

COUVERTURE

Danse de la pluie


La pénurie d'eau qui alarme le pays possède une étroite relation avec les forêts

TEXTE **Maria Guimarães** PHOTOS **Léo Ramos**

PUBLIÉ EN DÉCEMBRE 2014

Des changements dans le volume et la fréquence des précipitations ainsi que la mauvaise utilisation des aquifères sont parmi les facteurs qui mettent à sec les canalisations dans certaines régions du Brésil





L'Amazonie n'est pas uniquement la plus grande forêt tropicale qui reste au monde. Cet infini de vert entrecoupé par des fleuves aux cours sinueux, de tailles et couleurs variées, ne se limite pas à être l'habitat d'une incroyable diversité de plantes et d'animaux. La forêt amazonienne est aussi un moteur capable de changer la direction des vents. C'est une pompe qui aspire l'eau de l'air sur l'océan Atlantique et du sol et la fait circuler en Amérique du Sud provoquant, dans les régions éloignées, les pluies tant enviées, de nos jours, par les habitants de São Paulo. Mais le fonctionnement de cette pompe dépend du maintien de la forêt, dont la portion brésilienne a perdu, jusqu'en 2013, 763 mille kilomètres carrés (km²) de sa superficie d'origine, l'équivalent de trois états de la taille de celui de São Paulo. Antonio Donato Nobre, chercheur à l'Institut National de Recherches Spatiales (Inpe), n'accuse personne. Ce qui lui importe c'est d'inverser ce processus et non seulement de réduire la déforestation à zéro, mais de récupérer la forêt. Dans le rapport *O futuro climático da Amazônia* (*Le futur climatique de l'Amazonie*), paru fin octobre, le chercheur indique clairement que la seule raison pour que des mesures immédiates ne soient pas prises pour réduire la déforestation c'est le fait de méconnaître ce que sait la science. Pour lui, la voie à suivre est de sensibiliser la population. « C'est le moment idéal car l'eau disparaît des robinets », dit-il.

Dans le rapport, préparé à partir de l'analyse d'environ 200 articles scientifiques, il démontre que chaque jour la forêt du bassin amazonien transpire 20 milliards de tonnes d'eau (20 trillions de litres). C'est davantage que les 17 milliards de tonnes que le fleuve Amazone déverse quotidiennement dans l'Atlantique. C'est ce fleuve vertical qui nour-

rit les nuages et aide à changer l'itinéraire des vents. Nobre explique que les cartes des vents au-dessus de l'Atlantique montrent que, dans l'hémisphère Sud et à basse altitude, l'air se déplace vers le nord-ouest en direction de l'équateur. « En Amazonie, la forêt détourne cet ordre », affirme-t-il. « Pendant une partie de l'année, les alizés chargés d'humidité descendent de l'hémisphère Nord et convergent vers l'ouest et le sud-ouest, pénétrant en Amérique du Sud ».

Cette circulation contredit un paradigme météorologique qui affirme que les vents devraient souffler des régions plus froides vers celles plus chaudes. Il explique: « En Amazonie, ils vont toute l'année du chaud, l'Atlantique équatorial, vers le froid, la forêt ». Un partenariat avec les Russes Anastasia Makarieva et Victor Gorshkov, de l'Institut de Physique Nucléaire de Pétersbourg, a contribué à expliquer, du point de vue de la physique, les phénomènes météorologiques de l'Amazonie. Dans un article publié en février 2014 dans le *Journal of Hydrometeorology*, ils affirment, en se basant sur des analyses théoriques confirmées par des observations empiriques, que la déforestation modifie les modèles de pression et peut causer un déclin des vents chargés d'humidité venant de l'océan vers le continent. Le groupe a analysé les données de 28 stations météorologiques dans deux régions du Brésil. Il a constaté que les vents venant de la forêt amazonienne transportent plus d'eau et sont associés à des taux plus élevés de pluies que les vents qui sont originaires de zones sans forêt et qui arrivent à la même station.

Selon les chercheurs, cela se produit en raison de la pompe biotique d'humidité, une théorie proposée par le duo russe en 2007 pour expliquer la dynamique de vents sous l'influence des forêts. Cette idée complète la description proposée par le climatologue José Antonio Marengo, à l'époque chercheur à

L'Inpe, de comment l'Amazonie exporte des pluies vers les régions plus méridionales de l'Amérique du Sud. La théorie de la pompe biotique applique une physique inhabituelle à la météorologie et présuppose que la condensation de l'eau, favorisée par la transpiration de la forêt, réduit la pression atmosphérique qui pompe de la mer vers la terre les courants d'air chargés d'eau.

Les fondements de l'influence de la condensation sur les vents ont été présentés dans un article publié en 2013 par Makarieva et Gorshkov, en partenariat avec Nobre et d'autres collaborateurs, dans l'*Atmospheric Chemistry and Physics*, l'une des revues les plus importantes dans ce domaine. Grâce à une série d'équations, ils démontrent que la vapeur d'eau rejetée dans l'atmosphère par la transpiration de la forêt génère, en se condensant, un flux capable de propulser les vents sur de longues distances. Selon Nobre, la nouvelle physique de condensation qu'ils proposent a géré, au cours de la révision de l'article, une controverse avec les météorologistes qui ont débattu le sujet avec fureur sur les blogs scientifiques dans le but de renverser l'équation principale de cette étude. Ils ont échoué et le travail a été publié. Le chercheur de l'Inpe explique la polémique. « C'est une physique qui attribue à la condensation, un phénomène de base et central du fonctionnement atmosphérique, un effet opposé à ce que l'on croyait » affirme-t-il. « Il sera nécessaire de réécrire les livres didactiques dans ce domaine. »

Pour comprendre la dimension des controverses entre physiciens théoriciens et météorologues, Nobre rappelle que la physique développe une compréhension des phénomènes atmosphériques à partir de lois fondamentales de la nature, tandis que la météorologie le fait, en grande partie, fondée sur l'observation de modèles climatiques du passé, dont la statistique est absorbée par les modèles mathématiques. Ces modèles représentent bien les fluctuations climatiques observées, mais présentent des failles en présence d'altérations significatives dans le modèle.

C'est le cas actuellement, lorsqu'un nouveau contexte – causé par la déforestation, les changements climatiques globaux ou d'autres facteurs – génère des phénomènes climatiques inattendus pour certaines régions, comme des pluies torrentielles et des périodes de sécheresse plus longues. La théorie physique a raison là où les extrapolations du passé ont eu tort. C'est pour cela que, selon lui, il est nécessaire de construire de nouveaux modèles climatologiques qui replacent la physique au centre des efforts de la météorologie.

Le moment est désormais crucial car le climat amazonien est en train de changer. Les années 2005 et 2010 ont été marquées par d'importantes

sécheresses dans la région. « Auparavant, le climat en Amazonie était marqué par une saison humide et une autre davantage humide ; maintenant il y a aussi la saison sèche », affirme Nobre. Les dégâts causés à la forêt par ces sécheresses n'ont pas été dévastateurs car elle est capable de se régénérer, mais le cumul des dommages détruit graduellement cette capacité. Un effet important que l'on observe déjà et qui a été prévu par des modèles climatiques il y a 20 ans est un prolongement de la saison sèche, qui a affecté la production agricole dans certaines parties de l'état du Mato Grosso. La préoccupation majeure est le risque d'atteindre un point de non retour, à partir duquel la forêt ne serait plus capable de produire suffisamment de pluie, ni même pour subvenir à ses propres besoins. Des travaux de modélisation qui tiennent compte du climat et de la végétation indiquent que ce point sera atteint quand 40 % de la superficie originale de la forêt sera perdue, un pourcentage qui ne fait pas l'unanimité. Selon le rapport de Nobre, 20 % de la forêt a déjà été abattue et 20% supplémentaires ont été modifiés au point d'avoir perdu une partie de leurs propriétés.

Si la théorie de la pompe biotique est correcte, les effets de ce point de non retour devront être plus sévères que la savanisation proposée par le climatologue Carlos Nobre, frère aîné d'Antonio. « Si la forêt perd la capacité d'apporter de l'humidité de l'océan, la pluie dans la région peut cesser complètement » déclare Nobre, le cadet. Sans eau pour maintenir une savane, le résultat pourrait être une désertification en Amazonie. Si cela se produit, le scénario qu'il prévoit pour les régions Sud et Sud-Est du pays pourrait être similaire à celui d'autres régions sur la même latitude: se transformer en désert.

Antonio Nobre ne se risque pas trop à parler du cas de São Paulo. « Mon rapport concerne l'Amazonie. » Mais il croit que la sécheresse ici n'est pas indépendante de ce qui se passe dans le Nord. Selon lui, il a été possible de dévaster une bonne partie de la forêt tropicale atlantique sans sentir une réduction des précipitations car l'Amazonie était capable de satisfaire au manque d'eau dans l'atmosphère locale. Mais il semblerait que cela ne se produise plus. Il profite de l'occasion pour suggérer que non seulement la forêt amazonienne mais aussi celle qui longeait la côte de presque tout le Brésil puisse être immédiatement récupérée. Si ce n'est pas pour un autre motif, l'épuisement dont sont victimes les réservoirs qui alimentent une bonne partie de la population de São Paulo devrait être un argument suffisant.

L'exportation de l'eau de la région amazonienne vers d'autres régions du Brésil, particulièrement le Sud-Est et le Sud, est une réalité grâce à un phénomène connu comme les

Chemins jusqu'au robinet

Des sources aériennes, superficielles et souterraines complètent l'approvisionnement



SOURCE RICARDO HIRATA / IGC-USP

« fleuves volants ». Les pluies intenses dans le sud-ouest de l'Amazonie début 2014 – pratiquement le double du volume habituel, tandis que São Paulo traversait le pire moment d'une sécheresse historique – ont été un indice de cette ligne directe. « La pluie a été retenue à Rondônia, dans l'état de l'Acre, et en Bolivie en raison d'un blocage atmosphérique, une sorte de bulle d'air qui empêchait le passage de l'humidité. Cela a créé une stabilité atmosphérique, inhibant la formation de pluies et élevant les températures » explique Marengo, actuellement chercheur au *Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais* (Centre National de Surveillance et d'Alerte Contre les Catastrophes Naturelles/Cemaden). Il est coauteur d'un article dirigé par Jhan Carlo Espinoza, de l'Institut de Géophysique du Pérou, qui est en cours de publication par l'*Environmental Research Letters* et fait partie des résultats du programme Green Ocean (GO) Amazon, soutenu par la FAPESP.

Il est cependant impossible d'affirmer à quel point cette relation influence la sécheresse à São Paulo. « Nous ne savons pas encore calculer la quantité de pluies du Sud-est qui provient d'Amazonie ni celle qui arrive ici transportée par des courants froids venus du Sud, par l'humidité portée par les brises marines ou par l'évaporation locale » explique-t-il. Selon lui, la déforestation peut avoir un impact à long terme, mais il est toutefois impossible d'affirmer si elle est liée à la sécheresse actuelle. « Le Sud-Est peut ne pas devenir un désert » pondère-t-il, « mais les conditions climatiques extrêmes peuvent devenir plus intenses. » Des études employant des modèles climatiques créés par le groupe de Marengo prévoient déjà une redistribution du total des pluies, avec un volume très important d'eau en quelques jours et des périodes de sécheresse plus longues, un phénomène déjà observé dans le sud-est et dans le sud du pays au cours des 50 dernières années.

Selon l'ingénieur agronome Walter de Paula Lima, professeur à l'École Supérieure d'Agriculture Luiz de Queiroz (Esalq) de l'Université de São Paulo (USP) et coordinateur scientifique du Programme Coopératif de Surveillance Environnementale de Micro-bassins (Promab) de l'Institut de Recherches et d'Études Forestières, outre cet effet à distance sur une échelle nationale, la relation entre la végétation et les ressources en eau se déroule également à une échelle locale. Dans ses études sur l'effet des forêts (ou leur suppression) dans des micro-bassins, il a démontré que la bande de végétation primaire (forêt ciliaire), qui longe les cours d'eau, contribue à la bonne santé des rivières. « Le système Cantareira, qui approvisionne São



Paulo, est composé de milliers de micro-bassins » rappelle-t-il. « Les plus dégradés ne contribuent pas aux sources d'eau ». Cette évaluation manque, toutefois, de données expérimentales concrètes. Selon Lima, pour connaître exactement l'effet des forêts ciliaires sur les sources d'eau, il serait nécessaire d'étudier un micro-bassin expérimental dans lequel il serait possible de mesurer les propriétés des cours d'eau avec et sans la protection de la forêt, sans qu'il n'y ait d'autres facteurs en jeu. Un cadre pratiquement inatteignable.

Une expérience pratique qui renforce l'importance de préserver les bandes riveraines pour l'entretien des ressources en eau est décrite par le biologiste Ricardo Ribeiro Rodrigues, spécialiste en récupération de forêts natives de l'Esalq. Il explique qu'il y a 24 ans l'eau a disparu du micro-bassin d'Iracemápolis, commune à l'intérieur de l'état de São Paulo. La mairie a demandé l'aide de l'Esalq et le groupe de Rodrigues a mis en place un projet de conservation des sols du micro-bassin et de restauration de la bande riveraine qui aurait dû s'y trouver. « J'y suis retourné récemment et j'ai eu un choc », raconte le chercheur. Le niveau du réservoir est un peu plus bas, mais il a suffisamment d'eau pour continuer à approvisionner Iracemápolis, dont la population a triplé au cours de cette période. « Toute la région, Iracemápolis mise à part, fait face à des problèmes de manque d'eau. »

« Fleuves volants » : des courants de vapeur d'eau qui se forment au-dessus de la forêt amazonienne exportent de la pluie vers la région sud du Brésil

Les forêts affectent des ressources en eau par le biais de leur influence sur les pluies et la recharge des eaux souterraines

Les forêts affectent la santé des ressources en eau par le biais de leur influence sur les pluies, mais leurs relations avec les eaux souterraines est également importante. L'ingénieur Edson Wendland, professeur au Département d'Hydraulique et d'Assainissement de l'USP de São

Carlos, étudie justement ce qui se passe avec la recharge de l'aquifère Guarani quand la végétation du *cerrado* est remplacée par des cultures telles les pâturages, la canne à sucre, les agrumes ou l'eucalyptus. Le travail est développé dans le bassin du Ribeirão da Onça, dans la commune de Brotas, à l'intérieur de l'état de São Paulo, étudié depuis les années 1980.

L'idée est de détailler, grâce à des puits de surveillance et des stations climatologiques et avant que toute la végétation originelle du *cerrado* de la région ne soit supprimée, comment se fait la recharge de l'aquifère Guarani avec différents usages du sol. « On ne peut gérer ce que l'on ne connaît pas », affirme Wendland à propos de l'une des sources d'eau souterraine les plus importantes du Brésil. L'aquifère est une couche poreuse de roches dans

laquelle s'infiltré l'eau de pluie, ensuite libérée lentement vers les fleuves. Cette différence de temps entre l'approvisionnement et la décharge, une conséquence du lent trajet de l'eau dans le milieu souterrain, est ce qui assure la pérennité des fleuves qui dépendent de cette épargne hydrique.

Le groupe de Wendland a montré, par exemple, que la disponibilité en eau diminue lorsque les petits arbres tortueux du *cerrado*, adaptés à vivre sous stress hydrique sont remplacés par des eucalyptus, qui consomment beaucoup d'eau et qui en peu d'années atteignent la taille d'abattage. Des mesures réalisées entre 2004 et 2007 montrent que les taux de recharge ont une relation étroite avec l'intensité des précipitations et la taille des cultures agricoles dans cette région où le *cerrado* a pratiquement disparu, conformément à un article accepté pour publication dans les *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (Annales de l'Académie Brésilienne des Sciences).

Néanmoins, cela ne signifie pas que les eucalyptus soient des hors-la-loi inconditionnels. L'impact des arbres de haute taille dépend en partie de la profondeur de l'aquifère à l'emplacement où ils sont plantés. Selon Lima, les plus de 20 ans de suivi continu effectué par le Promab ont démontré que la relation entre les espèces forestières et l'eau n'est pas constante. « Là où la disponibilité est critique, un élément nouveau peut assécher les micro-bassins », explique-t-il. « Mais là où il

y a un bon équilibre hydrique et climatique, la diminution de l'eau ne se fait pas sentir. » Ces résultats indiquent clairement qu'il est nécessaire d'effectuer un zonage indiquant où l'on peut planter et où la pratique serait nuisible. Il s'agit d'une planification qui n'existe pas au Brésil.

Pour Wendland, l'importance de comprendre la relation entre le *cerrado* et les aquifères est cruciale car les sources des plus grands bassins fluviaux du pays appartiennent à ce biome. Outre leur importance en tant que ressource en eau, certains de ces bassins – celui du Paraná, du Tocantins, du Parnaíba et du São Francisco – sont les principaux fournisseurs d'eau pour la production d'électricité au Brésil.

En un peu plus d'un demi-siècle, la moitié de la superficie du *cerrado* a été déboisée et remplacée par des activités agricoles. Pour évaluer l'effet de ce changement dans l'utilisation des terres sur la disponibilité en eau, l'étudiant de doctorat Paulo Tarso de Oliveira, du groupe de São Carlos, a réalisé une étude en utilisant des données de télédétection sur toute la superficie de ce biome. Grâce à des capteurs, il a été possible d'évaluer non seulement le changement de végétation, mais aussi de quantifier les précipitations, les indices d'évapotranspiration par les plantes et d'estimer la variation de stockage de l'eau. Selon un article publié en septembre 2014 dans *Water Resources Research*, les données indiquent une réduction de l'écoulement en raison des activités agricoles plus intensives.

La déforestation et l'exploitation agricole du sol ont une importance, mais Wendland affirme que le plus gros problème pour la recharge de l'aquifère est aujourd'hui la réduction des précipitations. « L'aquifère pallie au manque de précipitations pendant deux ou trois ans ; ensuite, il n'arrive plus à maintenir le débit de base des fleuves ». Selon les résultats observés ces dernières années, les précipitations de la saison des pluies ont été inférieures à la moyenne. Il explique également des phénomènes alarmants tels l'épuisement de la source principale du fleuve São Francisco, qui est restée à sec pendant environ trois mois et ne s'est remise à jaillir qu'à la fin novembre.

Le défi de la gestion des eaux souterraines, qui représentent 98 % de l'eau douce sur la planète, a d'autres particularités dans les zones urbaines, où elles peuvent être une ressource essentielle. Selon le géologue Ricardo Hirata, de l'Institut de Géosciences (CIG) de l'Université de São Paulo, 75 % des communes paulistes sont approvisionnées, en partie ou totalement, par ces eaux. Cela inclut des villes importantes de l'état de São Paulo, en particulier Ribeirão Preto, où elles approvisionnent 100 % de ses plus de 600 000

habitants. À l'échelle nationale, d'autres villes sont entièrement approvisionnées par les eaux souterraines, selon le livre *Águas subterrâneas urbanas no Brasil* (Eaux souterraines urbaines au Brésil) en cours de publication par l'IGc et par le Centre de Recherche en Eaux Souterraines (Cepas): Juazeiro do Norte, au Ceará, Santarém, au Pará et Uberaba, à Minas Gerais.

Ce qui est surprenant c'est que dans les villes l'eau perdue par l'approvisionnement public se retrouve dans l'aquifère. « L'imperméabilisation des sols réduit la pénétration de l'eau de pluie, mais les pertes compensent et dépassent cette réduction et le bilan est un rechargement plus important là où se trouvent des villes, par rapport à d'autres régions » explique Hirata. « Si l'on analyse l'eau d'un puits quelconque à São Paulo, la moitié de cette eau proviendra de l'aquifère et l'autre moitié de la Sabesp » (NT: la Sabesp est la compagnie qui fournit des services d'eau et d'assainissement dans l'état de São Paulo). Il estime que la ville compte près de 13 000 puits, tous privés et la plupart illégaux. « Il existe une législation pour gérer cette ressource, mais elle n'est pas respectée » affirme-t-il.

Un problème causé par les villes est la contamination des eaux souterraines par les nitrates, en raison de fuites dans le réseau d'égouts. Comme le processus de décontamination est cher, les puits contaminés sont abandonnés. Dans les villes où ils sont utilisés pour l'approvisionnement public, la solution est de mélanger l'eau polluée à celle de puits non contaminés pour que la qualité finale soit acceptable. « À Natal il ne reste plus suffisamment d'eau propre pour ce mélange » alerte Hirata. Les eaux souterraines représentent 70 % de l'approvisionnement en eau dans cette capitale.

Un autre genre important de pollution provient de l'industrie, comme celle causée par les solvants organochlorés. Le géologue Reginaldo Bertolo, également de l'IGc et directeur du Cepas, étudie comment se comporte ce polluant dans l'aquifère au-dessous de Jurubatuba, dans la zone sud de São Paulo, une région industrielle depuis les années 1950. « C'est un contaminant qui présente une action complexe dans l'aquifère », dit-il. Dans cette roche solide, où l'eau coule dans les fractures, ce composé plus dense que l'eau coule vers le fond et ne s'arrête que lorsqu'il touche une couche imperméable. « Ils sont toxiques et cancérogènes ». La pollution empêche l'utilisation des eaux souterraines dans une région où la demande est importante.

En collaboration avec des chercheurs de l'Université de Guelph, au Canada, le groupe de Bertolo identifie ces polluants pour comprendre comment ils se comportent et proposer des stratégies pour les éliminer de l'aquifère. La prochaine étape consistera à utiliser un système



développé par les Canadiens pour prélever des échantillons de la roche et installer des puits spéciaux de surveillance. « Cet équipement permet de recueillir de l'eau de plus de 20 fractures différentes en utilisant une seule perforation », affirme-t-il. « Nous allons construire un modèle mathématique pour reproduire ce qui se passe et faire des prévisions. »

Bertolo avertit qu'il est important de mieux cartographier les eaux souterraines et d'analyser leur qualité, parce que c'est une ressource qui peut être complémentaire dans les villes. « L'eau souterraine est une ressource peu connue. » L'ingénieur Monica Porto, de l'École Polytechnique de l'USP, ne croit pas qu'il soit possible de trop augmenter l'utilisation de ces eaux dans la région métropolitaine de São Paulo. Selon elle, pour aller au-delà des près de 10 mètres cubes par seconde (m^3/s) pompés des milliers de puits existants, des milliers de nouveaux puits seraient nécessaires. « Mais ces 10 m^3/s ne peuvent pas manquer, nous devons en prendre bien soin ».

Fin de novembre le système Cantareira avait de l'eau dans le réservoir Paiva Castro (à droite), tandis que la sécheresse était évidente dans le Jacarei/Jaguari



Mme. Porto, qui a été Présidente de l'Association Brésilienne des Ressources en Eau et intègre toujours son Conseil Consultatif, pense à des façons d'assurer la sécurité hydrique pour la population. Le manque d'eau est l'un des problèmes les plus graves qui peuvent arriver dans une ville. « Nous sommes contraints de travailler avec une très faible probabilité de défaillance. » Selon elle, en 2009, le gouvernement de l'état de São Paulo a commandé une étude sur ce qui devrait être fait pour assurer l'approvisionnement en eau. L'étude a été achevée en octobre 2013, au cours de la plus importante crise d'approvisionnement en eau de l'état de São Paulo. Monica Porto explique qu'il est impossible de considérer la région de São Paulo et sa banlieue de façon isolée, car il n'y a plus d'endroit où capter de l'eau sans entrer en conflit avec des voisins. Par conséquent, l'étude englobe la méga-métropole, qui comprend plus de 130 communes et une population de 30 millions de personnes.

Les travaux nécessaires à l'amélioration de la sécurité hydrique ont déjà commencé, avec un système pour recueillir l'eau du fleuve Juquiá, dans la Vallée du Ribeira. Ils devraient s'achever en 2018. La construction des barrages de Pedreira et de Duas Pontes, qui doivent approvisionner la région de Campinas, sont en phase d'autorisation environnementale. « Manaus et Campinas sont les seules villes au Brésil avec plus de 1 million d'habitants qui ne possèdent pas de réservoir d'eau » explique Monica Porto. Cela ne manque pas à Manaus, qui est au bord du fleuve Amazone, mais manque à Campinas, qui dépend du système Cantareira. Elle emploie tous les moyens possibles pour économiser l'eau et affirme que la crise actuelle est

importante pour sensibiliser la population sur le besoin de réduire sa consommation. Elle souligne également l'importance de l'ensemble des mesures qui devra être revu en caractère d'urgence. « Nous devons apprendre par la douleur » déclare Monica Porto, qui a l'habitude de blaguer en disant qu'il vaut mieux qu'il ne pleuve pas trop pour ne pas écarter cette crise instructive. « Mais s'il ne pleut pas bientôt, je vais arrêter de plaisanter: il faut qu'il pleuve ». ■

Projets

1. Comprendre les causes des biais qui déterminent le début de la saison des pluies en Amazonie en suivant les modèles climatiques à partir des observations de GoAmazon et de la pluie (n° 13/50538-7); **Chercheur responsable** José Antonio Marengo Orsini (Cemaden); **Modalité** Ligne Régulière d'Aide au Projet de Recherche – GoAmazon; **Investissement** 57 960,00 reais (FAPESP).
2. Mise en place du modèle hydrogéologique conceptuel et transport et destination des composés organochlorés dans l'aquifère fracturé de la région de Jurubatuba, São Paulo (n° 13/10311-3); **Chercheur responsable** Reginaldo Antonio Bertolo (IGC-USP); **Modalité** Ligne Régulière d'Aide au Projet de Recherche; **Investissement** 502 715,27 reais (FAPESP).

Articles scientifiques

- MAKARIEVA, A. M. *et al.* Why does air passage over forest yield more rain? Examining the coupling between rainfall, pressure and atmospheric moisture content. **Journal of Hydrometeorology**. v. 15, n. 1, p. 411-26. fév. 2014.
- MAKARIEVA, A. M. *et al.* Where do winds come from? A new theory on how water vapor condensation influences atmospheric pressure and dynamics. **Atmospheric Chemistry and Physics**. v. 13, p. 1039-56. 25 jan. 2013.
- ESPINOZA, J. *et al.* The extreme 2014 flood in South-western Amazon basin: The role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. **Environmental Research Letters**. Sous presse.
- WENDLAND, E. *et al.* Recharge contribution to the Guarani Aquifer System estimated from the water balance method in a representative watershed. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Sous presse.
- OLIVEIRA, P. T. S. *et al.* Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. **Water Resources Research**. v. 50, n. 9, p. 7100-14. sept. 2014.

> Voir les vidéos sur notre site
Web: revistapesquisa.fapesp.br