

12

Climas atuais

Para o futuro, modelos preditivos mostram que a mudança climática global relacionada às emissões de gases de efeito estufa resultará em temperaturas mais altas em toda a bacia amazônica e uma nova diminuição da pluviosidade em áreas já afetadas por este fenômeno. A floresta amazônica se tornará então uma fonte de carbono - de acordo com alguns autores já o é - e isto intensificará a mudança climática..

Contexto

Desde os anos 1980, os hidrólogos nos países amazônicos e no IRD têm se interessado pelo clima da Amazônia. No início, o objetivo era realizar balanços hidrológicos para cada bacia hidrográfica e compreender a variabilidade das chuvas no espaço e no tempo e, conseqüentemente, a variabilidade do fluxo dos rios e do transporte de sedimentos dos Andes para a Amazônia e para o Oceano Atlântico. Uma das questões iniciais foi o papel do fenômeno El Niño nas precipitações na região. De fato, poderosos eventos El Niño haviam ocorrido sucessivamente em 1972- 1973, 1982-1983, 1997-1998, com efeitos devastadores, particularmente nas sociedades rurais dos países tropicais da América do Sul. O objetivo também era definir o poder preditivo do El Niño sobre as chuvas regionais e os extremos hidrológicos. Desde então, essas questões têm evoluído. Além da variabilidade pluviométrica ano a ano, surgiram tendências que precisam ser explicadas, e o tema das interações terra-clima se tornou cada vez mais importante à medida que o desmatamento na Amazônia cresceu.

O projeto HyBam reuniu os Serviços Hidrológicos e Climatológicos Nacionais, assim como pesquisadores e estudantes dos sete países amazônicos (ver Capítulo 1) em torno dos hidrologistas e climatologistas do IRD. Isto facilitou o acesso a dados muito ricos e muitas vezes inexplorados. Graças a esta parceria com instituições e universidades, pesquisas inovadoras foram realizadas em uma escala de análise regional relativamente fina, particularmente nas bacias hidrográficas localizadas a montante da bacia amazônica, nos países andinos. Estes novos dados estes novos dados forneceram esclarecimentos aos trabalhos realizados até então majoritariamente por



Inundações na Amazônia peruana

pesquisadores da América do Norte e do Sul da América Latina. Esta pesquisa continua hoje graças ao dinamismo dos doutorandos sul-americanos do IRD, que se tornaram, por sua vez, profissionais e orientadores de pesquisadores..

Como é feita a pesquisa?

Primeiro, bancos de dados foram criados a partir de medições coletadas de centenas de estações meteorológicas na bacia amazônica, e depois complementados por bancos de dados climatológicos globais a partir de informações de satélite, às vezes mescladas com dados terrestres. Isto levou a uma melhoria na definição espacial e temporal dos dados. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), em sua versão 3B42, fornece informações a cada três horas para pixels de 0,25 * 0,25° de latitude- longitude. A base de dados Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (Chirps), derivada de dados de satélites e dados mensurados no solo, tem fornecido estimativas de precipitação com uma resolução de 0,05° há mais de 35 anos entre 50° N e 50° S. Essas bases de dados foram então utilizadas para realizar análise estatística a fim de identificar as tendências regionais.

Para compreender as variações espaciais e temporais da precipitação, as reanálises a partir de modelos meteorológicos fornecem informações

PARCEIROS

Agência Nacional da Água (ANA), Brasil

Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Brasil

Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil

Serviço Meteorológico e Hidrológico Nacional do Peru (SENAMHI)

Instituto Meteorológico Nacional e Hidrologia do Equador (INAMHI)

Universidade Mayor de San Andres (UMSA), Bolívia

Instituto de Hidrologia, Meteorologia e Estudos Ambientais (IDEAM), Colômbia

Instituto de Geofísica do Peru (IGP)

Universidade de Sorbonne, França

Universidade de Antiochia, Colômbia

detalhadas sobre o estado da atmosfera (pressão, vento e outros) em diferentes níveis altitudinais. Em segundo lugar, também utilizam-se outros registros, que fornecem informações mais específicas sobre a temperatura da superfície oceânica. Finalmente, os modelos climáticos regionais são utilizados para testar hipóteses relativas, por exemplo, às ligações entre a chuva e o desmatamento.

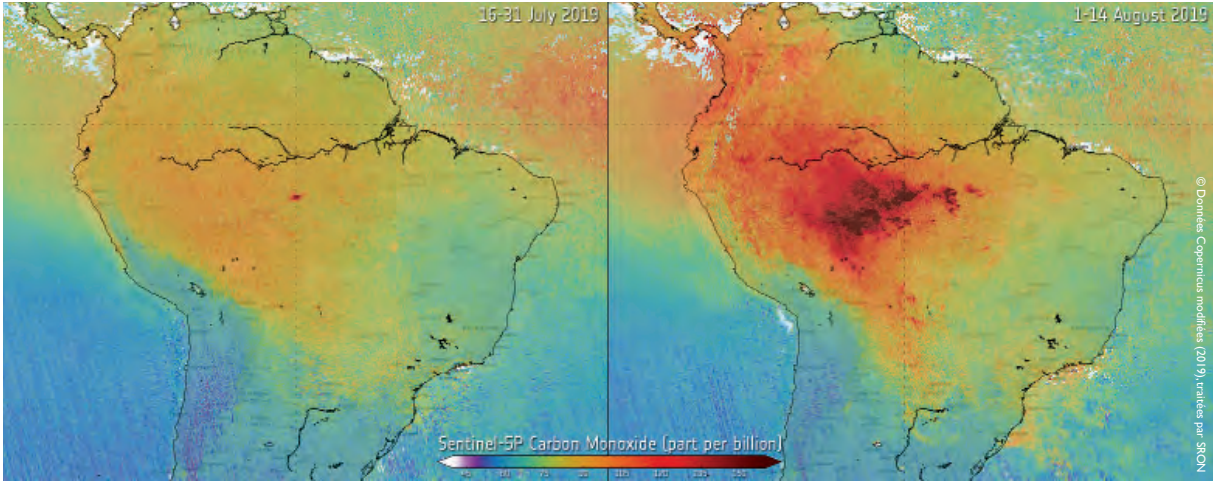
Quais são os principais resultados?

Os principais avanços estão no campo da distribuição espacial das chuvas, sua distribuição sazonal, sua variabilidade interanual e de longo prazo, assim como as causas dessas variabilidades, sejam elas devidas a mudanças nos oceanos, na atmosfera ou ligadas à atividade humana (por exemplo, o desmatamento).

A precipitação na bacia amazônica é muito abundante, com uma média de 2.200 mm/ano, mas também é altamente variável no espaço. O acesso aos dados pluviométricos de todos os diferentes países amazônicos possibilitou um aprimoramento do nosso conhecimento desta variabilidade, particularmente nas regiões andinas a montante. Perto do Equador, a precipitação é muito intensa, com mais de 3.000 mm por ano, especialmente na parte noroeste da bacia, em direção à fronteira tríplice entre Colômbia, Peru e Brasil, e na parte nordeste da bacia, em direção à foz do rio. Elas também estão ao longo da Cordilheira dos Andes, onde fluxos úmidos vindos do Atlântico, recarregados com vapor de água ao passarem sobre a floresta que evapora e transpira, são levantados nas encostas íngremes dos Andes orientais expostos a ventos úmidos, e são registradas chuvas em excesso de 6.000 mm/ano. Este fenômeno é chamado de “reciclagem”. Quando chove na floresta amazônica, cerca de 75% da água retorna à atmosfera como vapor através da evaporação e transpiração das árvores e do solo. Cerca de um terço da precipitação vem da reciclagem do vapor de água. Por outro lado, a precipitação diminui para 1.500 mm/ano em direção à periferia tropical (Roraima no norte, Mato Grosso, Rondônia no Brasil, planície boliviana no sul) e se torna ainda mais baixa nos Andes em uma posição “a sotavento” ou em altitude elevada.

Na bacia amazônica, a precipitação varia de ano para ano. Esta variabilidade interanual está ligada tanto a mudanças na quantidade de vapor de água disponível para as chuvas quanto a mudanças na dinâmica da atmosfera, que por sua vez dependem frequentemente do comportamento térmico dos oceanos que circundam a América tropical. Foi demonstrado que as chuvas nas partes leste e norte da bacia são particularmente dependentes das temperaturas de superfície dos oceanos equatoriais do Pacífico e do Atlântico tropical. Quando o Pacífico equatorial é quente (evento El Niño) e/ou quando o gradiente de temperatura sobre o Atlântico tropical é positivo (norte quente/sul frio), a precipitação é baixa e a estação chuvosa é curta. De fato, nesta configuração, a pressão da atmosfera aumenta e o fornecimento de vapor de água pelos ventos alísios é reduzido, formando condições desfavoráveis para a pluviosidade na Amazônia. Estes eventos oceânicos podem causar secas severas, como em 1995, 1997-1998, 2005, 2010, 2015.

Quando as condições oceânicas se invertem, como durante o evento frio La Niña sobre o Oceano Pacífico, fortes chuvas causam inundações significativas, como em 1986, 1993, 1999, 2012, 2014, 2017 e 2021.



Usando dados do Sentinel-5P do programa Copernicus, a imagem mostra o impacto dos incêndios na Amazônia, com base no aumento do monóxido de carbono no ar entre julho e agosto de 2019.

Entretanto, a variabilidade da precipitação não depende apenas dos eventos térmicos nos oceanos vizinhos, o que significa que o poder preditivo da temperatura da superfície do oceano sobre a precipitação não é perfeito. Isto é ainda mais verdadeiro para o oeste e sul da Amazônia, onde as chuvas dependem mais das condições térmicas e de umidade das superfícies continentais ou dos distúrbios atmosféricos originários das altas latitudes do Hemisfério Sul.

Em longo prazo, o padrão de chuvas na bacia amazônica está mudando. Na parte sul da bacia, uma região tropical caracterizada por estações secas e úmidas muito marcadas, o início da estação chuvosa, que costumava ocorrer em setembro-outubro, voltou a se deslocar no ano. Na Amazônia boliviana, a precipitação diminuiu 18% desde o início dos anos 80. Os incêndios se tornaram mais frequentes e a estação seca de inverno também se tornou mais longa.

Au contraire, dans le nord de l'Amazonie, la fréquence des jours très pluvieux (> 10 mm) s'est accrue, surtout entre mars et mai, et l'on observe une augmentation de 17 % des précipitations, notamment à partir de 1998.

Ao contrário, no norte da Amazônia, a frequência de dias muito chuvosos (>10 mm) aumentou, especialmente entre março e maio, e houve um aumento de 17% na precipitação, especialmente desde 1998.

Este contraste nas variações entre o norte e o sul da bacia está ligado ao aquecimento do Atlântico tropical norte desde os anos 1990. Este calor adicional aumenta a elevação do ar (e a precipitação) na parte norte da bacia, perto das águas quentes, e por sua vez aumenta a pressão atmosférica (e a precipitação) na parte sul da bacia.

Essas mudanças de longo prazo nas chuvas têm consequências para as florestas, que são altamente dependentes do clima. Na parte sul da bacia, metade da precipitação anual cai durante a estação chuvosa, permitindo a recarga das águas subterrâneas e a transpiração de árvores durante a estação

seca. Mas quando a estação seca se torna mais frequente, mais intensa e afeta a metade da Amazônia, como em 2010, a falta de água pode limitar a vida das árvores ou até mesmo causar sua morte. Essas faltas de água ou energia são mais pronunciadas em regiões de floresta seca (cerrado) do que em regiões de floresta densa.

A floresta também está ameaçada pelo desmatamento de origem humana, que atinge quase 17%, particularmente no sul e leste da bacia, e por incêndios frequentemente iniciados por humanos, que são pouco controlados e favorecidos pelas condições climáticas secas. A floresta amazônica está sendo “savanizada” nas regiões mais afetadas pela baixa de chuvas e pelo prolongamento da estação seca, pelos incêndios e pelo desmatamento, com talvez um ponto irreversível durante o século XXI.

Ora, a floresta é uma fonte de vapor de água através da evapotranspiração das árvores. A reciclagem é responsável por cerca de um terço da precipitação nas regiões remotas do Atlântico a oeste e ao sul da bacia, sendo também fundamental para as regiões adjacentes densamente povoadas, o Altiplano andino, o sudeste do Brasil, com suas grandes cidades, como São Paulo,



Desmatamento no Pará.

onde grande parte das chuvas originam-se do vapor de água da Amazônia. O trabalho atual utiliza a modelagem para compreender melhor o papel do desmatamento no ciclo da água, no equilíbrio energético na superfície e na atmosfera e, portanto, na circulação atmosférica regional e local e nos mecanismos que desencadeiam as chuvas. Em particular, os modelos climáticos mostram que o desmatamento é desfavorável às chuvas na parte sul da bacia e que este fenômeno amplifica os efeitos do aquecimento no Atlântico tropical norte (ver acima). Em resumo, o desmatamento aumenta a seca, o que, por sua vez, é propício à perda de florestas. Este é um ciclo de retroalimentação positivo, onde os efeitos (perda da floresta por secas ou desmatamento) de uma causa (emissões de carbono das atividades humanas) ampliam a causa (falta de armazenamento de carbono pela floresta).

Quais são os desafios e as perspectivas desta pesquisa?

Jovens cientistas sul-americanos, ex-alunos de doutorado no IRD, formados na França nos anos 2000 no âmbito do HyBam, estão contribuindo muito ativamente para o desenvolvimento do conhecimento climatológico na América do Sul. Recrutados em seu campo de especialização em seus países de origem, eles estão agora treinando a próxima geração de climatologistas. O trabalho deles é realizado em colaboração com pesquisadores de outros países amazônicos e internacionais. Com o passar do tempo, estas colaborações, institucionais ou não, tornaram-se indispensáveis para responder às muitas perguntas que exigem ferramentas cada vez mais sofisticadas e compensar o número relativamente pequeno de pesquisadores que trabalham nesta região.

A Amazônia é suficientemente grande para ter uma influência considerável sobre seu próprio clima, mas também sobre o clima regional sul-americano e sobre o clima global.

De fato, vimos que parte da Amazônia está secando e que esta secagem, que é prejudicial à floresta, é agravada pelo desmatamento e pelos incêndios. Entretanto, uma floresta em mau estado, degradada, não consegue mais armazenar carbono como uma floresta saudável. Assim, a floresta amazônica poderia se tornar uma fonte de carbono para a atmosfera em vez de armazená-la em suas árvores e solos. Isso aumentaria então a mudança climática global. Numa época em que a vegetação e os solos são vistos como grandes soluções para absorver mais ativamente o carbono emitido pelas atividades humanas, é essencial ter uma ideia clara da evolução do clima e das ligações entre clima, floresta e solos na Amazônia.

Assim, as bases de dados desenvolvidas nas últimas décadas por pesquisadores do IRD e seus parceiros tornaram-se inestimáveis para o monitoramento da mudança climática na Amazônia. A continuação destas medidas permitirá validar ou corrigir as previsões dos modelos e satélites. É essencial aprofundar os estudos sobre os mecanismos que regem o clima, sua variabilidade de um ano para o outro e sua tendência de longo prazo, a fim de melhor representá-los nos modelos e prever melhor o clima futuro da Amazônia, das regiões vizinhas e do globo. De fato, os modelos climáticos ainda não são muito confiáveis para representar o clima da Amazônia, em parte devido aos Andes, que produzem uma quebra muito forte no

Lista de autores

PARTE 1 **Monitorar as dinâmicas,
entender os processos**

**1 O Observatório HyBAm
em grandes rios da Amazônia**

William Santini, engenheiro hidrológico, UMR GET
Naziano Filizola, geólogo,
Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Jean-Michel Martinez, hidrólogo, UMR GET
Jean-Loup Guyot, hidrólogo, UMR GET

2 Mensurar a diversidade florestal

Raphael Pélessier, ecólogo, UMR Amap
Eduardo Falconi, biólogo, IRD Representação Brasil
Frédérique Seyler, pedóloga, sensoriamento remoto,
UMR Espace-DEV

3 Monitorar o desmatamento e a degradação florestal

Laurent Polidori, sensoriamento remoto, geodésia,
Universidade Federal do Pará, UMR Cesbio, Brasil
Claudio Almeida, sensoriamento remoto,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

**4 Os solos : da dinâmica das lateritas
à degradação da terra e da biodiversidade**

Thierry Desjardins, pedólogo, UMR IEES
Paulo Martins, agrônomo, Universidade Federal do Pará, Brasil
Frédérique Seyler, pedóloga, sensoriamento remoto,
UMR Espace-DEV

**5 O papel essencial das várzeas no funcionamento
do hidrossistema amazônico**

Patrick Seyler, geoquímico, UMR HSM, emérito
Geraldo Boaventura, geoquímico,
Universidade de Brasília, Brasil

6 Ictiologia Amazônica

Marc Pouilly, ictiólogo, UMR Borea
Carlos Freitas, Universidade Federal do Amazonas, Brasil

7 Recursos hídricos e dados espaciais

Rodrigo Paiva, hidrólogo larga escala,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Fabrice Papa, hidrólogo, climatólogo, UMR Legos

PARTE 2 Interações global-local

8 O sistema estuarino amazônico

Fabien Durand, oceanógrafo, UMR Legos
Alice César Fassoni Andrade, hidróloga, pós-doutorando
Patrick Seyler, geoquímico, UMR HSM, emérito
Daniel Moreira, engenheiro cartográfico, hidrólogo,
geodésia, Serviço geológico do Brasil
Pieter van Beek, geoquímico, UMR Legos

9 O sistema costeiro da Amazônia

Jean-François Faure, geógrafo, UMR Espace-DEV
Maria Teresa Prost, geomorfóloga,
Museu Paraense Emílio Goeldi, Brasil

10 Processos físicos na foz do Amazonas

Ariane Koch Larouy, oceanógrafa, UMR Legos
Flavia Lucena Fredou, ecóloga,
Universidade Federal Rural do Pernambuco, Brasil
Moacyr Araujo, oceanógrafo, climatólogo,
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Arnaud Bertrand, ecólogo, UMR Marbec

11 Climas do passado

Renato Campelo Cordeiro, geoquímico,
Universidade Federal Fluminense, Brasil
Abdel Sifeddine, climatólogo, UMR Locean

12 Climas atuais

Josyane Ronchail, geógrafa, UMR LOCEAN
Jhan Carlo Espinoza, agrônomo, UMR IGE

PARTE 3 Povos indígenas, populações locais e o ecossistema

13 Um observatório socioambiental na Amazônia, o INCT Odisseia

Marie-Paule Bonnet, hidróloga modeladora,
UMR Espace-DEV

14 Reconfigurações dos padrões de vida e dinâmicas territoriais

Stéphanie Nasuti, antropóloga,
Universidade de Brasília, Brasil

15 Plantas cultivadas: produção e conservação da diversidade

Mauro Almeida, sócio-antropólogo, Professor colaborador,
Universidade Estadual de Campinas, Brasil
Laure Emperaire, etnobotânica, UMR PALOC, emérta

16 O sistema alimentar

Esther Katz, antropóloga, UMR Paloc
Lucia Van Velthem, antropóloga,
Museu Paraense Emilio Goeldi, Brasil

17 Biodiversidade espontânea nos agrossistemas: plantas silvestres úteis e plantas invasoras

Izildinha Miranda, ecóloga,
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
Danielle Mitja, botânica, UMR Espace-DEV

18 Desmatamento, garimpo e mercúrio

Jérémie Garnier, geoquímico,
Universidade de Brasília, Brasil
Patrick Seyler, geoquímico, UMR HSM, emérito

**19 Meio ambiente e saúde na Amazônia,
uma abordagem de saúde única**

Emmanuel Roux, matemático, UMR Espace-DEV
Helen Gurgel, geógrafa,
Universidade de Brasília, Brasil

TRAJETÓRIAS DE PESQUISA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

O IRD —————
e seus parceiros

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Marseille, 2022

Coordenação editorial
Frédérique Seyler

Preparação editorial
Sabrina Milani

Design do modelo
Charlotte Devanz

Layout
Aline Lugand – Gris Souris
Máira Zannon – Ilha Design

A menos que de outra forma indicado, todas as fotos deste livro são oriundas da base fotográfica do IRD Multimedia (<https://multimedia.ird.fr/>).

Foto de capa
Pupunha, fruta da palmeira *Bactris gasipaes*, Amazônia brasileira
© IRD/Laure Emperaire



Esta publicação de livre acesso é colocada à disposição do público nos termos da Creative Commons CC BY-NCND 4.0 licença, disponível em: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>. Autoriza qualquer distribuição do trabalho original (compartilhar, copiar, reproduzir, distribuir, comunicar), desde que os autores e editores sejam mencionados e um link para a licença CC By-NC-ND 4.0 está incluído. Nenhuma modificação é permitida e o trabalho deve ser distribuído em sua totalidade. Nenhuma utilização comercial é permitida.

© IRD, 2022
ISBN papel: 978-2-7099-2968-4
ISBN PDF: 978-2-7099-2968-1
ISBN epub: 978-2-7099-2970-7

COMITÉ CIENTÍFICO

Frédérique Seyler
Marie-Pierre Ledru
Laure Emperaire

Assistente de Redação
Eduardo Falconi



Apoio à esta publicação: Embaixada da França no Brasil