

# Análise Multiescalar para a compreensão de causas e consequências da variabilidade climática na América do Sul

Magaly Mendonça  
Hugo Romero  
Dustyn Opazo

## 1 INTRODUÇÃO

A América do Sul, nas últimas décadas, tem  ~~sido tão~~ frequentemente ~~afetada por~~ eventos extremos, causadores de desastres naturais, que se situa entre as zonas mais afetadas do planeta. Destacam-se as inundações e deslizamentos de terra associados, registrados principalmente na Argentina, Bolívia, Brasil, Chile e Colômbia. Alternativamente, foram registrados períodos prolongados de secas/estiagens, como observado entre 2010 e 2014. De forma recorrente, o aumento dos desastres hidroclimáticos tem sido explicado como efeito das Mudanças Climáticas associadas ao Aquecimento Global. Entretanto, não se tem analisado convenientemente as causas e consequências das variabilidades climáticas, ou melhor, quando estas ocorreram o foram através de visões pontuais, no tempo e no espaço, que não permitiram a compreensão dos fenômenos de escala macro e meso, que configuram o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS/SAMS), sua relação com índices de oscilação oceano-atmosféricas, tais como El Niño Oscilação Sul (ENOS/ENSO), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP/PDO) e Oscilações Atlânticas (dipolo do Atlântico Norte) e Antártica (OAA/AAO), nem tão pouco dos fatores regionais, como o papel da Cordilheira dos Andes na geração de perturbações topoclimáticas e dos mecanismos de mitigação e adaptação implementados pelas comunidades locais.

Em uma primeira seção se descreve e analisa os componentes e relações do Sistema da Monção da América do Sul, destacando os papéis da Alta de Bolívia (AB/BH), das zonas de convergência Intertropical (ZCIT/ITCZ) e do Atlântico Sul (ZCAS/SACZ) e a Corrente de Jato de Baixo Nível (JBNAS/SALLJ), para o qual se empregam informações meteorológicas, cartas sinópticas e índices de variabilidade. O acoplamento destes fatores e sua atuação durante os anos de El Niño ou La Niña, sinais decadais positivos ou negativos do Pacífico e de outras fon-



tes de variabilidade interanual (Atlântica e Antártica), geram padrões de teleconexões que associam espacial e temporalmente a ocorrência de anos chuvosos ou secos nas diferentes sub-regiões da América do Sul.

Os processos e formas climáticas são produto de fatores e elementos que interatuam entre as escalas espaciais e temporais. Dentro destas se reconhece a atuação de fenômenos globais que afetam a totalidade do planeta, tais como as mudanças climáticas vinculadas com a acumulação de gases estufa na atmosfera e que se traduzem na expectativa de registrar fenômenos extremos e incrementos da variabilidade em **médio e longo**. Para o altiplano andino, a aplicação dos modelos de Circulação Geral prevê um significativo aumento das temperaturas médias e mínimas e uma considerável diminuição das precipitações sobre diversos lugares, que se intercalam com outros tanto que mantém suas condições atuais. O último Relatório do IPCC, divulgado em 2013 assegura que esta região do Norte do Chile experimentará um incremento relevante dos valores extremos e com isso, dos índices de variabilidade climática, o que acentua a incerteza a respeito das condições que se devem esperar, tanto em termos de temperatura, como de umidade, evaporação e aridez, em uma região que já se encontra caracterizada pela prevalência de valores extremos.

A Monção da América do Sul é o sistema oceano-atmosférico geográfico de macroescala mais significativo para o comportamento dos climas do altiplano andino do Norte do Chile e seu comportamento interanual e estacional se relaciona estreitamente com a ocorrência dos eventos Niños e Niñas associados à Oscilação do Sul (ENOS) e seu efeito na localização da Alta da Bolívia e Baixa do Chaco.

Na mesoescala, se deve considerar especialmente o papel da Cordilheira dos Andes, que com alturas que superam os 4000 m constitui um biombo climático que separa nitidamente o comportamento de ambas vertentes, Pacífica e Atlântica. Enquanto na primeira se localiza o Deserto de Atacama, uma das zonas áridas mais extremas do planeta, sobre a vertente oriental se localizam máximos pluviométricos tanto na Argentina, como no Peru e Bolívia, devido à presença, na estação de verão, das influências amazônicas. Estas últimas só podem cruzar a barreira das montanhas andinas sob condições particulares do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS/SAMS). As massas de ar atlânticas podem transpor a Cordilheira por colos ou celas e alcançar os vales e ladeiras pré-cordilheiranos localizados entre 2000 e 3000 m de altitude, onde as temperaturas, precipitações e evaporação variam de acordo com as condições topoclimáticas: ladeiras de barlavento expostas às massas de ar amazônicas; ladeiras de sotavento sob a influência do Pacífico; fundos de vales e depressões orográficas, apresentando cada uma destas facetas territoriais condições particulares que introduzem uma alta variabilidade espacial e temporal dos topoclimas. As condições macroclimáticas de ex-



traordinária aridez que se apresentam na pré-cordilheira andina podem ser completamente substituídas por breves episódios de chuvas torrenciais, que não duram mais que umas poucas horas, que se registram em uns dias muito especiais e que alcançam só a certos lugares, especialmente apreciados pela acumulação de águas superficiais e subterrâneas e por isso de alta importância estratégica para os assentamentos humanos e as atividades econômicas regionais.

Dada a especificidade espacial e temporal destes topoclimas, a climatologia de lugares é muito relevante para explicar os oásis e canais que interrompem por centenas de metros e, especialmente nos anos chuvosos, a completa aridez das paisagens alto-andinas. São climas locais, cuja particularidade em termos de temperaturas e precipitações, permite a criação de animais domésticos e a agricultura andina, fonte de abastecimento e subsistência para as populações de indígenas aymaras e atacameños. Estes se distribuem em torno aos “bofedales” (pantais cobertos com pastos de altitude), desenvolvendo circuitos amplos de transumância com seus gados de auquênidos, que se deslocam sazonalmente entre as terras altas e baixas. Estas populações conhecem em detalhe os sítios onde as águas e os pastos se apresentam mais abundantes, especialmente quando no resto do território escasseiam devido às secas, que em média se apresentam a cada dois ou mais anos por década.

Consequentemente, à escala geográfica, reconhecível em termos de tamanho, hierarquia e interação, se faz presente nas relações sistemáticas e acumulativas, acopladas ou dialéticas, que se estabelecem entre os distintos níveis e de cuja leitura adequada, por parte das comunidades locais, depende em grande medida o êxito das estratégias de mitigação e adaptação às variabilidades climáticas. Sob estas circunstancias geográficas se compreende que os climas não são somente um fato natural, mas também uma construção social e cultural, que relaciona a sociedade com a natureza dando forma a um dos pilares ambientais fundamentais, em especial para as comunidades indígenas que habitam estes territórios. A representação cultural dos climas e particularmente a relação com a água, fundamental nestas paisagens hiper-áridas, lhe outorga não somente significado físico e ecológico, mas principalmente, gera uma ontologia dos climas, cujo significado inclui aspectos metafísicos. Os vulcões e picos onde se originam as tormentas dentro das visões locais, ou seja, as passagens por donde penetram as chuvas amazônicas e ainda as nascentes de riachos e canais, são endeusados e servem de símbolo a toda uma religiosidade popular. Os trovões e raios, as chuvas, o sol e os ventos são todos deuses aos quais se deve honrar cotidianamente, uma vez que deles depende a subsistência da comunidade.

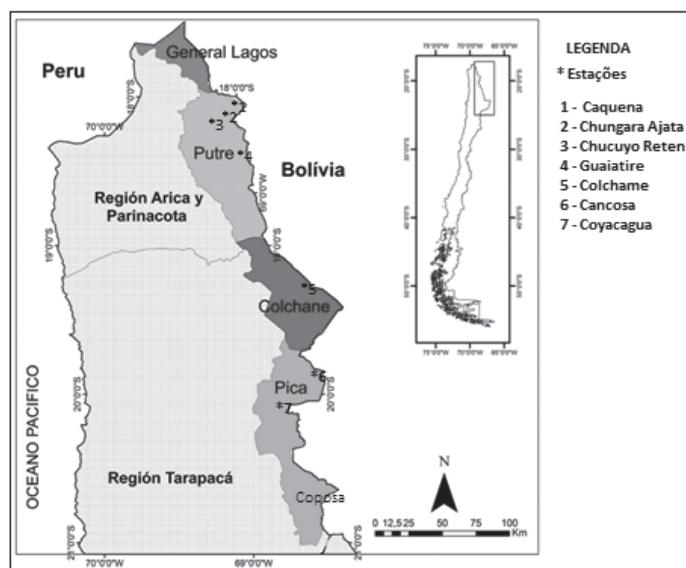
A aproximação à investigação climatológica em termos de investigação participativa - quer dizer considerando as interrogantes e asserções do conhecimento local - rascunha as



perseverantes separações entre uma climatologia situada quase sempre no domínio da geografia física e por isso das ciências naturais, métodos positivistas e aproximações quantitativas e uma socioclimatologia baseada nas representações, interpretações e explicações culturais, decididamente localizáveis no âmbito das ciências humanas. Uma terceira possibilidade, centrada na geografia ambiental, favoreceria o interesse pela climatologia como ponte entre as perspectivas naturais e sociais, completando um conjunto de aproximações que faz com que esta ciência apareça como integral, contemporânea e profundamente útil, para reduzir a incerteza e incrementar o conhecimento local que se faz presente na vida cotidiana da sociedade.

## 2 FATORES, FORMAS E PROCESSOS DE MESOESCALA

No norte do Chile, no altiplano andino, o clima semiárido se caracteriza por chuvas de verão (janeiro-fevereiro-março), alimentadas pela umidade amazônica distribuída pelo Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). Considerando a extrema irregularidade deste clima se analisará a distribuição espaço-temporal da precipitação, em anos-padrão chuvoso, muito chuvoso e pouco chuvoso, a partir de dados de estações meteorológicas situadas nas regiões Arica-Parinacota e Tarapacá, acima de 3000 m de altitude, entre as latitudes 18° e 21° S, do limite norte do Chile com o Peru ao Salar de Coposa (Fig. 1).



**Figura 1** – Localização da área de estudo, com destaque para o Altiplano Andino Chileno, e das estações meteorológicas.

A ocorrência anual da precipitação no Altiplano está relacionada com o início da atuação do Sistema de Monção (SMAS) que se dá a partir de outubro e novembro (MARENGO et al., 2012) quando os ventos de nordeste e noroeste, deslocando-se paralelamente à Cordilheira dos Andes, transferem massas de ar úmidas da Amazônia para a planície central da América do Sul, as quais convergem para a região da Baixa do Chaco (Gan, Rodrigues e Rao, 2009). Este movimento em superfície vai produzir convecção e fluxos de leste em altitude na direção do altiplano. As massas de ar úmidas da Amazônia se deslocam durante o verão em dois sentidos preferenciais: para o oceano dando origem à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS/SACZ) e a chuvas convectivas na região tropical leste e para a Bacia do Rio da Prata, como Jatós de Baixos Níveis (JBNAS/SALLJ), causando precipitações convectivas na região subtropical.

Em geral a ocorrência de ZCAS permite a instalação de uma massa quente e seca sobre o Sul do Brasil, em virtude da canalização da umidade para o Sudeste (São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo). Enquanto chove torrencialmente no Sudeste, não chove no Sul, especialmente na região oeste dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MONTEIRO; MENDONÇA, 2014), sendo identificada uma relação entre as inundações de verão no Sudeste e períodos prolongados sem chuvas no Sul, durante a atuação da ZCAS (SILVA DIAS e MARENGO, 2002). As massas de ar úmidas da Amazônia que convergem para as planícies tropicais do lado leste da Cordilheira ascendem e em altos níveis são advectadas pela Alta da Bolívia que transfere as massas úmidas de leste para oeste em direção ao altiplano (GAN, RODRIGUES e RAO, 2009, ROMERO et al., 2011 e 2013). A dinâmica do SMAS e sua atuação no altiplano chileno encontram-se descritas e analisadas em Mendonça e Romero (2013). Neste capítulo o que se pode acrescentar é que no Altiplano se observa uma das principais características que define um regime de monção que é a reversão dos ventos. Enquanto durante a maior parte do ano a circulação se dá de oeste para leste, a partir de outubro/novembro, com o deslocamento da Alta da Bolívia da Amazônia em direção ao centro-norte do continente, em altitude, massas úmidas são transferidas de leste para o Altiplano, dando início a partir de dezembro à temporada de precipitações que se estende, no máximo, até meados de abril.

A integração da circulação entre o Atlântico, Amazônia e Pacífico será demonstrada a partir da seleção de sete estações meteorológicas entre as localizadas na fronteira leste do altiplano chileno ( $68^{\circ}50'$  e  $69^{\circ}30'W$ ), em um transeto longitudinal entre  $18^{\circ}$  e  $21^{\circ}S$  (Quadro 1).



**Quadro 1 - Estações meteorológicas utilizadas, códigos DGA, coordenadas geográficas, altitude e localização administrativa.**

Código DGA	Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude	Região	Comuna
01001005-5	Caquena	18°3'26,9"	69°12'12,9"	4400	Arica-Parinacota	Putre
01010010-0	Chungará Ajata	18°14'19,2"	69°11'6,8"	4585		
01020016-4	Chucuyo Retén	18°13'2,5"	69°19'24,4"	4400		
01021007-0	Guallatire	18°29'49,5"	69°9'15,2"	4240		
01041003-7	Colchane (T. Isluga)	19°16'19,4"	68°38'28,3"	3700	Tarapacá	Colchane
01042001-6	Cancosa	19°51'30,6"	68°36'13"	3930		Pica
01050007-9	Coyacagua	20°2'15,9"	68°49'48,7"	3950		

Fonte: Adaptado de Sarricolea e Romero (inédito).

Para análise foram utilizados dados de precipitação diária de dezembro a abril, estação chuvosa, cedidos pela Diretoria General de Aguas do Chile, para os anos de 1996, 1997, 2000, 2001, 2010 e 2011. Os dados foram compilados e organizados em um quadro por ano, mês e dia para cada uma das estações. Neste quadro foram identificados os períodos chuvosos considerando-se precipitação acima de 1mm na maioria das estações. A identificação destes períodos permitiu que, utilizando-se os Boletins Climanálise e Boletins Técnicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil, os mesmos fossem relacionados com a posição da ZCIT, Alta da Bolívia e ZCAS.

Para a caracterização da variabilidade interanual relacionada com o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS/ENSO, em inglês), foi consultado o sítio do Climate Prediction Center, NOAA Center for Weather and Climate Prediction, NOAA National Weather Service (NOAA/NCEP, 2014), onde é divulgado o Índice Oceânico El Niño (ONI, em inglês) que distingue períodos El Niño, La Niña e neutros no Pacífico Tropical considerando uma temperatura superficial do mar (TSM) média trimestral acima ou abaixo de 0,5°C que prevaleça por no mínimo cinco trimestres. Baseado neste índice Jan Null (2014) propôs uma classificação da intensidade dos eventos em Forte, Fraco e Moderado: Strong La Niña (SL), Weak La Niña (WL), Moderate La Niña (ML) e Strong El Niño (SE), Weak El Niño (WE) e Moderate El Niño (ME).

A análise dos dados diários de precipitação demonstra uma importante variabilidade espacial e temporal, típica de chuvas convectivas, que ocorrem especialmente nas tardes de



verão. Devido à quantidade de dados diários optou-se pela apresentação da distribuição e variabilidade na escala mensal.

A Tabela 1 apresenta os dados mensais da precipitação registrados nas sete estações, organizados por ano e pelos meses de verão, elaborado com a soma dos dados diários, visando à caracterização da distribuição em anos mais e menos chuvosos.

**Tabela 1** - Totais mensais de precipitação (mm) no altiplano chileno nos verões 1996-97, 2000-01 e 2010-11.

Região		Arica-Parinacota				Tarapacá		
Comuna		Putre		Colchane		Pica		
Estações	ano mês	Caquena	Chugara	Chucuyo	Gualatire	Colchane	Cancosa	Coyacagua
		Ajata	Reten	(T. sluga)				
1996	dez	20	45	28,1	11	-	0	8,5
1997	jan	177	188,4	326,9	115	37,7	19,2	89,5
1997	fev	247	126,4	181	102	88	16,3	73,2
1997	mar	38,1	29,5	0	15	16	0	15,4
1997	abr	2	8	-	0	0	0	0
		484,1	397,3	536	243	141,7	35,5	186,6
2000	dez	46	37,8	0	36,5	0	0	3
2001	jan	254	203	193	134	114,1	201,1	78
2001	fev	277	219,8	175	133	107,7	121,9	149,6
2001	mar	107	124,9	137	118	93,9	0	118,2
2001	abr	32	30,6	34	17,1	0	0	10,7
		716	616,1	539	438,6	315,7	323	359,5
2010	dez	0	0	38	3	0	4	10
2011	jan	0	0	112	42	18,5	11	34,7
2011	fev	28,9	0	116	123	117	136	154,5
2011	mar	13	0	0	31	0	7	0
2011	abr	0	0	0	5	0	19	10,5
		41,9	0	266	204	135,5	177	209,7

Fonte: Direção General de Aguas do Chile. Elaboração própria.

Na tabela se pode observar a variabilidade interanual e espacial da precipitação. Tanto nos período mais como nos menos chuvosos e até no mais seco, os maiores totais são observados em janeiro e fevereiro. Entretanto, enquanto nos anos mais chuvosos os maiores totais ocorrem em Janeiro, no ano mais seco ocorreu em fevereiro. Os maiores totais nos anos chuvosos se concentraram nas estações da Região Arica-Parinacota, porém, no ano mais seco, totais mais significativos ocorreram nas estações da Região de Tarapacá. Em dezembro as precipitações ocorrem principalmente na segunda quinzena, com totais maiores nos verões chuvosos e mais chuvosos. Em março, as precipitações se concentram na primeira quinzena, porém em 2001 (verão muito chuvoso), o total foi até seis vezes superior ao de 1997 (verão chuvoso). Em março de 2011 (verão menos chuvoso/seco) choveu em apenas três das sete



estações, duas da região de Arica- Parinacota. Em abril choveu menos de 10 dias em 1997 e 20 dias em 2001, essencialmente nas estações situadas mais ao norte. Não choveu em abril de 2011.

A ocorrência de precipitação no altiplano chileno é geralmente relacionada à fase La Niña do fenômeno ENOS, enquanto os anos secos são relacionados com episódios El Niño. Entretanto o verão 2010-11, considerado o mais seco da amostra, se caracterizou como La Niña Forte (SL) e o mais chuvoso (2000-2001) como La Niña Fraca (WL). O verão 1996-97 (chuvoso) foi neutro para o ENOS. Nos três episódios o índice ONI esteve negativo e em decréscimo a partir do trimestre novembro-dezembro-janeiro. Em 1997, El Niño já se caracterizou no trimestre abril-maio-junho, logo após a estação chuvosa; em 2001 o trimestre março-abril-maio já apresentava neutralidade e em 2011 a neutralidade foi registrada para o trimestre abril-maio-junho. A diferença de pressão, maior no Pacífico do que no leste da Cordilheira dos Andes, em anos La Niña, favorece a passagem da umidade amazônica para o altiplano alto andino. Nestes três verões, com exceção de dezembro de 2010, os índices da Oscilação Decadal do Pacífico apresentaram-se inferiores a um positivo e negativo, ou seja apresentaram um sinal fraco.

O verão 2000-01 foi, sem dúvida, o mais chuvoso em todas as estações meteorológicas, entretanto o verão 1996-97 foi o mais seco para Cancosa, enquanto o de 2010-2011 foi cerca de 500% mais chuvoso em relação àquele. Para Caquena e Chungará Ajata o verão 2010-2011 foi realmente seco, porém em Guallatire e Colchane choveu mais de 80% do total de 1996-97, ao passo que em Coycagua choveu 12% a mais. Assim percebe-se que o efeito de uma variabilidade interanual como La Niña tem uma influência condicionada por outros fatores, no espaço e no tempo. A maior constância do sinal positivo da ODP, no verão 2010/2011, talvez possa explicar a menor efetividade do episódio La Niña forte na ocorrência de precipitação sobre o Altiplano. Entretanto, vale também considerar o papel do SMAS na variabilidade espaço-temporal das precipitações.

Para interpretar a influência dos componentes do SMAS foi elaborado o Quadro 2 que apresenta uma síntese de algumas situações registradas em relação à configuração e posição dos sistemas durante os meses dos três verões selecionados. No quadro também estão destacadas as semanas mais chuvosas dos meses das três temporadas distintas.

Na região do Atlântico Equatorial a ZCIT, em anos considerados normais alcança posições em torno de 2°S em março-abril, o que, aliado a outros fatores que atuam na intensidade dos alísios, influencia na estação chuvosa do Nordeste do Brasil (MELO, CAVALCANTI e SOUZA, 2009). Em janeiro e fevereiro de 2001 e 2011 a ZCIT ondulou entre 5°N e 3°S (CLIMANÁLISE, 2001 e 2011). Percebe-se, ao analisar os dados diários, que quando a ZCIT



deslocou-se nas posições ao sul do Equador registraram-se maiores totais de chuva por período. Em 1996-97 o Boletim Climanálise não registrou as posições da ZCIT em pântadas, nem mesmo as posições médias. Entre janeiro e março de 2001, observou-se menor ondulação para o norte do Equador e ondulações em torno de 2°S, que coincidiram com os períodos mais chuvosos. Em 2010-2011, verão seco, nos meses de janeiro e fevereiro, que foram mais chuvosos, a ZCIT ondulou em algumas semanas em direção aos 3°S.

### Quadro 2 - Síntese da posição dos sistemas e distribuição anual da precipitação

	Ano/mês	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Semanas mais chuvosas	96/97 (chuvoso)	14-20; 24-28	1-2; 4-11; 13-16; 18-22; 23-31	5-10; 14-23	1-3; 27-28
	00/01 (muito chuvoso)	9-10, 18-22, 27-30	1-6, 10-15, 18-31	1-4; 6-20; 23-28	1-3, 6-14; 16-19
	10/11 (seco)	22-28	23-26; 28/29	1-9; 19-21	3-6
ZCIT (posição)	96/97	sem informação	sem informação	sem informação	sem informação
	00/01	climatológica entre 3°N e 5°N	pouco ao Norte do Equador e nos dias 16 a 25 ao sul	ao norte do Equador, abaixo de 3°N e de 11-15 ao sul	norte do Equador exceto nos dias 1-5 e 6-10 ao sul
	10/11	Posição climatológica 5°N	Sul da posição média no final do mês	3°S a 5°N e entre Equador e 3°S no final do mês	Norte do Equador
AB	96/97	10°S70°W (Norte da Bolívia)	20°S66°W(Sudoeste da Bolívia)	23°S80°W(Paraguai)	10°-15°S80°W (Rondônia/Oeste Mato Grosso-Brasil)
	00/01	16°S55°W(Sul do Mato Grosso)	23°S69°W(Norte do Chile)	23°S69°W(Norte do Chile)	17°S68°W (Peru/Chile)
	10/11	19°S64°W(Sul da Bolívia e Norte do Paraguai)	20°S70°W(Costa do Chile)	20°S66°W (Sudoeste da Bolívia)	18°S56°W(Sul do Mato Grosso)
ZCA S	96/97	13-15 e 29-31	2-8 e 20-29	Ausente	1-5 e 17-23
	00/01	1-8 e 17-22	1-4	Ausente	Ausente
	10/11	30/11-06/12; 13-17 e 27-31	1-7 e 11-16	9-16	28/02-09/03; 10-18 e 30-31

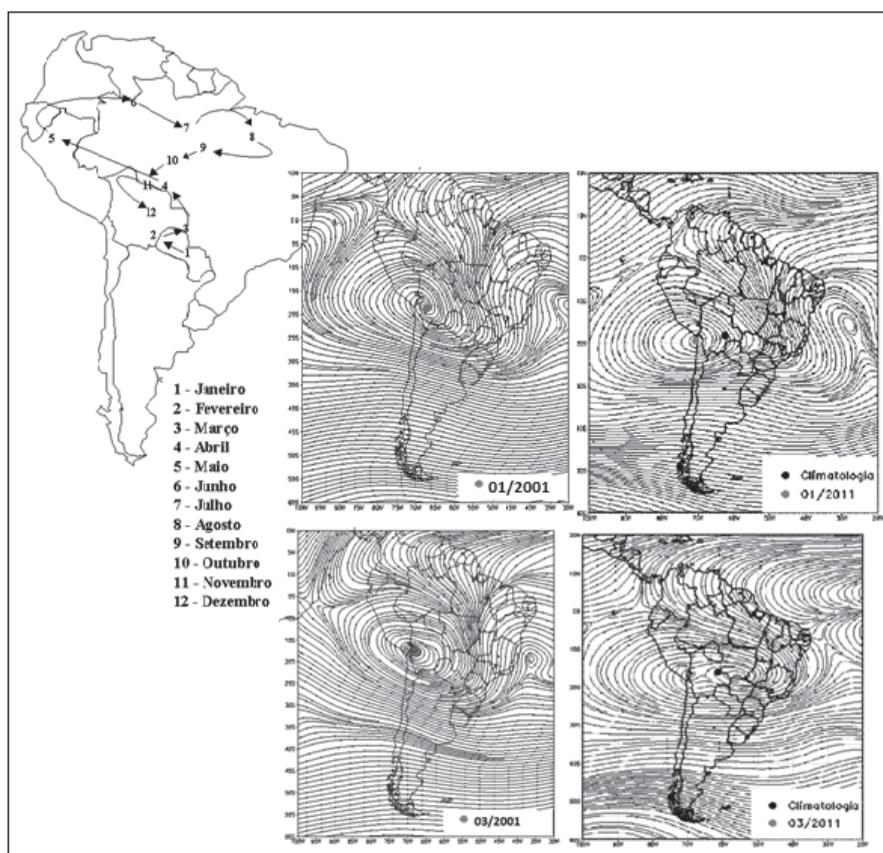
Fonte: CPTEC/INPE: Climanálise (dez a mar 1996-97, 2000-01, 2010-2011). Elaboração própria.

A Alta da Bolívia (AB), uma circulação anticiclônica em altos níveis atmosféricos, é observada nas proximidades da região de máxima precipitação no verão (Gan, Rodrigues e Rao, 2009). Durante o ano a AB se desloca de sua posição mais setentrional no noroeste da Amazônia em junho para sua posição média mais meridional em janeiro, no centro do Paraguai (Figura 2).

Em sua trajetória média em setembro a AB encontra-se no sudeste da Amazônia de onde se desloca em outubro para Rondônia e em novembro para o norte da Bolívia. Em de-



zembro, já na típica estação chuvosa, ela posiciona-se no centro da Bolívia. Em fevereiro ela começa a retornar para posições mais setentrionais pelo sul e sudeste da Bolívia para em abril retornar à Rondônia e daí para o norte do Peru e noroeste da Amazônia (CLIMANÁLISE, dez. 2000). Entretanto também é comum que ela se afaste e sua posição média, o que influi na intensificação das precipitações em diferentes lugares. Para o Altiplano Chileno as posições mais próximas ao trópico, especialmente no Norte do Chile coincidem com os meses mais chuvosos de 2011, o ano menos chuvoso da amostra. Isto pode explicar porque neste ano os totais mensais foram maiores nas estações mais meridionais do transeto. Posições a sudoeste da Bolívia, oeste do Paraguai e costa norte chilena também se relacionaram com os meses mais chuvosos dos demais períodos. Em 2001 quando a Alta da Bolívia esteve entre Peru e Chile, registrou-se o mês de março mais chuvoso. No mês de março de 2011, quando esteve a sudeste de sua posição climatológica, registrou-se pouca chuva em apenas três estações. As posições da Alta da Bolívia mais ao norte e leste coincidem com totais de precipitação menores.



**Figura 2** – Posição média climatológica e de janeiro e março de 2001 e 2011 da circulação da alta troposférica (Alta da Bolívia). Adaptada de Climanálise (jan. e mar.2000 e 2001).

A configuração ou não da ZCAS/NZCAS aparece como outro fator bem relacionado com o aumento dos totais de precipitação. No verão 2010-11 registrou-se o maior número de ocorrência de ZCAS e o mês mais chuvoso (fevereiro) foi exatamente o que apresentou apenas um episódio de ZCAS, sendo que a semana menos chuvosa foi aquela na qual ela esteve configurada. Em 2001, quando foi registrado o mês de março mais chuvoso, a ZCAS esteve ausente, já em 2011, no menos chuvoso, ocorreram três episódios de ZCAS. Nos meses de dezembro, também se observa que o menos chuvoso (2011) apresentou três episódios de ZCAS.

A ZCAS, considerada a monção em sua plenitude, é uma faixa de nebulosidade e chuvas, resultantes de uma convecção profunda, para onde convergem massas de ar úmidas da Amazônia, do interior do continente e do Atlântico, que se estende de noroeste a sudeste sobre os trópicos. Esta atividade convectiva pode ou não se estender até o oceano, porém concentra umidade numa faixa do trópico, tendo períodos de atividade e inatividade, que no interior do Brasil determina a distribuição das chuvas. Ou seja, a atividade convectiva, presente durante todo o verão, sob determinadas condições, é canalizada em direção ao Atlântico durante a ocorrência de ZCAS, reduzindo a disponibilidade de umidade para a precipitação no altiplano chileno, assim como provoca estiagem nos subtrópicos. Por outro lado, nos períodos em que a ZCAS não está ativa (NZCAS) aumenta significativamente o número de sistemas convectivos de mesoescala no noroeste da Amazônia (CARVALHO e JONES, 2009). Além disso, intensificase o transporte de umidade ao longo da Cordilheira dos Andes, realizado pelo Jato de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS), ventos com velocidade máxima em torno de 2.000 m, com ciclo diurno que se intensifica de manhã cedo (11:00UTC), entre 1.600 até 2.000m de altitude, aproximadamente. Esses ventos de altitude, conhecidos como “rios voadores” poderiam transportar uma quantidade de vapor d’água da ordem de grandeza da vazão do Rio Amazonas (MARENGO, AMBRIZZI e SOARES, 2009), e, em sua trajetória em direção à Bacia do Rio da Prata alimentar a convecção forçada pelas vertentes da Cordilheira, gerando linhas de instabilidade sobre o altiplano chileno, aumentando os totais de precipitação diária.

### 3 AS ANÁLISES LOCAIS DOS SOCIOCLIMAS

A abordagem de temas como a compreensão e representação física e metafísica dos climas como atos culturais (socioclimas) e suas expressões na interpretação do ciclo hidrológico (ciclo hidrosocial) é objeto de especial atenção por parte dos investigadores que trabalham no altiplano andino e requer de aproximações multidisciplinares, especialmente com outros cientistas sociais. A confiança que é necessária de ganhar de parte dos habitantes



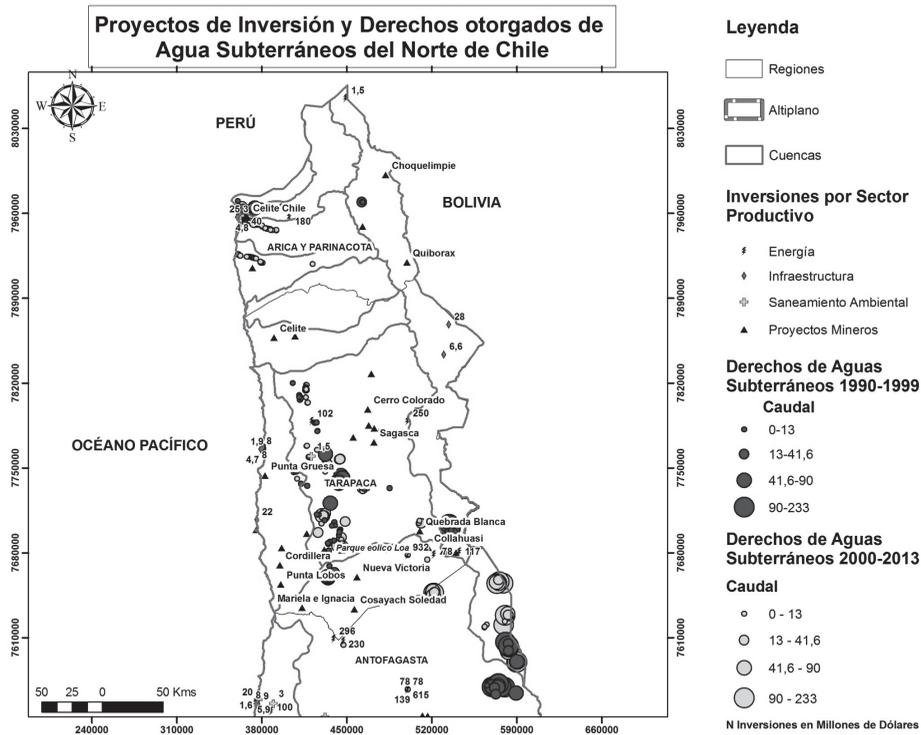
das comunidades locais, se relaciona diretamente com o número e qualidade das visitas que se realizam a famílias de forma recorrente e pelo profundo respeito que se deve brindar ao conhecimento local e das particulares visões que se tem do clima, suas causas, efeitos e significados. A confiança é um valor fundamental para as comunidades agropastoris do altiplano andino que está sendo fortemente debilitada como consequência da emigração das populações rurais para as cidades, a falta de mão de obra e a chegada de imigrantes que atuam como trabalhadores assalariados. Para isto tem contribuído fortemente as políticas de Estado destinadas a agrupar as populações dispersas nos centros de serviços e de participação da economia de mercado, todo o qual tem ido gradualmente substituindo as culturas tradicionais.

Os observatórios ecológico-sociais têm resultado como uma metodologia de alto valor para a investigação socioclimatológica. Mediante análises multiescalares se selecionaram sítios que concentram os recursos naturais de maior qualidade, em torno dos quais as comunidades locais tem se estabelecido por séculos e que são na atualidade especialmente atrativos para as atividades ligadas às economias extrativas. Em cada uma das regiões do Norte de Chile têm sido selecionados sítios: Ticnamar, Putre e Caquena na região de Arica e Parinacota: Parca, Pica y Huatacondo na região de Tarapacá e Chiu-Chiu e Peine na região de Antofagasta. Em cada um deles estão sendo realizadas instalações científicas, como estações meteorológicas e sítios de observação das mudanças dos usos e coberturas dos solos, comportamento da flora e fauna, ocorrência de ameaças e desastres naturais, além de levantamento sistemático de variáveis que permitam identificar os níveis de vulnerabilidade e as capacidades de resiliencia das comunidades diante de perturbações dos sistemas naturais e sociais. Um complemento relevante em todos os casos é a investigação participativa que permite que os próprios habitantes locais formulem as perguntas de investigação e aportem os conhecimentos locais e as soluções aos problemas que têm sido enfrentados com êxito por séculos.

Diversos métodos têm sido empregados para caracterizar processos e formas que enfrentam os habitantes dos lugares que compõem o altiplano andino chileno. Em primeiro lugar, foram realizadas sistematicamente entrevistas em profundidade aos povos indígenas que habitam comunidades dedicadas à agricultura de subsistência nos pisos ecológicos inferiores e ao pastoreio de gados auquênidos nos pisos superiores, onde levam a cabo circuitos de transumância que lhes permitam aceder diferencialmente, dependendo da ocorrência de anos secos ou úmidos, aos nichos ecológicos, suspendidos em ladeiras ou em torno a canais e pantanais (humedales) (ROMERO et al., 2012).

Como complemento das metodologias qualitativas foram implementados sistemas de informação geográfica ou técnicas quantitativas de análise espacial, que representam diversos tipos e fontes de informações.





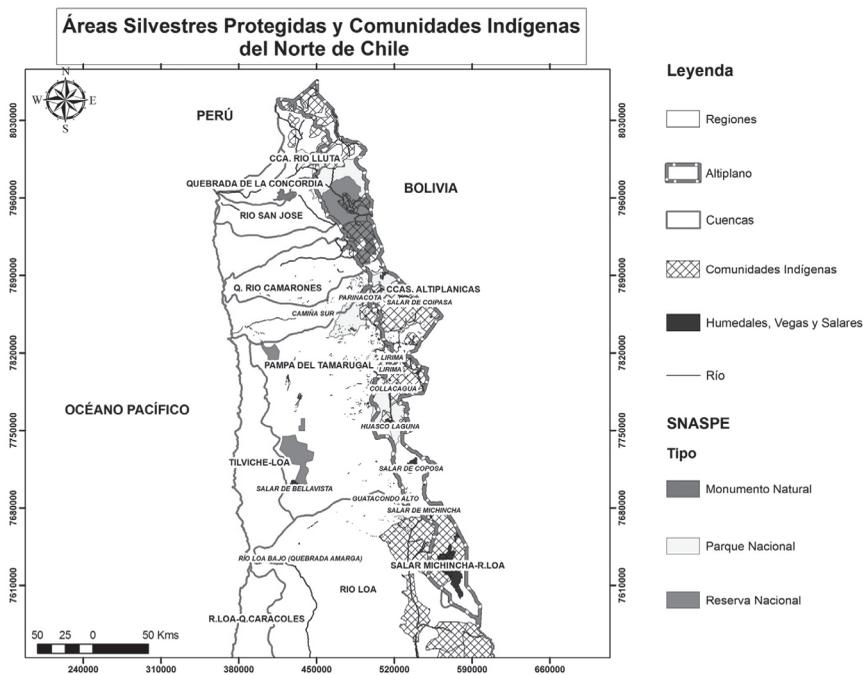
**Figura 3** - Localização dos principais projectos de investimento econômico por setores principais e dos poços de extração de águas subterrâneas por caudais, entre 1990 e 2013.

A figura 3 corresponde à localização de diversos projetos de investimentos econômicos por setores, registrados no ano de 2013, podendo-se advertir a importância de jazidas mineiras especialmente dedicadas à extração e tratamento de minerais de cobre, além dos projetos de energia, infraestrutura e saneamento ambiental. Entretanto, o que interessa destacar é a crescente instalação de poços de extração de água subterrânea, que constitui uma das mais importantes fontes de adaptação diante da incerteza que existe em torno da disponibilidade de recursos superficiais. Os poços e os caudais de extração aumentam continuamente na medida em que a demanda por água de indústrias e cidades exige dispor de abastecimentos seguros e estáveis, que se opõem completamente à quantidade de água localizada na superfície e que dependem das chuvas erráticas e irregulares. De especial interesse resulta a aglomeração de poços de extração que se observa na chamada Pampa do Tamarugal, uma superfície onde as águas subterrâneas, alimentadas pelas chuvas altiplânicas, afloram permitindo a existência de bosques de espécies nativas no meio do deserto extremo. As águas aí acumuladas são empregadas tanto para lavras mineras como para abastecer as necessidades da cidade de Iquique. Outra agrupação importante de poços de extração destinados a abastecer as jazidas mineiras



se observa na zona cordilheirana e altiplânica da região de Antofagasta, onde se situam lagoas e pantanais que ao mesmo tempo são importantes reservas de biodiversidade.

A figura 4 ilustra um dos mais importantes choques territoriais que caracterizam o Norte árido do Chile, tendo como origem a escassez de água, que por sua vez é produto das escassas e irregulares precipitações registradas nas paisagens alto andinas. Como se pode observar na figura 4, as paisagens da Cordilheira Andina estão outorgadas como áreas de conservação da natureza, que por sua vez se superpõe em grande medida às áreas reclamadas como de propriedade pelas comunidades dos povos originários. O Sistema Nacional de Áreas Protegidas do Estado (SNASPE) conforma um cinturão contínuo que associa espacialmente parques nacionais, reservas e monumentos naturais na cordilheira da região de Arica e Parinacota. Avançando ao sul, se apreciam áreas fragmentadas que vão desaparecendo, interrompendo a continuidade espacial necessária para que se constituam em um autêntico corredor ecológico de pisos de altura. Na região de Antofagasta, onde se localiza a maior parte das jazidas mineiras, as pressões permanentes por aceder aos recursos hídricos têm impedido a delimitação de áreas relevantes destinadas à proteção da natureza.

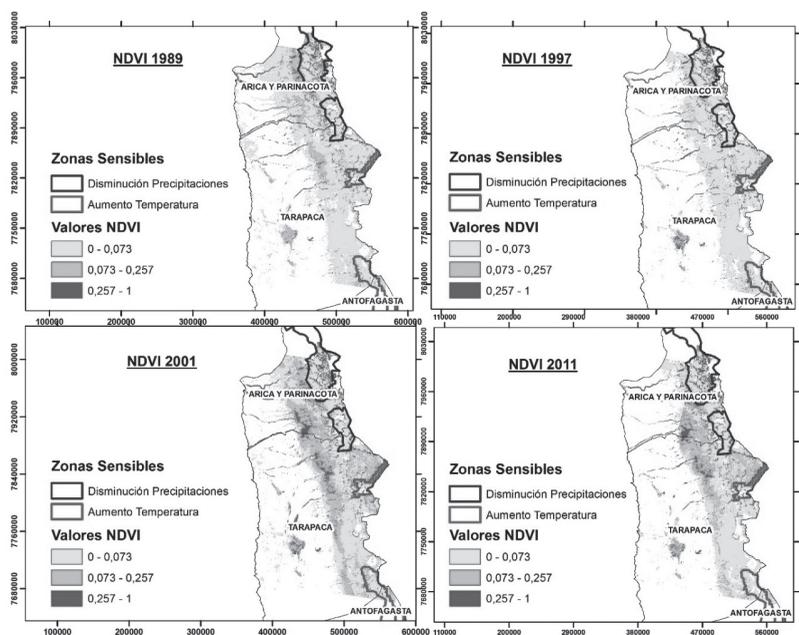


**Figura 4** - Localização das áreas pertencentes ao Sistema Nacional de Áreas Protegidas do Estado (SNASPE) e dos territórios reclamados pelas comunidades de povos originários no altiplano e cordilheira dos Andes do Norte do Chile.

Não obstante, o fato que mais chama atenção é a superposição espacial entre áreas de conservação da natureza e terras reclamadas pelas comunidades de povos originários,

o que ocorre especialmente na região de Arica e Parinacota, no extremo norte do país. O conflito que denota este choque territorial entre os interesses do Estado nacional e o das comunidades locais é uma das situações que permanece sem solução no caso chileno e que aumenta sua tensão na medida em que as empresas mineiras e de provisão de água potável para as cidades pressionam para apoderar-se dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A Figura 5 apresenta as variações das coberturas vegetais representadas em anos normais (1989 y 1997), ano seco (2010) e ano chuvoso (2001). Enquanto a maior parte das formações vegetais varia substancialmente, dependendo da quantidade de chuvas, os pantanais do altiplano situados acima dos 3500 m de altitude e os pisos ecológicos de “matorrales e estepas”, vegetação arbustiva e herbácea de climas áridos e semiáridos, localizados nos canais e vales pré-cordilheranos, podem ser considerados verdadeiras reservas territoriais, pela persistência de suas disponibilidades de água e pastos e **por constituírem-se em territórios sensíveis, cuja propriedade e administração é especialmente solicitada pelas comunidades locais, aptas para constituir áreas de conservação da natureza e sítio de competência crescente entre os interesses dos habitantes locais e dos empresários mineiros, que buscam veementemente apoderar-se das fontes superficiais e subterrâneas de recursos hídricos, que são necessários para os processos industriais destinados a extração de cobre e outros minerais, nos quais Chile é o mais importante produtor e exportador mundial.**



**Figura 5** - Variaciones de las superficies ocupadas por la vegetación según los Índices de Diferencia Vegetación Normalizada (NDVI) registrados en el Norte de Chile durante años de lluvias normales (1989 y 1997), año lluvioso (2001) y año seco (2010).



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados diários de estações em um transeto longitudinal sobre o altiplano chileno, abrangendo as regiões de Arica-Parinacota e Tarapacá, nos verões de 1996-97, 2000-01 e 2010-11, demonstrou algumas relações entre a dinâmica dos componentes do Sistema de Monção da América do Sul (ZCIT, AB e ZCAS) e a variabilidade da precipitação diária, mensal e sazonal. Percebeu-se que independente da intensidade da atuação de La Niña ou mesmo quando em face de um período neutro de atuação do ENSO, os totais de precipitação aumentam quando a ZCIT situa-se em torno do Equador e nas posições mais ao sul. Isto deve intensificar o fluxo dos alísios sobre a Amazônia. Também chove mais quando a AB ocupa suas posições mais ocidentais e meridionais (Costa e Norte do Chile, Sudoeste da Bolívia), porque seus fluxos divergentes se deslocam sobre o Altiplano. No caso da ZCAS, sua inatividade (NZCAS) resulta na intensificação do JBNAS, que transfere a umidade da Amazônia para latitudes mais altas aumentando a instabilidade ao longo da Cordilheira dos Andes. As linhas de instabilidade ao longo da Cordilheira, em episódios de alta pressão intensificada sobre o Pacífico, especialmente quando se combinam sinais positivos de ENOS (La Niña) e negativo de ODP (Pacífico mais frio) deve favorecer a passagem da umidade do leste para o altiplano chileno, alimentando as precipitações convectivas de verão.

Estas conclusões estão baseadas em um universo reduzido de informações, mas apontam no sentido de um aprofundamento de uma investigação que poderia ampliar as possibilidades da previsão de tempo e clima para o Altiplano Chileno. No entanto, isto não substitui a consideração dos fatores locais como orientação e inclinação das vertentes, localização de fontes hídricas superficiais, como o Lago Chungará, a 4500m de altitude, que também parecem ter significativa influência na distribuição espacial das precipitações.

Para os habitantes das comunidades indígenas do altiplano andino, o clima é um componente territorial que manifesta continuamente grandes variabilidades, caracterizando-se por uma alta irregularidade, **que conduz inevitavelmente a uma alta incerteza com respeito à disponibilidade de água e pastos, que se agrava na medida em que perderam parte de seus direitos de água, que nas décadas recentes têm sido vendidos às empresas mineras e de abastecimento de água potável, pois a água é um bem de mercado que se comercializa livremente no Chile desde 1981.** A sequência de períodos variáveis de anos de seca, de anos e estações chuvosas, de inundações, ondas de frio e de calor, constituem eventos que representam a extrema variabilidade dos climas locais, que, não obstante, resultam normais nas formas de vida, práticas produtivas e interpretações religiosas da realidade. Diante disto, a noção de mudanças climáticas, imposta pelas instituições internacionais ou pelos governos



regionais e nacionais, resulta absolutamente desacreditada como também o são as projeções apocalípticas que podem acompanhar os prognósticos de longo prazo do IPCC. Os habitantes das comunidades locais reconhecem as ameaças naturais associadas aos eventos extremos dos climas locais, como fatos recorrentes e típicos no altiplano alto andino, que tiveram que ser interpretados e internalizados pelos povos e culturas locais para poder assentar-se e subsistir nestas paisagens por milhares de anos. Para eles, os fatores e elementos do clima têm formado parte de particulares interpretações e representações que são divinizados e dotados de significados sobrenaturais. As montanhas mais elevadas de cada lugar correspondem a deuses, tal como sucede com a água propriamente tal e com as terras, que conformam um sistema holístico e integrado que não permite separar a natureza da cultura nem da sociedade, conformando sistemas naturais e metafísicos que garantem a sustentabilidade e conservação dos recursos naturais, ao mesmo tempo em que organizam a sociedade em torno a práticas produtivas que controlam a totalidade dos pisos ecológicos, junto com afiançar como valores societários a reciprocidade, a solidariedade, a equidade, a justiça e outros princípios morais que contribuem a desenvolver e fomentar o capital social como fundamento da vida cotidiana.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, L. M. V. y JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) (2009) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p . 96-109.

CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.11, n.12; v. 12, ns.1-4; v.15, n.12; v.16, n.1-4; v. 25, n.12; v.26, n.1-4 (dez a abril de 1996, 1997, 2000, 2001, 2010 e 2011). Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/>. Acessos em: jan/fev de 2014.

GAN, M.; RODRIGUES, L. C.; RAO, V. B. (2009). Monção na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p . 297-316.

JAN NULL, CCM. **El Niño and La Niña Years and Intensities. Based on Oceanic Niño Index (ONI)**. Disponível em: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acessos em: jan/fev, 2014.



MARENGO, J. A. LIEBMANN, B. GRIMM, A. M. MISRA, V. SILVA DIAS, P. L. CAVALCANTI, I. F. A. CARVALHO, L. M. V. BERBERY, E. H. AMBRIZZI, T. VERA, C. S. SAULO, A. C. NOGUES-PAEGLE, J. ZIPSER, E. SETH, A.; ALVES, L. M. (2012). Review Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**. 32: 1–21.

MARENGO, J. A., AMBRIZZI, T. e SOARES, W. R. Jato de Baixos Níveis ao longo dos Andes. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da e DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 169-180. global monsoon systems: research. Genebra: World Meteorological Organization. WMO/TD, n.1266 (TMRP Rep. n. 70), 2005.p. 197-206.

MELO, A. B. C. de; CAVALCANTI, I. F. de A. y SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da y DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 25-41.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. Monzón Sudamericano: La Integración de la Circulación Amazónica y Altiplánica. **Anales da Sociedad Chilena de Ciências Geográficas**, 2012, 8p.

MONTEIRO, M.A.; MENDONÇA, M. Dinâmica Atmosférica do Estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M. L. de P.(Org.). **Atlas de Desastres Naturais do Santa Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010**, 2ed.Florianópolis:Instituto Histórico Geográfico de Santa Catarina e Cadernos Geográficos GCN/UFSC, 2014, v.1, p.5-12 (CD).

NOAA/NCEP. **Cold & Warm Episodes by Season. Change to the Oceanic Niño Index (ONI)**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis>.

ROMERO, H.; MENDONÇA, M; MENDEZ, M. Y SMITH, P. Multiescalaridad, relaciones espaciales y desafíos ecológico-sociales de la climatología sudamericana. El caso del Desierto de Atacama. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba: UFPR. Ano 7, vol. 8, jan/jun., 2011, p.7-29. Disponível em: [www.ufpr.br/revistaabclima](http://www.ufpr.br/revistaabclima).

ROMERO, H.; MENDONÇA, M.; MENDEZ, M.; SMITH, P. Macro y Mesoclimas del Altiplano Andino y Desierto de Atacama: Desafíos y Estrategias de Adaptación Social Ante su Variabilidad. **Revista de Geografía Norte Grande**. Santiago, n.º 55, set., 2013, p.19-41.



SARRICOLEA, P.; ROMERO, H. **Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile.** Inédito

SILVA DIAS, P.; MARENGO, J. Águas atmosféricas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JUNIOR, B.; TUNDIZI, J. G. Águas doces no Brasil - capital ecológico, usos múltiplos, exploração racional e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p 65-116.

