



COMO A REDUÇÃO DA COBERTURA DAS MATAS CILIARES APÓS UM INCÊNDIO EXTREMO AFETA A ECOHIDROLOGIA LOCAL EM REGIÕES DE CERRADO?

Palavras-chave: 1. Balanço hídrico. 2. Cerrado. 3. Nível freático

Aluno: João Victor Montagnana Diniz | **Orientador:** Rafael Silva Oliveira

Instituto de Biologia – Departamento de Biologia Vegetal (UNICAMP)

INTRODUÇÃO

O domínio Cerrado ocupa, aproximadamente, 21% do território nacional, e sua maior parte está localizada no Planalto Central (Klink e Machado 2005). Dentre os principais fatores fundamentais para a manutenção das formações campestres e savânicas deste bioma está o fogo (Coutinho, L. M., 1990). No entanto, recentemente a região do cerrado se tornou a principal fronteira agrícola do Brasil e a ocupação humana modificou o regime de fogo. Nos últimos anos, tem-se observado um aumento na frequência e intensidade de queimadas em várias regiões do cerrado, atingindo, inclusive, formações florestais, como as matas ciliares, que historicamente não queimavam.

O Cerrado também apresenta um papel fundamental para a manutenção e provisão dos recursos hídricos no Brasil. Uma vez localizado em regiões de elevadas altitudes, tal bioma contém nascentes formadoras de grandes rios presentes tanto em território nacional quanto sul americanos, os quais compõem as bacias hidrográficas do São Francisco, Tocantins, Araguaia e Paraná (MRS 2009), sendo, por isso, reconhecido por seu “efeito guarda-chuva” (Bandeira 2018). Embora os fatores abióticos sejam essenciais para a compreensão em larga escala da dinâmica hidrológica, a análise da importância da vegetação perante a regulação do ciclo hidrológico em uma pequena escala é ainda um assunto pouco abordado pela comunidade científica. De acordo com Balbonot (2008), as bacias hidrográficas são vulneráveis às alterações na vegetação, uma vez que estas interferem nas propriedades do solo, refletindo nas propriedades dos rios e no fluxo de água subterrâneo.

Neste estudo, buscamos responder como as taxas de evapotranspiração podem regular a dinâmica do lençol freático subterrâneo e, dessa maneira, alterar as características ambientais de uma microrregião. Nossa hipótese é que em uma alta cobertura arbórea, como florestas ripárias em vales, a evapotranspiração funcione como um fator determinante para a redução da magnitude e duração da saturação do solo, uma vez que funciona enviando a água líquida disponível nos lençóis à atmosfera. Contudo, em situações cuja vegetação foi suprimida por eventos aleatórios, como um incêndio, espera-se que o solo apresente índices de saturação mais elevados, aumentando gradativamente à medida que a vegetação se torna mais escassa como consequência dos incêndios de proporções mais intensas.

Para testar nossa hipótese, elaborei um modelo que leva em conta o balanço hídrico de regiões florestadas de vales, ou seja, de locais com altitudes baixas e declividades pouco acentuadas. O modelo foi baseado no estudo de Fan (2013), que estima padrões de profundidade globais sobre os lençóis freáticos rasos (profundidade < 100 m). Nosso modelo é capaz de estimar a saturação do solo em uma pequena escala a partir de dados referentes à taxa de evapotranspiração anual de um ambiente florestado tropical, à precipitação anual e à profundidade média do lençol freático na área de interesse. A movimentação lateral das águas subterrâneas foi descartada uma vez que consideramos apenas regiões planas e, consequentemente, com escasso fluxo lateral de água.



METODOLOGIA

Em razão da pandemia ocasionada pela Covid-19, a alternativa encontrada para testar nossa hipótese foi estimar a evapotranspiração e a partir de dados de fluxo de seiva e variação anual dos níveis freáticos coletados em florestais tropicais e em regiões de cerrado para parametrizar o modelo de balanço hídrico. Tais dados foram retirados da literatura científica e de bancos de dados de instituições públicas ambientais.

A descrição da escolha dos dados e seus respectivos cálculos para estimativa média de evapotranspiração e profundidade média do lençol freático estão descritas a seguir:

2.1. **Evapotranspiração:** Para estimar a quantidade média de água eliminada via transpiração por matas tropicais por determinada área, compilei dados referentes à área de xilema ativo em de uma região localizada sob domínio cerrado e à densidade de fluxo de seiva média de indivíduos presentes em ambientes florestais. Desta forma, a evapotranspiração foi calculada como o produto da **densidade média de fluxo de seiva de espécies de matas tropicais pela área de xilema ativo de uma parcela de Cerrado.**

Para estimar dados referentes à quantidade de água evaporada em uma floresta tropical, utilizei dados disponíveis no trabalho de Brum (2018), os quais mediram fluxos de seiva em árvores da floresta Amazônica, para chegar a um valor único médio de densidade de fluxo de seiva que representasse toda a floresta.

Para o cálculo da área de xilema ativo foi possível estimar seu valor através de equações alométricas não lineares, como $Y = a.X^b$, em que Y equivale à área de xilema ativo (cm^2); a à uma constante de normalização (0,8227); X ao diâmetro à altura do peito – DAP (cm); e b é um expoente de escala alométrica (1,7805). Segundo Aparecido (2014), a Área de Xilema Ativo se relaciona diretamente com variáveis biométricas, como o DAP. Os dados do DAP foram coletados de três parcelas distribuídas ao longo de uma vegetação ripária, fitofisionomia típica do domínio Cerrado, não alterada por impactos antrópicos. Cada parcela possuía dimensões de 20 x 10 metros, totalizando uma área de 200 m^2 .

2.2. **Profundidade média do lençol freático nos vales (m):** Para obtenção de um dado médio referente ao nível freático, foram consultados os trabalhos de Vieira (2018), que têm como local de estudo a Bacia do Rio Jardim – DF, localizada sob o Domínio Cerrado e fornecem informações sobre o nível freático em locais com distintas características ambientais, uma vez que contém piezômetros distribuídos ao longo de seus limites. Ademais, também foram levantadas informações referentes à elevação, declividade e pedologia.

Para obtenção de um valor médio representativo para as regiões de vale, traçou-se um perfil topográfico entre os piezômetros de maior e menor altitude no interior da Bacia do Rio Jardim, também levando em consideração a variação da declividade do terreno. Com isso, foram selecionados áreas que se localizassem em baixas altitudes (<970 metros) e com declividades de até 5%. Uma vez selecionados, fez-se a média aritmética dos níveis freáticos, obtendo um valor médio correspondente à profundidade do lençol. Os piezômetros utilizados para o cálculo da média da profundidade localizavam-se em regiões de presença de latossolo-vermelho, solo típico do domínio Cerrado das regiões centrais do Brasil.

2.3. **Precipitação média anual (mm/ano):** Para aplicação no modelo de balanço hídrico foi necessário compilar dados referentes à precipitação total anual no intervalo de 2010 a 2019 de Planaltina – DF, local onde se situa a Bacia do Rio Jardim. Para tal, foi consultado o Portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Obteve-se um único valor médio anual para a região.

2.4. **Modelo de Balanço Hídrico:** Para elaboração do modelo, partiu-se do pressuposto que o fluxo lateral de água subterrânea estaria próximo a zero, tendo em consideração o relevo plano e baixo, típico das regiões de vale. Desta forma, a quantidade de água que entraria em uma coluna do modelo teria como principais determinantes o volume de água



oriundo das precipitações e a taxa de água perdida sob a forma de vapor através da transpiração vegetal. Assim, a recarga hídrica seria dada por: $R = P - ET$, onde P refere-se à precipitação anual e ET é equivalente à evapotranspiração. A unidade utilizada no modelo foi uma coluna de solo florestado com medidas de 1x1x10 metros, totalizando um volume total de 10 m³. O solo considerado foi do tipo Latossolo-vermelho, que, segundo Alvarenga (2007), apresenta porosidade média de 46% nas regiões centrais do Brasil com ocorrência do domínio cerrado.

Uma vez obtidos os valores médios de precipitação e evapotranspiração anual, bem como a profundidade média do lençol freático, é possível calcular a saturação do solo simulando uma condição inicial do modelo. Para isto, deve-se multiplicar o volume da zona de aeração (profundidade do lençol) pela porosidade do solo. Em paralelo, o mesmo deve ser feito com a profundidade da zona saturada (dada pelo volume total da coluna – o volume da zona de aeração). Desta forma, é possível obter os volumes de água disponíveis em cada uma das camadas. Sabendo que a saturação do Latossolo Vermelho é de 46% e sendo o volume total da coluna de solo 10 m³, a saturação completa da coluna é dada quando houver 4,6 litros de água na zona saturada, representando 100% de saturação na coluna e simbolizando que o lençol freático encontrou a superfície do terreno. Para compreender melhor qual a influência da vegetação na manutenção do nível freático, realizei simulações utilizando o modelo supracitado aplicando diferentes porcentagens de vegetação perdida, o que poderia simbolizar os efeitos de incêndios de diversas magnitudes. Para isto, para cada porcentagem de floresta queimada, é necessário calcular o novo volume de evapotranspiração total ao ano, qual o novo valor da recarga hídrica, o volume acrescido de água na coluna, a água total armazenada na zona saturada e, por fim, a saturação total da coluna.

RESULTADOS

A **Tabela 1** faz um compilado com os resultados referentes à evapotranspiração, profundidade média do lençol freático e a precipitação média anual.

Tabela 1. Síntese dos resultados obtidos.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO		PROFUNDIDADE MÉDIA DO LENÇOL FREÁTICO				PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL	
Área de Xilema Ativo Médio (cm ²) =	6439,7	ID - Piezômetro	Declividade (%)	Altitude (m)	Profundidade média (m)	Média entre 2010 - 2019 (mm/ano) =	1356,28
Densidade de Fluxo de Seiva (L/dia x cm ²) =	0,073	3	0 - 2%	969 m	0,785 m		
Transpiração Total da Mata - (L/dia) / m ² =	2,3	18	0 - 2%	925 m	2,4025 m		
Transpiração Total da Mata - (mm/ano) / m ³ =	800	27	2 - 5%	902 m	0,9875 m		
					Profundidade média do lençol nos Vales =	1,4 metros	

Em relação aos resultados referentes ao modelo de balanço hídrico, os resultados indicam que em situações cuja vegetação está preservada, a taxa média de evapotranspiração é responsável por enviar 800 mm/ano de água à atmosfera e, com isso, a saturação do solo se apresenta 86% saturada, simbolizando a condição inicial do ambiente (representado pela linha 1 da **tabela 2**).

Contudo, em situações em que percentuais de vegetação são removidos em decorrência de incêndios, nota-se alterações nos valores da evapotranspiração e recarga hídrica, acarretando em um acréscimo de água armazenada na zona saturada do solo e elevando sua saturação. Além disso, nota-se que a partir de um determinado grau de vegetação queimada, a saturação do solo atinge seu valor máximo, indicando a presença do lençol freático na superfície. Segundo a tabela 8, que apresenta os dados das simulações realizadas conforme se eleva a porcentagem de vegetação queimada, a partir do momento em que 80% da cobertura florestal foi suprimida, a região passa a ficar alagada.



Tabela 2. Valores obtidos nas condições iniciais do modelo (linha 1) e ao passo que se eleva a porcentagem de vegetação queimada.

Vegetação Queimada (%)	ET Total (mm/ano)	Recarga Hídrica (mm/ano)	Volume acrescido de água (m ³)	Total de água armazenada na zona saturada (m ³)	Saturação (%)
0	800	556	0,556	3,956	86
5	760	596	0,04	3,996	86,9
10	720	636	0,08	4,036	87,7
15	680	676	0,12	4,076	88,6
20	640	716	0,16	4,116	89,5
25	600	756	0,2	4,156	90
30	560	796	0,24	4,196	91,2
35	520	836	0,28	4,236	92,1
40	480	876	0,32	4,276	93,0
45	440	916	0,36	4,316	93,8
50	400	956	0,4	4,356	94,7
55	360	996	0,44	4,396	95,6
60	320	1036	0,48	4,436	96
65	280	1076	0,52	4,476	97,3
70	240	1116	0,56	4,516	98,2
75	200	1156	0,6	4,556	99
80	160	1196	0,64	4,596	100
85	120	1236	0,68	4,636	100
90	80	1276	0,72	4,676	100
95	40	1316	0,76	4,716	100
100	0	1356	0,8	4,756	100

O **gráfico 1** relaciona os dados de perda da cobertura arbórea com a porcentagem de saturação de solo (coluna de volume total = 10 m³) apresentados pela tabela acima, revelando uma relação diretamente proporcional entre as duas variáveis. Desta forma, conforme se eleva a porcentagem de vegetação local queimada, se aumenta o grau de saturação do solo, fazendo com que o lençol chegue à superfície em casos onde haja a retirada de 80% da vegetação, e se mantenha desta maneira caso se eleve ainda mais os níveis de vegetação suprimida.

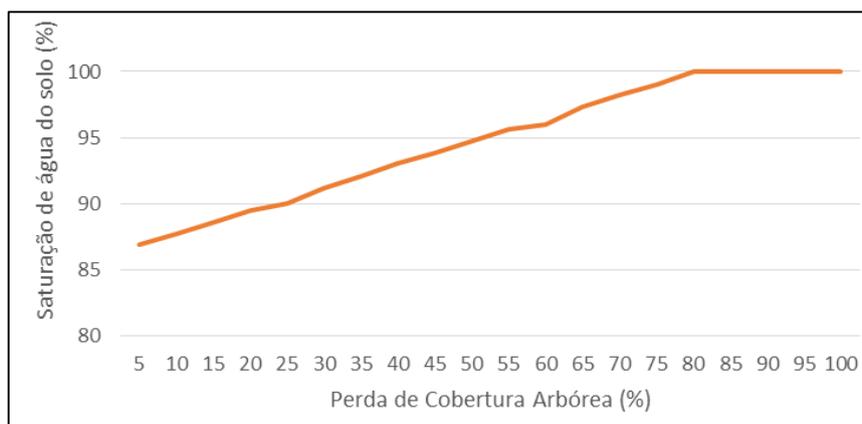


Gráfico 1. Relação entre a saturação de água do solo conforme se eleva o perda da cobertura arbórea em uma coluna de 10 m³ de solo em vales do Cerrado.

DISCUSSÃO

Os resultados corroboram a hipótese de que a perda de cobertura arbórea em florestas de vale pode levar a redução da profundidade do lençol freático e aumento da porcentagem de saturação de água no solo superficial. Isto demonstra a importância da vegetação como moduladora de processos hidrológicos e sua importância de análises em micro escala.

Ambientes florestados localizados em vales, como o caso das florestas ripárias do Cerrado, podem servir de exemplo para a aplicação dos resultados encontrados neste estudo. O fogo é um fator fundamental para a manutenção de formações



savânicas e campestres (Coutinho, 1990), mas incêndios de grandes proporções podem ter efeitos negativos em ambientes florestais, causando mortalidade de árvores e redução drástica da cobertura florestal. Estas mudanças estruturais podem levar a alterações da saturação do solo e podem favorecer o sucesso colonizador de espécies que apresentam preferência por solos alagados, bem como o fracasso de espécies exclusivas de ambientes não alagados, de acordo com Aquino et. al (2012). Dessa forma, além de causar a perda de espécies, o fogo pode alterar a hidrologia do solo e limitar a recuperação da vegetação ripária, visto que condições de anoxia podem restringir o estabelecimento de várias espécies arbóreas típicas de florestas de galeria.

As mudanças hidrológicas causadas pela redução na cobertura florestal após a ocorrência de um incêndio extremo podem levar à formação de novos tipos estáveis de vegetação, como a ocorrência de veredas em áreas antes dominadas por florestas. Desta forma, em ambientes alterados após o fogo e que passaram a apresentar o lençol freático superficialmente, a remoção das espécies florestais e redução da cobertura arbórea criam espaço para uma nova colonização de espécies adaptadas à ambientes alagados, como os Buritis, levando à formação de uma nova fitofisionomia.

Um exemplo das ideias discutidas é o que ocorreu com a vegetação ripária nas proximidades do rio Estiva, localizado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO. Em outubro de 2017, o Parque sofreu o maior incêndio de sua história. O fogo foi tão intenso que atingiu matas ciliares, como as do rio Estiva. Segundo relatos, antes do incêndio, a região era tomada por vegetação arbórea e um fluxo de água corrente. Contudo, tendo em vista que as consequências do fogo levaram mais da metade dos indivíduos lenhosos à morte, a região encontra-se atualmente alagada e com baixa vazão. Além disso, a vegetação hoje encontrada é formada sobretudo por espécies invasoras, como o capim brachiaria (*Urochloa brizantha*), e por alguns indivíduos de Buritis, indicando uma alteração no estado do ecossistema.

CONCLUSÃO

A remoção da vegetação florestal em regiões com altitude e declividade baixas traz consequências diretas no balanço hídrico local. Conforme as taxas de evapotranspiração são reduzidas, a porcentagem de saturação do solo é elevada. O modelo aqui proposto pode ser aplicado em estudos sobre a interação entre queimadas, degradação de vegetação ripária e hidrologia do solo. A redução da cobertura florestal em formações ripárias afetam a altura do lençol freático e os níveis de saturação do solo, fato que pode promover distintas alterações no meio, desde a diminuição da riqueza de espécies florestais à formação de novos estados alternativos do ecossistema, como as veredas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KLINK, C. A., MACHADO, R. B. "A conservação do cerrado brasileiro. Megadiversidade. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade no Brasil." v. 1, n. 1, julho, 2005.
- COUTINHO, L. M. 1990. Fire ecology of the Brazilian cerrado. In J. G. Goldammer, ed., *Fire in the Tropical Biota*, pp. 82–105. Berlin: Springer-Verlag.
- BRUM M., GUTIÉRREZ L. J., ASBJORNSEN H., LICATA J., SANCHEZ G., OLIVEIRA R. S., (2018). "ENSO Effects on the transpiration of eastern Amazon trees." *Phil. Trans. R. Soc. B* 373: 20180085.
- FAN, Y., LI, H., & MIGUEZ-MACHO, G. (2013). "Global Patterns of Groundwater Table Depth." *Science*, 339 (6122), 940 – 943.
- APARECIDO, Luiza Maria Teóphilo. Padrões da área do xilema ativo em espécies florestais amazônicas na região de Manaus (AM) / Luiza Maria Teóphilo Aparecido. Manaus: [s.n.], 2014.
- VIEIRA, C. H. N., MATTOS, L. M., et al. (2018). "Spatial and temporal land use and land cover of the Upper Jardim River Basin, Distrito Federal, Brazil." *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 01, 085 – 908.