

COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DA PRECIPITAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA COMPREENSÃO DE PROCESSOS CLIMÁTICOS

Vinícius dos Santos¹, Didier Gastmans¹, Ludmila Batista Vianna¹, Lucas Vituri Santarosa¹

¹Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Centro de Estudos Ambientais (CEA), avenida 24-A, 1515, Rio Claro (SP). vinicius.santos2108@gmail.com; gastmans@rc.unesp.br; ludvbatista@yahoo.com.br; lucasviturisantarosa@gmail.com

Palavras-Chave: isótopos estáveis; precipitação; mudanças climáticas

INTRODUÇÃO

Isótopos estáveis da molécula de água (¹⁶O, ¹⁸O, ¹H e ²H) são excelentes ferramentas para compreensão dos processos acerca do ciclo hidrológico, sendo utilizados como traçadores ambientais em estudos paleoclimáticos e hidrológicos, por meio da compreensão dos processos e mecanismos da precipitação, na determinação do tempo de residência de águas subterrâneas e origem da água superficial. Recentemente, os isótopos têm sido utilizados como parâmetro de calibração em Modelos de Circulação da Atmosfera (MCAs), o que possibilita o entendimento sobre os mecanismos e processos que envolvem as mudanças climáticas.

Durante as mudanças de estados da água, o fracionamento provoca alteração entre as razões isotópicas, que pode ser relacionada a processos de condensação durante a formação da nuvem e conseqüentemente da chuva. Dessa forma, os isótopos da precipitação, fornecem informações importantíssimas no que tange a compreensão dos processos climáticos, contribuindo para o entendimento das conseqüências das mudanças climáticas sobre o ciclo hidrológico.

Desde 1961, a International Atomic Energy Agency (IAEA) em parceria com a World Meteorological Organization (WMO), têm monitorado a composição isotópica da precipitação global, com a coleta dos isótopos de oxigênio (¹⁸O), deutério (²H) e trítio (³H), por meio do projeto Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP), criando um banco de dados aberto e disponível no site da IAEA (http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html).

Com base nos primeiros dados gerados pela IAEA, Craig, (1961) identificou uma relação entre as razões isotópicas de hidrogênio e oxigênio, expressa por meio de uma equação, denominada de Global Meteoric Water Line (GMWL), $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$. Dansgaard (1964) introduziu o conceito de excesso de deutério ou d-excess ($d = \delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}$), representado pela intersecção da GMWL, estando associado a umidade e processos atmosféricos de reevaporação da molécula de água. Estes mesmos autores junto de uma diversa bibliografia (Aggarwal et al., 2012; Dansgaard, 1964; Gastmans et al., 2017; Ishizaki et al., 2012; Rozanski et al., 1993; Sánchez-Murillo et al., 2016) estabeleceram relações entre a composição isotópica da precipitação e fatores geográficos, como latitude, altitude, continentalidade, sazonalidade, variação de temperatura (temperature effect) e da quantidade de chuva (amount effect).

Estes efeitos não são muito bem explicados em áreas tropicais, onde os fatores que governam a composição isotópica da precipitação podem ser associados a fatores locais, como variação de temperatura, precipitação, umidade, evaporação de gotas de chuva, ou ainda a fatores regionais, como a área fonte de vapor que originou a precipitação, sistemas atmosféricos e os processos de condensação e reevaporação no deslocamento de massas de ar e diferentes tipos de chuvas (Aggarwal et al., 2016; Kurita et al., 2011; Lee et al., 2015; Muller et al., 2015; Risi et al., 2008).

Nesse sentido, o monitoramento da composição isotópica da precipitação em Rio Claro, tem como objetivo compreender quais fatores locais ou regionais, governam a variabilidade isotópica, contribuindo

para a geração de dados e compreensão da dinâmica climática tropical, gerando informações que podem ser utilizadas em modelos hidrológicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras diárias de chuvas foram coletadas utilizando-se um coletor Palmex (Groning et al., 2015), nas dependências do Centro de Estudos Ambientais (CEA) na Unesp Rio Claro, entre fevereiro de 2014 a dezembro de 2016. As amostras foram filtradas com filtro de seringa #0,45µm e acondicionadas em frascos de vidros de 25mL, com tampa e batoque, armazenadas sob refrigeração até serem enviadas ao laboratório de Hidrogeoquímica do Departamento de Geologia Aplicada (DGA) IGCE-UNESP, utilizando a técnica de Espectrometria Laser de Cavidade Oca (Cavity Ring Laser Spectroscopy). Os valores das razões isotópicas são expressos com base na notação delta e no padrão internacional Vienna Standard Mean Ocean (VSMOW) (Craig, 1961):

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{amostra}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{referência}}} - 1 \right) \times 1000 \text{ ‰ VSMOW (Equação 1)}$$

Foram obtidos dados meteorológicos locais de temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica e precipitação diária são obtidos junto a estação meteorológica do Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA) do campus da Unesp de Rio Claro.

Para análise estatística foi realizado o teste de variância de Kruskal-Wallis, que compara diferentes anos de amostragem e verifica se estes anos são iguais estatisticamente, com base no p-valor, (valores <0.05 os anos são considerados estatisticamente distintos).

RESULTADOS

No período de 2014-16, o volume pluviométrico anual variou em relação à média histórica anual (1461mm), enquanto o ano de 2014 é caracterizado como um ano seco (980mm), os anos de 2015 (1430mm) e 2016 (1397mm) registraram volumes próximos a média histórica.

Neste mesmo período, foram coletadas 205 amostras da composição isotópica da precipitação, que variou entre -18,36‰ a 4,89‰ (-3,93±3.49) para o $\delta^{18}\text{O}$, -136‰ a 43,40‰ (-17,68±29,10) para o $\delta^2\text{H}$ e 1,44‰ a 26,54‰ (13,81±5,19) para o d-excess. Os valores da média ponderada pela precipitação foram de -4,32‰ ($\delta^{18}\text{O}$), -19,62‰ ($\delta^2\text{H}$) e 14,84‰ (d-excess).

A reta meteórica local possui valor de inclinação similar a GMWL, com intersecção distinta (Figura 1), indicando que a composição isotópica da precipitação é influenciada pela fonte de vapor e processos de recirculação de vapor atmosférica, com incorporação de vapor durante o deslocamento de massas de ar que geram chuvas para a região do presente estudo.

Variações anuais observadas apresentam valores de intersecção distintas, associada a disponibilidade de vapor na atmosfera, que foi menor durante o ano de 2014 (média aritmética d-excess = -12‰) e maior durante os anos de 2015 (d-excess = 14‰) e 2016 (d-excess = 13‰), o que explica os valores de d-excess. No entanto, a análise de variância de Kruskal-Wallis não indicou diferença estatística significativa dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre os anos de amostragem (p-valor = 0.51).

Não houve correlação entre os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e a parâmetros meteorológicos locais, como temperatura ($r = -0.07$, p-valor = 0.29), uma vez que a amplitude média térmica é pequena (em torno de 4°C). O mesmo ocorreu na correlação com a quantidade de chuva ($r = -0.06$, p-valor = 0.33), demonstrando que parâmetros locais não influenciam na composição isotópica da precipitação.

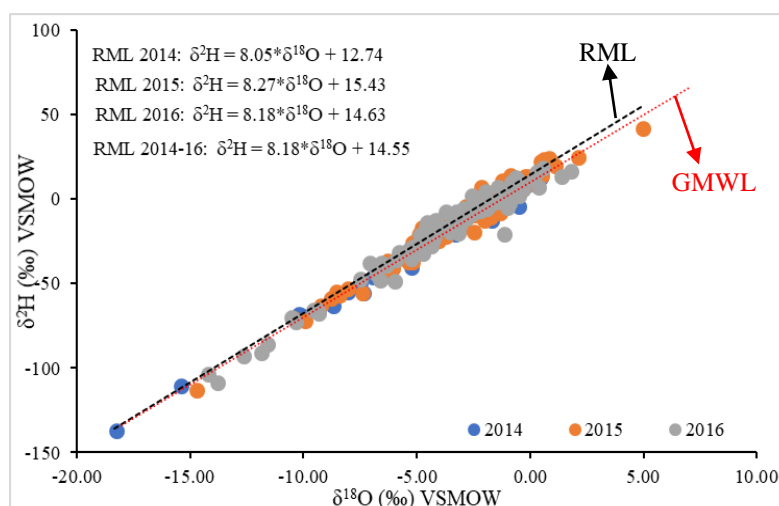


Figura 1. Retas Meteoricas Local (RML) em comparação com a Global Meteoric Water Line (GMWL) e valores de $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ nos diferentes anos de monitoramento.

Na distribuição temporal da composição isotópica da precipitação (Figura 2), é observado um padrão em V ou U invertido de parte dos valores de $\delta^{18}\text{O}$, associados a picos de chuva e alguns valores extremos associados a volumes pluviométricos pequenos, não sendo possível estabelecer uma relação muito clara, entre chuva e os valores de $\delta^{18}\text{O}$. Isso ocorre devido ao conjunto de fatores que são responsáveis por controlar o efeito de quantidade na composição isotópica da precipitação, principalmente relacionado a dinâmica de formação de chuvas e a condições meteorológicas de umidade da atmosfera.

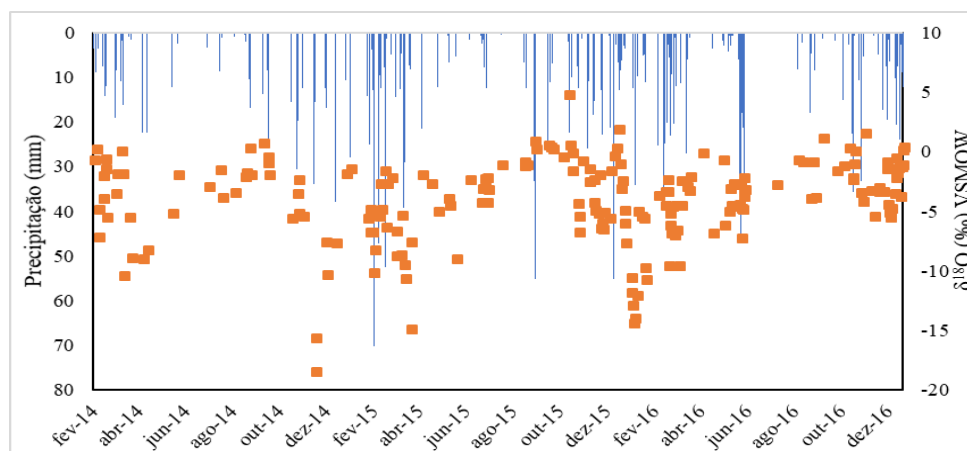


Figure 2 - Distribuição temporal dos valores de $\delta^{18}\text{O}$

Valores de d-excess em torno de 11‰ são associados a chuvas empobrecidas ($\delta^{18}\text{O} = <6\%$), enquanto valores em torno de 15‰ a chuvas entre $\delta^{18}\text{O} = 6\%$ - 2% , já valores de d-excess próximos a 13‰ são encontrados em chuvas enriquecidas ($\delta^{18}\text{O} = >2\%$). Esta distribuição dos valores de d-excess indica que a composição isotópica da precipitação é influenciada por diferentes fontes de umidade e pode ser associada a formação de diferentes tipos de chuva.

CONCLUSÃO

A composição isotópica da precipitação é governada por fatores regionais, como demonstrado pelas retas meteoricas, valores de d-excess e variações anuais, associada a processos de recirculação de vapor na atmosfera durante o percurso de massas de ar que geram chuva para a região de Rio Claro, cuja

disponibilidade de umidade e conseqüentemente incorporação do vapor enriquecido/empobrecido resulta em diferenças na composição isotópica da precipitação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a FAPESP pela concessão de bolsa de mestrado, projeto n°2016/18735-5.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarwal, P.K., Alduchov, O.A., Froehlich, K.O., Araguas-Araguas, L.J., Sturchio, N.C., Kurita, N., 2012. Stable isotopes in global precipitation: A unified interpretation based on atmospheric moisture residence time. *Geophys. Res. Lett.* 39, 1–6. <https://doi.org/10.1029/2012GL051937>
- Aggarwal, P.K., Romatschke, U., Araguas-Araguas, L., Belachew, D., Longstaffe, F.J., Berg, P., Schumacher, C., Funk, A., 2016. Proportions of convective and stratiform precipitation revealed in water isotope ratios. *Nat. Geosci.* 9, 624–629. <https://doi.org/10.1038/ngeo2739>
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science* (80-). 133, 1702–1703.
- Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16, 436–468. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v16i4.8993>
- Gastmans, D., Santos, V., Galhardi, J.A., Gromboni, J.F., Batista, L.V., Miotlinski, K., Chang, H.K., Govone, J.S., 2017. Controls over spatial and seasonal variations on isotopic composition of the precipitation along the central and eastern portion of Brazil. *Isotopes Environ. Health Stud.* 53, 518–538. <https://doi.org/10.1080/10256016.2017.1305376>
- Groning, M., Luts, H. O., Roller, L., Kralik, M., Gourcy, L. y Poltenstein, L. A. (2012). A simple rain collector preventing water re-evaporation dedicatec for and analysis of cumulative precipitation samples. *Journal of Hydrology* 448-449, 195-200.
- Ishizaki, Y., Yoshimura, K., Kanae, S., Kimoto, M., Kurita, N., Oki, T., 2012. Interannual variability of H218O in precipitation over the Asian monsoon region. *J. Geophys. Res. Atmos.* 117, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2011JD015890>
- Kurita, N., Noone, D., Risi, C., Schmidt, G.A., Yamada, H., Yoneyama, K., 2011. Intraseasonal isotopic variation associated with the Madden-Julian Oscillation. *J. Geophys. Res. Atmos.* 116, 1–20. <https://doi.org/10.1029/2010JD015209>
- Lee, J., Worden, J., Noone, D., Chae, J.H., Frankenberg, C., 2015. Isotopic changes due to convective moistening of the lower troposphere associated with variations in the ENSO and IOD from 2005 to 2006. *Tellus, Ser. B Chem. Phys. Meteorol.* 67. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v67.26177>
- Muller, C.L., Baker, A., Fairchild, I.J., Kidd, C., Boomer, I., 2015. Intra-Event Trends in Stable Isotopes: Exploring Midlatitude Precipitation Using a Vertically Pointing Micro Rain Radar. *J. Hydrometeorol.* 16, 194–213. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0038.1>
- Risi, C., Bony, S., Vimeux, F., 2008. Influence of convective processes on the isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) of precipitation and water vapor in the tropics: 2. Physical interpretation of the amount effect. *J. Geophys. Res. Atmos.* 113, 1–12. <https://doi.org/10.1029/2008JD009943>
- Rozanski, K., Araguás-Araguás, L., Gonfiantini, R., 1993. Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation 1–36. <https://doi.org/10.1029/GM078p0001>
- Sánchez-Murillo, R., Birkel, C., Welsh, K., Esquivel-Hernández, G., Corrales-Salazar, J., Boll, J., Brooks, E., Roupsard, O., Sáenz-Rosales, O., Katchan, I., Arce-Mesén, R., Soulsby, C., Araguás-Araguás, L.J., 2016. Key drivers controlling stable isotope variations in daily precipitation of Costa Rica: Caribbean Sea versus Eastern Pacific Ocean moisture sources. *Quat. Sci. Rev.* 131, 250–261. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.08.028>