

EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA (GPP) E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (WUE) EM DIFERENTES CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA EM SÃO MARCOS (1985-2023)

Wilany R. G. Alves¹; Nicole Viegas Ramalho²; Leonardo Laipelt³ & Anderson Ruhoff⁴

Palavras-Chave – Landsat, São Marcos, Agricultura.

INTRODUÇÃO

A Produtividade Primária Bruta (GPP), que quantifica a fixação total de carbono fotossintético (Beer et al., 2010), e a Eficiência no Uso da Água (WUE), que relaciona o carbono assimilado à água transpirada (Beer et al., 2009), são métricas integradas essenciais para diagnosticar o estado funcional dos ecossistemas. Tais funções são diretamente impactadas pelas mudanças no uso e cobertura da terra, cuja expansão agrícola altera profundamente os fluxos de energia, água e carbono. O sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta indispensável para monitorar essas variáveis em longas séries temporais e amplas escalas. Nesse contexto, a Bacia do Rio São Marcos representa um caso de estudo importante, por ser um dos principais polos de agricultura irrigada do Brasil e exemplificar os conflitos de uso da terra e da água no Cerrado. Assim, este trabalho objetiva analisar as variações espaciotemporais de GPP e de WUE na bacia entre 1985 e 2023, buscando responder: (1) Quais as tendências de GPP e WUE no período analisado? (2) Que usos do solo demonstram maior produtividade e eficiência hídrica? (3) O que os padrões observados indicam sobre a funcionalidade e resiliência dos ecossistemas locais?

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Bacia do Rio São Marcos (divisa GO/MG), área inserida no bioma Cerrado. A região, de clima Tropical Sazonal (Aw), possui uma paisagem complexa, com vegetação nativa, pastagens e uma agricultura intensiva, onde a área irrigada por pivôs centrais já alcança 11% do território (ANA, 2021). As séries temporais diárias de GPP e WUE (1985-2023) foram geradas na plataforma Google Earth Engine, integrando imagens Landsat, reanálise climática ERA5-Land e mapas anuais de uso do solo (MapBiomas Coleção 9). A GPP foi estimada por um modelo de Eficiência no Uso da Luz ($GPP = fPAR \times PAR \times LUE_{MAX} \times fT \times fW$), que estima a fotossíntese a partir da radiação absorvida (fPAR, do índice EVI) e da radiação incidente (PAR, do ERA5-Land), ponderada por fatores ambientais limitantes: fT (Potter et al., 1993), calculado com base na temperatura do ar diária (ERA5-Land); e fW , determinado pela média de dois subcomponentes: a fração evaporativa, estimada pelo modelo de balanço de energia geeSEBAL, e outro baseado no déficit de pressão de vapor (VPD), normalizado anualmente a partir dos limiares de VPD (mínimo e máximo). A evapotranspiração (ET) foi calculada pelo modelo geeSEBAL (Laipelt et al., 2021). WUE foi então obtido pela razão GPP/ET (Beer et al., 2010). Os resultados foram estratificados por classe de uso e as tendências temporais avaliadas com o teste de Mann-Kendall, com nível de significância de $p < 0.05$.

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, wilanyg.alves@gmail.com

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, nicolevramalho@gmail.com

3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, leolaipelt@gmail.com

4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, anderson.ruhoff@ufrgs.br

RESULTADOS

A análise quantificou uma profunda intensificação funcional na bacia entre 1985 e 2023. As tendências temporais revelam um aumento estatisticamente significativo de GPP em quase todas as classes de uso, com as maiores taxas ocorrendo na agricultura de sequeiro ($+25,98 \text{ gC m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) e irrigada ($+25,33 \text{ gC m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$). Em contraste, o aumento de WUE foi mais seletivo, restringindo-se aos sistemas manejados (silvicultura e agricultura irrigada), enquanto ecossistemas naturais permaneceram com sua eficiência hídrica estável. Essa dinâmica alterou o perfil da bacia, pois o desempenho agrícola, notavelmente acelerado a partir dos anos 2000, alcançou os níveis de produtividade historicamente superiores das florestas. A análise sazonal aprofunda esse entendimento, revelando um claro trade-off funcional: a estabilidade perene dos ecossistemas naturais se contrapõe à produtividade variável e de alta intensidade dos sistemas agrícolas, otimizada para a estação de crescimento. Espacialmente, os ganhos de GPP são mais intensos nas zonas agrícolas, mas a tendência de WUE é mais complexa, com focos de declínio que sugerem um alto custo hídrico relativo em algumas áreas, apesar da tendência geral positiva em escala de bacia.

CONCLUSÕES

A bacia vivenciou uma divergência funcional: enquanto a vegetação nativa manteve sua funcionalidade estável, a agricultura intensificou sua produtividade (GPP) e eficiência (WUE). Em termos de desempenho máximo, a Floresta permaneceu como o sistema mais produtivo (maior GPP), mas a agricultura tornou-se o mais eficiente (maior WUE), superando os ecossistemas naturais no período recente. Essa transformação revela a principal troca ecológica ocorrida na paisagem: a estabilidade perene da vegetação nativa foi substituída por uma produtividade variável e de alta amplitude, consolidando um novo estado ecossistêmico dependente do manejo humano.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida. Os autores agradecem o apoio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para o desenvolvimento do projeto Desenvolvimento de Tecnologias Inovadoras Baseadas em Modelagem Hidrológica e Sensoriamento Remoto para Monitoramento da Agricultura Irrigada no Brasil, através do TED Nº 03/2023/ANA firmado entre o IPH/UFRGS e a Superintendência de Fiscalização da ANA. Agradecemos também o suporte computacional da plataforma Google Earth Engine para a execução do projeto OpenET-Brasil.

REFERÊNCIAS

- ANA (2021). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2ª ed., Brasília, DF.
- BEER *et al.* (2009). “Temporal and among-site variability of inherent water use efficiency at the ecosystem level”. *Global Biogeochemical Cycles* 23(2).
- BEER *et al.* (2010). “Terrestrial Gross Carbon Dioxide Uptake: Global Distribution and Covariation with Climate”. *Science* 329(5993), pp. 834–838.
- LAIPELT *et al.* (2021). “Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing”. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 178, pp. 81–96.
- Mapbiomas – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>
- POTTER *et al.* (1993). “Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data”. *Global Biogeochemical Cycles* 7, pp. 811–841.