



EFEITOS FISIOLÓGICOS DE PLANTAS NO CICLO HIDROLÓGICO AMAZÔNICO SOB CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Tainá N. Almeida, Moara A. Canova, David M. Lapola

Os efeitos do aumento antrópico de CO₂ atmosférico no ciclo hidrológico da Bacia Amazônica são observáveis pelo aumento da frequência de extremos climáticos nas últimas décadas, os quais prejudicam a provisão de serviços ecossistêmicos (SE), dentre eles, o de regulação de água. (HUNTINGTON, 2006; TOMASELLA et al., 2011; MARENGO et al., 2013; GLOOR et al., 2015). Isto ocorre dado que, as emissões crescentes de CO₂ (efeito estufa) alteram o balanço energético do clima, a precipitação e, conseqüentemente, o ciclo hidrológico (HELD; SODEN, 2006; SEAGER et al., 2014). No entanto, a relação de resposta fisiológica de plantas ao CO₂ elevado é reconhecida como um dos principais funções de controle do ciclo hidrológico, pois mudanças na condutância estomática de plantas afetam a evapotranspiração da bacia (LEMORDANT et al., 2018; FOWLER et al., 2019). Embora esta relação ainda não seja bem compreendida (MARENGO et al., 2018), a Amazônia é ainda uma das poucas grandes extensões de floresta tropical úmida e alterações fisiológicas das plantas na bacia podem resultar em mudanças em larga escala no fornecimento de SE.

Desta forma, fundamentado na hipótese de que a resposta fisiológica tem papel significativo no ciclo hidrológico da Bacia Amazônica, o presente projeto tem por objetivo investigar como o comportamento funcional reflete na fisiologia de plantas frente ao aumento de CO₂ atmosférico na Bacia Amazônica e os possíveis prejuízos para a regulação de água. Para isso, será utilizado o modelo de vegetação dinâmica CAETÊ (*CArbon and Ecosystem functional Trait Evaluation model*) baseado em atributos funcionais para testar a sensibilidade da condutância estomática (atributo g_1 ; MEDLYN, 2011) ao aumento de CO₂. A modelagem indicará quais estratégias de plantas cujo determinado valor de g_1 sobreviverão ao aumento de CO₂ e qual será o resultado para dinâmica hídrica. Como embasamento teórico da pesquisa, foram revisadas literaturas acerca das possíveis respostas fisiológicas de plantas ao aumento de CO₂ e estudos recentes de modelagem sobre seus efeitos no ciclo hidrológico.

O principal *input* de água no ciclo hidrológico ocorre por parte da precipitação e o *output* divide-se entre *runoff* (escoamento superficial) e evapotranspiração (LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2008). O processo fisiológico responsável por parte da evapotranspiração é a condutância estomática, que controla as trocas gasosas da folha (entrada de CO₂ para fotossíntese e saída de água por transpiração) (CHAPIN III; MATSON; VITOUSEK, 2011). Para adaptarem-se às condições do ambiente, as plantas precisam mediar o comportamento estomático, de modo a compensar as trocas gasosas e a sensibilidade da condutância a elevações de CO₂, conforme cada espécie de planta (MEDLYN et al., 2011).



A resposta mais comum de plantas ao CO₂ elevado é o fechamento de estômatos, para diminuir a perda de água (aumento da eficiência no uso da água) (MARENGO et al., 2018). Tal resposta é geralmente referida na literatura como “efeito fisiológico” (*physiological forcing*) e pode ser observado em diferentes biomas (BETTS et al., 2007). Um compilado de resultados de experimentos FACE (*Free Air CO₂ Enrichment*) de plantas C3 de diversos biomas (florestas boreais, temperadas e tropicais), indicou diminuição de 20% da condutância estomática em 88% dos indivíduos (PURCELL et al., 2018). O aumento da condutância estomático é raro, mas também pode ocorrer principalmente em florestas tropicais em períodos de seca, por razões ainda desconhecidas (PURCELL et al., 2018).

Modelos de vegetação sugerem que o efeito fisiológico leva à diminuição da transpiração de plantas (GEDNEY et al., 2006; MAGRIN et al., 2014; KOOPERMAN et al., 2018; FOWLER et al., 2019). Portanto, já que mais água é retida no solo, espera-se um aumento no *runoff* que, por sua vez, aumenta o risco de enchentes (BETTS et al., 2007; KOOPERMAN et al., 2018). Tais estudos ressaltam a importância da consideração do efeito fisiológico nas projeções de cenários climáticos relacionados ao aumento de CO₂ atmosférico. Avaliações que consideram apenas os efeitos atmosféricos no ciclo hidrológico subestimam o aumento do *runoff* e o risco de enchentes, assim como superestimam perdas de água e riscos de seca, o que dificulta planejamentos de adaptação e mitigação (BETTS et al., 2007; CAO et al., 2010; KOOPERMAN et al., 2018).

Para a Amazônia, simulações de modelos climáticos (ESM's) que incluem o efeito fisiológico indicaram maior mudança no ciclo hidrológico através do runoff, umidade do solo e fluxo de rios principalmente na porção oeste da bacia (CAO et al., 2010; KOOPERMAN et al., 2018; FOWLER et al., 2019) do que aqueles que incluem apenas processos atmosféricos (CHADWICK et al., 2017). Reconhecida a importância do papel do efeito fisiológico no ciclo hidrológico, é fundamental que estes processos sejam bem representados nos modelos de vegetação para a construção de previsões consistentes.

Na literatura observada, nota-se que os modelos utilizados para simulações são baseados em tipos funcionais de plantas (PFT's, do inglês *Plant Functional Types*; PRENTICE et al., 2007) (BETTS et al., 2007; CAO et al., 2010; CHADWICK et al., 2017; KOOPERMAN et al., 2018; LEMORDANT et al., 2018; FOWLER et al., 2019). No entanto, modelos baseados em PFT's têm sido considerados insuficientes para representar a variabilidade real da vegetação, especialmente para ecossistemas muito diversos como a Amazônia (CARDOSO et al., 2017). Nesse contexto, modelos baseados em atributos funcionais, como o que será utilizado na presente pesquisa (CAETÊ) podem melhor representar esta variabilidade, substituindo os PFT's fixos por atributos funcionais variantes (PAVLICK et al., 2013).



Por fim, os resultados desse embasamento teórico fundamentaram os conceitos de resposta fisiológicas das plantas diante de aumento de CO₂ a ser aplicado no modelo CAETÊ, com foco para processos de ecossistemas tropicais. Dessa forma, o passo seguinte será simular os efeitos fisiológicos com elevação de 200 ppmv (+50% em relação à concentração atual de 400 ppmv) de CO₂, a fim de indicar a dinâmica futura de água no sistema e, assim, apontar os impactos no serviço ecossistêmico de regulação de água na Amazônia.

Agradecimentos

À FAPESP, pelo apoio financeiro (Processo: 2020/05647-6).

Referências Bibliográficas

- BETTS, R. A. et al. Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. v. 448, n. August, p. 1037–1042, 2007.
- CAO, L. et al. Importance of carbon dioxide physiological forcing to future climate change. v. 107, n. 21, p. 9513–9518, 2010.
- CARDOSO, D. et al. Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. v. 114, n. 40, 2017.
- CHADWICK, R. et al. Timeslice experiments for understanding regional climate projections: applications to the tropical hydrological cycle and European winter circulation circulation. **Climate Dynamics**, v. 49, n. 9, p. 3011–3029, 2017.
- CHAPIN III, F. S.; MATSON, P. A.; VITOUSEK, P. M. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. [s.l.] Springer, 2011.
- FOWLER, M. D. et al. The effect of plant physiological responses to rising CO₂ on global streamflow. **Nature Climate Change**, v. 9, n. November, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41558-019-0602-x>>.
- GEDNEY, N. et al. Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. **Nature**, v. 439, n. 7078, p. 835–838, 2006.
- GLOOR, M. et al. Recent Amazon climate as background for possible ongoing Special Section : 2015.
- HELD, I. M.; SODEN, B. J. Robust responses of the hydrological cycle to global warming. **Journal of Climate**, v. 31, n. 24, p. 9793–9814, 2006.
- HUNTINGTON, T. G. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. **Journal of Hydrology**, v. 319, n. 1–4, p. 83–95, 2006.
- KOOPERMAN, G. J. et al. Plant Physiological Responses to Rising CO₂ Modify Simulated Daily Runoff Intensity With Implications for Global-Scale Flood Risk Assessment. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 22, p. 12,457–12,466, 2018.
- LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant physiological ecology**. 2. ed. New York: Springer, 2008. v. 46
- LEMORDANT, L. et al. Critical impact of vegetation physiology on the continental hydrologic cycle in response to increasing CO₂. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 16, p. 4093–4098, 2018.
- MAGRIN, G. O. et al. Central and South America. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 1499–1566.
- MARENGO, J. A. et al. Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation. v. 2013, n. June, p. 87–96, 2013.
- MARENGO, J. A. et al. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. v. 6, n. December, p. 1–21, 2018.
- MEDLYN, B. E. et al. Reconciling the optimal and empirical approaches to modelling stomatal conductance. **Global Change Biology**, v. 17, n. 6, p. 2134–2144, 2011.
- PAVLICK, R. et al. The Jena Diversity-Dynamic Global Vegetation Model (JeDi-DGVM): a diverse approach to representing terrestrial biogeography and biogeochemistry based on plant functional trade-offs. **Biogeosciences**, v. 10, n. 6, p. 4137–4177, 2013.
- PRENTICE, I. C. et al. Dynamic Global Vegetation Modeling: Quantifying Terrestrial Ecosystem Responses to Large-Scale Environmental Change. In: CANADELL, J. G.; PATAKI, D. E.; PITELKA, L. F. (Ed.). **Terrestrial Ecosystems in a Changing World**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 175–192.
- PURCELL, C. et al. Increasing stomatal conductance in response to rising atmospheric CO₂. n. 1, p. 1137–1149, 2018.
- SEAGER, R. et al. Causes of increasing aridification of the mediterranean region in response to rising greenhouse gases. **Journal of Climate**, v. 27, n. 12, p. 4655–4676, 2014.
- TOMASELLA, J. et al. The droughts of 1996 – 1997 and 2004 – 2005 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem. v. 1242, n. November 2010, p. 1228–1242, 2011.