquimbo. A nevasca foi acompanhada de ventos com intensidades

superiores a 20 m/s em localidades situadas acima dos 2.500 m de altitude. Estes episódios geraram situações críticas no transporte de carga e passageiros para Argentina e Bolívia e no desenvolvimento das atividades das mineradoras na alta cordilheira. Foram registradas temperaturas entre -0,7 e -1,7° C da média mensal máxima diária condições anormalmente frias no norte do Chile (entre Arica e La Serena). No sul entre 36 e 40° S (Chillan e Valdívía) as anomalias foram de -0,5 e -1,3° C e as geadas foram frequentes totalizando 13 dias no interior de Valparaíso, 15 dias na Região Metropolitana de Santiago e 17, ao sul da mesma, em O'Higgins. Neste mês o Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) foi mais intenso que a média (BOLETÍN CLIMÁTICO DGF, JUL., 2011).

A alta pressão pós-frontal que atuou em 26 de junho, com centro de 1030 hPa na Argentina, continuou causando acentuado declínio das temperaturas durante a primeira quinzena de julho sobre o centro-sul do Brasil, causando o fenômeno de friagem no sul da Amazônia. No dia 03 uma alta pressão no norte da Patagônia Argentina com 1035 hPa esteve acoplada a alta pressão de 1028hPa, situada a leste, atuando no Uruguai, centro-sul do Brasil, Paraguai e sul da Bolívia. No Brasil, se registraram temperaturas mínimas negativas no planalto, em municípios do Sul do Brasil como Cambará do Sul-RS (-5,6°C, no dia 4 e -6°C no dia 05), Urubici-SC (-6,2°C, no dia 4) e Urupema-SC (-6,9°C no dia 05). Em Ponta Porã, no sul do Mato Grosso do Sul, registrou-se 4,5°C na manhã do dia 04. Na cidade de Villhena-RO, a mínima declinou de 20,3°C para 12,6°C, entre os dias 1 e 4, caracterizando mais um episódio de friagem. Já na segunda quinzena, as mínimas excederam os valores

médios históricos no centro-sul do Brasil, principalmente no sul do Mato Grosso do Sul e São Paulo e no Paraná, onde os valores ficaram acima da média em até 5,0°C (BOLETIM TÉCNICO, JUL. 2011 E INFOCLIMA, AGO., 2011).

Em 11 de julho de 2011 a imprensa peruana divulgou a dramática situação de agricultores e turistas presos pelas piores tormentas de neve em vinte anos, que levou o governo solicitar ajuda aos países vizinhos para as tarefas de auxílio e resgate, para as quais necessitava de helicópteros para levar ajuda às comunidades isoladas e maquinaria pesada para desobstruir rodovias. A nevasca foi registrada nas terras altas e normalmente áridas de Potosí, no sudoeste da Bolívia. Os agricultores perderam seus cultivos e os rebanhos de lhamas e alpacas ficaram sem pastagem (CRONICAVIVA, 2011).

Em 31 de julho a neve caiu sobre o Deserto de Atacama, obrigando o fechamento de rodovias de acesso à cidade de Antofagasta pelo sul (DIARIO ANTOFAGASTA, jul. 2011). Esses episódios de frio e neve, causados por centros de baixa pressão frios em altitude, parecem estar também associados aos avanços dos anticiclones migratórios pela costa leste da cordilheira dos Andes, merecendo um aprofundamento das investigações desta conexão. Agosto foi um mês quente e com ocorrência de baixos valores de umidade relativa do ar na maior parte do Brasil (INFOCLIMA, SET., 2011).

A RECORRÊNCIA DAS ONDAS DE FRIO E OS ÍNDICES DAS VARIABILIDADES DE BAIXA FREQUÊNCIA

As ondas de frio registradas em julho e agosto de 2010 foram comparadas no Brasil

com as ocorridas em 1955, que também abarcaram uma extensa zona e estiveram associadas a um sistema de alta pressão continental, que superou os 1040 hPa. Naquele ano, o frio afetou a grande parte do território brasileiro, inclusive o Centro-Oeste e o Norte do país. As geadas que acompanharam o evento destruíram grande parte dos cultivos das regiões afetadas. A onda de frio foi associada a um evento La Niña intensa no Pacífico, durante a fase negativa da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), que se estendeu entre 1947 e 1976. Curiosamente no Chile, as condições registradas em uma estação do centro urbano de Santiago em julho foram comparadas as de 1967 quando a temperatura mínima média do mês foi de 1,1° C. Há registros de onda de frio também na Argentina em 1967.

As condições oceânicas e atmosféricas em junho de 2011 ainda mostravam alguns sinais do fenômeno La Niña na região equatorial do Oceano Pacífico, com destaque para as regiões com anomalias negativas de temperatura nas camadas subsuperficiais do Pacífico Central, porém numa situação de neutralidade do evento ENOS (Infoclima, ago., 2011).

A análise de cartas sinópticas e boletins técnicos publicados pelo Centro de Previsão Meteorológica e Estudos de Clima e o Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) mostraram que dois padrões diferentes de circulação de massas de ar explicaram tais características. O mais frequente foi um deslocamento de sistemas frontais por células de alta pressão migratória que atravessaram o continente americano seguindo uma trajetória entre os oceanos Pacífico e Atlântico. Neste caso, o Anticiclone

semipermanentes do Pacífico tem avançado no continente, reforçando células de alta pressão migratória que se deslocam para sudeste transpondo as encostas Andinas e deslocando-se a sotavento para o norte da América do Sul. A configuração de altas pós-frontais com deslocamento e posicionamento sobre o Atlântico reforçaram os resfriamentos nas cidades costeiras do sudeste do Brasil. A transposição das massas frias em torno da latitude de Santiago também parece ser uma característica das ondas de frio. As altas migratórias durante os períodos de ondas frias apresentaram centros com pressões de 1030 a 1043 hPa. As características dos fluxos polares descritos remetem a trabalhos de Monteiro que na década de 1960 descreveu as ondas de frio no Brasil (1963) e a intensidade dos fluxos polares (1969) preocupado nem tanto com o frio, mas com as precipitações. Ele classificou os fluxos polares em dominante, alternado (oscilante), interrompido, fraco e nulo (MONTEIRO, 1969). Caracterizou o fluxo contínuo como o mais raro e forte; dependente do máximo abastecimento do ar polar no sul do continente e que produz o fenômeno da friagem na Amazônia.

Este foi o que ocorreu em julho de 2010 e de 1955, eventos em que o frio polar cruzou o Equador. Entretanto, nos anos 2010 e 2011, percebe-se um incremento do fluxo dominante, quando as condições de abastecimento de ar polar foram menos intensas na vertente atlântica, mas anticiclones poderosos causaram anomalias negativas de mais de 10°C na zona intertropical, pelo menos no sul da Amazônia (Rondônia e Acre) e Bolívia. O resfriamento no sul do Chile e Argentina, Uruguai, Centro-Sul do Brasil e Paraguai foi forte, com ocorrência de geada e

neve nas áreas mais elevadas e latitudes subtropicais. O fluxo alternado, o mais comum, é caracterizado pelo equilíbrio de forças entre as massas Polar e Tropical e por um curto período de domínio da massa fria. Os demais são caracterizados pelo domínio das massas quentes. Os fluxos mais intensos são típicos de inverno, embora possam ocorrer no outono, inclusive em abril (MENDONÇA, 2002). No fluxo dominante o choque frontal é acentuado e centralizado no trópico, onde ocorrem as maiores perturbações e pluviosidade. O sistema frontal após ultrapassar o trópico avança até o sul da Bahia e mesmo até o Rio São Francisco. Os tipos de fluxos extremos (contínuo e dominante) produzem fracas precipitações e forte resfriamento no sul do Brasil. A formação de um ciclone extratropical após o Rio da Prata, no Uruguai ou RS, na fase de avanço da massa polar, assinala que esta será forte e poderá atingir latitudes bem baixas (MONTEIRO, 1969). Quando a massa polar cruza os Andes nas proximidades de 32°S, associada a um ciclone extratropical, o giro anti-horário do anticiclone, desloca parte do frio andino para o ciclone posicionado oceano. Assim são gerados ventos predominantemente de Oeste (W, SW e NW), fortes, frios e secos, denominados "minuano" no Rio Grande do Sul e característicos dos eventos de frio mais intenso (MONTEIRO e FURTADO, 1995). Na passagem da frente fria é frequente a ocorrência de temporais isolados com ventos fortes, especialmente quando há um VC associado. A massa de ar frio, que desloca a frente fria, provoca queda significativa na temperatura, favorecendo episódios de geadas nas áreas mais altas e dependendo do conteúdo de umidade sobre o planalto, a

precipitação de neve (MONTEIRO e MENDONÇA, 2007).

No Brasil foram registradas Ondas de Frio também em 1957, 1965, 1975, 1984, 1988, 1991, 1994, 1996, 1999, 2000 y 2004, associadas à ocorrência de eventos La Niña ou com anomalias negativas de temperaturas do mar na costa da América do Sul. Os três primeiros e os três últimos anos da serie de ondas frias ocorreram nas fases frias da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), que correspondem a variações na temperatura do mar entre latitudes tropicais e extratropicais, cuja duração supera as variabilidades interanuais causadas por El Niño e La Niña. Os eventos de 1984 e 1996 ocorreram em uma fase quente da ODP e associadas a um mínimo solar.

Neste trabalho realizamos um recorte, analisando apenas os meses mais característicos do inverno, embora eventos de frio intenso tenham sido registrados em outros meses. Para tentar explicar a ocorrência de ondas de frio, tão intensas e frequentes, buscamos analisar os índices das variabilidades de baixa frequência, uma vez que o fenômeno ENOS não tem sido suficiente para justificar as anomalias de temperatura e de precipitação. Deste modo, organizamos o quadro (FIGURA 6) buscando uma correlação

e comparação dos índices disponíveis.

Observando o quadro percebe-se que, em 2010, o índice (ONI) que caracteriza o evento La Niña esteve mais forte, enquanto em 2011, no inverno, predominaram condições de neutralidade. Por outro lado, em 2011 o sinal da Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) esteve mais forte nestes meses. Já o AAO que foi positivo em 2010, enfraqueceu e tornou-se negativo nos meses de inverno de 2011, permitindo maiores trocas de calor entre a Antártica e os trópicos. Entretanto as condições de anomalias de temperatura, o registro de geada e ocorrência de neve foi igualmente importante neste ano, talvez compensado pelo fortalecimento do sinal negativo da PDO. É possível considerar também os índices negativos da Oscilação do Atlântico Norte, que em alguns meses esteve mais forte, como em maio de 2010, quando ocorreram dois episódios de friagem. Embora em julho tenha estado mais fraco, observa-se que o índice Antártico foi o mais forte do período, podendo transportar frio até latitudes mais baixas. Em agosto a combinação mais forte foi entre os índices do fenômeno ENOS e a PDO, também entre os mais fortes do período. Em 2011, a neutralidade do fenômeno ENOS e o índice negativo da Oscilação Antártica parecem ter

Ano		2010					2011			
Mês/índices	ONI	OAA	PDO	NAO		ONI	OAA	PDO	NÃO	
Maio	0,2	1,021	+0,62	-1,49		-0,4	1,266	-0,37	-0,66	
Junho	-0,3	2,071	-0,22	-1,82		-0,2	-0,099	-0,69	-1,28	
Julho	-0,8	2,424	-1,05	-0,42		-0,2	-1,384	-1,86	-1,51	
Agosto	-1,2	1,510	-1,27	-1,35		-0,3	-1,202	-1,74	-1,35	

FIGURA 6 - Índices de variabilidade de baixa frequência observados para a região da América do Sul, com influência na ocorrência das ondas de frio: Índice Oceânico Niño (ONI), Oscilação Antártica (AAO), Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e Oscilação do Atlântico Norte (NAO).

Fonte: NOAA.

sido compensados pelo fortalecimento do índice negativo da PDO, os mais altos do período. Foram registradas três friagens de maio a julho. O sinal negativo da Oscilação do Atlântico Norte também esteve fortalecido. Isto demonstra que mais importante que cada variabilidade em si, é a combinação delas que comanda a circulação atmosférica continental.

CONCLUSÕES

Desastres naturais associadas a condições meteorológicas extremas e variabilidades climáticas poderiam ser muito mais complicados do que a ocorrência de uma única tendência de aquecimento para a mudança climática, situação desconhecida pelas autoridades públicas da América do Sul. As ondas de frio registradas demonstram que uma combinação de fatores regionais e hemisféricos pode contribuir para o desenvolvimento de eventos extremos, condição que deve ser tomada em consideração na concepção e implementação de estratégias de adaptação.

Uma avaliação dos efeitos ambientais, econômicos e sociais demonstra que as instituições regionais e locais não estão preparadas para integrar as tendências de mudança e variabilidade do clima no planejamento territorial de ocupação e usos do solo rural e urbano para o desenvolvimento socioeconômico sustentável.

Pesquisadores e planejadores latino-americanos devem considerar em suas estratégias contra catástrofes e programas de gestão para as próximas décadas, o aumento da frequência e persistência de ondas de frio, por conjunção de fatores de variabilidade climática de médio prazo.

As ondas de frio registram certa

regularidade em sua ocorrência durante as últimas décadas e devem ser consideradas parte do sistema de variabilidades climáticas e formar parte dos sistemas de mitigação e adaptação social às mudanças ambientais. Não é possível que um fenômeno natural relativamente frequente se traduza em perdas de vidas humanas e danos econômicos que mais bem demonstrem um profundo desconhecimento destas condições extremas. A climatologia sul-americana necessita avançar em estudos integrados entre os diversos países do continente, com a finalidade de compreender os efeitos regionais e locais de fatores de macroescala, tais como as variabilidades de baixa frequência representadas pelos índices do El Niño Oscilação Sul (ENOS/ENSO), da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP/PDO) e da Oscilação Antártica (AAO) e Oscilação do Atlântico Norte (NAO) que podem explicar a magnitude e extensão das ondas de frio observadas nos anos 2010 e 2011.

Dado que todos os índices mencionados dependem da temperatura superficial do mar, é possível contar com predições de mediano prazo que permitam antecipar com maior certeza as probabilidades de ocorrência das ondas frias, cuja recorrência geográfica deveria ser considerada nos instrumentos de ordenação do território, na construção de infraestruturas e, especialmente, no aumento dos níveis de isolamento das moradias frente às flutuações extremas de temperaturas. A isto se deveria agregar a preparação dos centros de saúde pública para atender as emergências médicas e a contar com adequados e seguros sistemas de calefação.

A população também deveria ser preparada para reagir diante de uma previsão

de onda de frio, pois não basta tão somente estar informado de sua ocorrência é necessário saber como reagir diante da situação, pois em junho de 2011, mesmo tendo sido dado alerta com dois dias de antecedência por todos os meios de comunicação disponíveis, não foram evitadas as mortes de pessoas nem os prejuízos materiais. É necessário aprender com os países que vivem constantemente eventos de frio para saber como mitigá-los, ainda que ocorram em média quatro vezes por ano, como no caso do período investigado. A importância de reconhecimento e utilização das variabilidades de baixa frequência para o aperfeiçoamento da previsão de tempo em médio e curto prazos, não pode substituir, ou deve vir acompanhada do desenvolvimento de uma cultura de prevenção dos desastres.

NOTAS

ⁱ Este trabalho faz parte dos resultados dos projetos de pesquisa do Fondo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (Fondecyt) 1100657 y 1120204 e conta com o financiamento da Iniciativa Milenio NS 100022 do Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile.

ⁱⁱ Geógrafa; Doutora em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (USP); Bolsista de pós-doutorado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Professora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

E-mail: magaly@cfh.ufsc.br

ⁱⁱⁱ Doutor em Ciências (Geografía y Ordenación del Territorio); Professor da Universidade do Chile.

E-mail: hromero@uchilefau.cl

REFERÊNCIAS

BOLETÍN CLIMÁTICO DGF. Maio a agosto de 2010 e 2011. Departamento de Geofísica da Universidade do Chile. Disponível em: <http://met.dgf.uchile.cl/clima/index.html>. Acessado em abril 2012.

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

CLIMANÁLISE. Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.25, n.5, 6, 7, 8 (maio a agosto de 2010 e 2011). Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/>; Acessado em abril de 2012.

CPTEC/INPE. Boletim Técnico. Maio, junho, julho e agosto de 2010 e 2011. Disponível em http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml. Acessado em 2011 e 2012.

CRONICAVIVA *Miles de personas varadas por tormentas de nieve en Bolivia*. Disponível em: <http://www.cronicaviva.com.pe/index.php/mundo/america/23621-miles-de-personas-varadas-por-tormentas-de-nieve-en-bolivia>. 11/07/2011. Acessado em 2011 e 2012.

DIARIOANTOFAGASTA. *Nieve en pleno desierto de Atacama deja inusual frente de mal tiempo*. Disponível em: <http://www.diarioantofagasta.cl/regional/3691>. 31/07/2011. Acessado em agosto de 2011 e maio de 2012.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Cartas sinóticas (arquivo) de 2010 e 2011. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>. Acesso em 2011 e 2012.

INFOCLIMA. ns. 6 a 9, anos 17 e 18, de 2010 e 2011. Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br>. Acessado em abril 2012.

GONG, D.; WANG, S. *Definition of Antarctic Oscillation Index*. 1999. Disponível em: http://www.atmos.colostate.edu/ao/other_

papers/Gong_Wang_GRL1999.pdf. Acessado em 2011.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; FRANCIS, R. C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 1997. pp.1069-1079.

GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (orgs). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. pp.353-374.

HURRELL, J.W. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and Precipitation. *Science*, n. 269, 1995, pp.676-679

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Relation of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. *Int. J. Climatology*, vol.27, n.4, 2007. pp.531-540.

MAXWELL, K.; HOLBROOK, V. *Pacific Decadal Oscillation and Arizona Precipitation, Western Region Technical Attachment N° 02-08*, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2002. Disponível em: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outreach/proceedings/cdw27_proceedings/v_holbrook_2002.pdf; Acesso em: fevereiro de 2011.

MENDONÇA, M. *A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis/SC*. Tese de Doutorado. São Paulo:USP.Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (FFLCH). Departamento de Geografia (DG). 2002.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. Efectos de la onda de frío del invierno 2010 sobre las ciudades sudamericanas. XXXI Congreso Nacional y XVI Internacional de Geografía, *Anais...*, Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2010.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. Cold Waves and Snow in South America and Atacama Desert during 2010 and 2011. APRU Research Symposium on Multi-hazards around the

Pacific Rim, 7th, 2011, Physical and Human Dimensions of Natural Hazard: From Research to Praticce. The University of Auckland, Auckland, 2011, p.80.

METSUL. Direto da Metsul: Publicações em 06/08/2010. Disponível em: <http://www.metsul.com/blog/>. Acessado agosto de 2011 e maio 2012.

MONTEIRO, C. A. de F. *Geografia Regional do Brasil - Região Sul (Tomo 1, cap. III)*. Rio de Janeiro: IBGE, 1963, pp.117-169.

MONTEIRO, C. A. de F. A Frente Polar Atlântica e as chuvas de inverno na fachada Sul Oriental do Brasil (Contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil). *Série Teses e Monografias n° 1*, 68 pp. Ilustr. São Paulo, Instituto de Geografia da USP, 1969.

MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. A. O clima do trecho Florianópolis - Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. *Geosul*, vol. 10, n. 19/20, 1995. pp.117-133.

MONTEIRO, M. A.; MENDONÇA, Magaly. Dinâmica Atmosférica do Estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M. L. de P.(Org.). *Atlas de Desastres Naturais do Santa Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: IOESC, 2005, 2006 (CD ago. 2007). pp.5-10.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *Pacific Decadal Oscillation and the Impact on Precipitation*, 2002. Disponível em: <http://www.nwfsc.noaa.gov/research/divisions/fed/oeip/ca-pdo.cfm>. Acessado em fevereiro 2011.

PINHEIRO, H. R. *Neve nas serras gaúcha e catarinense no dia 26/06/2011*. Disponível em: http://www7.cptec.inpe.br/~rupload/arquivo/Neve_RS-SC_260611.pdf. Acessado em agosto 2011.

ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. R. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic convergence zone. *Monthly Weather Review*, v. 128, 2000. pp.2947-2957.

ROMERO, H.; MENDONÇA, M. Ondas de frío

registradas en invierno de 2010: Necesidad de una perspectiva regional integrada para la Climatología Latinoamericana. *Revista Geográfica de América Central.*, v.2, 2011. pp.1-13.

SANTOS, I. de A.; FRANCO, N. J. do N. *Uso do índice mensal da Oscilação Antártica para avaliação de algumas interações com a circulação troposférica na América do Sul e oceanos próximos. Disponível em : www.cbmet.com/anais/artigos/285_61185.pdf. Acessado em abril 2012.*

SILVA, G.; DRUMOND, A; AMBRIZZI, T. *El Niño events and their evolution in different phases*

of the Pacific Decadal Oscillation: observational and numerical analyses over South America, submitted to TAC. 2010. The Southern Annular Mode. http://stratus.astr.ucl.ac.be/textbook/chapter5_node6.html

URIBE, A. *Cambios en el régimen de temperatura en la Península Antártica: Mecanismos Asociados. Proyecto para optar al grado de magister en Meteorología y Climatología.* Universidad de Chile, Departamento de Geofísica, 2007.

ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; BATTISTI, D. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *J. Climate*, v. 10, 1997. pp.1004-1020.