

DECLÍNIO DAS GELEIRAS DA BACIA DO RIO AMAZONAS

Elias Simão Assayag
elias_assayag@yahoo.com.br

Professor da Universidade Federal do Amazonas
Doutorando da COPPE/UFRJ

ABSTRACT

In 2007, the IPCC listed glaciers of Andes as one of more vulnerable points of the World, to the global warming, particularly those situated in tropical Andes. A reduction around 20% in last the twenty years is esteem and that in the current days the phenomenon comes being intensified because of the global climatic changes caused by the greenhouse effect. It is important to observe that there are the fountainhead of many rivers of the Amazonian basin. For glaciers located in Amazonian Andes, the forecasts indicate a sped up process of decline until the extinction. The Amazonia is not a place where science has the accurate knowledge of the hydrological and glacial events. In this context, appears the lack of a compatible database. At the same time, the absence of scientific knowledge with particular approach for basin of the river Amazon is perceived clearly, with capacity to become possible to understand and to monitor the processes of melting in course. This work intends to make a reflection about this problem and includes this question in the discussion, especially in the scope of the scientific community in the area of water resources.

Keys-Word: Decline of tropical Andes, Amazonian Basin, Climatic Changes.

INTRODUÇÃO

O segundo relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês) divulgado em abril de 2007, prevê entre os principais efeitos para a América Latina, o derretimento das geleiras nos Andes, com possíveis alterações no ciclo hidrológico da bacia Amazônica (GUSMAN, 2007). Estima-se que as geleiras tropicais dos Andes podem desaparecer nas próximas duas décadas (MANSUR, 2007).

De fato esse processo está em curso e se faz sentir fortemente nos países andinos que durante a estação seca dependem da captação de água para abastecimento nas bacias hidroglaciais da cordilheira dos Andes. As atividades turísticas na região também estão sendo prejudicadas como, por exemplo, no caso da estação de esqui de Chacaltaya na Bolívia, onde antes havia uma concorrida pista de esqui e que hoje já não funciona mais por falta de neve.

Estudos de JORDAN et al., (1999) indicam que foi por volta de 1800 que se iniciou uma redução significativa nas geleiras dos Andes e aparente ainda continua até os dias atuais. Para COUDRAIN et al, (2005), as geleiras nos Andes estão se retraindo desde a temperatura mínima da pequena idade do gelo (séculos 17-19).

Apesar de não fazer parte dos países andinos, também no Brasil, de certa forma, os efeitos desse fenômeno são importantes, pois uma parte significativa dos rios da bacia do rio Amazonas nasce na região Andina, formam duas importantes sub-bacias no território brasileiro, a bacia do rio Solimões e a bacia do rio Madeira.

Obviamente, Amazônia e Andes são duas regiões naturais muito distintas: a primeira consiste em terras praticamente planas de baixa altitude, a segunda é formada por cadeias das montanhas mais escarpadas e altas da Terra, incluindo numerosos vulcões ativos. Naturalmente, cada um destes dois mundos está sujeito a conjuntos diferentes, mas inter-relacionados em muitos aspectos, de parâmetros

físicos, geoquímicos e biológicos. As influências diretas e indiretas que a orografia andina no equilíbrio hídrico de planície na bacia do Amazonas não pode subestimada. (EVA et al., 2005).

O fato da porção brasileira da bacia do rio Amazonas estar situada a jusante das porções estrangeiras faz com que seja essencial para o Brasil estudar e conhecer a hidrologia dessas áreas, o que hoje ainda é muito difícil, pois não se têm acesso aos poucos dados das estações existentes nos países vizinhos.

Poucos estudos continuados já foram realizados sobre as geleiras que fluem para o lado oriental (vertente atlântica) da cordilheira andina. Assim mesmo, em grande maioria por pesquisadores austríacos e alemães ou por ação do IRD. Existem somente estudos gerais (JORDAN, 1999) ou para algumas geleiras de pequeno porte (FRANCOU, 2005). O levantamento do conjunto das massas de gelo pertencentes à bacia do rio Amazonas trata-se de um estudo pioneiro.

ASPECTOS GERAIS DA BACIA DO RIO AMAZONAS

A origem da bacia do rio Amazonas na sua forma atual, limitada ao Norte pelo escudo das Guianas, ao Sul pelo escudo Brasileiro e a Oeste pela cordilheira dos Andes é narrada por Aziz Ab'Sáber (BORELLI et al, 2005) desse modo:

“Num tempo em que a cordilheira dos Andes nem existia, o rio Amazonas corria no sentido inverso ao atual, na direção do Pacífico. Há centenas de milhões de anos, quando aquele conjunto de montanhas se levantou, o rio ficou impedido de seguir em frente e formou um grande lago. Impotentes diante da barreira colossal, as águas represadas escoaram no sentido oposto e abriram caminho para o Atlântico”.

BATISTA (1976) resgata uma tradicional visão geopolítica e estratégica da bacia do rio Amazonas quando cita o Presidente Getúlio Vargas:

“As águas do Amazonas são continentais. Antes de chegarem ao oceano, arrastam no seu leito degelos dos Andes, águas quentes da planície central e correntes encachoeiradas das serranias do Norte. É portanto um rio tipicamente americano, pela extensão de sua bacia hidrográfica e pela origem das nascentes e caudatários, provindos de varias nações vizinhas”

A bacia do rio Amazonas representa uma área de 6.112.000 Km², distribuída em sete países: a) Brasil 63%; b) Perú 17%; c) Bolívia 10%; d) Venezuela 7%; e) Colômbia 5,8%; f) Equador 2,2% e g) Guiana 0,3%. A vazão média do Rio Amazonas é 209.000 m³/s (GUYOT et al., 1999). A vazão específica na foz da bacia é de 34,2 l.s⁻¹.km⁻² (FILIZOLA JÚNIOR, 1999).

Devido a sua posição, próximo e praticamente paralelo em relação à linha do equador, o rio Amazonas tem seu regime fluvial composto por contribuições oriundas do hemisfério Norte e do Hemisfério Sul, coincidindo a cheia dos tributários de um hemisfério com a estiagem dos tributários do outro hemisfério.

Para RIBEIRO NETO (2006), a precipitação média anual da bacia é de 2.300 mm, podendo variar para cada região, de 200 mm.ano⁻¹ a 6.000 mm.ano⁻¹. Nos Andes, por exemplo, a cordilheira forma uma barreira natural que impede a passagem do vapor d'água proveniente de regiões localizadas mais a leste da bacia, que resulta em uma precipitação anual na ordem de 6.000 mm.

Segundo GUYOT (1993) apud RIBEIRO NETO (2006), a bacia Amazônica é composta por três estruturas geomorfológicas: a planície Amazônica (45%); os escudos da Guiana e Brasileiro (44%); e a cordilheira dos Andes (11%).

Os rios que nascem no sistema Paramaribo-Guiano (Norte da bacia) são chamados de rios de água preta, escura ou “rios negros”, tais como rio Negro, rio Urubu, rio Uatumã, rio Jatapu, rio Mupuera e rio Trombetas.

São conhecidos como rios de águas claras ou cristalinas aqueles que nascem no complexo cristalino brasileiro do Planalto Central e no escudo Sul Amazônico. Os principais rios são Tapajós, Juruena, Teles Pires, Verde, Xingu e Iriri.

Os rios originados nas regiões andinas e subandinas são os rios de água barrenta, branca ou amarela, como por exemplo: Ucayale, Marañon, Solimões, Amazonas, Juruá, Purus e o Madeira.

A cordilheira dos Andes possui mais de 10.000 km de comprimento, dos quais, 4.000 km estão inseridos na bacia Amazônica. A altitude pode ser superior a 6.000 m e a sua largura varia de 200 km no Equador a 600 km na Bolívia. Os Andes são responsáveis por 95% do sedimento transportado pelos rios da bacia (FILIZOLA JÚNIOR, 1999).

Dado que uma parte substancial das águas do Amazonas tem origem na Cordilheira dos Andes, é necessário ter em conta que o equilíbrio geoquímico da planície Amazônica é primordialmente influenciado pelo processo contínuo de depósito, transporte e redistribuição de sedimentos resultantes da erosão nas vertentes andinas. Se considerarmos que a massa de sedimentos, originada principalmente nos Andes e lançada mais tarde no oceano Atlântico pelo rio Amazonas, pode ainda ser observada em imagens de satélite para além da ilha da Trindade no Caribe, facilmente se reconhecem a importância e o caráter gigantesco dos processos erosivos que ocorrem nos Andes orientais, bem como o seu impacto na hidrografia das terras baixas (EVA, et al., 2005).

O SISTEMA GLACIOHIDROLOGICO DA BACIA DO RIO AMAZONAS

Para LAWSON (1993), as geleiras ocupando grandes áreas ou apenas áreas menores dentro da bacia, exercem uma significativa influencia na hidráulica fluvial, especialmente nos picos das vazões, vazão e volume horários e diários, na sazonalidade e no regime hidrológico dos rios, na fase entre o pico das vazões máximas e as precipitações máximas e nas tendências para longo prazo das séries de vazões.

Durante a estação úmida, justamente quando as precipitações são maiores, as geleiras acumulam reservas de água na forma de gelo e neve provocando um amortecimento na vazão e no nível das águas dos rios durante o ciclo de cheia. Na estação seca, quando as chuvas são menores e as temperaturas são mais elevadas, ocorre o processo inverso e por meio da ablação as geleiras retornam parte do volume armazenado na forma de escoamento superficial, mantendo um escoamento básico mínimo na vazante dos rios.

De acordo com TUCCI (2005) "O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica pode se alterar ou produzir vazões e/ou níveis de acordo com condições climáticas variáveis ao longo do tempo devido as mais diferentes condições, muitas delas ainda desconhecidas quanto ao comportamento climático do globo". Com as mudanças climáticas que ora ocorre no planeta, novas condições climáticas são esperadas para a bacia do rio Amazonas e conseqüentemente será estabelecido um novo padrão para seu regime hidrológico. Parte dessas novas condições e padrões já são realidades sentidas tanto nas montanhas (Andes tropicais) quanto na planície (vale do rio Amazonas).

No caso da bacia do rio Amazonas, rios que não recebem qualquer contribuição oriunda dos Andes também são influenciados. Um exemplo disso é o rio Negro que, segundo JUNK (1983), próximo de Manaus, quando atinge o nível máximo é fortemente "influenciado pela água proveniente dos Andes e da área pré-andina, o que necessita cerca de 3 semanas até chegar em Manaus".

Esse funcionamento em forma de vasos comunicantes ficou bastante evidente durante a cheia do rio Negro em 2009, quando o rio Solimões recebeu grandes volumes precipitados e se elevou para níveis extraordinariamente altos, nunca antes registrados na região. O elevado nível do rio Solimões fez com que o rio Negro em Manaus também se elevasse extraordinariamente, mesmo com a sua bacia recebendo apenas volumes normais de precipitação para a época. Em 2009 o rio Negro atingiu o seu maior nível na série anual de 100 anos de registros.

Na bacia do rio Amazonas, o rio Madeira e o Solimões nascem em geleiras nos Andes. Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA, a vazão média anual do rio Solimões é de 103.000 m³/s, enquanto a do

rio Madeira é de 31.200 m³/s. Os dois juntos representam 134.200 m³/s. Considerando que o rio Amazonas tem como vazão média anual 209.000 m³/s, as duas bacias juntas são equivalentes a 64,21% dessa vazão.

Segundo Samuel BENCHIMOL (1989), as duas sub-bacias em questão apresentam diversas características semelhantes, que são:

- a) Instabilidade de seus leitos provocada pela erosão fluvial marginal. Esse fenômeno é localmente conhecido como “terras caídas”.
- b) Morfologia em meandros, que os levam a divagar nas planícies aluvionais e formar “sacados” e “lagos de ferradura”.
- c) Grande concentração de sedimentos argilosos em suspensão, carreados dos solos de aluvião e responsáveis pela formação de sedimentos nas várzeas, restingas e lagos ribeirinhos.
- d) Riqueza em sais minerais, nutrientes e matérias orgânicas obtidas dos solos eutróficos de suas cabeceiras.
- e) Ambiente ecológico propício ao desenvolvimento da fauna e flora aquáticas (peixes, insetos, animais, plantas aquáticas submersas, limnoplânctons), em virtude de sua alimentação nival e pluvial provir de áreas mineralizadas, não completamente intemperizadas, das jovens regiões andinas e cisandinas do Período Cenozóico (cerca de 70 milhões de anos).
- f) Água rica em sais minerais dissolvidos, com alta percentagem de cálcio e magnésio, o que faz com que sua qualidade seja quase neutra ou pouco ácida, com pH em torno de 6,5 a 7.
- g) Presença de ilhas e várzeas de solos férteis e eutróficos, formadas pela sedimentação e colmatagem, que propiciam a renovação e a reciclagem de nutrientes e matérias orgânicas nos ciclos hidrológicos de enchentes e vazantes, permitindo uma alta produtividade das culturas agrícolas de curta duração.

Tomando como critério a delimitação de bacias e regiões hidrográficas no nível 2, adotada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Resolução No.30, de 11 de dezembro de 2002) que segue a metodologia desenvolvida pelo engenheiro brasileiro Otto Pfastetter e com e utilizando técnicas de sensoriamento remoto e GIS, se conclui que a Região Hidrográfica do sistema do rio Solimões (área 49) e a bacia hidrográfica do Rio Madeira (área 46) são as áreas que contem a porção amazônica dos Andes Tropicais (figura 1 abaixo), e que recebem em território brasileiro afluentes das geleiras.

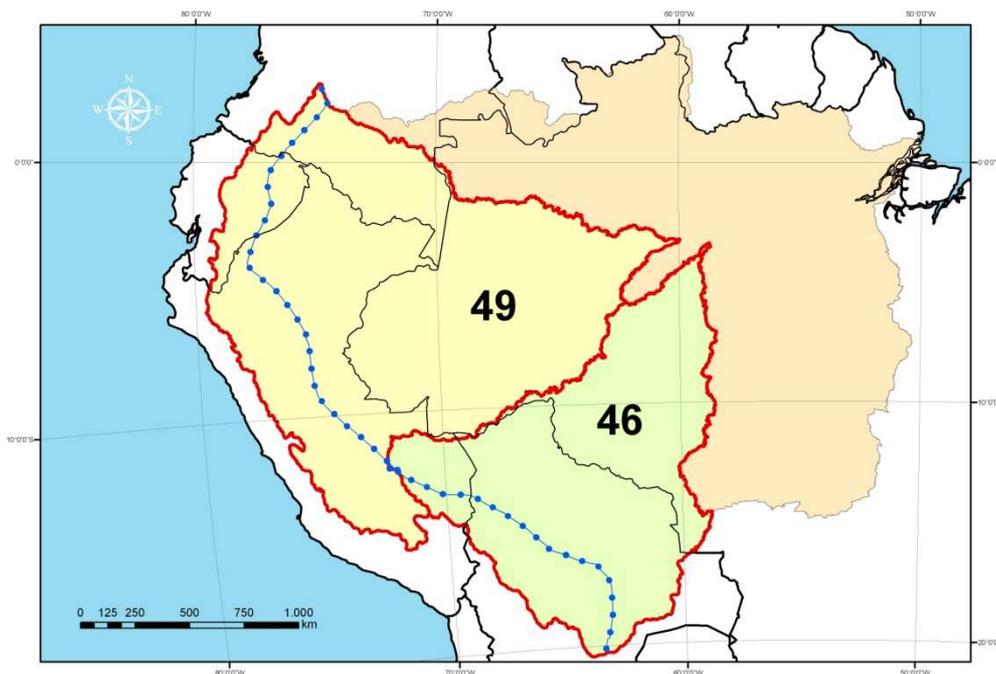


Figura 1 – Região hidrográfica 49 e bacia do rio Madeira (46).

A Região Hidrográfica 49 tem uma área de 2.195.499 km², sendo que cerca de 23,7% na região Andina. São partes dessa região as bacias hidrográficas de importantes rios como Marañon, Ucayali, Juruá, Purus e Solimões, entre outros. Essa região se desenvolve em áreas do Brasil, Equador, Peru e Colômbia, apresentando geleiras apenas no Peru e Equador. Embora existam geleiras na Colômbia, essas massas de gelo ficam na vertente oriental que não contribui para a bacia do rio Amazonas.

A bacia do Rio Madeira (46) tem área de 1.376.462 km², com 17,6 % dessa área localizada nos Andes. As duas áreas juntas representam 58,44% da bacia Amazônica, e somam 3.571.961 km². A bacia do rio Madeira se desenvolve em áreas do Brasil, Peru e Bolívia. As geleiras dessa bacia estão localizadas no Peru e Bolívia.

Segundo FILIZOLA JUNIOR (informação verbal), em 2007, os pesquisadores do IRD estimam em torno de 20.000 km³ o volume de gelo nos Andes que pertence à bacia do ro Amazonas. Estudos superficiais desenvolvidos no Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul indicam essa mesma estimativa (SIMÕES, 2007). Novos estudos, mais aprofundados, em curso no Laboratório de Hidrologia da COPPE/UFRJ e NUPAC/UFRGS, apontam para um valor bem menor que esse.

GELEIRAS NO EQUADOR

Segundo JORDAN et al, (1999) no Equador, mesmo estando localizado na linha do Equador, existe 4 montanhas na Cordilheira Ocidental e 13 montanhas na Cordilheira Oriental cujos picos que se elevam acima da altitude da linha de neve regional e são cobertos por mais de 100 pequenas geleiras (figura 2).

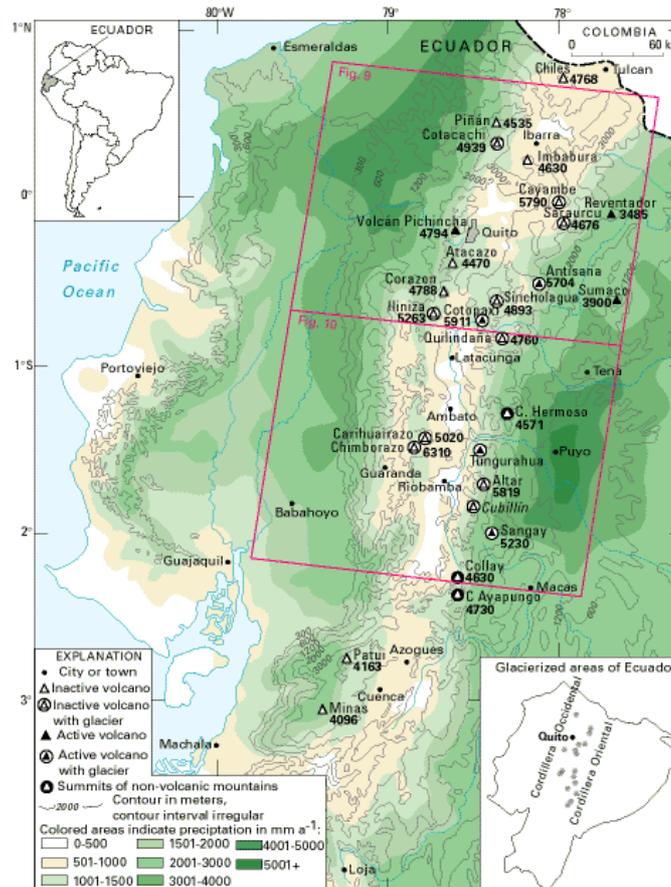


Figura 2 - Geleiras no Equador (fonte USGS, disponível em <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/ecuador/intro.html#FIG1>).

A área total das geleiras nos 17 vulcões e em outras montanhas é de 97,21km², dos quais 21,92km² na Cordilheira Ocidental e 75,29km² na cordilheira Oriental. As condições climáticas no Equador variam consideravelmente, sendo influenciadas pela disponibilidade de umidade do oceano Pacífico e/ou da bacia Amazônica, da elevação do terreno, e orientação das cadeias de montanhas. Em geral, as geleiras se desenvolvem mais nas vertentes orientais das cordilheiras. Uma redução significativa na área da geleira foi registrada desde o 1800 e aparentemente ainda continua até os dias atuais (JORDAN et al., 1999).

Segundo Bolívar Cáceres CORREA (informação verbal), do Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia (INAMHI - Equador), no ano de 2006 foi estimada a área total das geleiras do Equador em 78,9km². As geleiras estão localizadas em 3 regiões na cordilheira Ocidental e em 6 montanhas na cordilheira Oriental, como mostra a tabela 1, abaixo:

Tabela 1 – Inventário das geleiras do Equador em 2006. Fonte CORREA, B.C.

Cordillera Occidental (Western Cordillera)			
Montaña	Número de Glaciares	Área (km ²)	Fuente
Iliniza	10	0,84	Jordan-Hastenrath, 1998
Carihuayraza	9	0,60	Cáceres, 2006
Chimborazo	22	15,03	Cáceres, 2006
		16,47	
Cordillera Oriental (Eastern Cordillera)			
Montaña	Número de Glaciares	Área (km ²)	Fuente
Cayambe	20	17,73	Jordan-Hastenrath, 1998
Saraurcu	---	0,50	Jordan-Hastenrath, 1998
Antisana	17	13,38	Cáceres, 2006
Cotopaxi	19	12,67	Cáceres, 2006
Altar	6	14,80	Jordan-Hastenrath, 1998
Sangay	---	3,32	Jordan-Hastenrath, 1998
		62,40	

O território equatoriano é drenado por 7 bacias hidrográficas (figura 3), das quais 3 são sub-bacias da bacia do Rio Amazonas. São elas: a) Bacia 2 - Rio Napo; b) Bacia 5 - Rio Pastaza e c) Bacia 6 - Rio Santiago.

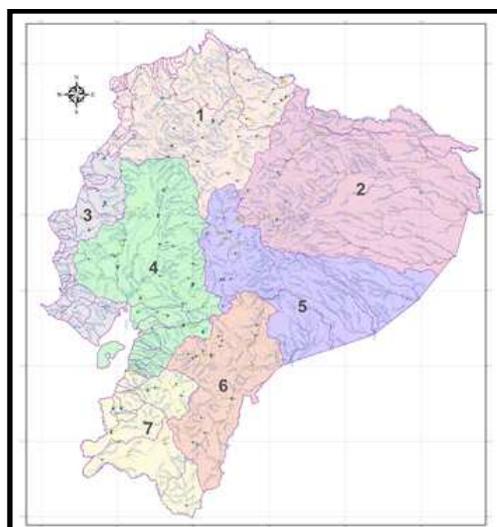


Figura 3 – Bacias hidrográficas do Equador (fonte: INAMHI- Equador).

A figura 5 abaixo, fornecida por Marco Zappata LUYO, do Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA (Peru), mostra que entre 1970 e 2003 desapareceram 45 geleiras na cordilheira Blanca, sendo 30 delas na bacia do Rio Amazonas (vertente Atlântico).

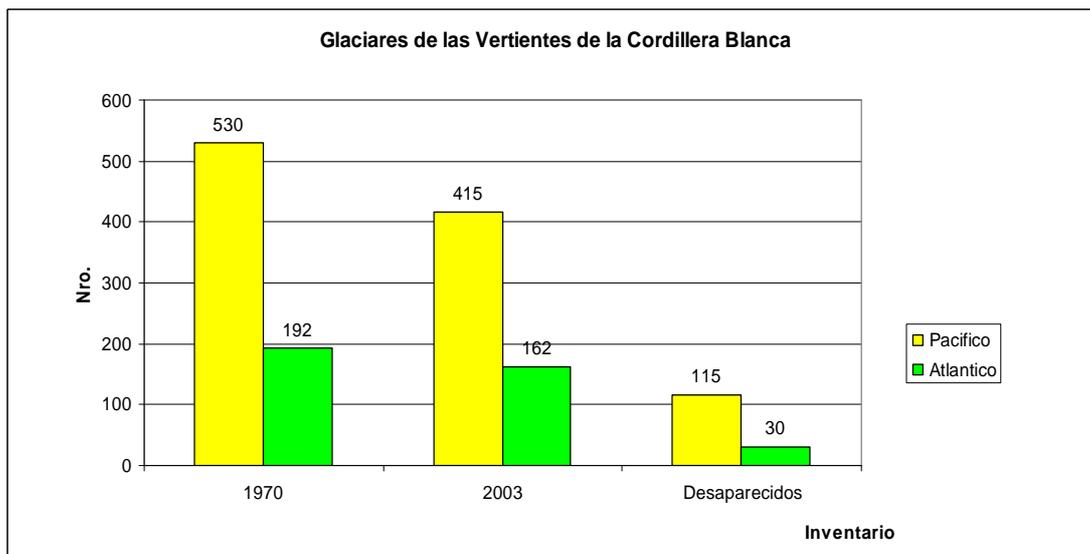


Figura 5 – Inventario de geleiras na cordilheira Blanca em 1970 e 2003 no Perú. (fonte ZAPATA).

GELEIRAS NA BOLÍVIA

Segundo Javier C. M. RODRÍGUEZ (informação verbal), do serviço Nacional de Metereologia e Hidrologia – SENAMHI (Bolívia), a Amazônia Boliviana mede 903.500 km² (63% do território da Bolívia) e fica inteiramente contida na Bacia do Rio Madeira. A bacia Amazônia boliviana é drenada por quatro grandes rios, Beni, Mamore e Madre de Dios (os três com origem nos Andes) e Rio Itenez, como é mostrado na figura 6 abaixo:

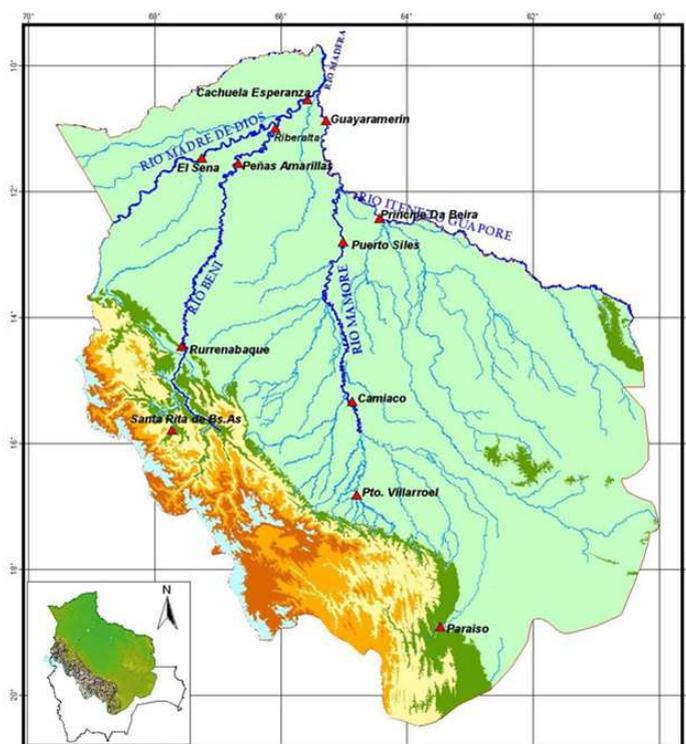


Figura 6 – Amazônia boliviana. Fonte: RODRIGUEZ

A Bolívia tem uma área coberta por geleiras de mais de 560 km². Essas áreas são situadas nos vulcões extintos da Cordilheira Ocidental no norte da Bolívia (figura 7, abaixo). A maior parte do gelo (mais de 550km²) são calotas de gelo, geleiras de vale, e geleiras de montanha, e são localizadas nos picos mais elevados das cordilheira Apolobamba, Real, Tres Cruces e nevado Santa Vera Cruz na cordilheira Oriental (JORDAN, 1999).

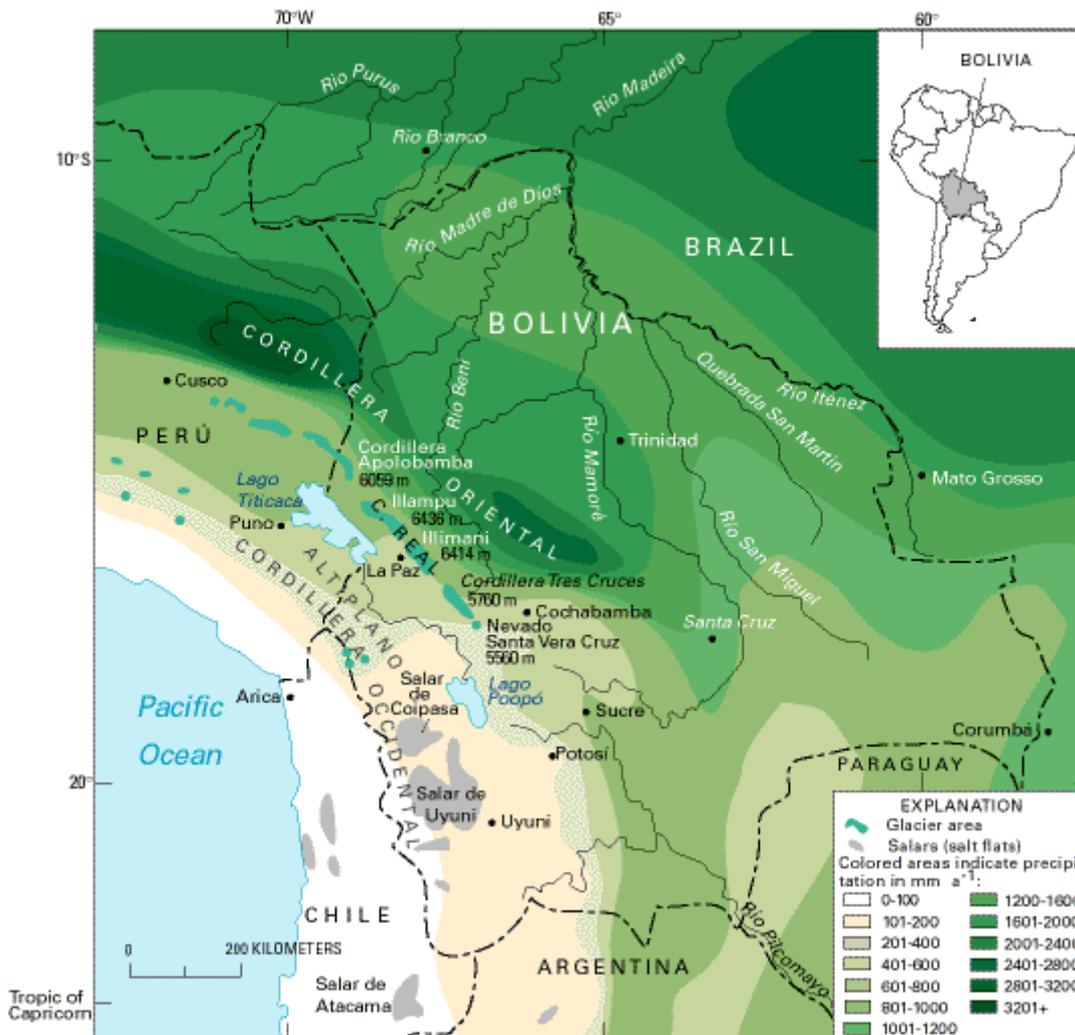


Figura 7 – Distribuição das Geleiras na Bolívia e totais precipitados anuais (fonte: USGS, disponível em <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/bolivia/intro.html>)

As geleiras na Bolívia são encontradas principalmente em duas de montanhas dos Andes, a cordilheira Ocidental ao longo da fronteira ocidental com o Chile e as cordilheiras Apolobamba, Real, Tres Cruces e nevado Santa Vera Cruz, que são a extensão sul da Cordilheira Oriental do Peru. Entre as Cordilheira Apolobamba e Cordilheira Real, existe a Cordilheira de Muñecaus que tem duas pequenas áreas glaciais, que somam 16 pequenas geleiras, com uma área total de 0.1 km². No vasto altiplano existente entre estas duas cordilheiras não se encontra gelo, pois o terreno não tem suficiente elevação e/ou precipitação (JORDAN, 1999).

O DECLÍNIO DAS GELEIRAS NA BACIA DO RIO AMAZONAS

O estado de geleiras de montanha é um bom indicador climático do aquecimento global do planeta e representa um das mais espetaculares e persuasivas manifestações das mudanças climáticas globais. Os

estudos numerosos no mundo inteiro mostram um difundido e bem documentado, recuo de geleiras da montanha em regiões não polares do mundo durante o século XX (IPCC, 2001).

A medida mais rigorosa da alteração das geleiras é o balanço de massa, ou seja, a diferença entre a acumulação (a massa acrescida sob a forma de neve) e a ablação (a perda de massa devida à fusão ou ao desprendimento de grandes blocos de gelo). Uma vez que as mudanças de massa são difíceis de medir, o recuo das geleiras é mais frequentemente descrito como uma perda de área da geleira, ou como a distância que a frente (limite) da geleira retrocedeu.

O Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul faz o monitoramento de algumas geleiras dos Andes bolivianos e vem detectando que a cada ano a altitude da linha de neve vem se elevando, de onde se conclui que a área ocupada pela neve que permanece de um ano para outro está diminuindo progressivamente. Segundo SIMÕES (2004) a altitude da linha de neve é controlada pela temperatura atmosférica e pelo volume de neve precipitada. Ambos os fatores estão sendo fortemente influenciados pelo efeito estufa nos dias atuais.

O ápice mais recente das geleiras na cordilheira dos Andes certamente se deu durante a Pequena Idade do Gelo (período em que o mundo esteve sob temperaturas relativamente baixas quando comparadas com as atuais). Subseqüentemente, até 1940 as geleiras recuaram um pouco à medida que o clima se tornava mais quente. O recuo glacial abrandou, e em muitos casos foi mesmo revertido, entre 1950 e 1980 em conseqüência de um ligeiro arrefecimento global. Porém, desde 1980 um significativo aquecimento global tem conduzido ao recuo cada vez mais rápido e generalizado, de tal forma que muitas geleiras desapareceram e a existência de grande parte dos que restam na cordilheira dos Andes está ameaçada.

De fato, muitas geleiras estão se retraindo a muito tempo, desde a temperatura mínima da pequena idade do gelo (séculos 17-19), mas uma franca aceleração do recuo da geleira foi observada durante últimas décadas. As geleiras localizadas nas áreas tropicais e subtropicais merecem uma preocupação especial. Tem sido observado um acelerado processo de recuo dessas geleiras e as projeções indicam o desaparecimento completo das geleiras pequenas em um futuro próximo (COUDRAIN et al, 2005).

As geleiras das montanhas dos Andes desempenham um importante papel como indicadores climáticos, pois: a) representa de forma sintética a evolução climática da troposfera média nos trópicos; b) devido à ausência de uma estação sem ablação que favorece uma atividade forte na baixa elevação, são muito sensíveis à variação do clima; e c) por essa razão e por causa de seu tamanho reduzido, estas geleiras respondem rapidamente às flutuações de clima. Em termos de recursos hídricos, essas geleiras representam um valor econômico importante para a região, em particular quando o regime pluviométrico inclui uma sazonalidade severa (FRANCOU et al., 2000).

As geleiras da porção tropical dos Andes, em sua parte mais inferior, apresentam um regime de ablação ao longo do ano. A ablação na Bolívia e Peru acontece durante o verão austral (Outubro-Abril), nessa época acontecem simultaneamente as máximas da radiação e as precipitações máximas. No Equador a ablação acontece nos meses mais próximos aos equinócios (Abril-Maio e setembro). As geleiras andinas tropicais têm uma distribuição sazonal da precipitação (estação seca e molhada), e as variações sazonais da temperatura são pequenas, comparadas à amplitude no intervalo de 24 horas (COUDRAIN et al, 2005).

De acordo com o WWF (COMBES, 2007), no Perú, a geleira Yanamarey perdeu um quarto da sua área nos últimos cinquenta anos, e as geleiras de Uruashraju e Broggi perderam entre 40 a 50% da sua extensão no período de 1948 a 1990. No Equador, a geleira Antizana encolheu 7 a 8 vezes mais rapidamente durante os anos 90 do que nas décadas anteriores. Do mesmo modo, a geleira Chacaltaya (na Bolívia) perdeu quase metade da sua área e dois terços do seu volume só em meados da década de 90, e pode desaparecer brevemente.

O GEO BRASIL - Recursos Hídricos, divulgado pela Agência Nacional de Águas - ANA (2007) destaca o degelo dos Andes como uma vulnerabilidade climática com potencial para provocar alterações na disponibilidade hídrica da bacia Amazônica. Para ASSUNCION (2006) no relatório supra citado, afirma que "as geleiras estão se reduzindo a um ritmo mais rápido do que o previsto, como decorrência da intensificação do efeito estufa, [... ..] segundo alguns levantamentos já pode ter tido uma diminuição de mais de 20% nos últimos vinte anos" (ANA, 2007).

São crescentes as evidências de que o aquecimento global acelerou significativamente o recuo observado nas geleiras nos Andes tropicais nas últimas décadas. O recuo atinge até mesmo as grandes geleiras, mas é particularmente dramático para as geleiras de tamanho pequeno, tais como a geleira de Chacaltaya na Bolívia. Em geral o encolhimento das geleiras é conduzido pela elevação da temperatura no sul dos Andes. Nos Andes tropicais os processos são mais complexos, o aumento no derretimento das geleiras reflete uma combinação complexa de fatores relativos ao balanço de energia, tal como a temperatura, a duração de eventos secos, a precipitação e a umidade que controlam o albedo, e no derretimento/sublimação (COUDRAIN et al, 2005).

De acordo com a análise de FRANCOU et al. (2000), na última década do século XX a retração nas geleiras nos Andes tropicais foi dramática. Nesse período, os déficits médios destas geleiras estiveram entre 600 mm ano^{-1} e 1400 mm ano^{-1} . As geleiras menores foram as mais afetadas e muitas delas podem desaparecer nas primeiras décadas do século XXI. Tal desequilíbrio resultou na ascensão na altitude da linha de equilíbrio na ordem de 100 a 200 metros. Apesar das informações incompletas para Bolívia e Equador antes de 1990, percebe-se o processo se acelerou nos Andes tropicais desde o final dos anos 70 do século XX.

O recuo das geleiras andinas não foi uniforme ao longo do século XX. O balanço de massa da geleira, que é uma estimativa da diferença entre a acumulação de neve e de gelo e sua ablação, parece ser fortemente controlado pela variabilidade do clima em escalas de tempo decenal. Nas áreas tropicais, durante os períodos de EL Niño (períodos quentes) os balanços de massa são negativos e relacionados com um déficit da precipitação durante o verão/período molhado na Bolívia e durante Fevereiro-Maio no Equador, que afeta diretamente o albedo e as taxas de derretimento na geleira aplainam. Neste período de derretimento intenso, o limite da neve/chuva se move para acima dos 5000 m, que conduz à acumulação diminuída. Anomalias, como balanço de massa positivo são igualmente registradas durante o período quente (El Niño), mas ocorrem geralmente nas geleiras situadas nas áreas subtropicais (30-35°S), devido à precipitação elevada do inverno (COUDRAIN et al, 2005).

Durante um ano do El Niño, as geleiras intertropicais podem perder de 600 mm a 1200 mm do equivalente em água. O oposto ocorre durante o frio e úmido período de La Niña, durante o qual as geleiras retornam ao equilíbrio e às vezes mostram um aumento mínimo. Os eventos de calor têm ocorrido em uma frequência mais elevada desde que foram reconhecidos em 1976, e a aceleração no recuo das geleiras, particularmente nos trópicos, são considerados como consequência da mudança no regime do aquecimento do Pacífico sul durante os últimos 25 anos. Entre 1976 e 1997 o Pacífico equatorial esteve anormalmente aquecido por mais de 15 anos, quando as circunstâncias frias foram mais frequentes durante o período 1956-1976 (COUDRAIN et al, 2005).

JORDAN et al (2005) usou fotografias aéreas da capa de gelo do vulcão de Cotopaxi (Equador) para determinar a evolução da área dessa geleira. Os resultados mostram que a área esteve constante de 1956 a 1976 e depois apresentou uma diminuição muito forte de 1976 a 1997, perdendo aproximadamente 30% de sua área de superfície, provavelmente relacionado com o aumento na intensidade, na duração e na frequência de fases quentes de El Niño. Esses resultados apóiam as observações feitas na geleira 15 (capa de gelo Antizana) que se encontra a 10 quilômetros na direção nordeste do vulcão de Cotopaxi, que igualmente perdeu aproximadamente 30% de sua superfície no período de 1956 a 1997. A exposição aos fluxos úmidos da Amazônia e a radiação solar na geleira de Cotopaxi não tiveram nenhum efeito significativo, visto que as duas geleiras recuaram a um grau similar.

MARK et al (2005) estimaram a contribuição do derretimento da geleira para o escoamento superficial na Cordilheira Blanca (Peru), sobre escalas espaciais diferentes, usando o balanço hídrico com modelos computacionais. A geleira da cordilheira Blanca sofreu uma redução significativa no seu volume ao longo do século XX. Os estudos do balanço hídrico mostraram um escoamento superficial elevado nos últimos anos, quando o derretimento do gelo se deu acima da média. Em média, a descarga do rio Santa que deixa o Callejon de Huaylas (8% glacial) foi estimada como 66% que originada dos tributários glaciais da cordilheira Blanca e o restante proveniente dos tributários não glaciais da cordilheira Negra.

Os trabalhos de L'HÔTE et al. (2005) demonstram a validade das relações empíricas obtidas entre a faixa de variações da temperatura do ar e as probabilidades de ocorrência da precipitação de neve, útil na modelagem hidrológica. Em estudo realizado nos Andes tropicais na Bolívia se mostrou que os resultados são bastante similares aos obtidos nos Alpes suíços, apesar das diferenças no clima e na altura.

POUYAUD et al. (2005) examinaram os dados hidrológicos da bacia de Llanganuco (87 km², 39% coberta com gelo), na cordilheira Blanca, Perú, e identificaram um aumento no derretimento glacial de longo prazo durante os últimos 25 anos do século XX. O escoamento superficial da bacia mostrou uma boa correlação com a temperatura atmosférica. Foi proposto um cenário para o século XXI, que considera a evolução futura do escoamento superficial e do derretimento com a ocorrência de uma descarga máxima seguida por uma diminuição regular, quando a temperatura aumenta e os reservatórios de gelo encolhem até a extinção.

RIBEIRO et al., (2005), utilizando sensoriamento remoto, analisaram o comportamento das massas de gelo e neve da Cordilheira Tres Cruces, Bolívia, e concluiu que em agosto 1972 as montanhas de Tres Cruces tiveram uma área coberta com neve e gelo total de 46.7 km² e perderam 15.3 km² (32%) dessa área em 27 anos. De 1972 a 1985 perderam 6.7 km² e no período 1985-1999 (14 anos) houve uma perda de 8.6 km² (isto é 0.6 km² ano⁻¹). Duas bacias de drenagem glacial foram examinadas em detalhe para determinar mudanças na extensão e na altura da linha de neve. Nenhuma mudança foi observada para a altura da linha de neve altura nas duas geleiras. Se a taxa do recuo for mantida para as próximas décadas, as geleiras da Cordilheira Tres Cruces podem desaparecer nos próximos 50 anos (RIBEIRO, 2007).

Relacionar flutuações no balanço de massa das geleiras com circunstâncias meteorológicas é mais complicado para geleiras tropicais do que para geleiras de média e alta montanha, visto que a maioria dos fatores importantes são aqueles que governados pelo albedo e não a temperatura local (SICART et al., 2003).

A cordilheira dos Andes é a cadeia de montanhas menos estudada da Terra. Vastas regiões foram parcamente mapeadas, especialmente na vertente atlântica, onde muitas áreas são consideradas como terra incógnita. Em 2007, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas das Nações Unidas (IPCC) incluiu as geleiras andinas, marcadamente as situadas nas regiões tropicais, na lista dos pontos mais vulneráveis da Terra à elevação da temperatura e suas conseqüências.

A porção tropical dos Andes é mais vulnerável aos efeitos do aquecimento global, pois nessa região a temperatura aumentou 0,11 graus Celsius por década, contra a média mundial de 0,06 graus Celsius por década. Nas geleiras o aumento da temperatura afeta muito a quantidade de precipitação (chuva ou neve) com efeitos no resultado do balanço de massa anual. De acordo com o Grupo de Trabalho de Neve e Gelo (rede latino-americana de pesquisa ligada à UNESCO), cerca de 90% das geleiras andinas perderam até 30% de sua área nos últimos 40 anos. Isso acontece porque a cada ano a taxa de neve preservada durante os meses de verão é reduzida.

Em relação às geleiras tropicais localizadas nos Andes amazônicos, quer seja na bacia do rio Solimões-Amazonas ou rio Madeira, as previsões indicam um processo acelerado de declínio até a extinção. Vários registros apontam que algumas geleiras dessa região já desapareceram. Como conseqüência imediata, vários rios andinos terão seus regimes hídricos alterados. Muitos desses rios são formadores do Rio Madeira e Rio Solimões.

Na opinião de diversos especialistas, a questão dos efeitos das mudanças climáticas nas chuvas na Amazônia ainda apresenta algumas incertezas. A maioria das avaliações indica o aumento das chuvas no ocidente amazônico, perto dos Andes. Porém, na Amazônia oriental há dúvidas sobre as previsões de redução das chuvas (OSAVA, 2007). Mesmo que a precipitação aumente na região das geleiras nos Andes, a massa de gelo pode reduzir-se pois, as temperaturas mais elevadas farão com que a ablação supere a acumulação a cada ano hidroglaciológico (balanço de massa da geleira com resultado negativo).

A utilização de imagens de satélite na avaliação do avanço e retrocesso das áreas cobertas com gelo e neve nos Andes permite as estimativas dos volumes das geleiras e de sua variação com menor custo, além de auxiliar na investigação dos fatores que influenciam a formação das vazões dos rios da bacia Amazônica.

O uso de imagens satelitais no estudo e interpretação de feições glaciais das geleiras sul-americanas foi primeiramente publicado em USGS Satellite Image Atlas of Glaciers of the World-South America (WILLIAMS et al., 1999). As massas de gelo são apresentadas por países sem qualquer referência às respectivas bacias hidrográficas. Registra-se que nesse trabalho, as geleiras não são tratadas como entres hidrológicos. Além disso, medidas como variações na velocidade, altitude da linha de neve, e frentes das geleiras não foram abordados para muitas das massas glaciais da bacia do Rio Amazonas.

CONCLUSÕES

A paisagem dos vales andinos está em mutação. Transforma-se mais depressa do que estimavam estudos sobre o aquecimento global, com conseqüências econômicas e sociais. A mais longa cadeia de montanhas da Terra perde suas geleiras num ritmo que impressiona aos especialistas e preocupa governos. Não se trata de previsão, mas de um fenômeno em curso.

Com base nas observações das geleiras dos Andes e nas previsões do IPCC, são esperadas alterações nos volumes e/ou sazonalidade do escoamento superficial afluente da região andina. Isso representa potenciais mudanças no período de retorno dos eventos de cheia e de seca na região mais próxima das geleiras. Alguns cenários apontam para uma tendência de cheias e de secas mais extremas, ou seja, com períodos de retorno menores, portanto com mais probabilidade de ocorrência em um ano qualquer. Todo o evento extremo, que seja de cheia ou de estiagem, é prejudicial para a região onde ocorre.

A porção tropical dos Andes se localiza na Colômbia, Bolívia, Perú e Equador. Embora não se encontre geleiras no Brasil, é importante observar que nas geleiras as nascentes de muitos rios da bacia Amazônica, como por exemplo, os rios Ucayale, Marañon, Solimões-Amazonas, Juruá e Madeira.

Definitivamente, a Amazônia não é uma área onde a ciência tenha o conhecimento exato dos fenômenos hidrológicos e glaciais. Observa-se que nos últimos anos, a relação da bacia do Rio Amazonas com o gelo e a neve dos Andes não vem sendo objeto de publicações científicas por parte dos pesquisadores e profissionais da engenharia de recursos hídricos no Brasil. Os trabalhos e estudos desenvolvidos nos Andes por diversas instituições e pesquisadores não brasileiros, têm sempre enfoques ambientais e/ou econômicos locais (abastecimento de água, agricultura, etc) ou globais (mudanças climáticas globais).

Frente às atuais mudanças climáticas globais, não há dúvida que sendo a bacia do Rio Amazonas tão importante para o Brasil e para o mundo, é premente que se estude todos os aspectos relacionados com essas mudanças e seus efeitos na região amazônica. Apenas uma pequena parte disso foi apresentada pelo IPCC em abril de 2007 que prevê a diminuição da precipitação na região oriental da Amazônia e a substituição de boa parte da floresta por cerrado e savana. Posição essa fortemente questionada pelo respeitado Prof. Aziz Ab'Sáber.

Na bacia do rio Amazonas, os extremos de cheia alagam as várzeas e regiões mais baixas na zona rural e nas cidades. Na cheia de 2009 cidades inteiras ficaram submersas por semanas. Os atingidos pelas águas foram obrigados a abandonar suas casas e suas propriedades rurais, surgindo assim uma legião de refugiados nos centros urbanos. As enchentes prejudicam também a agricultura e pecuária de várzea e ainda fazem diminuir sensivelmente a produção pesqueira, principal fonte de proteína para a população autóctone.

No lado oposto, quando acontecem os extremos de seca os atingidos em geral são os mesmos habitantes das comunidades rurais e das pequenas cidades. O nível muito baixo das águas impede a navegação resultando no isolamento de muitas comunidades, vilas e de cidades inteiras. Por sua vez, o isolamento leva ao desabastecimento de gêneros alimentícios e medicamentos.

Um exemplo da gravidade desse tipo de problema é a crise que se estabeleceu no vale do rio Amazonas durante a seca nos anos de 2005 e 2010, em ambos os casos foi decretado estado de calamidade pública na maioria das cidades do interior do Acre, Amazonas e Pará. O governo federal distribuiu cestas básicas transportadas pelas forças armadas em helicópteros para cerca de 170 mil pessoas. A demanda era tanta e as distâncias tão grandes que a frota disponibilizada pelo exercito, marinha e força aérea não foi suficiente para atender à todas as localidades que se encontravam isoladas, exigindo a locação de helicópteros privados.

Outra conseqüência das secas de 2005 e 2010 foi que em diversos locais o nível das águas dos lagos e rios baixou ate secaram completamente, provando a morte dos peixes e outros animais aquáticos. Onde não secou completamente, a água que restou perdeu a qualidade, impedindo o consumo humano e a dessedentação animal. Instalou-se um paradoxo, pois muitas comunidades da bacia com maior

disponibilidade hídrica do Brasil e com 98% das florestas preservadas, a água para consumo humano teve que ser transportada por helicópteros.

Nesse contexto, se identifica a carência de uma base de dados compatível com um Sistema de Informações Geográficas das geleiras da bacia do Rio Amazonas. Ao mesmo tempo, percebe-se claramente a ausência de conhecimento científico com enfoque particular para bacia do rio Amazonas e que possibilite o entendimento e acompanhamento dos processos de deglaciação atualmente em cursos. Um amplo inventário glacial ainda não foi desenvolvido para bacia do rio Amazonas.

Por sua vez, a utilização de sensoriamento remoto via satélite no monitoramento hidrológico pode suprir com informações importantes para a avaliação de disponibilidade hídrica, para a previsão de eventos críticos de cheias e vazantes e ainda dos efeitos das mudanças climáticas sobre as geleiras.

Assim, se encontra em desenvolvimento no Laboratório de Hidrologia da COPPE/UFRJ o trabalho Modelagem Glacio Hidrológica da Bacia do Rio Amazonas, que pretende entre outras coisas, construir uma base de dados geoespaciais com informações sobre as geleiras com enfoque particular para a bacia do rio Amazonas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *GEO Brasil: recursos hídricos*. Brasília: MMA; ANA, 2007.

BATISTA, D., *O complexo da Amazônia: análise do processo de desenvolvimento*. Rio de Janeiro: CONQUISTA, 1976.

BENCHIMOL, S., *Amazônia: planetarização e moratória ecológica*. São Paulo: CERED, 1989.

BORELLI, D. L., LUTKE, E., SALLES, D., “Aziz Ab’Sáber : problemas da Amazônia brasileira” In: *Dossiê Amazônia Brasileira*. Estudos Avançados 19 (53), 2005.

BRASIL. Conselho Nacional De Recursos Hídricos - *CNRH. RESOLUÇÃO Nº 30, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2002: codificação das bacias hidrográficas no âmbito nacional*. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes/R030.htm>>. Acesso em: 13 ago. 2007.

COMBES, S., PRENTICE M. L., HANSEN L., *et al.*, *Going, going, gone!: Climate change & global glacier decline*. Berlin: WWF, 2003. Disponível em: [http://assets.panda.org /downloads/glacierspaper.pdf](http://assets.panda.org/downloads/glacierspaper.pdf). Acesso em: 26 abr. 2007.

COUDRAIN, A., FRANCOU, B., KUMDZEWICZ, Z. W., *Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources*. Hydrological Sciences. v. 50, n. 6, pp. 925-932, 2005.

EVA, H. D., HUBER, O., “Proposição para definição dos limites geográficos da Amazonia”. European Commission, Luxembourg: 2005.

FILIZOLA JUNIOR, N.P., *O Fluxo de Sedimentos em Suspensão nos Rios da Bacia Amazônica Brasileira*. 1 ed., Brasília, ANEEL. 1999.

- FRANCOU, B., “Glaciares, indicadores del cambio climático em los Andes tropicales”. *Cuarto Taller Interandino de Glaciología*, GNH, La Paz 1-11 de agosto 2005.
- FRANCOU, B., RAMIREZ, E., CÁCERES B., et al., “Glacier Evolution in the Tropical Andes during the Last Decades of the 20th Century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador”. *Ambio*, v. 29, n. 7, pp. 416-422, Nov. 2000.
- GUSMAN, M., *Pesquisadores brasileiros do IPCC confirmam substituição da Amazônia por savana*. Disponível em: <http://www.amazonia.org.br/noticias/noticia.cfm?id=240201>. Acesso em: 11 abr. 2007.
- GUYOT, J.L., CALLÉDE, J., COCHONNEAU, G. et al., “Caractéristiques Hydrologiques du Bassin Amazonien”. In: *Anais de Manaus' 99 - Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins*, CD ROM, Manaus, Brasil, 16- 19 Novembro. 1999.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2001
- JORDAN, E., HASTENRATH, S. L., “Glaciers of Ecuador”. *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: Glaciers of South America*. USGS, 1999. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/prof/p1386i/ecuador/intro.html>. Acessado em: 01 Ago. 2009.
- JORDAN, E., “Glaciers of Bolívia”. *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: Glaciers of South America*. USGS, 1999. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/prof/p1386i/bolivia/index.html>. Acessado em: 01 Ago. 2009.
- JUNK, W., “As Águas da Região Amazônica”. In: SALATI, E., et al. *Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia*. São Paulo: Brasiliense, p. 45-100. 1983.
- L'HÔTE, Y., CHEVALLIER, P., COUDRAIN, A., et al., “Relationship between precipitation phase and air temperature: comparison between the Bolivian Andes and the Swiss Alps”. *Hydrological Sciences*, v. 50, n. 6, pp. 989–997, 2005.
- LAWSON, D. E., *Glaciohydrologic and Glaciohydraulic Effects on Runoff and Sediment Yield in Glacierized Basins*. Us Army Corps of Engineers, 1993.
- MARK, B. G., MCKENZIE, J. M., GÓMEZ, J. “Hydrochemical evaluation of changing glacier meltwater contribution to stream discharge: Callejon de Huaylas, Peru”. *Hydrological Sciences*, v. 50. n.6, pp. 975–987, 2005.
- MANSUR, A., *Aquecimento Global - Relatório do IPCC: As ameaças para o planeta*. Disponível em: <http://mauricius.wordpress.com/aquecimento-global-relatorio-do-ipcc/>. Acesso em: 26 abr. 2007.

- MORALES-ARNAO, B., "Glaciers of Peru". *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: Glaciers of South America*. USGS, 1999. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/prof/p1386i/peru/index.html>. Acessado em: 01 Ago. 2009.
- OSAVA, M., A "Amazônia pode converter-se em imensa savana". *Observatório do Clima*. Disponível em: <http://www.clima.org.br/index.cfm?fuseaction=noticia&IDnoticia=26747&IDidioma=1>. Acesso em: 26 abr. 2007.
- POUYAUD, B., ZAPATA, M., YERREN, et al., "Avenir des ressources en eau glaciaire de la Cordillère Blanche". *Hydrological Sciences*, v. 50, n. 6, pp. 999–1022 . 2005.
- RIBEIRO NETO, A., *Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRF, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.
- RIBEIRO, R. R., *Determinação das variações das geleiras da Cordilheira Três Cruces (Bolívia) entre 1975-2004 pela análise de imagens digitais e dados cartográficos*. Dissertação de M.Sc., UFRGS, Porto Alegre, RG, Brasil, 2007.
- RIBEIRO, R. R., SIMÕES J. C., BREMER U. F., 2005, "Application of remote sensing in the estimative of the retraction of the Bolivian glaciers". In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp.16-21, Goiânia, abr. 2005.
- SICART, J. E., RIBSTEISN, P., FRANCOU, B., "Etude des précipitations et de la fonte sur un glacier tropical: le glacier du Zongo, Bolivie, 16°S". *Hydroical. Sciences*. v. 48, n. 5, pp. 799–808, 2003.
- SIMÕES, J. C., *Glossário da língua portuguesa da neve, do gelo e termos correlatos*. Porto Alegre: Pesquisa Antártica Brasileira, 2004.
- SIMÕES, J. C., *Volume de Gelo no Andes*. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <Elias Simão Assayag>. em: 15 dez. 2007.
- TUCCI, C. E. M., *Modelos Hidrológicos*. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005.
- WILLIAMS, R. S., Jr., FERRIGNO, J. *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: Glaciers of South America*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1386-I GS, 1999. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/prof/p1386i/>. Acessado em: 01 Ago. 2009.