



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

# Ecohidrologia terrestre do Cerrado: Síntese de evidências e investigação do papel de unidades de conservação na regulação hídrica

Lara Lage Sanches

Orientadora: Mercedes Maria da Cunha Bustamante

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Brasília-DF, 07 de novembro de 2021.

# Sumário

<b>CONTEXTO</b>	<b>1</b>
<b>O CENÁRIO DA ÁGUA NO MUNDO</b>	<b>1</b>
<b>O NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO</b>	<b>2</b>
<b>A PERSPECTIVA ECOHIDROLÓGICA</b>	<b>4</b>
<b>A RELEVÂNCIA DA ÁGUA NOS TRÓPICOS EM CONTRASTE COM A CARÊNCIA DE PESQUISA EM ECOHIDROLOGIA</b>	<b>5</b>
<b>O CERRADO NO CONTEXTO GLOBAL E REGIONAL</b>	<b>6</b>
<b>DESAFIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO CERRADO</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>11</b>
<b>RESUMO</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>15</b>
ÁREA DE ESTUDO	15
SÍNTESE DE EVIDÊNCIAS	16
ANÁLISE DE DADOS	18
<b>RESULTADOS</b>	<b>20</b>
<b>DISCUSSÃO</b>	<b>32</b>
TIPO DE ESTUDO	33
ESPAÇO	34
ESCALA	36
OBJETO DE ESTUDO HIDROLÓGICO (COMPONENTE DO CICLO)	39
OBJETO DE ESTUDO ECOLÓGICO (SOLO E VEGETAÇÃO)	43
LIMITAÇÕES	44
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>46</b>
<b>RESUMO</b>	<b>46</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>47</b>
O CICLO HIDROLÓGICO DO CERRADO	47
INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS NO REGIME HIDROLÓGICO	48
UC'S COMO FERRAMENTA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E PROVISÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	50
OBJETIVOS	52
<b>METODOLOGIA</b>	<b>53</b>
ÁREAS DE ESTUDO	53
DESCRIÇÃO DO MODELO	56
MAPAS DE ENTRADA	63
BASE DE DADOS	66
CONFIGURAÇÃO DO MODELO	68
ANÁLISE ESTATÍSTICA	68
MODIS	69
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>70</b>
MODELAGEM	70
MAPEAMENTO DOS COMPONENTES HIDROLÓGICOS NA BACIA DO LAGO PARANOÁ	75
MAPEAMENTO DOS COMPONENTES HIDROLÓGICOS NA SUB-BACIA DO RIO PARANÁ	85
CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
LIMITAÇÕES E APERFEIÇOAMENTOS	99
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE</b>	<b>124</b>

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, gratidão imensa aos meus pais, Flávia de Carvalho Lage e Claudimir Roberto Sanches, por todo o suporte que sempre me deram e que me possibilitaram chegar até aqui.

Obrigada ao meu namorado Thiago Albuquerque Souza Campos pelo suporte técnico e principalmente emocional, que foi vital durante essa jornada.

Obrigada aos amigos que tornaram a vida mais leve, mesmo em meio à uma pandemia.

Obrigada aos colegas de laboratório que me ajudaram de alguma forma durante a execução desse projeto. Um obrigado especial à Ariane de Almeida Rodrigues, que foi essencial para a execução do capítulo 1.

Obrigada à Andréia de Almeida e Alice Pereira, integrantes do grupo de pesquisa do Doutor Sérgio Koide, que me ajudaram no momento de maior necessidade durante a execução do capítulo 2.

Obrigada ao exemplo de pessoa e pesquisadora que é Mercedes Bustamante, é um privilégio poder ter iniciado a carreira acadêmica sob a luz da sua orientação.

Obrigada também às partes que possibilitaram a realização deste mestrado, ao CNPq pelo financiamento da bolsa, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e ao Departamento de Ecologia, cujo suporte acadêmico me permitiu crescer como pesquisadora durante esses anos.

## Lista de figuras

- Figura 1.** Demanda global de água por setor até 2040. O gráfico da esquerda indica a retirada de água e o gráfico da direita, o consumo. As cores representam, respectivamente: produção de energia primária, geração de energia, indústria, uso doméstico e agricultura. Fonte: Relatório anual da ONU “The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind”. ..... 1
- Figura 1.1.** Fluxograma do processo de triagem no modelo ROSES (Haddaway et al. 2017). Os nove artigos de “outras fontes” incluídos na última fase da triagem são referências de artigos de revisão encontrados na busca inicial. Destes, apenas sete foram selecionados. .... 18
- Figura 1.2.** Frequência de publicações sobre ecologia terrestre no Cerrado ao longo dos anos. A linha pontilhada representa a tendência, cuja equação e coeficiente de determinação são, respectivamente:  $y = 0,0258x^2 - 0,3814x + 1,533$ ,  $R^2 = 0,8651$ . .... 20
- Figura 1.3.** Contribuições dos países nas 127 publicações sobre ecologia terrestre no Cerrado identificadas nas bases de dados SciELO, Web of Science e Scopus, entre 1990 e 2020. Os países que contribuíram apenas uma vez foram: África do Sul, Chile, Honduras, Quênia, Suíça e Venezuela. Obs.: As publicações que não tiveram participação do Brasil foram dos seguintes países: Austrália (um), Alemanha (dois), EUA (cinco) e EUA com Argentina (dois). .... 21
- Figura 1.4.** Ocorrência de cada componente hidrológico no total de dados publicados sobre ecologia terrestre no Cerrado a cada ano. Obs.: A soma dos componentes em todo o período é maior do que o total de publicações porque diversos estudos avaliaram mais de um componente. .... 23
- Figura 1.5.** Padrão de crescimento das publicações sobre evapotranspiração no Cerrado ao longo dos anos. A taxa de crescimento móvel é referente à média de cinco anos. .... 23
- Figura 1.6.** Ocorrência de estudos sobre cada componente hidrológico relativa ao total de publicações sobre ecologia terrestre no Cerrado em cada ano. As linhas concêntricas representam intervalos de 10%. .... 24
- Figura 1.7.** Ocorrência de cada tipo de estudo (comparativo – escala, método, cenário, espacial e/ou temporal – ou descritivo) no total de publicações sobre ecologia terrestre no Cerrado a cada ano. .... 25
- Figura 1.8.** Frequência de publicações sobre ecologia terrestre no Cerrado em diferentes escalas espaciais entre 1990 e 2020. .... 25
- Figura 1.9.** Mapa de calor (a) e frequência (b) das ocorrências de cada elemento do ciclo hidrológico nas publicações sobre ecologia no Cerrado, entre 1990 e 2020. A barra de evapotranspiração indica o número de estudos em que se discriminou a transpiração (pontos concentrados), a evaporação (pontos dispersos) e em que não se discriminou (liso). .... 26
- Figura 1.10.** Proporção de cada escala temporal sob a qual os processos hidrológicos foram investigados nas publicações sobre ecologia terrestre no Cerrado, entre 1990 e 2020. ... 27
- Figura 1.11.** Grade de células representativa do número de estudos total (a), estudos em escala local (b) e estudos em escala regional (c) referentes à ecologia do bioma Cerrado, entre os anos 1990 e 2020. Cada linha horizontal e vertical marca um grau a partir da linha do Equador e de Greenwich, respectivamente. .... 29
- Figura 1.12.** Grade de células representativa do número de estudos sobre ecologia no bioma Cerrado, entre 1990 e 2020, discriminados por fisionomia vegetal (caixa verde) e componente hidrológico (caixa azul). Cada linha horizontal e vertical marca um grau a partir da linha do Equador e de Greenwich, respectivamente. Obs.: Apenas os componentes mais estudados estão representados. .... 30

**Figura 1.13.** Sobreposição dos aquíferos monitorados pela Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) sob o Cerrado com uso de poços (**círculos brancos**) e pivôs centrais mapeados pela ANA em 2017 no Cerrado (**pontos pretos**). Total de poços cadastrados no Brasil: 409. Total de poços cadastrados no Cerrado: 161 (39% do total). Total de poços no MATOPIBA: 65 (40% do total no Cerrado). *Fonte: Serviço Geológico do Brasil (05/2021) e Agência Nacional das Águas.* .....42

**Figura 2.1.** Bacias hidrográficas selecionadas para o estudo e seu contexto de segurança hídrica. O índice de segurança hídrica (ISH) avalia quatro componentes: ecossistemas, humanos, economia e resiliência. Assim, cada bacia apresentou um pior desempenho em uma das categorias, indicadas no canto inferior esquerdo dos mapas. *Fonte: Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA).*.....55

**Figura 2.2.** Sistema de abastecimento hídrico das regiões administrativas do Distrito Federal em 2020. *Fonte: Relatório de Qualidade da Água (Caesb, 2020).* .....55

**Figura 2.3.** Sequência de passos do SWAT para modelar a fase terrestre do ciclo hidrológico. *Fonte: Manual teórico SWAT.*.....59

**Figura 2.4.** Vias de destino da água precipitada que atinge o solo no modelo SWAT. *Fonte: Manual teórico SWAT.*.....62

**Figura 2.5.** Mapas de entrada de modelo digital de elevação, solos e uso da terra (2020) da bacia do Lago Paranoá, como requerido pelo SWAT. No gráfico de topografia, “flat” indica declive de 0-8%, “wavy”, 8-20% e “hilly”, >20%. *Fontes: Alos Palsar, Reatto et al. (2004) e Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal.* .....64

**Figura 2.6.** Mapas de entrada de modelo digital de elevação, solos e uso da terra (2019) da sub-bacia do Rio Paranã, como requerido pelo SWAT. No gráfico de topografia, “flat” indica declive de 0-8%, “wavy”, 8-20% e “hilly”, >20%. *Fontes: SRTM, IBGE e MapBiomias (5.0).* .....65

**Figura 2.7.** Média mensal da vazão registrada nas estações fluviométricas e chuva acumulada na bacia do Lago Paranoá durante o período de calibração e validação. A barra hachurada indica o período não avaliado. *Fonte: ANA.* .....67

**Figura 2.8.** Média mensal da vazão registrada nas estações fluviométricas e chuva acumulada na sub-bacia do Rio Paranã durante o período de calibração e validação. A barra hachurada indica o período não avaliado. *Fonte: ANA.* .....67

**Figura 2.9.** Vazão observada e simulada durante os períodos de calibração e validação na bacia do Lago Paranoá. A estação 60477600 está localizada na bacia do Bananal, a estação 60478200, na bacia do Riacho Fundo e a estação 60478500, na bacia do Gama. O intervalo 95PPU indica a margem de incerteza do modelo (Abbaspour 2015). A barra hachurada indica o período não avaliado e, no último gráfico, também indica ausência de dados no período da validação. ....73

**Figura 2.10.** Vazão observada e simulada durante os períodos de calibração e validação na sub-bacia do Rio Paranã. O intervalo 95PPU indica a margem de incerteza do modelo (Abbaspour 2015). A barra hachurada indica o período não avaliado. ....74

**Figura 2.11.** Comparação da evapotranspiração anual estimada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e pelo satélite MODIS entre 2006 e 2010, na bacia do Lago Paranoá (DF). Os **pontos** indicam as médias de cada grupo, que são, respectivamente, 881 mm/ano, 816 mm/ano. *Obs.: a resolução do modelo foi de 12,5m na bacia do Lago Paranoá, enquanto o MODIS tem resolução de 500 metros. Além disso, essa comparação vale apenas para áreas vegetadas, pois o MODIS não mede ET de áreas predominantemente urbanas e nem espelhos de água.*.....77

**Figura 2.12.** Distribuição espacial da precipitação e da evapotranspiração (ET) anual (2006-2010) na bacia do Lago Paranoá (DF) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT)

e distribuição dos valores de ET dentro das unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**). Os **pontos** representam as médias, que são, respectivamente, 900 mm/ano, 831 mm/ano e 858 mm/ano. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.* .....78

**Figura 2.13.** Distribuição espacial da produção de água anual (2006-2010) por unidade hidrológica (*hydrologic response unit* – HRU) e dos seus subcomponentes – escoamento superficial, fluxo lateral e fluxo basal – na bacia do Lago Paranoá (DF) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). A distribuição dos valores da produção de água dentro das unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa e a dos demais componentes estão sob os respectivos mapas. A média (**pontos**) da produção de água em cada área é: 477 mm/ano, 634 mm/ano, 572 mm/ano, respectivamente. A média do escoamento superficial em cada área é: 25 mm/ano, 264 mm/ano, 169 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo lateral em cada área é: 78 mm/ano, 64 mm/ano, 70 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo basal em cada área é: 355 mm/ano, 291 mm/ano, 316 mm/ano, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.* .....81

**Figura 2.14.** Distribuição espacial da evapotranspiração (**ET**), do escoamento superficial, da percolação e do fluxo subsuperficial (fluxo lateral + fluxo basal) como fração da precipitação (2006-2010) na bacia do Lago Paranoá (DF). A distribuição dos valores de cada componente nas unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa, no caso da ET, e sob os mapas, no caso dos demais componentes. A fração média (**ponto**) da ET em cada área é: 0,66, 0,57, 0,60, respectivamente. A fração média do escoamento em cada área é: 0,02, 0,18, 0,11, respectivamente. A fração média da percolação em cada área é: 0,27, 0,21, 0,23, respectivamente. A fração média do fluxo subsuperficial em cada área é: 0,31, 0,24, 0,27, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.* .....84

**Figura 2.15.** Comparação da evapotranspiração anual estimada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e pelo satélite MODIS entre 2010 e 2014, na sub-bacia do Rio Paranã (GO). Os **pontos** indicam as médias de cada grupo, que são, respectivamente, 697 mm/ano e 1037 mm/ano. *Obs.: a resolução do modelo foi de 30m na sub-bacia do Rio Paranã, enquanto o MODIS tem resolução de 500 metros.* Essa comparação vale apenas para áreas vegetadas, pois o MODIS não mede ET de áreas predominantemente urbanas e nem de espelhos de água. ....87

**Figura 2.16.** Distribuição espacial da precipitação e da evapotranspiração (**ET**) anual no período de calibração (1997-2006) na sub-bacia do Rio Paranã (GO) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e distribuição dos valores de ET dentro das unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**). Os **pontos** representam as médias, que são, respectivamente, 794 mm/ano, 748 mm/ano e 756 mm/ano. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.* .....88

**Figura 2.17.** Distribuição espacial da precipitação e da evapotranspiração (**ET**) anual no período de validação (2010-2014) na sub-bacia do Rio Paranã (GO) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e distribuição dos valores de ET dentro das unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**). Os **pontos** representam as médias, que são, respectivamente, 757 mm/ano, 680 mm/ano e 694 mm/ano. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.* .....89

**Figura 2.18.** Distribuição espacial da produção de água anual no período de calibração (1997-2006) por unidade hidrológica (*hydrologic response unit* – HRU) e dos seus subcomponentes – escoamento superficial, fluxo lateral e fluxo basal – na sub-bacia do Rio Paranã (GO)

calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). A distribuição dos valores da produção de água dentro das unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa e a dos demais componentes estão sob os respectivos mapas. A média (**pontos**) da produção de água em cada área é: 354 mm/ano, 248 mm/ano, 268 mm/ano, respectivamente. A média do escoamento superficial em cada área é: 32 mm/ano, 61 mm/ano, 56 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo lateral em cada área é: 177 mm/ano, 75 mm/ano, 94 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo basal em cada área é: 132 mm/ano, 98 mm/ano, 105 mm/ano, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo de quartis e médias.*

.....94

**Figura 2.19.** Distribuição espacial da produção de água anual no período de validação (2010-2014) por unidade hidrológica (*hydrologic response unit* – HRU) e dos seus subcomponentes – escoamento superficial, fluxo lateral e fluxo basal – na sub-bacia do Rio Paranã (GO) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). A distribuição dos valores da produção de água dentro das unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa e a dos demais componentes estão sob os respectivos mapas. A média (**pontos**) da produção de água em cada área é: 203 mm/ano, 223 mm/ano, 219 mm/ano, respectivamente. A média do escoamento superficial em cada área é: 17 mm/ano, 63 mm/ano, 55 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo lateral em cada área é: 148 mm/ano, 72 mm/ano, 86 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo basal em cada área é: 27 mm/ano, 72 mm/ano, 64 mm/ano, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.* .....95

**Figura 2.20.** Distribuição espacial da evapotranspiração (**ET**), do escoamento superficial, da percolação e do fluxo subsuperficial (fluxo lateral + fluxo basal) como fração da precipitação no período de calibração (1997-2006) na sub-bacia do Rio Paranã (GO). A distribuição dos valores de cada componente nas unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa, no caso da ET, e sob os mapas, no caso dos demais componentes. A fração média (**ponto**) da ET em cada área é: 0,64, 0,66, 0,65, respectivamente. A fração média do escoamento em cada área é: 0,02, 0,05, 0,05, respectivamente. A fração média da percolação em cada área é: 0,20, 0,23, 0,22, respectivamente. A fração média do fluxo subsuperficial em cada área é: 0,22, 0,15, 0,16, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.* .....97

**Figura 2.21.** Distribuição espacial da evapotranspiração (**ET**), do escoamento superficial, da percolação e do fluxo subsuperficial (fluxo lateral + fluxo basal) como fração da precipitação no período de validação (2010-2014) na sub-bacia do Rio Paranã (GO). A distribuição dos valores de cada componente nas unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa, no caso da ET, e sob os mapas, no caso dos demais componentes. A fração média (**ponto**) da ET em cada área é: 0,58, 0,61, 0,60, respectivamente. A fração média do escoamento em cada área é: 0,02, 0,04, 0,04, respectivamente. A fração média da percolação em cada área é: 0,23, 0,28, 0,27, respectivamente. A fração média do fluxo subsuperficial em cada área é: 0,16, 0,13, 0,13, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.* .....98

## Lista de tabelas

**Tabela 1.** Principais commodities produzidas no Cerrado e seu papel nas exportações do Brasil. A posição indica a classificação do país no ranking mundial de exportadores da commodity e a participação indica a contribuição relativa do país no peso total exportado no mundo.....7

**Tabela 1.1.** Palavras-chaves de cada elemento da pergunta, do tipo PO. .... 17

**Tabela 1.2.** Bases de dados e chaves de buscas específicas de cada uma delas. Os filtros listados foram usados apenas nas buscas por artigos em português (PT), mas não em inglês (EN). ... 17

**Tabela 1.3.** Mapa de calor das publicações sobre ecologia no Cerrado, entre 1990 e 2020, discriminadas por fisionomia e classe de solo. .... 31

**Tabela 2.1.** Métodos de cálculo dos componentes hidrológicos. Mais detalhes sobre os métodos utilizados podem ser encontrados no manual teórico do modelo. Obs.: Os componentes que não estão listados possuem apenas uma metodologia ou são produtos do cálculo do balanço hídrico. .... 61

**Tabela 2.2.** Descrição dos mapas de entrada das duas bacias em estudo. .... 63

**Tabela 2.3.** Estatísticas das modelagens nas duas bacias. PBIAS negativo indica superestimação dos dados e PBIAS positivo indica subestimação..... 70

**Tabela 2.4.** Parâmetros usados para calibração e validação do modelo SWAT nas duas áreas de estudo. Os valores usados na calibração foram retirados de Ferrigo (2014) para a bacia do Lago Paranoá e Amorim et al. (2020) para a sub-bacia do Paranã e os valores da validação foram gerados pelo processo de calibração. A descrição detalhada de cada parâmetro está na documentação do modelo (Arnold et al. 2012)..... 71

**Tabela 2.5.** Valores de taxas anuais e percentual relativo à precipitação dos processos do balanço hídrico terrestre identificados na literatura científica sobre o bioma Cerrado. .... 75

## Material suplementar

**Apêndice 1.** Publicações selecionadas para o mapeamento durante o processo de triagem, que somam 127 publicações. .... 124

**Apêndice 2.** Publicações excluídas durante a fase de triagem do texto completo. .... 137

**Apêndice 3.** Base de dados de solos da bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal. .... 141

**Apêndice 4.** Base de dados de solos da bacia do Rio Paranã, em Goiás..... 143

**Apêndice 5.** Base de dados de cobertura da terra da bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal. .... 144

**Apêndice 6.** Base de dados de cobertura da terra da bacia do Rio Paranã, em Goiás..... 145

**Apêndice 7.** Base de dados de cobertura urbana da bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal (UAAD e UBBD), e da bacia do Rio Paranã, em Goiás (URBN)..... 146

**Apêndice 8.** Script do R de preparação dos dados de entrada..... 147

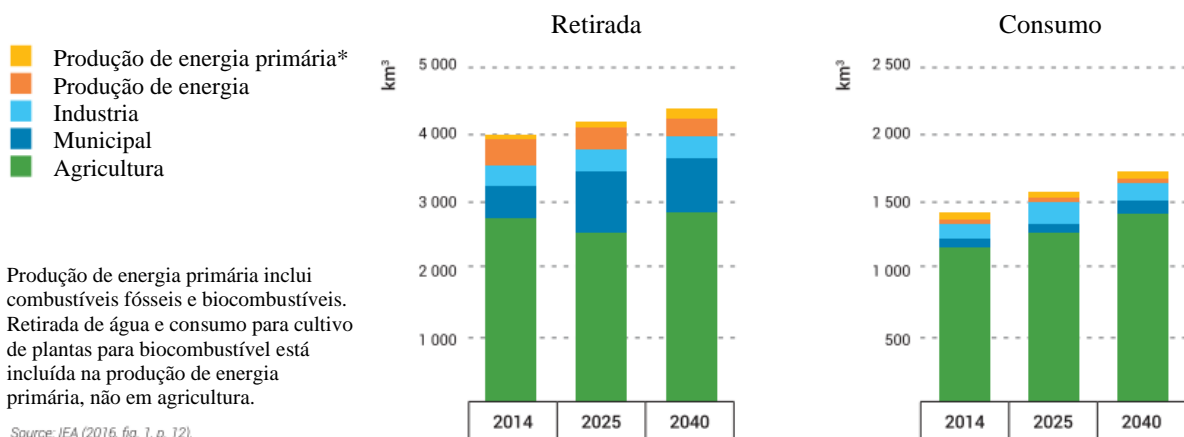
**Apêndice 9.** Script do R de análise dos dados de saída..... 153



# Contexto

## O CENÁRIO DA ÁGUA NO MUNDO

Um dos maiores desafios do século XXI talvez seja evitar uma potencial crise hídrica global, que é impulsionada pelo aumento crescente da população humana, desenvolvimento econômico, alteração dos padrões de consumo e intensificação das mudanças climáticas (Hoekstra e Chapagain 2006; UNESCO 2020; Vörösmarty et al. 2000). A **Figura 1** ilustra a demanda global de água por setor até 2040 (UNESCO 2019). Parte da tendência observada é resultado de uma mudança na dieta em nível global: aumento do consumo de carne de animais de produção (“*livestock*”), que utilizam quase 20% da água verde (ou seja, presente nos solos) dos continentes, além de estar associado a outros impactos, como desmatamento (Deutsch et al. 2010). Além disso, elevação do padrão de vida em diversas partes do mundo (Suter, Madheswaran, e Vani 2020) significa também maior consumo de energia e de bens materiais, que também necessitam de água para a sua produção (Hoekstra e Chapagain 2006; Moore 2015).



**Figura 1.** Demanda global de água por setor até 2040. O gráfico da esquerda indica a retirada de água e o gráfico da direita, o consumo. As cores representam, respectivamente: produção de energia primária, geração de energia, indústria, uso doméstico e agricultura. *Fonte: Relatório anual da ONU “The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind”.*

Alterações do regime hídrico impactam não só sociedades humanas, como também ecossistemas aquáticos e terrestres. Períodos de seca prolongada, por exemplo, estimulam a transição temporária da matriz elétrica para fontes de alto carbono, já que a queima de combustíveis fósseis e biomassa é uma alternativa para preservar a água de reservatórios, assim, intensificando as mudanças climáticas (Lima et al. 2020). Outros possíveis efeitos da seca são: aumento no risco e na severidade de incêndios florestais (Brando et al. 2019), desregulação de interações ecológicas, por exemplo, entre plantas e polinizadores (Descamps, Quinet, e Jacquemart 2021) e transição de rios perenes para intermitentes (Döll e Schmied 2012). Já o aumento da precipitação e/ou a concentração da precipitação em menos eventos mais intensos acentuam o transporte de sedimentos e solutos para os cursos de água (de Oliveira et al. 2019), com potencial prejuízo para a biodiversidade e para a geração de energia. Alguns desses impactos interagem e, inclusive, atuam em feedback positivo, potencialmente intensificando-se ao longo do tempo.

A segurança hídrica dos ecossistemas e das sociedades humanas, portanto, são entrelaçadas. Enquanto algumas medidas que visam a preservação dos recursos hídricos beneficiam ambas as partes, como o controle de poluição (Vörösmarty et al. 2010), outras medidas para garantir especificamente a segurança hídrica humana, como a transposição de rios ou a transição da matriz energética, prejudicam direta e indiretamente a biodiversidade (MIN 2004; Velazco et al. 2019). Por isso, a problemática da água deve ser abordada de forma integrada, considerando não apenas a segurança hídrica humana, mas também a conservação ambiental.

## O NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO

Em vista da demanda de recursos esperada para o futuro e da vulnerabilidade dos ecossistemas, a discussão sobre as seguranças hídrica, energética e alimentar tem se tornado

mais evidente (Endo et al. 2017). É nesse cenário que se desenvolveu o conceito do nexos, uma abordagem que se popularizou na última década, principalmente, a partir da conferência de Bonn em 2011 (Hoff 2011). Ela preconiza a integração entre setores (água, alimentação e energia) e escalas (local, regional e global), visando à garantia de direitos humanos e ao desenvolvimento de uma economia verde, a partir da mediação de sinergias e *trade-offs* na gestão dos recursos (Hoff 2011; Purwanto et al. 2021; Zhang et al. 2018).

Em função da sua complexidade inerente, aplicar o nexos é um grande desafio e, inclusive, já foi motivo de críticas por ser “muito teórica e dificilmente aplicável” (Purwanto et al. 2021). De fato, a complexidade é um complicador na disseminação da prática, no entanto, os desafios que ela propõe abordar são igualmente complexos e requerem soluções à altura. Juntamente com a complexidade, outros fatores – remediáveis – prejudicam a adoção do nexos, como a escassez de dados e informações. Mais especificamente, uma citação comum a vários artigos desde a conferência de Bonn (Hoff 2011) é que existe a necessidade de melhor compreensão dos processos basilares dos ciclos dos recursos naturais, possíveis interdependências, além de acessibilidade a dados já existentes (Endo et al. 2017; Johnson et al. 2019; Purwanto et al. 2021).

A oferta de água está no centro do nexos, é ela quem liga todos os setores (Hoff 2011), por isso, entender sua dinâmica, considerando quantidade, qualidade e periodicidade, é essencial para a compreensão e aplicação do nexos. Entender esse sistema base também é importante para a aplicação de pagamentos por serviços ambientais, um dos instrumentos da Economia Verde, preconizada pelo nexos (Hoff 2011). Assim, compreende-se que o estudo dos recursos hídricos é o pilar central para o futuro desenvolvimento do nexos e deve ser construído preenchendo-se as lacunas que ainda existem no corpo do conhecimento e considerando-se a faceta ambiental que rege o ciclo hidrológico em diferentes escalas.

## A PERSPECTIVA ECOHIDROLÓGICA

A água conecta todos os sistemas naturais e antrópicos, não apenas internamente, mas também entre si. As plantas dependem da água para a fotossíntese, devido à transpiração (Lemordant et al. 2018), o que, por sua vez, determina a produtividade dos ecossistemas; a evapotranspiração influencia o microclima e regula o início da estação chuvosa (Costa e Pires 2010); as chuvas alimentam aquíferos e cursos de água superficiais (de Oliveira et al. 2019); esses sistemas, por sua vez, compreendem o fluxo que suporta a vida nos rios e lagos, abastecem a agricultura, possibilitam o aproveitamento de energia hidrelétrica, entre outros benefícios, incluindo lazer e cultura (Power 2010). Entender, então, como a água transita e interage em todos os compartimentos desse ciclo é imprescindível para sua boa gestão e esse é o foco da ecohidrologia.

O termo ecohidrologia já era usado pelo menos desde 1981 (van Wirdum 1982). No entanto, tinha uma definição diferente e mais restrita do que se conhece hoje: “ecohidrologia é o estudo da água como um fator ecológico da paisagem nos ecossistemas terrestres” (de Molenaar 1987); ou “a área de pesquisa interdisciplinar direcionada à aplicação de conhecimento hidrológico na ecologia de paisagens” (Pedroli 1990), ou seja, representava uma relação unidirecional. Sua história como área interdisciplinar mais holística, inclusive com uma revista própria – “Ecohydrology”, ISSN: 1936-0592 (Smettem 2007) –, começou apenas a partir de meados da década de 90, quando o Programa Hidrológico Internacional (IHP) da UNESCO evidenciou a necessidade de uma nova abordagem para lidar com o desafio da água, o qual a humanidade estava começando a vislumbrar com mais clareza (Zalewski, Janauer, e Jolánkai 1997). A partir de então, houve um esforço de definição e delimitação da área de estudo que, inclusive, pode ser observado ainda recentemente (Gosselin et al. 2019), e que foram moldando a ecohidrologia que se conhece hoje: o estudo interdisciplinar da relação bidirecional entre ecologia e hidrologia, que pauta gestão dos recursos hídricos e conservação

ambiental a partir de conhecimento teórico-científico, engenharia e consideração a aspectos sociais e econômicos. Apesar de sua definição ainda ser motivo de discussão entre acadêmicos – em função da confusão que gira em torno do seu foco e a sua constante evolução (Gosselin et al. 2019) – essa abordagem tem ganhado destaque não apenas na academia, mas também nas políticas públicas de gestão dos recursos hídricos (Martínez Valdés e Villalejo García 2020). Porém, o aumento global de estudos de ecohidrologia não foi acompanhado por uma distribuição equitativa nas diferentes regiões do planeta (Wright et al. 2018).

## A RELEVÂNCIA DA ÁGUA NOS TRÓPICOS EM CONTRASTE COM A CARÊNCIA DE PESQUISA EM ECOHIDROLOGIA

Um levantamento realizado por Wright et al. (2018) revelou que os trópicos, região que conta com 54% dos recursos hídricos renováveis do mundo (Harding et al. 2014), compreendia apenas cerca de um décimo dos estudos envolvendo ecohidrologia entre 1997 e 2016. Ao mesmo tempo, os trópicos respondem por 43% (3.8 bilhões) da população global – com previsão para aumentar para mais que 50% até 2050 –, do qual quase metade é considerada vulnerável ao estresse hídrico (Harding et al. 2014; Harding e Penny 2020). Além disso, seu patrimônio natural, que abriga aproximadamente 80% da biodiversidade terrestre global (Harding e Penny 2020), contrasta com a perda anual de 126.000 km<sup>2</sup> de florestas (entre 2001 e 2017), inclusive, com a exploração de áreas até então consideradas negligenciáveis, como regiões íngremes e de altitude (Feng, Zeng, e Zheng 2020). Entre os maiores vetores de degradação ambiental na região estão o desmatamento e as más práticas agrícolas (Harding et al. 2014), fatores influentes considerando que os trópicos contam com diversos países importantes para o comércio mundial de commodities agrícolas (Austin et al. 2017). Ou seja, há uma disparidade entre a necessidade e a provisão de estudos ecohidrológicos na região.

## O CERRADO NO CONTEXTO GLOBAL E REGIONAL

Na região neotropical, o Cerrado brasileiro é o segundo maior bioma (após a Amazônia) e um *hotspot* global de conservação da biodiversidade, devido não apenas à alta biodiversidade – a maior entre as savanas do mundo –, mas também pela forte insegurança a que está submetido frente às pressões antrópicas (CI 2021). Similarmente ao contexto geral dos trópicos, o contexto específico do Cerrado também carrega fortes indicadores de uma discrepância entre oferta e demanda de conhecimento sobre ecologia. Para evidenciar a baixa oferta: uma busca por “ecohydrology AND Cerrado” retornou apenas quatro resultados na Web of Science (06/2021). Já a alta demanda é uma função de diversos fatores, desde a demografia até a base econômica da região (Sano et al. 2019; Santana et al. 2020).

A população dos municípios presentes no Cerrado em 2010, ano do último censo, contava com aproximadamente 30 milhões de habitantes (16% da população do Brasil), 87% dos quais concentrados em centros urbanos (Campolina 2019), incluindo a capital do país. No bioma habitam também inúmeras comunidades tradicionais, entre as quais pelo menos 25 etnias indígenas, que, ainda na década de 80, somavam aproximadamente 45.000 pessoas, além de comunidades quilombolas (Sano, de Almeida, e Ribeiro 2008). Segundo o último censo do IBGE, somente no Centro-Oeste, a população indígena em 2010 era de 130.494 pessoas. É de se esperar, portanto, que a população das comunidades tradicionais em todo o Cerrado atualmente seja ainda maior.

O Cerrado é um pilar na agricultura do Brasil e desponta na produção de soja, milho, cana de açúcar, algodão e carne (Santana et al. 2020), cujas exportações colocam o país no pódio mundial de exportadores (**Tabela 1**). Por trás desse feito, porém, o Cerrado também contou com uma taxa de desmatamento de 6.900 km<sup>2</sup>/ano entre 2016 e 2020 (INPE 2021) – o equivalente a toda a área urbana do bioma, 7.000 km<sup>2</sup> –, além de ter a maior área absoluta convertida entre os biomas do Brasil, 910.000 km<sup>2</sup>, o que representa 46% da sua área total

(MapBiomass 2020). Desse montante, 870.000 km<sup>2</sup>, ou seja, 44% do bioma, são destinados à agropecuária.

**Tabela 1.** Principais commodities produzidas no Cerrado e seu papel nas exportações do Brasil em 2019. A posição indica a classificação do país no ranking mundial de exportadores da commodity e a participação indica a contribuição relativa do país no peso total exportado no mundo.

Commodity		Exportação (toneladas)	Posição do Brasil	Participação do Brasil (%)
Soja	Grão	74.073.074	1°	48%
	“Cake”	16.681.651	2°	24%
Milho		42.752.102	1°	24%
Cana-de-açúcar	Cru	15.980.349	1°	47%
	Refinado	1.909.391	4°	7%
Algodão		1.613.670	2°	-
Carne	Frango	3.951.372	1°	27%
	Boi desossada	1.560.003	1°	-
	Porco	627.382	5°	-

Fonte: FAOStat (2020). Obs.: Apenas as 20 commodities mais exportadas no mundo contam com informações da participação de cada país exportador.

Um aspecto importante da agropecuária no contexto do Cerrado é a adaptação ao clima regional, que impõe entre quatro e sete meses de seca, intercalados com meses de chuva em volumes que variam de 700 mm a 2000 mm (Oliveira et al. 2014). Esse cenário estimula a adoção de práticas de irrigação para manter a produtividade em alguns períodos críticos do ano (Santana et al. 2020). O Cerrado tem passado por um crescimento persistente na área irrigada desde os anos 1970, quando a área irrigada era 46 vezes menor do que os 31.000 km<sup>2</sup> registrados em 2015 (Bolfe, Sano, e Campos 2020). Por um lado, há grande disponibilidade de recursos hídricos no bioma como um todo, com vazões que chegam a 8.000 m<sup>3</sup>/s no Tocantins-Araguaia e 500m<sup>3</sup>/h em poços profundos no oeste baiano (Lima 2011). Por outro lado, mudanças climáticas e atividades antrópicas podem alterar a dinâmica e, possivelmente, a disponibilidade de água local- e regionalmente – por exemplo, há evidências de redução da vazão superficial em função de diminuição na precipitação e de atividades de irrigação (da Silva et al. 2021; Marques et al. 2020). Além disso, o uso de maquinário agrícola e a

movimentação do gado provocam alteração da estrutura física do solo, principalmente compactação, que não só aumenta o escoamento superficial em detrimento da infiltração, como também o transporte de sedimentos – até 241% e 954%, respectivamente (Chaves e Piau 2008).

As mudanças na cobertura vegetal alteram o ciclo hidrológico no Cerrado por diversos mecanismos, no geral: diminuição do índice de área foliar (*Leaf Area Index* - LAI), diminuição da rugosidade da superfície, substituição de vegetação de raízes profundas por vegetação de raízes rasas, aumento do albedo, entre outros (Dias et al. 2015; Georgescu et al. 2013). Todos esses fenômenos atuam no sentido de diminuir a turbulência na superfície, diminuir a ascensão capilar, aumentar o calor sensível em detrimento do calor latente e, em última instância, diminuir a evapotranspiração (Breil, Davin, e Rechid 2021). Assim, apesar das particularidades de cada cobertura antrópica, a conversão de áreas naturais no Cerrado – mais frequentemente para agricultura ou pastagem – geralmente é acompanhada por um balanço hídrico com menor reciclagem da precipitação e maior fluxo terrestre (Hayhoe et al. 2011; Spera et al. 2016).

Considerado o “berço das águas” ou a “caixa d’água” do país, o Cerrado abriga nascentes de oito das 12 regiões hidrográficas do Brasil – duas das quais se estendem para o restante da América Latina – e contribui com pelo menos metade da vazão de cinco delas (Lima, Silva, e Silva 2007). No país, onde 65% da matriz elétrica é de fonte hídrica (EPE 2020), a oferta de água e a oferta de energia se entrelaçam fortemente. O mapeamento das unidades de aproveitamento hidrelétrico da ANEEL indica que as unidades presentes dentro dos limites do Cerrado (599) e as unidades externas que se encontram em bacias fortemente influenciadas pelo bioma (436) somam 1035, o que representa 52% de todas as unidades do país (1984). Entre elas, destaca-se a usina hidrelétrica binacional de Itaipu, localizada na bacia do Paraná, que recebe 47% de suas águas do Cerrado (Lima et al. 2007). Líder mundial na geração de energia renovável, ela contribuiu, entre 2016 e 2020, com 14% da demanda anual do Brasil e



86% do Paraguai. Porém, a bacia do Paraná bateu o recorde de ano mais seco duas vezes consecutivas, em 2019 e 2020 (IB 2019, 2020).

O Cerrado é exemplo notável de que segurança alimentar, energética e hídrica estão intrinsicamente conectadas. Isso deve se tornar ainda mais crítico no futuro, pois o consumo energético mundial é projetado para aumentar aproximadamente 50% até 2050 (Capuano 2020), enquanto a demanda global por alimentos é projetada para aumentar entre 30% e 62% até o mesmo ano (van Dijk et al. 2021). Assim, o papel do Cerrado no Brasil e no mundo, o aumento esperado da demanda alimentar e energética mundial, juntamente com as projeções de mudanças na temperatura e precipitação regional – que podem aumentar entre 1-3°C e diminuir até 10%, respectivamente (IPCC 2021) –, colocam o bioma em um cenário potencialmente conflitante sob a perspectiva do nexos.

## DESAFIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO CERRADO

Dois importantes desafios para a gestão dos recursos hídricos no Cerrado são a falta de informações e a governança inadequada. Esses dois aspectos são independentes, mas se conectam em ambos os sentidos, ou seja, a falta de informações é uma das causas para a governança inadequada e esta, por sua vez, mina o apoio e investimento à pesquisa e desenvolvimento, importante fonte de informações. A governança ambiental por parte do Estado pode ocorrer por iniciativas de regulação, fomento, fiscalização, entre outras, e, no Brasil, representa um desafio histórico que está ainda mais evidente nas recentes políticas ambientais do país (Thomaz et al. 2020). Um dos pilares da governança ambiental, e que depende fortemente de ações efetivas do Estado, é a valorização e manutenção de unidades de conservação e serviços ecossistêmicos.

Esta dissertação possui dois capítulos que tratam, cada um, de um desafio citado. Os capítulos descrevem, respectivamente, 1. o cenário dos estudos ecohidrológicos terrestres no

Cerrado, a partir de um mapeamento da literatura existente, e 2. a quantificação do balanço hídrico de unidades de conservação em comparação com a áreas não protegidas em bacias antropizadas no Cerrado, a partir de modelagem hidrológica e análise espacial.

Espera-se que os resultados obtidos possam contribuir nas estratégias do Brasil para cumprir a Agenda 2030 da Organização da Nações Unidas (UN 2015), em particular, no que tange aos seguintes objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS): 6. “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos”; e 15. “proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”.

# Capítulo 1

## Colocando a ecohidrologia no mapa: Uma exploração sistemática dos estudos em ecossistemas terrestres no Cerrado

### RESUMO

Os recursos hídricos globais estão sob crescente pressão devido ao aumento da demanda e à instabilidade da oferta causada pelas mudanças climáticas e de uso da terra. A oferta de água é o pilar central na abordagem do nexo água-energia-alimento e a gestão desse recurso se beneficia do crescimento da pesquisa em ecohidrologia. A região tropical, contudo, é ainda pouco representada na literatura sobre ecohidrologia, apesar de sua importância para a biodiversidade, oferta de alimentos e sua dependência da hidroeletricidade. Por isso, o Cerrado – segundo maior bioma da região neotropical e importante polo para o nexo água-energia-alimento – foi escolhido para um mapeamento sistemático da literatura sobre ecohidrologia terrestre. A metodologia foi baseada no protocolo da Collaboration for Environmental Evidence. O mapeamento indicou a relevância da colaboração internacional e o grande crescimento no número de publicações desde 1990. Esse crescimento, porém, foi desigual em vários sentidos, pois predominaram estudos em escala espacial local e escala temporal anual; estudos comparativos espaciais; em sítios próximos de centros de pesquisa; estudos sobre evapotranspiração, precipitação e água no solo; e, dos poucos estudos que definiram explicitamente a fitofisionomia e o tipo de solo, preponderaram cerrado *sensu stricto* e Latossolos, respectivamente. Assim, os resultados indicaram que a pesquisa em ecohidrologia se beneficiará, principalmente, da difusão da pesquisa para regiões menos estudadas, com diferentes condições de clima e paisagens, da investigação de processos subterrâneos, do estudo das demais fitofisionomias e solos que compõem a diversidade do Cerrado e, finalmente, de estudos comparativos tanto no espaço, quanto no tempo, além de investigações multiescalares.

**Palavras-chaves:** Balanço hídrico; Ciclo hidrológico; Gestão da água; Savana tropical; Síntese de evidências.

## INTRODUÇÃO

Estudos ecohidrológicos apresentam-se como uma ferramenta essencial no planejamento territorial, pois podem indicar soluções economicamente viáveis e sustentáveis para a manutenção dos processos ecológicos e, conseqüentemente, oferta de serviços ecossistêmicos à sociedade. Na Tanzânia, por exemplo, uma decisão governamental de proibir o pastejo de aproximadamente 1 milhão de bovinos à montante do Grande Rio Ruaha, um importante rio para a geração de energia hidrelétrica no país, e posteriormente anexar a área ao Parque Nacional de Ruaha, resultou na extensão de até dois meses do fluxo de água para o rio, aproximando-o de seu regime perene (Kihwele et al. 2018).

No Brasil, Tundisi e Tundisi (2016) trouxeram três exemplos de iniciativas que integraram ecohidrologia, manejo hídrico e economia. Entre eles, cabe destacar o caso da bacia da usina hidrelétrica Carlos Botelho, em São Paulo. Em 1971, ela foi estabelecida como modelo para estudos em ecologia e limnologia e, segundo os autores, atualmente é um exemplo de governança hídrica sustentável. Além das condições climáticas e topografia favoráveis, alguns diferenciais que contribuíram para esse resultado foram: proteção da vegetação de encostas, áreas úmidas, costa da represa e florestas ripárias; rígido controle do uso da terra e atividades econômicas; e, finalmente, educação ambiental, capacitação dos recursos humanos e pesquisa.

Apesar de promissores, casos assim ainda são a exceção e não a regra, principalmente frente aos desafios de se integrar as diferentes escalas (Thompson et al. 2011). Uma possível causa para isso é o uso ainda incipiente dessa abordagem na ciência e/ou políticas públicas – ou seja, integração entre ecologia, hidrologia, economia e sociedade. Porém outra possível explicação, que representa um obstáculo mais evidente é a escassez de informações (Tundisi e Tundisi 2016). Uma das formas de lidar com isso é se valer de modelos para compreender os processos hidrológicos e seus vetores (Ireson, Makropoulos, e Maksimovic 2006; Meyer et al. 2016; Ritzema et al. 2010). O uso de modelos hidrológicos cresceu nas últimas décadas e hoje

existem várias opções que se adequam a condições e objetivos específicos (Devia, Ganasri, e Dwarakish 2015; Harper, Zalewski, e Pacini 2008).

De fato, modelos são uma ferramenta importante, porém, um bom uso dessa ferramenta requer a calibração e validação dos dados modelados (Moriassi et al. 2007). Essas etapas aumentam a confiabilidade no modelo, mas, para serem realizadas, é indispensável a coleta de dados em campo. Ou seja, ainda que o uso de modelos subsidie estudos em áreas com escassez de dados, sua utilização não atinge todo o potencial nessas condições. Assim, a coleta de dados empíricos torna-se uma prioridade para entender a ecologia nas mais diversas escalas espaciais e temporais. Considerando-se o tamanho e a heterogeneidade do bioma Cerrado (Sano et al. 2019), isso pode ser um grande desafio, por isso, a sistematização é essencial. Isso implica identificar o que já se conhece sobre os processos e objetos de estudo e, a partir daí, apontar diretrizes para complementar essa base teórica – para isso, é necessária uma síntese de evidências (James, Randall, e Haddaway 2016).

A síntese de evidências, entendida aqui como a metodologia de coleta e compilação de evidências (James et al. 2016), já é uma prática bem estabelecida nas ciências médicas e sociais para extrair generalizações de uma base de conhecimento já existente. A crescente demanda de informações científicas concretas por parte dos tomadores de decisão e o grande volume de publicações atraíram a atenção também das ciências ambientais para a síntese de evidências (Cook, Possingham, e Fuller 2013). Duas práticas resumem a aplicação de uma síntese: o mapeamento sistemático e a revisão sistemática. O mapeamento sistemático objetiva indicar o estado do conhecimento sobre uma questão, frequentemente, mais aberta e ampla (*e.g.* Quais são as doenças silvestres observadas em uma espécie?). Por esse motivo, nem sempre existe uma avaliação crítica das metodologias e dos resultados verificados, em vez disso, se preconiza a identificação de lacunas, agrupamentos e tendências da literatura analisada (Pullin et al. 2018). Já a revisão sistemática busca responder uma pergunta fechada e objetiva sobre um

determinado fenômeno (*e.g.* Qual é o efeito de uma espécie invasora sobre a reprodução de uma espécie nativa?). Boas revisões sistemáticas devem incluir uma análise crítica da literatura, qualificação e quantificação dos resultados e uma resposta clara à pergunta inicial, mesmo que a resposta seja uma ausência de efeito (Pullin et al. 2018).

Sínteses de evidência são um serviço importante para a ciência e para a gestão política. Devido à metodologia rigorosa de busca e análise de dados (Pullin et al. 2018), oferecem resultados mais seguros e menos enviesados, portanto, mais confiáveis para a tomada de decisões e aplicação em políticas públicas (Berger-Tal et al. 2019). Os mapeamentos, especificamente, são ferramentas muito úteis para identificar lacunas, guiar fomento à pesquisa em áreas específicas e, inclusive, indicar áreas do conhecimento que podem se beneficiar de uma revisão, dada a quantidade de evidências disponíveis. Eles podem ser especialmente úteis quando uma revisão parece inviável em função de uma literatura muito vasta e também para guiar uma área do conhecimento ou linha de pesquisa ainda incipiente, o que parece ser o caso da ecologia terrestre no Cerrado.

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul. Uma de suas principais características é sua heterogeneidade, ele conta com 19 ecorregiões (Sano et al. 2019) – fruto de diferenças no solo, no clima, na topografia e na hidrologia – e pelo menos nove fitofisionomias (Ribeiro e Walter 1998). Considerando sua relevância para os recursos hídricos no Brasil (Coe et al. 2017; Lima et al. 2011), o Cerrado foi selecionado para um mapeamento sistemático dos estudos ecotológicos. O mapeamento permitirá avaliar o investimento e o planejamento de estudos ecotológicos para responder questões críticas de maneiras mais eficientes. Assim, o objetivo deste capítulo foi mapear o conhecimento disponível sobre ecologia do sistema terrestre no bioma Cerrado. Seguindo a metodologia de James et al. (2016), a pergunta foi definida como tipo PO, ou seja, compreende os elementos *population* e *outcome*, que são, respectivamente, os ecossistemas terrestres no Cerrado e a quantificação dos

componentes hidrológicos. Assim, a pergunta que se propôs responder com este trabalho foi: Quais são as características e como é a distribuição dos estudos ecohidrológicos terrestres no Cerrado?

## METODOLOGIA

### *Área de estudo*

A área do bioma Cerrado representa 24% do território do Brasil. Conforme classificado pelo sistema de classificação climática de Köppen, o clima predominante é Aw (Alvares et al. 2013), caracterizado por um verão úmido e um inverno seco. A precipitação anual varia de 700 mm a 2.000 mm dependendo da região – 1.500 mm para todo o bioma – e concentra-se nos meses de outubro a março (Oliveira et al. 2014). A maior parte de sua área está na região dos planaltos do Brasil, por isso, há um predomínio de solos intemperizados e profundos, como Latossolos. No entanto, Neossolos, Argissolos e Plintossolos também são bem representados (IBGE 2018). A vegetação natural compreende um mosaico de campos, savanas e florestas, que são subdivididas em pelo menos nove fitofisionomias dependendo da estrutura da vegetação, composição e mudanças sazonais, entre outros critérios (Ribeiro e Walter 1998). A diversidade e extensão do Cerrado foram divididas em 19 ecorregiões, com base no clima, topografia, solos e vegetação (Sano et al. 2019). Em 2016, fitofisionomias savânicas e arbustivas, caracterizados por uma mistura de espécies herbáceas e lenhosas em proporções variadas, representavam cerca de 80% da biomassa nativa no Cerrado (Arantes, Ferreira, e Coe 2016). As espécies herbáceas utilizam água de camadas mais rasas no perfil do solo e sua biomassa aérea seca sazonal para responder às condições de seca da atmosfera e do solo (Rossatto, da Silveira Lobo Sternberg, e Franco 2013). Por outro lado, as espécies lenhosas são caracterizadas por um grande desenvolvimento radicular, o que lhes permite extrair água das camadas mais profundas do solo, mesmo durante a seca (Oliveira et al. 2005). A razão biomassa

subterrânea/biomassa aérea nas fitofisionomias do Cerrado é 2,34 em campos, 1,37 em savanas e 0,22 em florestas (de Miranda et al. 2014). Assim, as fitofisionomias interagem de forma diferente com a água, apresentando dinâmicas sazonais variadas.

### *Síntese de evidências*

A Collaboration for Environmental Evidence foi formada em 2007 para promover a prática de síntese de evidências, estabelecer guias e publicar revisões e mapeamentos (Pullin 2012). Ela exerce um papel semelhante ao das redes de colaboração Cochrane e Campbell Collaboration das áreas médicas e sociais, respectivamente. Assim, desde 2007, pesquisadores de ecologia, biologia da conservação, ciências ambientais e áreas correlatas contam com conteúdos para desenvolver revisões com particularidades específicas das questões ambientais. Sua metodologia de mapeamento sistemático será usada neste capítulo (James et al. 2016).

Algumas adaptações no protocolo se fizeram necessárias. Em primeiro lugar, a pesquisa foi realizada de maneira independente, ou seja, não houve participação popular nem de tomadores de decisão, porém, a pergunta da pesquisa foi embasada pelo contexto observado na literatura científica. O processo de checagem dupla foi completo, mas simplificado, ou seja, houve contribuição de uma única colaboradora em todas as etapas do protocolo, desde a definição das palavras-chave até a triagem dos artigos em nível de texto completo. Finalmente, não foi realizada investigação da literatura cinza.

As palavras-chave selecionadas então listadas na **Tabela 1.1**. As bases de dados utilizadas foram: SciELO, devido à relevância nacional, Scopus e *Web of Science Core Collection*, devido à diversidade, abrangência e abundância de trabalhos indexados. Além disso, também foi considerada a adaptabilidade da plataforma para exportar facilmente referências para a realização e replicação da revisão. Em todas as bases, a busca foi feita em nível de título, palavras-chave e resumo. A chave de busca foi adaptada quando necessário devido a peculiaridades de cada base de dados (**Tabela 1.2**).



**Tabela 1.1.** Palavras-chaves de cada elemento da pergunta, do tipo PO.

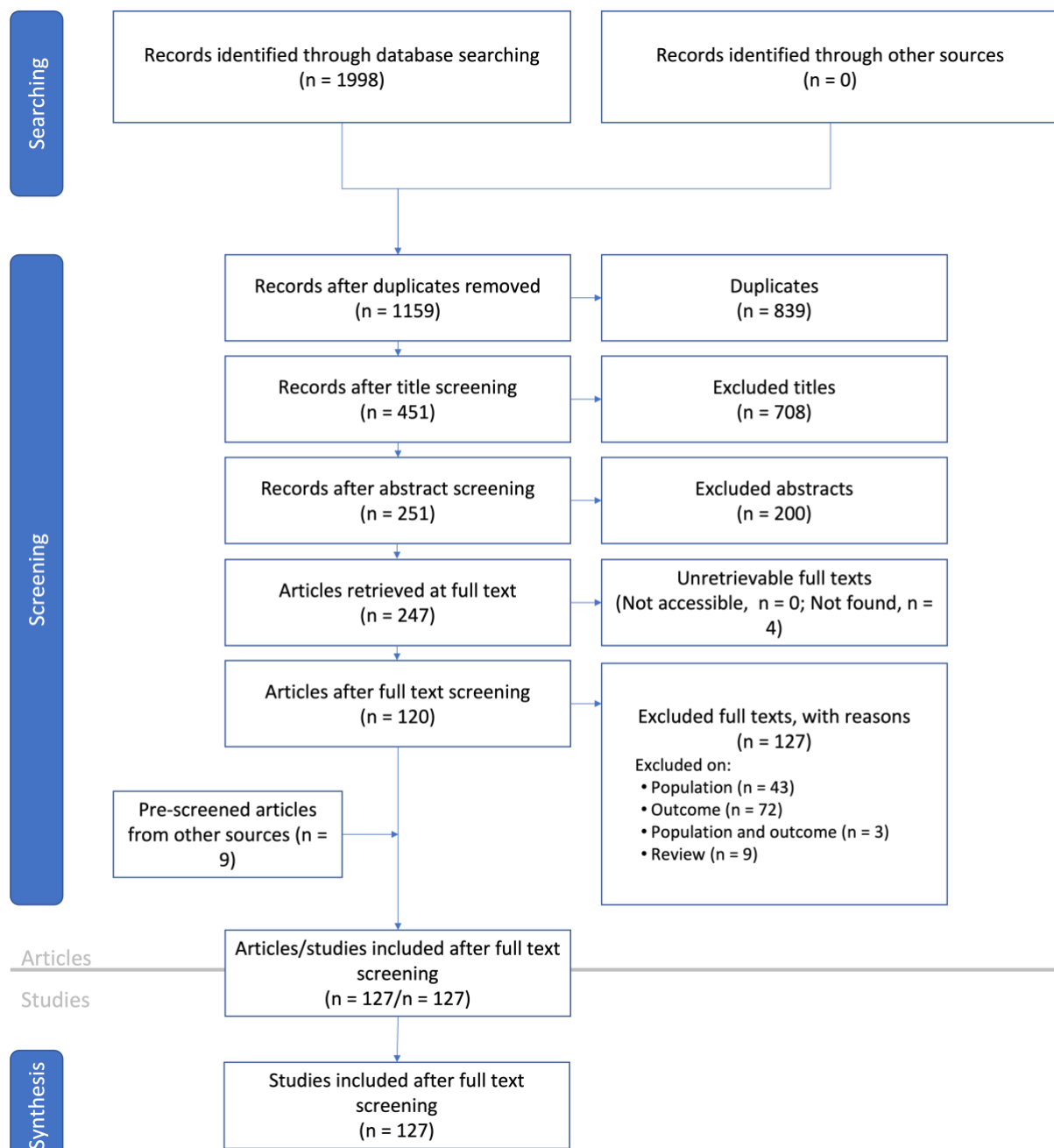
Population	Outcome
Cerrado	*charge
Brazilian Savanna*	Evapo*
Savannas of Brazil	*flow
	Infiltration
	Interception
	Percolation
	Runoff
	Transpiration
	Water availability
	Water balance
	Water budget
	Water quantity
	Water storage
	Water supply
	Water yield

**Tabela 1.2.** Bases de dados e chaves de buscas específicas de cada uma delas. Os filtros listados foram usados apenas nas buscas por artigos em português (PT), mas não em inglês (EN).

Base de dados	Chave de busca EN	Chave de busca PT	Filtros
SciELO	(Cerrado OR Savanna*) AND ((water AND (availability OR balance OR budget OR quantity OR storage OR supply OR yield)) OR (*charge OR evapo* OR *flow OR infiltration OR interception OR percolation OR runoff OR transpiration))	Cerrado AND (((água OR hídric*) AND (disponibilidade OR balanço OR quantidade OR estoque OR suprimento OR produção)) OR (*carga OR evaporação OR evapotranspiração OR fluxo OR infiltração OR interceptação OR percolação OR escoamento OR transpiração))	Collection – Brazil; Language – Portuguese.
Scopus	(Cerrado OR (Brazil* W/3 Savanna*)) AND ((water W/10 (availability OR balance OR budget OR quantity OR storage OR supply OR yield)) OR (*charge OR evapo* OR *flow OR infiltration OR interception OR percolation OR runoff OR transpiration))	Cerrado AND (((água OR hídric*) W/10 (disponibilidade OR balanço OR quantidade OR estoque OR suprimento OR produção)) OR (*carga OR evaporação OR evapotranspiração OR fluxo OR infiltração OR interceptação OR percolação OR escoamento OR transpiração))	Language – Portuguese.
Web of Science (Core Collection)	(Cerrado OR (Brazil* NEAR/3 Savanna*)) AND ((water NEAR/10 (availability OR balance OR budget OR quantity OR storage OR supply OR yield)) OR (*charge OR evapo* OR *flow OR infiltration OR interception OR percolation OR runoff OR transpiration))	NA*	NA

\* Não há busca na Web of Science em português porque, durante as buscas piloto, os poucos resultados não foram de interesse para o estudo.

A triagem foi realizada em três fases: título, resumo e texto completo (**Figura 1.1**). Durante a primeira fase, o critério de exclusão foi: “Não envolve hidrologia no Cerrado”. Durante a segunda e terceira fase, os critérios de inclusão foram: “Estuda ao menos uma área natural no Cerrado”, “Estuda ao menos um componente do ciclo hidrológico”, “Estudo em nível de comunidade ou ecossistema”. Além disso, revisões foram aceitas até a última etapa pelo propósito de fornecer referências cruzadas. Para ter acesso ao texto completo foi utilizada a assinatura da Universidade de Brasília, através do Portal de Periódicos Capes.



**Figura 1.1.** Fluxograma do processo de triagem no modelo ROSES (Haddaway et al. 2017). Os nove artigos de “outras fontes” incluídos na última fase da triagem são referências de artigos de revisão encontrados na busca inicial. Destes, apenas sete foram selecionados.

### Análise de dados

As características avaliadas estão descritas a seguir:

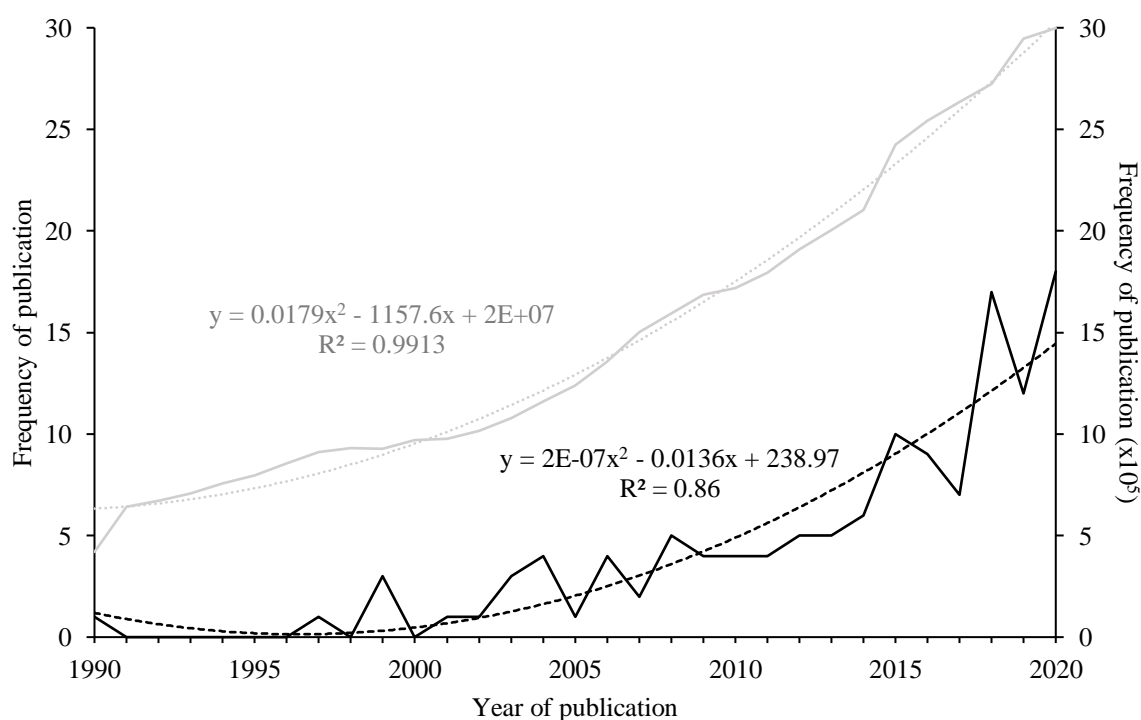
- a. Cenário das publicações: crescimento e rede de colaborações internacionais.
- b. Tipo de estudo: descritivo; comparativo espacial; comparativo temporal; comparativo multiescalar; comparativo de cenário; ou comparativo metodológico.

- c. Distribuição espacial: traduzida em um mapa de células de grade de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ .
- d. Escala espacial: local, se o sítio investigado ocupou até três células de grade de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ; regional, se o sítio investigado ocupou a partir de quatro células de grade de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ; ou de bioma, se o sítio investigado foi o Cerrado como um todo.
- e. Escala temporal: dia, se o intervalo de dados da variável no sítio de análise  $<$  uma semana; semana, se o intervalo de dados da variável no sítio de análise  $\geq$  uma semana e  $<$  um mês; mês, se o intervalo de dados da variável no sítio de análise  $\geq$  um mês e  $<$  um ano; ano, se o intervalo de dados da variável no sítio de análise  $\geq$  um ano e  $<$  uma década; década, se o intervalo de dados da variável no sítio de análise  $\geq$  uma década.
- f. Objeto de estudo hidrológico: precipitação, interceptação, evapotranspiração, escoamento superficial, infiltração, água no solo, água subterrânea, percolação, ascensão capilar, fluxo basal, fluxo lateral, vazão ou balanço hídrico.
- g. Objeto de estudo ecológico – solos: Latossolos, Neossolos, Plintossolos, Cambissolos, Argissolos, Gleissolos, Nitossolos, Chernossolos ou Organossolos.
- h. Objeto de estudo ecológico – fitofisionomias: Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Rupestre, Vereda, Murundus, Cerrado *sensu stricto* (Cerrado ss), Cerradão, Mata Seca ou Mata Ripária.

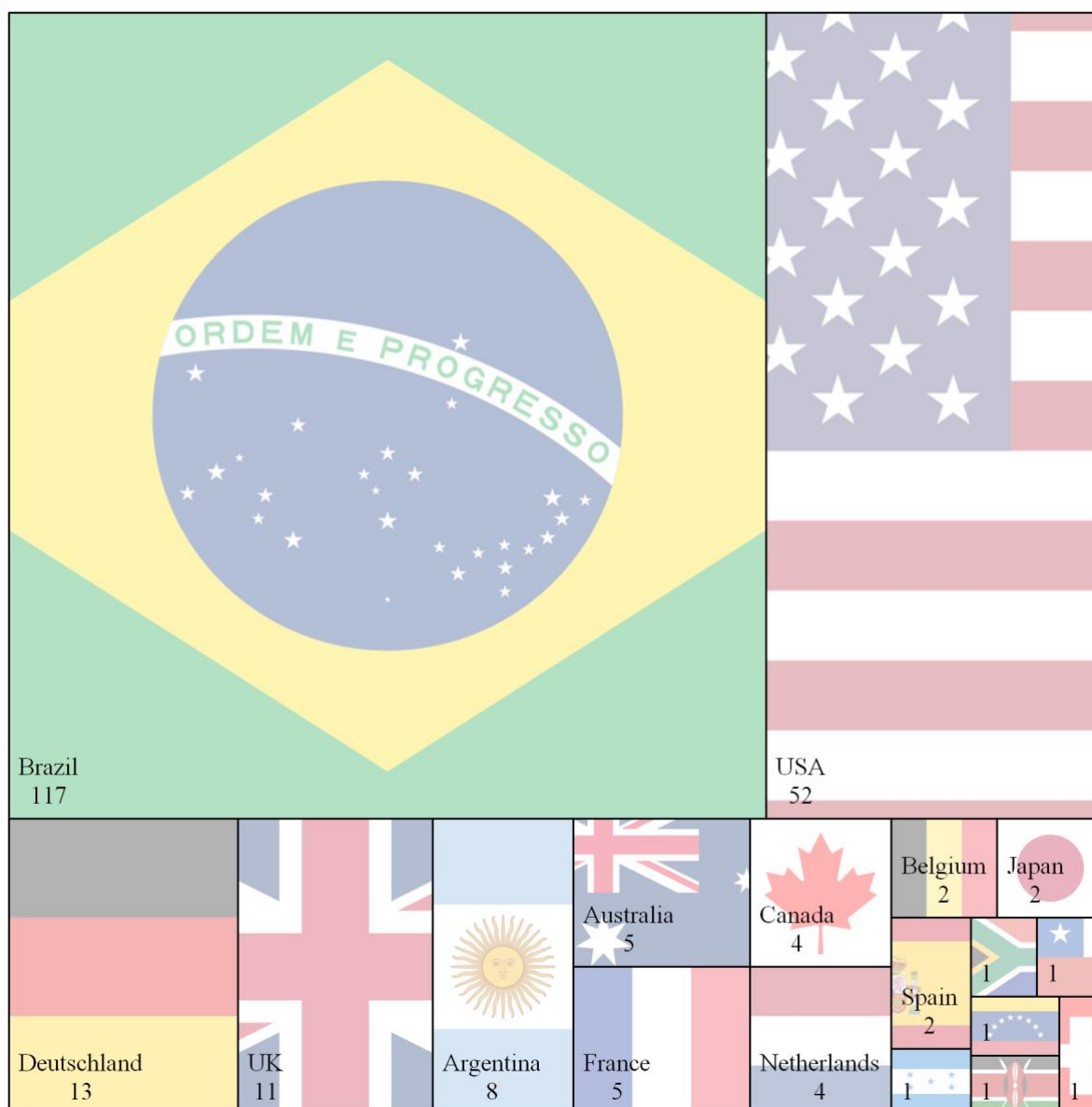
Por fim, dado que este é um mapeamento da literatura, não foi realizada análise crítica dos estudos. Portanto, para futuras revisões de agrupamentos de estudos apontados por este trabalho, é altamente recomendado que se faça uma análise crítica das metodologias aplicadas (Pullin et al. 2018). Isso é necessário para evitar dados com vieses ou erros sistemáticos que podem se amplificar no processo de meta-análise, resultando em revisões inconclusivas ou insatisfatórias (O’Leary et al. 2016; Rytwinski et al. 2021).

## RESULTADOS

Consoante com a tendência global (Guswa et al. 2020), o número de estudos cresceu marcadamente desde os primeiros registros identificados em 1990 (**Figura 1.2**), especificamente, 17,5% ao ano. A rede de contribuições nas publicações contou com 18 países, além do Brasil (**Figura 1.3**), o que representa cerca de 10% da rede de colaborações científicas internacionais do país (Ribeiro et al. 2018). Mesmo assim, os Estados Unidos é o maior parceiro do Brasil nessa área, com registro em praticamente metade dos trabalhos identificados, enquanto metade dos países contam com apenas uma ou duas participações. Ou seja, a rede de colaborações é muito concentrada. Destaca-se também a pouca colaboração de países da América do Sul, com a participação da Argentina em oito estudos, do Chile em um e da Venezuela também em um.



**Figura 1.2.** Frequência de publicações sobre ecoidrologia terrestre no Cerrado ao longo dos anos (esquerda, cor preta) e a frequência de publicações total segundo a base de dados Web of Science (direita, cor cinza). As linhas pontilhadas representam as tendências, obtidas a partir de equações polinomiais do segundo grau.



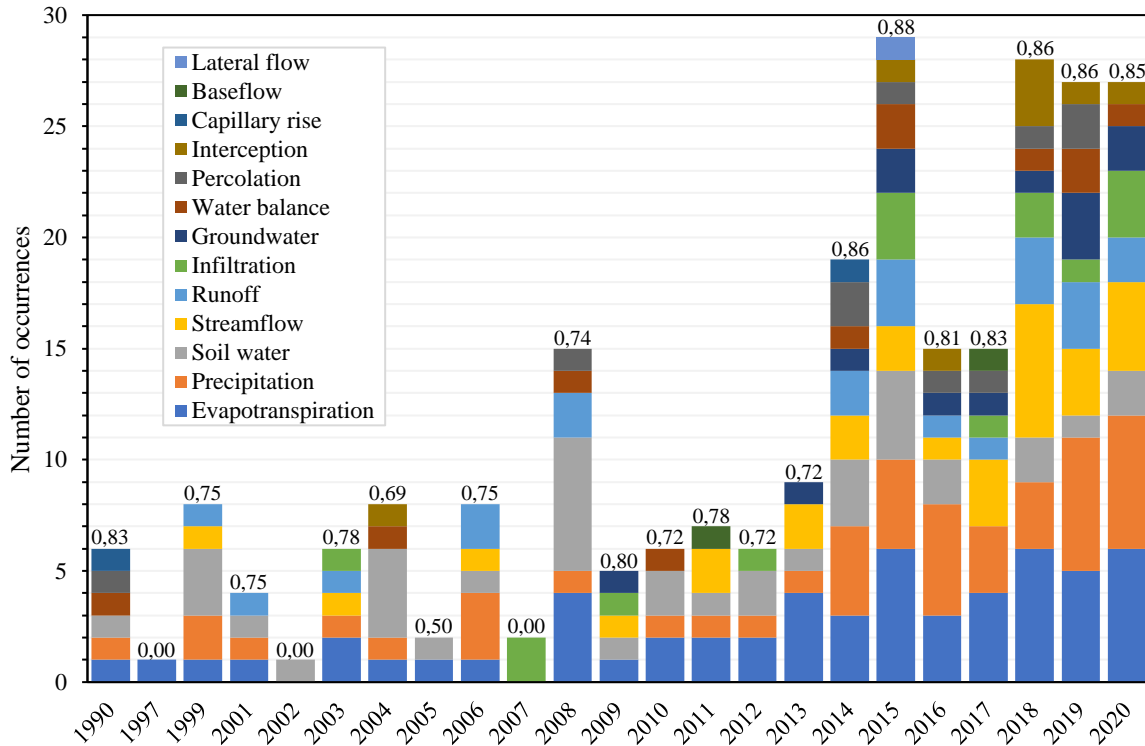
**Figura 1.3.** Contribuições dos países nas 127 publicações sobre ecoidrologia terrestre no Cerrado identificadas nas bases de dados SciELO, Web of Science e Scopus, entre 1990 e 2020. Os países que contribuiram apenas uma vez foram: África do Sul, Chile, Honduras, Quênia, Suíça e Venezuela. Obs.: As publicações que não tiveram participação do Brasil foram dos seguintes países: Austrália (um), Alemanha (dois), EUA (cinco) e EUA com Argentina (dois).

Observa-se na **Figura 1.4** que a quantidade de processos hidrológicos investigados cresceu desde o início das publicações – em 1990, evapotranspiração, precipitação, água no solo, percolação e ascensão capilar foram abordados em apenas um trabalho sobre balanço hídrico, e, até 2020, foram investigados, além destes componentes, vazão, escoamento superficial, infiltração, água subterrânea, interceptação, fluxo basal e fluxo lateral. Entendendo

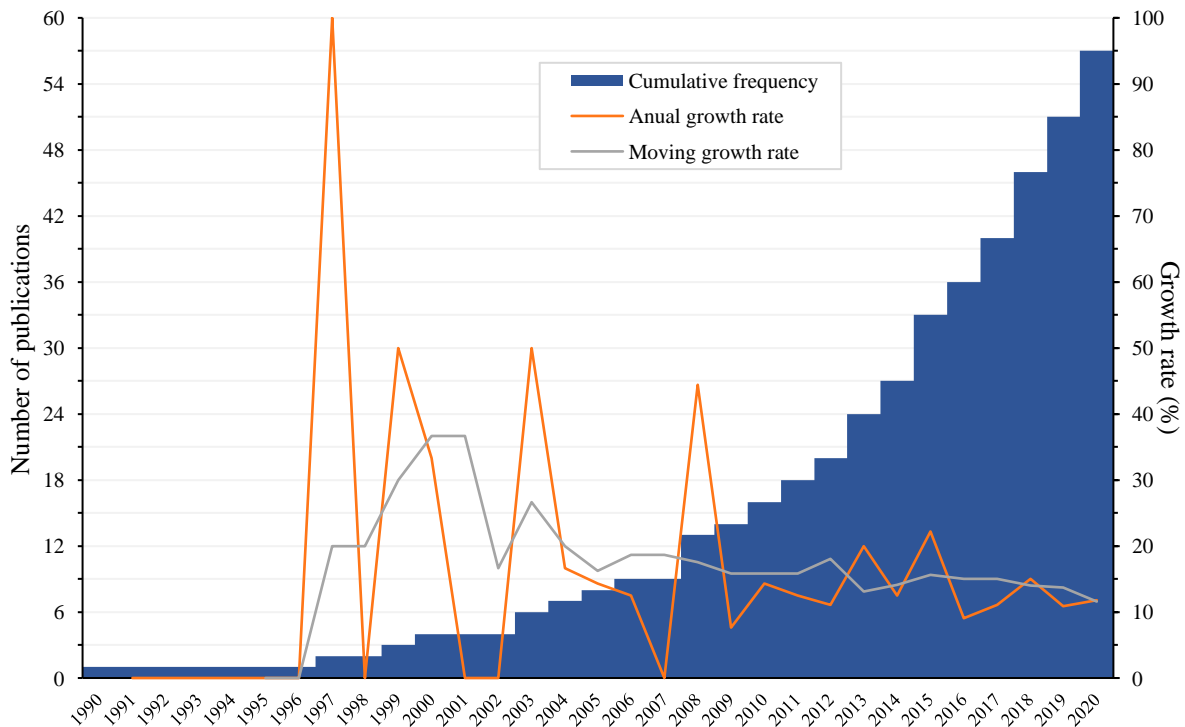
a persistência como a manutenção de uma tendência ao longo do tempo e consistência a manutenção a taxas relativamente constantes, todos os componentes vêm contribuindo de forma persistente para o crescimento da ecohidrologia, no entanto, apenas a evapotranspiração contribuiu com consistência – cresceu em torno de 14,7% ao ano na última década.

As taxas de crescimento anual e anual móvel dos estudos sobre evapotranspiração, assim como a de outros componentes, apresentou um período inicial de alta pronunciada seguida de um período de desaceleração (**Figura 1.5**). Isso é causado pelo baixo número de estudos nos anos iniciais, que resultam em taxas de crescimento altas mesmo que o aumento absoluto no número de estudos tenha sido baixo. Esse efeito diminui à medida que o número de estudos publicados aumenta, no entanto, apenas a literatura sobre evapotranspiração apresentou um período de relativa estabilização das taxas de crescimento nos anos finais. Já ao considerar a contribuição relativa de cada processo na literatura publicada anualmente, percebe-se, na última década, uma predominância de estudos que consideram não apenas evapotranspiração, mas também da precipitação, água no solo e vazão (**Figura 1.6**). Nota-se, porém, que avaliações de água no solo apresentaram uma tendência de diminuição ao longo de todo o período.

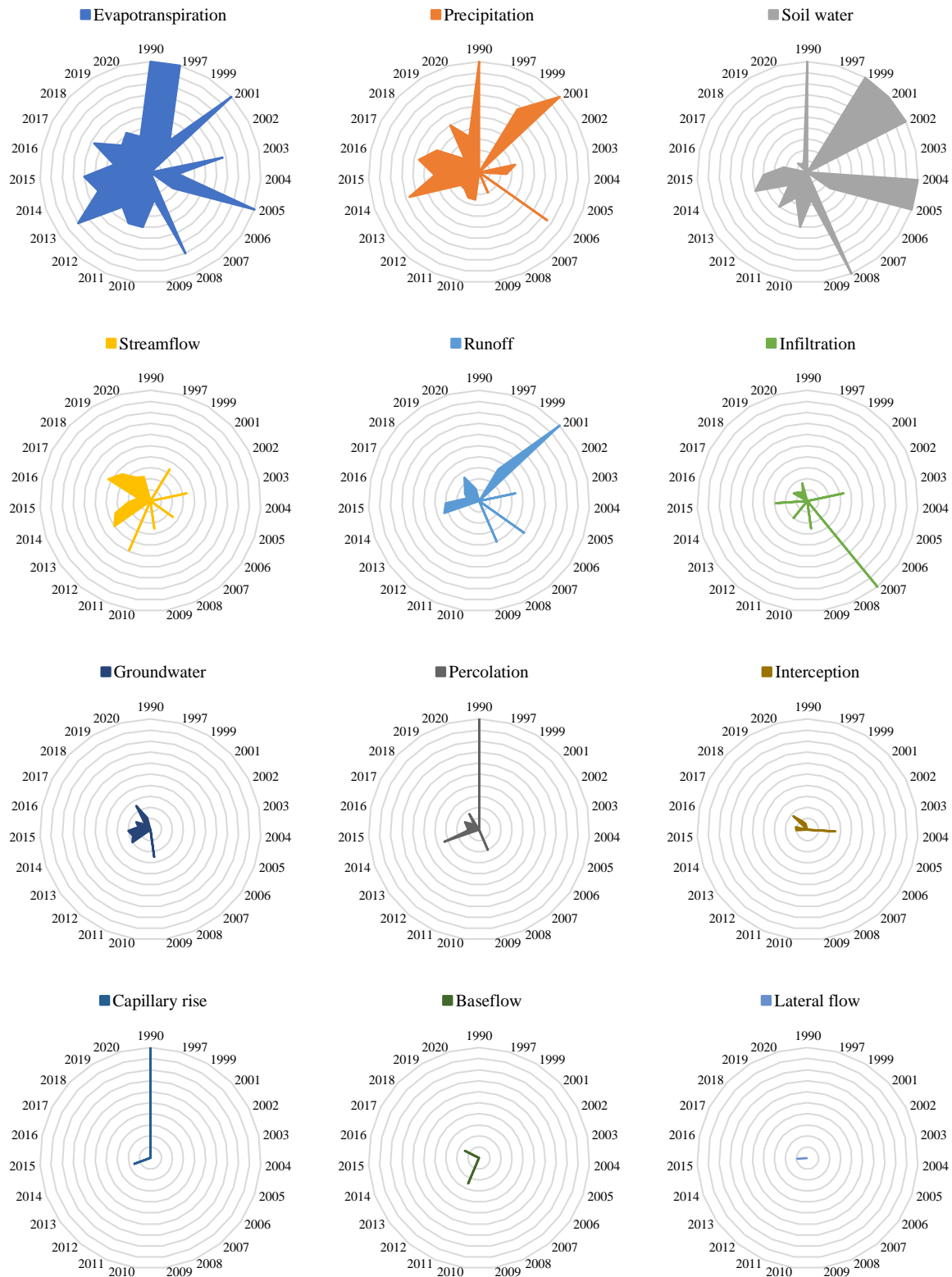
A classificação de acordo com o tipo de estudo indicou que estudos comparativos espaciais se sobressaíram em contraste com estudos descritivos, comparativos de escala, método, cenário e tempo (**Figura 1.7**) – um a cada dois trabalhos publicados, aproximadamente. Estudos desse tipo são também os únicos que foram publicados todos os anos desde 2003. Por outro lado, há apenas duas ocorrências de estudo multiescalar em todo o período analisado. Além disso, a **Figura 1.8** também indica uma clara contribuição dos estudos em escala local no aumento das publicações, que atingiu até 12 estudos publicados em dois anos intercalados, enquanto estudos regionais e em escala do bioma atingiram, no máximo, quatro e dois, respectivamente.



**Figura 1.4.** Ocorrência de cada componente hidrológico no total de dados publicados sobre ec hidrologia terrestre no Cerrado a cada ano. Os valores acima de cada barra representam o índice de diversidade de Simpson (1-D). *Obs.: A soma dos componentes em todo o período é maior do que o total de publicações porque diversos estudos avaliaram mais de um componente.*

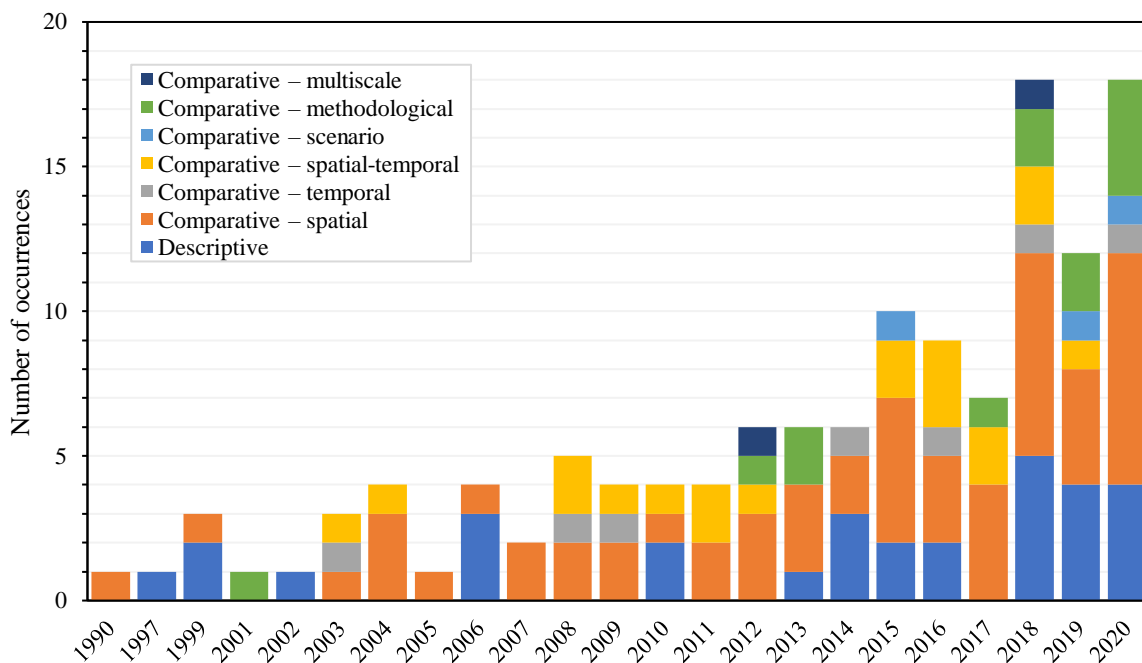


**Figura 1.5.** Padrão de crescimento das publicações sobre evapotranspiração no Cerrado ao longo dos anos. A taxa de crescimento móvel é referente à média de cinco anos.

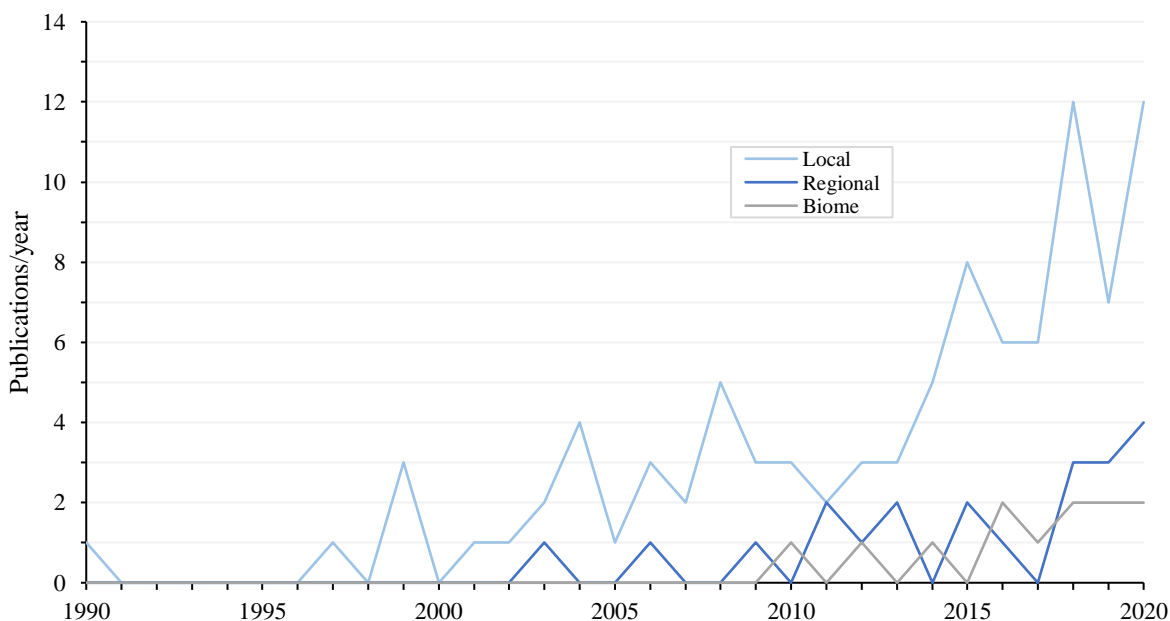


**Figura 1.6.** Ocorrência de estudos sobre cada componente hidrológico relativa ao total de publicações sobre ec hidrologia terrestre no Cerrado em cada ano. As linhas concêntricas representam intervalos de 10%, desde 0% até 100%.





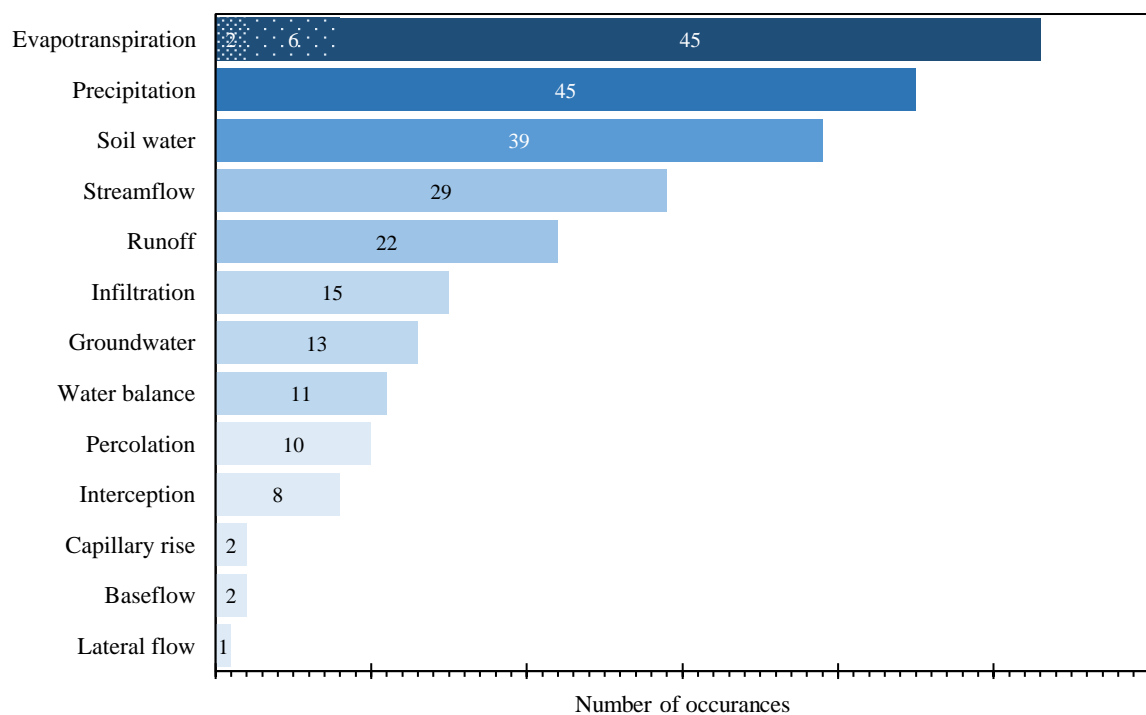
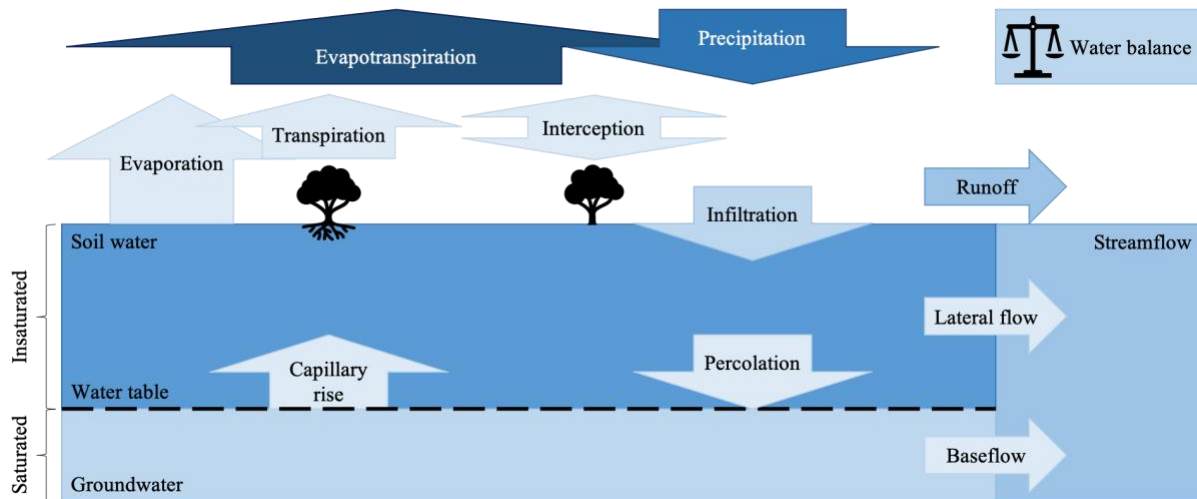
**Figura 1.7.** Ocorrência de cada tipo de estudo (comparativo – escala, método, cenário, espacial e/ou temporal – ou descritivo) no total de publicações sobre ec hidrologia terrestre no Cerrado a cada ano.



**Figura 1.8.** Frequência de publicações sobre ec hidrologia terrestre no Cerrado em diferentes escalas espaciais entre 1990 e 2020.

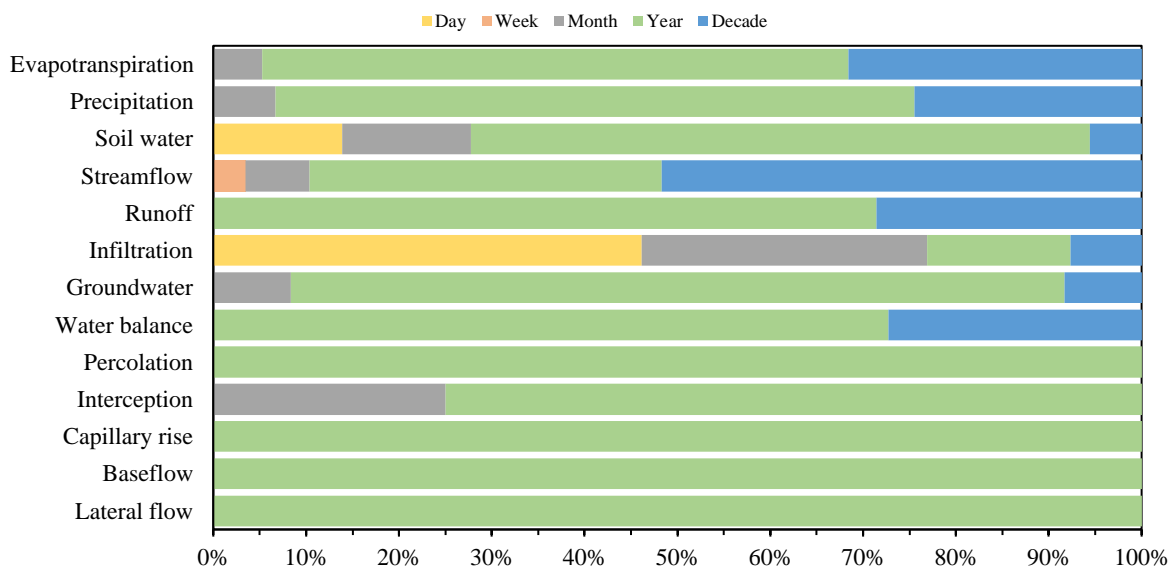
Todos os componentes do ciclo hidrológico foram identificados em ao menos um estudo, porém a distribuição de estudos sobre os componentes foi altamente desigual, com alguns componentes investigados apenas em um estudo e outros até 50 estudos (**Figura 1.9**).

Nota-se que os componentes inerentes ao sistema subterrâneo ocupam a base da pirâmide de frequência de estudos (exceto “água no solo”), indicando menos cobertura na literatura, já os componentes superficiais ou atmosféricos tenderam ao topo da pirâmide. Além disso, evapotranspiração raramente foi discriminada em evaporação e transpiração.



**Figura 1.9.** Mapa de calor (a) e frequência (b) das ocorrências de cada elemento do ciclo hidrológico nas publicações sobre ecohidrologia no Cerrado, entre 1990 e 2020. A barra de evapotranspiração indica o número de estudos em que se discriminou a transpiração (pontos concentrados), a evaporação (pontos dispersos) e em que não se discriminou (liso). **Legenda das cores:** ● 1-10; ● 11-20; ● 21-30; ● 31-40; ● 40-50; ● 50-60.

Em relação à escala temporal, estudos em escala anual se sobressaíram na maioria dos componentes, com exceção de estudos envolvendo vazão e infiltração (**Figura 1.10**). Além disso, a escala decadal foi mais frequente em estudos de processos hidrológicos superficiais e atmosféricos. Em contraste, essa escala temporal foi menos frequente em estudos sobre componentes subterrâneos, “água no solo” e água subterrânea tiveram apenas dois e um estudo, respectivamente. Outro destaque é o componente infiltração, cuja maioria dos estudos abordou escala temporal menor do que um ano.



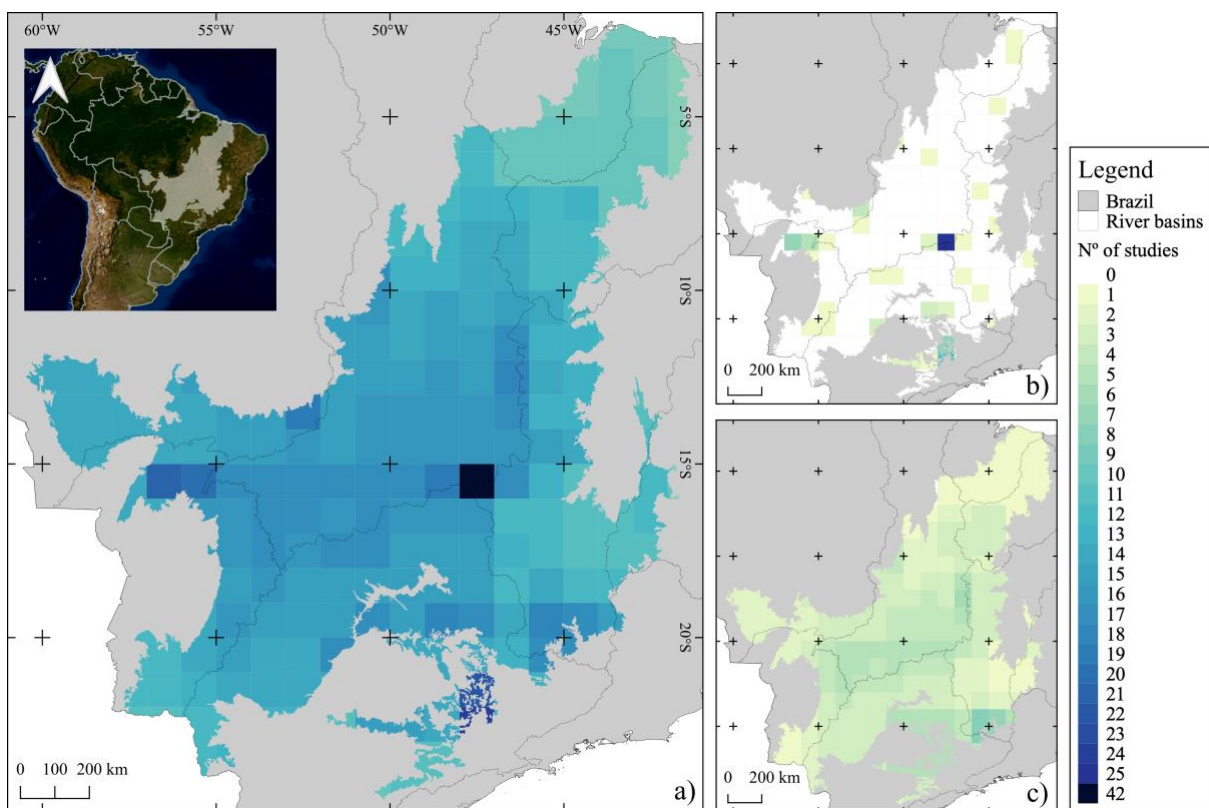
**Figura 1.10.** Proporção de cada escala temporal sob a qual os processos hidrológicos foram investigados nas publicações sobre ec hidrologia terrestre no Cerrado, entre 1990 e 2020.

Quanto à escala espacial, nota-se uma certa congruência com a escala temporal, ou seja, componentes que foram estudados com maior frequência em escalas temporais mais grosseiras também foram estudados em escala espaciais grosseiras (**Figura 1.12**). Estudos em escala regional e de bioma foram responsáveis pela extensa cobertura do Cerrado incluída em trabalhos publicados. De fato, todas as células da grade (1°x1°) do mapa ilustrado na **Figura 1.11a** estão preenchidas, indicando que há ao menos um estudo sobre um componente hidrológico. A distribuição desses estudos, porém, apresenta um viés.

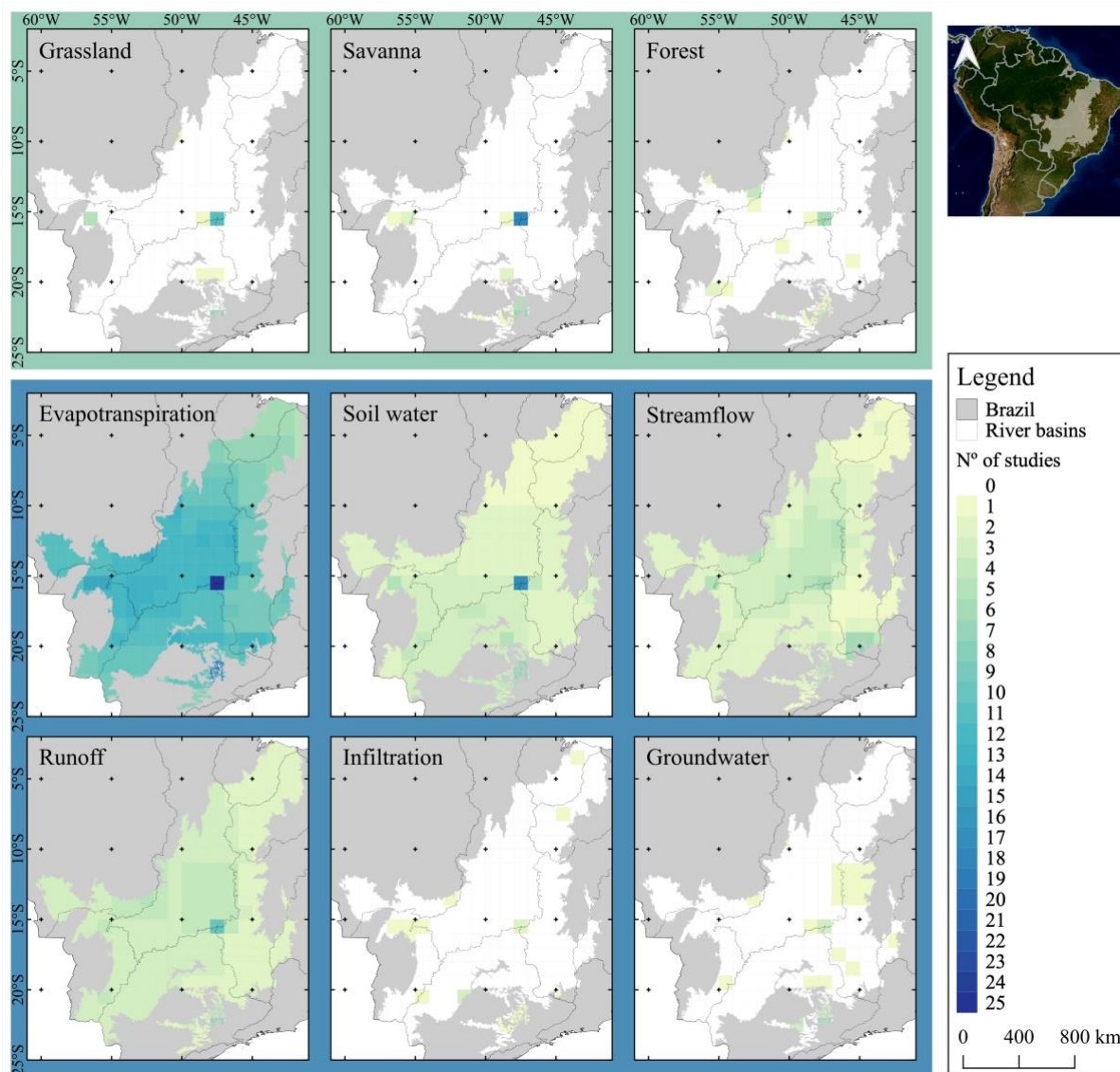
A separação entre o mapa de estudos locais (**Figura 1.11b**) e estudos regionais – aqueles cuja extensão ocupou pelo menos quatro células de grade – (**Figura 1.11b**) evidencia uma concentração maior de estudos nas áreas de Cerrado dos estados de Mato Grosso, Goiás, São Paulo e do Distrito Federal. Esse padrão fica ainda mais claro no mapa de estudos locais, onde as células de grade com maiores frequências estão próximas de importantes centros de pesquisa – como a Universidade de Brasília (UnB) – 15°46'00"S 47°51'56"W, Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) – 15°36'51"S 56°03'51"W, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual Paulista (Unesp) – as últimas três com diversos campi pelo estado de São Paulo. Além das universidades, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) também contribui para a pesquisa nas regiões em questão, com destaque para a Embrapa-Cerrados no DF e a Embrapa Meio Ambiente em São Paulo. Já as regiões com menores concentrações de estudo estão localizadas na região nordeste do bioma Cerrado, ao norte do estado de Minas Gerais e na divisa com o Paraguai, principalmente.

A **Figura 1.12**, por sua vez, indica a frequência de estudos por fisionomia e por componente hidrológico. A escala de estudo da ecohidrologia das fitofisionomias é essencialmente local, por isso, seu mapa de distribuição (**Figura 1.12**) apresentou um padrão semelhante ao mapa de distribuição dos estudos locais (**Figura 1.11b**), com uma concentração nas células de grade próximas aos centros de pesquisa, principalmente nos estudos que avaliaram fisionomias campestres e savânicas. Os estudos de componentes hidrológicos, por sua vez, devido à possibilidade de investigação não apenas em escala local, mas também regional e de bioma, variaram quanto à distribuição e cobertura, dependendo do componente. Os estudos sobre os componentes evapotranspiração, água no solo, vazão e escoamento superficial predominaram em escala regional (**Figura 1.11c**), porém, com diferentes distribuições espaciais, por exemplo: água no solo teve um gradiente de concentração crescente

norte-sul, enquanto vazão teve um gradiente crescente periferia-centro. A alta frequência de estudos em polos de pesquisa, porém, é uma constante. Já os estudos sobre infiltração de água no solo e água subterrânea, predominaram em escala local (**Figura 1.11b**), contando com uma baixa cobertura no bioma, mas um viés espacial menos claro, ou seja, apesar de estarem representados em poucas células de grade, elas não estão concentradas em uma região específica.



**Figura 1.11.** Grade de células representativa do número de estudos total (a), estudos em escala local (b) e estudos em escala regional (c) referentes à ecohidrologia do bioma Cerrado, entre os anos 1990 e 2020. Cada linha horizontal e vertical marca um grau a partir da linha do Equador e de Greenwich, respectivamente.



**Figura 1.12.** Grade de células representativa do número de estudos sobre ecohidrologia no bioma Cerrado, entre 1990 e 2020, discriminados por fisionomia vegetal (caixa verde) e componente hidrológico (caixa azul). Cada linha horizontal e vertical marca um grau a partir da linha do Equador e de Greenwich, respectivamente. *Obs.: Apenas os componentes mais estudados estão representados.*

Analisando mais detalhadamente os estudos que explicitaram a fisionomia e a classe de solo ( $n = 40$ ), existe uma forte concentração de estudos em fisionomia cerrado sentido restrito (cerrado ss) e, mais especificamente, em Latossolo e Neossolo – o que se repetiu nas outras fisionomias (**Tabela 1.3**). Vale ressaltar que tanto cerrado ss quanto Latossolo e Neossolo são dominantes na extensão do Cerrado (IBGE 2018; Ribeiro e Walter 1998). Três das nove fisionomias, Mata Seca, Veredas e Campo Rupestre, não foram abordadas em nenhum estudo

com esse nível de detalhe, ou seja, com caracterização da fisionomia e da classe de solo. Além disso, várias classes de solo também não foram englobadas: Plintossolos, Cambissolos, Nitossolos, Chernossolos e Organossolos – em ordem decrescente de dominância no Cerrado (IBGE 2018). É importante ressaltar, que, mesmo com a maior frequência, os estudos em cerrado ss (fisionomia savânica) são altamente concentrados (**Figura 1.12**) e, portanto, não abarcam a grande extensão do bioma. Além disso, estudos sobre a infiltração, um processo altamente dependente da cobertura vegetal e do tipo de solo, ainda são pouco frequentes (seis ocorrências) entre os estudos que de fato especificam esses elementos. O mesmo ocorre com o escoamento superficial (seis ocorrências), que está diretamente, e inversamente, relacionado à taxa de infiltração.

**Tabela 1.3.** Mapa de calor das publicações sobre ecohidrologia no Cerrado, entre 1990 e 2020, discriminadas por fisionomia e classe de solo.

Phytophysiognomy	Soil class	Hydrologic component					
		ET	Infiltration	Soil water	Groundwater	Runoff	Water balance
Riparian forest	Latossolo	1	0	0	1	0	0
	Neossolo	0	0	0	0	0	0
	Argissolo	0	0	0	0	0	0
	Plintossolo	0	0	0	0	0	0
	Cambissolo	0	0	0	0	0	0
	Gleissolo	0	0	0	0	0	0
Mata seca	Latossolo	0	0	0	0	0	0
	Argissolo	0	0	0	0	0	0
	Cambissolo	0	0	0	0	0	0
	Nitossolo	0	0	0	0	0	0
	Chernossolo	0	0	0	0	0	0
Cerradão	Latossolo	1	1	7	0	0	0
	Cambissolo	0	0	0	0	0	0
	Neossolo	0	1	1	0	0	0
	Gleissolo	0	0	1	0	0	0
	Argissolo	0	0	2	0	2	0
Cerrado ss	Latossolo	8	2	11	1	1	1
	Neossolo	4	2	3	2	3	1
	Plintossolo	0	0	0	0	0	0
	Cambissolo	0	0	0	0	0	0
	Gleissolo	0	0	0	0	0	0
Murundus	Gleissolo	0	0	0	2	0	0
Vereda	Gleissolo	0	0	0	0	0	0

Phytophysiognomy	Soil class	Hydrologic component					
		ET	Infiltration	Soil water	Groundwater	Runoff	Water balance
Campo sujo	Latossolo	4	0	5	0	0	0
	Neossolo	0	0	1	1	0	0
	Plintossolo	0	0	0	0	0	0
	Cambissolo	0	0	0	0	0	0
Campo rupestre	Neossolo	0	0	0	0	0	0
Campo limpo	Neossolo	0	0	0	1	0	0
	Plintossolo	0	0	0	0	0	0
	Cambissolo	0	0	0	0	0	0
	Gleissolo	0	0	0	1	0	0
	Organossolo	0	0	0	0	0	0

**Legenda:** Cores: ● 1-2; ● 3-4; ● 5-6; ● 7-8; ● 9-10; ● >10. ET = evapotranspiração; ss = sensu stricto.

## DISCUSSÃO

Estudos com a temática da ecohidrologia tem aumentado (**Figura 1.2**), com um número cada vez maior de trabalhos que abordam a hidrologia e a ecologia do Cerrado sob a mesma óptica. O aumento no número de publicações é reflexo, entre outros motivos, da importância crescente de se estudar os recursos hídricos diante de crises hídricas, refugiados do clima, metas de conservação da água e objetivos do milênio (UNESCO 2019). Além disso, a ecohidrologia, sob influência do IHP-UNESCO (Zalewski et al. 1997), teve um grande incentivo de desenvolvimento nas últimas décadas (Bridgewater 2021), o que pode ter influenciado direta ou indiretamente as publicações sobre o tema no bioma. As mudanças ambientais globais devem impor ainda maior urgência e incentivo às publicações.

As colaborações internacionais marcaram grande parte da literatura referente a ecohidrologia terrestre no Cerrado durante o período analisado, (**Figura 1.3**), sendo que dez artigos foram produzidos exclusivamente por instituições internacionais. Na rede de colaborações com instituições do Brasil destaca-se os EUA, que tiveram parte em quase metade das publicações. Isso pode ser devido ao longo histórico e pioneirismo desse país em estudos relacionados à conservação dos solos e recursos hídricos (Islam e Reeder 2014). Por outro lado, a parceria do Brasil com outros países sul-americanos foi pouco representativa. Considerando que alguns desses países compartilham com o Brasil bacias hidrográficas e têm em comum



ecossistemas savânicos (Olson et al. 2001), a colaboração entre eles pode contribuir para a identificação de padrões ecohidrológicos continentais, para a gestão compartilhada dos recursos hídricos e para o fortalecimento da ecohidrologia nos trópicos (Wright et al. 2018). Ao mesmo tempo em que é necessário nutrir as colaborações internacionais, principalmente em uma temática ainda em desenvolvimento como a ecohidrologia, é também de suma importância garantir maior autonomia para as instituições e pesquisadores nacionais, principalmente em estudos locais ou regionais, que podem implicar diretamente na gestão dos recursos naturais.

Quanto às características dos estudos mapeados, a constante em praticamente todos os resultados apresentados foi a distribuição espacial concentrada, a limitação em termos de escala temporal, além de um viés de seleção da área ou do objeto de estudo. Considerando que a ecohidrologia é uma matéria em crescimento, principalmente no contexto dos trópicos (Wright et al. 2018), em particular no Cerrado, esse é um resultado esperado. Considerando cada aspecto que foi avaliado nos estudos identificados, o viés observado será discutido nos tópicos a seguir:

#### *Tipo de estudo*

Os estudos comparativos (100) superaram os estudos descritivos (30) (**Figura 1.7**). Entre os estudos comparativos, predominaram os de comparação espacial – foram 56 espaciais contra sete temporais, 19 espaço-temporais, três de cenários, 13 metodológicos e dois multiescalares. Destaca-se assim, a necessidade de ampliar estudos comparativos das dinâmicas temporais pois elas influenciam os padrões observados na dimensão espacial. Por exemplo, Costa, Botta e Cardille (2003), ao investigarem o papel de mudanças no uso da terra na vazão da bacia do Alto Tocantins, observaram que nos anos úmidos a vazão aumentou em comparação com o cenário preservado, já nos anos secos a vazão diminuiu. Assim, a investigação de apenas um ano induziria uma conclusão, no mínimo, limitada. Adicionalmente,

tanto padrões no espaço quanto no tempo podem mudar de acordo com a escala de observação, por exemplo, o desmatamento de florestas tropicais pode aumentar a precipitação localmente na área desmatada, no entanto, regionalmente espera-se o oposto (Lawrence e Vandekar 2015). A imposição das mudanças no clima e no uso da terra sob os processos ecológicos despertam urgência para entender como esses processos se manifestarão no futuro e, principalmente, como isso afetará a segurança hídrica, energética e alimentar mundial, por isso, estudos de cenários são cada vez mais necessários (Coreau et al. 2009). Além disso, todas as abordagens citadas se beneficiam de estudos puramente metodológicos, afinal, o desenvolvimento de novas metodologias e o aprimoramento das que já existem é um processo contínuo (Roser e Ritchie 2013). Assim, estudos comparativos de metodologias podem indicar o que há de mais atual para o desenvolvimento de pesquisa, diferentes aplicações, vantagens e desvantagens. Compreende-se, portanto, a necessidade de estimular a execução de diferentes tipos de estudo sobre ecologia terrestre no Cerrado.

### *Espaço*

A proximidade com centros de pesquisa parece ser um fator relevante da pesquisa em ecologia em escala local no Cerrado (**Figura 1.11b**). Esse tipo de viés já foi observado em várias partes do mundo e diferentes áreas da ecologia, como herpetologia (Piccolo et al. 2020), botânica (Ronquillo et al. 2020) e ecologia de macrossistemas<sup>1</sup> (Zipkin et al. 2021). A amostragem preferencial em sítios próximos de centros urbanos e/ou de pesquisa é resultado, principalmente, da logística facilitada, melhor infraestrutura e maior concentração de recursos humanos envolvidos em pesquisa (Ficetola et al. 2014; Piccolo et al. 2020; Reddy e Dávalos 2003; Ronquillo et al. 2020). Processos ecológicos e hidrológicos são uma função da interação de características do clima, do meio físico e da composição biológica dos sistemas (Caldeira et

---

<sup>1</sup> Ecologia de macrossistemas é o estudo de fenômenos ecológicos em largas escalas, incluindo interações entre escalas (Zipkin et al. 2021).

al. 2015; Fischer et al. 2019; Porporato e Rodriguez-Iturbe 2002), por isso, mesmo áreas semelhantes em fitofisionomia e classe de solo podem apresentar diferenças na dinâmica hídrica do sistema solo-planta-atmosfera em função de diferenças no clima, por exemplo (Oliveira et al. 2015; Porporato e Rodriguez-Iturbe 2002). Isso é ainda mais relevante em um bioma com grande heterogeneidade de paisagens, clima e topografia como o Cerrado (Sano et al. 2019). A premissa de que processos podem ser replicados entre áreas teoricamente semelhantes poderia facilitar o estudo de sítios onde a coleta de dados é comprometida, a exemplo de locais remotos ou sem dados históricos – uma abordagem que pode ser entendida como uma “*space-for-space substitution*” (Salerno et al. 2014). No entanto, essa prática somente pode ser viabilizada após a caracterização dos processos de interesse sob diferentes condições, nesse caso, o regime hídrico em diferentes ecorregiões do Cerrado. Nesse sentido, Sano et al. (2019), que reformularam o mapa de ecorregiões do bioma, já indicaram alguns padrões na precipitação total e sazonalidade. Uma vez identificadas as semelhanças e diferenças entre cada uma, é possível pesar os riscos e benefícios de opções de distribuição espacial na pesquisa em ecologia.

Em escala regional (**Figura 1.11c**), observou-se uma sobreposição de estudos na porção mais central do bioma, mas poucas áreas foram inexploradas de fato. As lacunas espaciais que mais se destacam na escala regional são a região fronteira do bioma com o Paraguai, a região ao norte do estado de Minas Gerais e a região norte do bioma. Esta última foi incorporada aos limites oficiais do bioma apenas em 2004 (IBGE 2004), apesar de isso marcar o meio do período de publicações identificado neste estudo, a predominância de publicações nos anos finais poderia ter sido suficiente para compensar esse atraso, mas não foi o caso. Portanto, é necessário que, a fim de formular um panorama completo da ecologia terrestre no Cerrado, essas áreas sejam investigadas no futuro, principalmente, porque são regiões de transição entre diferentes biomas – Caatinga ao Norte e Mata Atlântica ao leste – e até mesmo

entre diferentes países, o que pode implicar em processos ecológicos e pressões antrópicas bem características.

### *Escala*

O conceito de escala característica é frequentemente usado em diferentes disciplinas para definir a escala, seja ela temporal ou espacial, na qual um processo apresenta o máximo de variância (Skøien, Blöschl, e Western 2003). Ela é útil para identificar até qual escala diferentes pontos são auto correlacionados e a partir de qual escala se pode observar os determinantes da variância de um objeto de estudo. A identificação de escalas características em hidrologia já foi abordada em alguns estudos e provou-se um desafio (Morin et al. 2001; Skøien et al. 2003). Não só poucos processos parecem apresentar escalas características, como elas podem ser diferentes de acordo com o tamanho da bacia ou a estrutura do meio ambiente físico (Morin et al. 2001). Isso ressalta a importância de investigar cada componente do ciclo hidrológico em diferentes escalas, ao menos, para identificar escalas características sítio específicas. No mais, a investigação de cada escala atende a um objetivo diferente: enquanto as mais finas são importantes para a gestão local dos recursos hídricos, as mais grosseiras são importantes para compreender como processos de mudança no uso da terra, mudanças climáticas e eventos periódicos (e.g. El-niño) influenciam o ciclo da água e, assim, subsidiar a formulação de políticas públicas nacionais para a conservação desses recursos frente a diferentes contextos ambientais e sociais.

Em relação à escala espacial, cada uma apresenta suas particularidades para a realização de um estudo: na escala local existe, comparativamente com a escala regional, um menor esforço amostral e, portanto, a coleta de dados é mais fácil e mais barata (Zipkin et al. 2021), porém, o uso de sistemas de informação geográfica (SIG) é limitado pela disponibilidade e/ou preço, o que prejudica também a utilização de alguns modelos; já na escala regional, o uso de SIG é facilitado, dado a acessibilidade de dados em escalas mais grosseiras e gratuitos, porém,

a coleta de dados se torna mais dispendiosa, o que, por sua vez, pode prejudicar a calibração e validação de modelos.

Existe uma discrepância entre o crescimento de estudos locais e o crescimento de estudos regionais (e de bioma) no Cerrado (**Figura 1.8**). Isso pode se dar por uma preferência por estudos locais e/ou por uma dificuldade de se realizar estudos em escalas maiores – tais como limitações logísticas, confiança em uma abordagem experimental, ou restrições financeiras (Caldow e Racey 2000). Considerando que dados de sensoriamento remoto e modelos são importantes ferramentas em escalas mais grosseiras, algumas possíveis limitações para o seu uso disseminado são: necessidade de hardware robusto para lidar com a grande quantidade de dados e processamento, capacitação, preço de imagens e/ou softwares e, paradoxalmente, a falta de dados locais na região específica de estudo (para validação).

Em relação à escala temporal, cada componente do ciclo é mais facilmente estudado em uma determinada janela de tempo, por exemplo, conhecer a média mensal da precipitação é mais fácil do que saber as variações diárias dentro do mês, dadas as limitações metodológicas para medir a alta variabilidade do processo de precipitação (Zhang e Srinivasan 2009). No geral, a escala anual foi a mais comum entre os estudos, com exceção de estudos sobre vazão e, principalmente, infiltração (**Figura 1.10**). Uma particularidade da infiltração foi que, na maioria das vezes, ela foi avaliada com uma única medida em campo e, frequentemente, como um controle de áreas antropizadas, que eram o verdadeiro foco do estudo (**Apêndice 1**). A infiltração é um processo muito influente não apenas sobre a partição da água da chuva entre superficial e sub superficial, mas também sobre o fluxo de sedimentos para os cursos d'água (Chaves e Piau 2008), por isso, é importante ser investigada em mais escalas temporais. Quanto aos demais componentes, é necessário diversificar as escalas para além da escala anual. Um fator relevante da dimensão temporal é a variabilidade interanual (von Randow et al. 2013), isso tem duas implicações: ao descrever e comparar dados, a variabilidade interanual deve ser

considerada; e deve-se buscar entender quais são os fatores determinantes da variabilidade interanual em processos hidrológicos, o que, por si só, já é um grande desafio (von Randow et al. 2013). Assim, a investigação tanto de escalas temporais mais curtas quanto mais longas deve contribuir para o entendimento dos mecanismos da variabilidade interanual e suas consequências.

Para equilibrar os estudos em diferentes escalas espaciais e temporais será necessário, portanto, investir em pesquisas de escala espacial mais grosseira – preferencialmente abrangendo regiões onde pesquisas locais demonstraram-se escassas –, seja através da utilização de modelos e dados de satélite, seja pela obtenção de dados primários em campo (Caldow e Racey 2000), principalmente de processos que não contam com séries históricas. Este último pode ser um desafio para uma instituição isoladamente, mas pode ser viabilizado através de colaborações entre centros de pesquisa de diferentes regiões, para que vários esforços amostrais padronizados possam ser unificados em estudos de maior abrangência. Além disso, estudos de longa duração que compreendam todos, ou quase todos, os componentes do ciclo hidrológico também são necessários e viáveis, considerando que as tecnologias atuais permitem a coleta de dados com grande extensão (anos) e curta escala temporal (a cada hora), com um pequeno esforço de manutenção (Biudes et al. 2015). A aplicação de sensoriamento remoto e modelos também pode ser beneficiada pelo investimento em capacitação ou, também, pela colaboração com grupos de pesquisa familiarizados com essas ferramentas. Isso, conjuntamente com uma descentralização dos estudos locais, apresenta um forte potencial de construção de modelos mais realistas e aplicáveis (Guswa et al. 2020). Uma vez que os processos do ciclo hidrológico, principalmente sob a luz da ecologia, são dependentes da escala (Porporato e Rodriguez-Iturbe 2002), essas são etapas cruciais para o desenvolvimento dessa disciplina no Cerrado.

### *Objeto de estudo hidrológico (componente do ciclo)*

Apesar dos avanços tecnológicos recentes que vêm contribuindo com a ecohidrologia, ainda existem desafios para a coleta e análise de dados. Guswa et al. (2020) discutem alguns avanços, como a melhoria dos sistemas de sensoriamento e monitoramento, maior capacidade de estoque e transmissão de dados, maiores e mais complexos conjuntos de dados (“big data”) e iniciativas de acesso público aos dados disponíveis. O uso disseminado dessas tecnologias, indicam os autores, é prejudicado por problemas como a padronização, curadoria e alocação de recursos. Além disso, embora se argumente que muitos desses avanços vieram acompanhados de preços reduzidos, há de se frisar que a real democratização ao acesso depende de financiamento, o que pode ser um empecilho para muitas instituições de menor porte (Thomaz et al. 2020). Mesmo que uma nova tecnologia seja realmente democrática, sua adoção leva tempo e pode ainda não ter se manifestado especificamente nas áreas da hidrologia e ecologia no Cerrado.

Segundo Guswa et al. (2020), mesmo com o cenário favorável, alguns processos chave do ciclo hidrológico ainda se apresentam como um desafio para os pesquisadores, são eles: processos do dossel, especificamente, interceptação e evaporação; processos da zona crítica<sup>2</sup>, com destaque para os processos subterrâneos, como a partição de água pela vegetação em água verde (associada aos solos e vegetação) e água azul (água livre); e efeitos das mudanças na cobertura do solo nos fluxos de água subterrânea e superficial. Os desafios de se estudar os processos de dossel se dão pela dificuldade de amostrar diretamente a água interceptada pela vegetação e de separar sua evaporação de outras fontes na superfície. Os desafios referentes à zona crítica são resultado da dificuldade de acesso ao subsolo, principalmente, às maiores profundidades, inclusive, porque a própria inserção de equipamentos desestrutura o solo e pode

---

<sup>2</sup> “ambiente heterogêneo próximo à superfície em que interações complexas envolvendo rochas, solo, água, ar e organismos vivos regulam o habitat natural e determinam a disponibilidade de recursos que sustentam a vida” (NRC 2001)

alterar o fluxo natural da água no sítio de medição. Já no que concerne aos efeitos de mudanças na cobertura do solo, os desafios estão associados à interação de diferentes processos que podem tanto se anular quanto se amplificar.

Os processos menos estudados no Cerrado, podem ser traduzidos em um ou mais desses pontos, por exemplo: a pouca quantidade de estudos sobre interceptação é um indicador claro da dificuldade de se investigar os processos do dossel; e a percolação, a ascensão capilar e o fluxo lateral compreendem processos mediados pela vegetação na zona crítica. Além disso, entre os componentes mais estudados no Cerrado, estão aqueles que contam com séries históricas prontamente disponíveis, dados de sensoriamento remoto e facilidade de modelagem, como precipitação, evapotranspiração e vazão (ANA 2021; INMET 2021; Running 2021) (**Figura 1.4**). Estes estudos estão mais distribuídos ao longo do bioma (**Figura 1.12**). Os estudos de processos que mais dependem da coleta de dados primários em campo não tiveram um crescimento claro e apresentam uma distribuição de caráter mais local, como naqueles que abordam infiltração e água subterrânea (**Figura 1.12**).

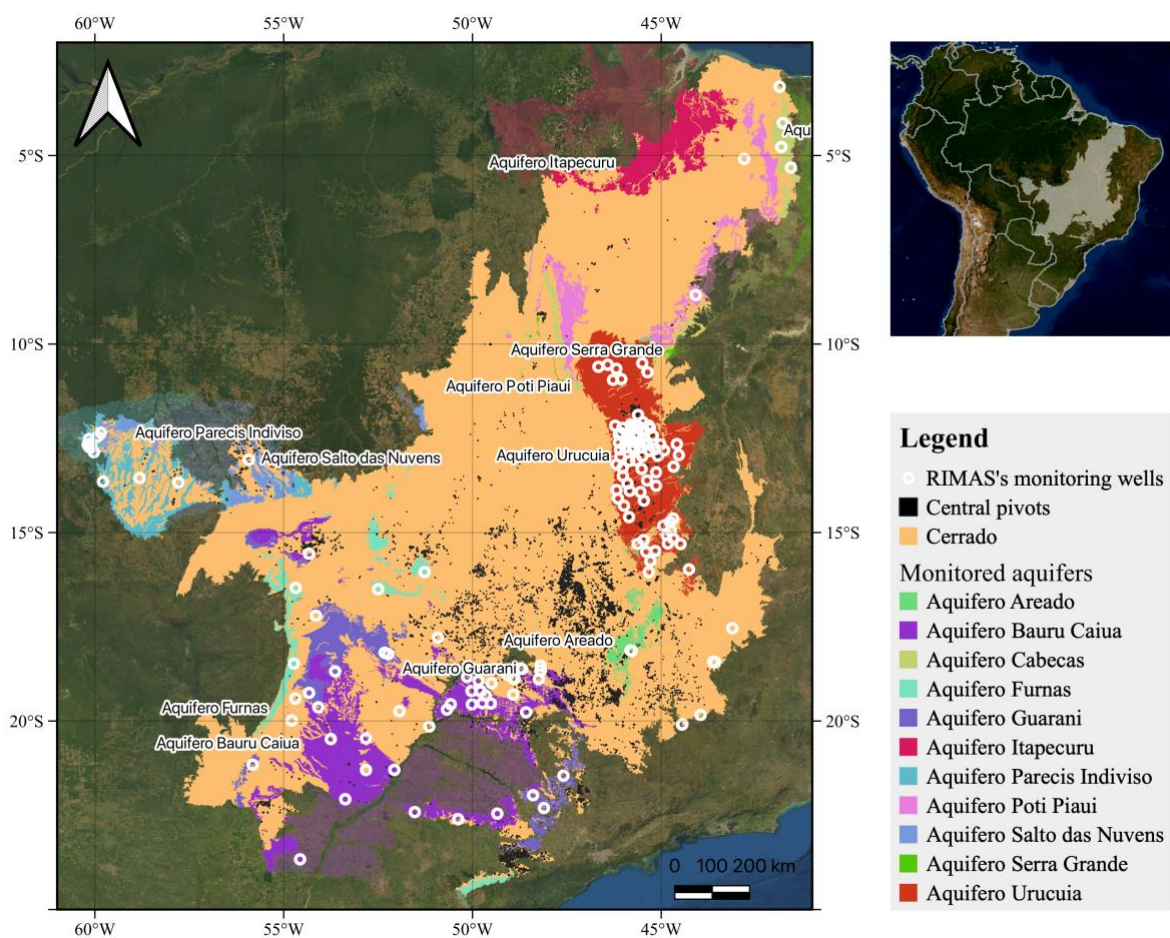
Os processos mais estudados são evapotranspiração e precipitação (**Figura 1.9**), inclusive, o crescimento de estudos sobre o primeiro foi o mais consistente ao longo dos anos, demonstrando uma certa maturidade dessa área de pesquisa – isso pode ser uma consequência do seu papel na regulação climática (Coe et al. 2017; Moura et al. 2018). Apesar de serem processos chave do balanço hídrico, os demais processos que acontecem na zona crítica são indispensáveis para compreender a partição da água entre os diferentes componentes do sistema (Sprenger et al. 2019). Essa partição, por sua vez, é essencial para o planejamento do uso da água, concessão de outorgas, entre outros. Considerando que o Cerrado é um bioma sazonalmente seco, o controle da vazão por contribuição de água subterrânea é um importante processo para a manutenção do fluxo nos períodos de baixa precipitação (Bart e Hope 2014; Dralle, Karst, e Thompson 2016). No entanto, tanto o fluxo de base quanto os processos que o



influenciam – ascensão capilar, percolação e estoque de aquífero – estão entre os componentes menos estudados do ciclo no Cerrado. Isso pode ser devido à dificuldade de se obter dados desses processos (Guswa et al. 2020), no entanto, essas dificuldades devem ser superadas para se alcançar uma boa gestão dos recursos hídricos. Entre algumas opções já aplicadas no Brasil estão: marcadores isotópicos estáveis e radioativos (Santos et al. 2008), sensoriamento remoto (Pires-Luiz e Maillard 2010), tomografia de resistividade elétrica (Furlan et al. 2020; Garcia-Montiel et al. 2008), além de métodos mais indiretos como modelagem e balanço hídrico. A evapotranspiração, apesar de ser o processo mais estudado, raramente foi segregada nos processos que a formam, evaporação, transpiração e interceptação. Savenije (2004) destaca o quanto é importante compreender esses processos isoladamente, apesar das dificuldades em fazê-lo, e apresenta o método De Groen (De Groen 2002) como uma alternativa para se medir a interceptação, mesmo que de forma indireta. Além disso, a transpiração também pode ser inferida a nível de comunidade e ecossistemas a partir do fluxo de seiva (Bucci et al. 2008).

É importante ressaltar que, apesar de poucos estudos descritivos sobre água subterrânea, o Brasil conta com um projeto de mapeamento dessas águas que pode fornecer dados diretos dos níveis da água e subsidiar estudos mais exploratórios em grandes escalas. A Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) conta com 409 poços cadastrados no Brasil, dos quais 161 (39% do total) estão no Cerrado e, dentre esses, 65 estão no MATOPIBA (40% do total do Cerrado) (CPRM 2021). A rede não é, portanto, distribuída de forma homogênea e, inclusive, se concentra em áreas de crescente uso antrópico, como o MATOPIBA, assim, esforços de amostragem devem ser investidos em áreas que complementam essa rede. Adicionalmente, os focos de concentração de poços têm uma baixa sobreposição com os focos de concentração de pivôs centrais (**Figura 1.13**), um uso que representa grande pressão sobre a água no compartimento subterrâneo (Marques et al. 2020). Mesmo considerando-se os estudos já publicados sobre águas subterrâneas (**Figura 1.12**),

observa-se que a sobreposição com atividades de irrigação é baixa, portanto, áreas com alto risco de sobre-exploração de águas subterrâneas são pouco estudadas. Por isso, além de novas ferramentas e metodologias que poderiam enriquecer o conhecimento sobre as águas subterrâneas no Cerrado, será de grande valia a exploração de regiões que não apenas complementam a rede de monitoramento já existente, como também que avaliam o impacto das atividades de irrigação em comparação com regiões sem essa atividade.



**Figura 1.13.** Sobreposição dos aquíferos monitorados pela Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) sob o Cerrado com uso de poços (círculos brancos) e pivôs centrais mapeados pela ANA em 2017 no Cerrado (pontos pretos). Total de poços cadastrados no Brasil: 409. Total de poços cadastrados no Cerrado: 161 (39% do total). Total de poços no MATOPIBA: 65 (40% do total no Cerrado). *Fonte: Serviço Geológico do Brasil (05/2021) e Agência Nacional das Águas.*

### *Objeto de estudo ecológico (solo e vegetação)*

Quanto aos estudos por fitofisionomia e classe de solo, observou-se uma forte concentração em cerrado ss e Latossolo, respectivamente, ambos majoritariamente representados em cobertura no bioma (**Tabela 1.3**). Mesmo considerando isso, uma das principais características do Cerrado e que contribuem para a sua biodiversidade é a riqueza de fisionomias (Silva et al. 2006). Assim, para preservá-las é essencial compreender os processos hidrológicos que acontecem em cada uma delas, principalmente, porque entre algumas das fisionomias mais raras estão áreas úmidas muito relevantes para a conservação da água, como campos úmidos e veredas (Latrubesse et al. 2019). Três fisionomias, inclusive, não contam com nenhum estudo: além das veredas, as matas secas e campos rupestres (**Tabela 1.3**). Apesar de matas secas e campos rupestres apresentarem uma relação menos intrínseca com a água, em comparação com veredas, todas as três têm uma característica em comum: alto endemismo de espécies, seja de plantas, seja de animais (Colli-Silva, Vasconcelos, e Pirani 2019; Haidar 2017; MMA 2007). Assim, compreender os fluxos hidrológicos que mantêm os processos ecológicos dessas áreas pode ser essencial na conservação da biodiversidade e vice-versa (Fischer et al. 2019).

Adicionalmente, considerando cada fisionomia individualmente, existe a concentração de estudos em classes de solos mais abundantes. Cada classe de solo, devido a diferenças na textura, estrutura e quantidade de matéria orgânica, gera diferentes taxas de transporte de água e de sedimentos (de Oliveira et al. 2016), por isso, é fundamental entender como uma mesma fisionomia pode apresentar diferenças no ciclo hidrológico em função do solo onde está estabelecida. Caracterizações detalhadas do regime hídrico em ambientes com diferentes estruturas físicas e biodiversidade possibilitam entender como o ecossistema influencia e é influenciado pelo ciclo da água, o que, por sua vez, é importante para entender e mitigar possíveis alterações decorrentes das mudanças climáticas e de uso da terra.

### *Limitações*

A escolha das palavras-chave e das bases de dados para a realização da revisão podem limitar os resultados observados, apesar de revisões e mapeamentos sistemáticos serem desenhados justamente para evitar esse tipo de deficiência. Uma outra forma pela qual estudos já existentes poderiam não ter sido identificados na pesquisa é a ausência de determinadas palavras-chaves (**Tabela 1.1**) importantes nos elementos de indexação dos potenciais artigos de interesse.

### CONCLUSÕES

Estudos abordando a ec hidrologia terrestre no Cerrado vem aumentando nos últimos anos, incentivados pela importância e urgência de gerir os recursos hídricos, pelo desenvolvimento tecnológico e colaborações internacionais. Apesar da baixa adoção ao termo “ec hidrologia” e das lacunas observadas nessa literatura ainda em amadurecimento, existe um potencial para alavancar o conhecimento não apenas sobre ec hidrologia, como também sobre o nexo água-alimento-energia no Cerrado. Para isso, é sugerida uma atuação nas seguintes frentes prioritárias:

1. Promoção de mais estudos comparativos tanto no espaço quanto no tempo, além de estudos comparativos de escala e de metodologias, à medida que surgirem novas tecnologias e técnicas. Para esse objetivo, será importante a implementação de estudos de longa duração;
2. Expansão da área de atuação, principalmente, para as regiões mais distantes dos centros de pesquisa. Nesse sentido, é importante viabilizar uma infraestrutura mínima em áreas muito remotas e/ou incentivar a padronização de metodologias e o intercâmbio de dados a partir de colaborações entre instituições com diferentes áreas de atuação no bioma;

3. Caracterização dos processos hidrológicos subterrâneos, principalmente onde não houver séries históricas disponíveis, e discriminação dos processos que compõem a evapotranspiração; e
4. Investigação das fisionomias e classes de solos menos frequentes no Cerrado, principalmente, aquelas com forte associação com a água, como as veredas e campos úmidos.

Além de todas essas frentes, seria de extrema importância e utilidade o estabelecimento de uma base de dados comum e aberta para o compartilhamento facilitado de informações não apenas para fins de pesquisa como também de gestão e políticas públicas. Este objetivo vai além do escopo deste trabalho e requer um extenso planejamento e grande rede de colaborações para sua execução, mas espera-se que os resultados apresentados aqui possam estimular esse processo.

## Capítulo 2

### Influência de unidades de conservação na dinâmica hídrica de bacias antropizadas no Cerrado

#### RESUMO

Os ecossistemas do Cerrado são importantes reguladores do ciclo hidrológico regional. O bioma, conhecido como “berço das águas”, abriga nascentes de oito das doze regiões hidrográficas do Brasil, além de recarregar aquíferos profundos e regular a sazonalidade da precipitação por meio da evapotranspiração. Considerando que unidades de conservação são importantes ferramentas para a manutenção de serviços ecossistêmicos, o objetivo deste trabalho foi identificar, por meio do uso do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), o papel dessas áreas no regime hidrológico de bacias antropizadas no Cerrado. As duas áreas de estudo foram a bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal – com predomínio de uso urbano – e uma sub-bacia do Rio Paranã, em Goiás – que inclui áreas de pastagem. Os resultados indicaram que, na bacia do Lago Paranoá, as unidades de conservação contribuem para a segurança hídrica local, principalmente, pela manutenção da infiltração da água no solo e do fluxo basal. Mesmo assim, áreas com vegetação nativa fora das áreas protegidas também se mostraram eficientes na manutenção de funções ecossistêmicas hídricas. Já na sub-bacia do Rio Paranã, as condições de relevo mais plano na área não protegida causaram favorecimento do fluxo basal, enquanto o relevo mais acidentado nas áreas protegidas, do fluxo lateral. Mesmo assim, a área não protegida apresentou também as maiores taxas de escoamento. Os resultados indicaram que a manutenção de áreas com cobertura natural em áreas não protegidas pode complementar as funções ecossistêmicas das áreas protegidas e aumentar a segurança hídrica em ambiente urbano. Também, que a adoção de medidas para a conservação dos recursos hídricos em áreas não protegidas é especialmente imperativa em regiões onde os serviços ecossistêmicos hídricos das áreas protegidas asseguram somente parcialmente a segurança hídrica.

**Palavras-chaves:** modelagem; urbanização; cobertura e uso da terra; ecohidrologia; savana.

## INTRODUÇÃO

### *O ciclo hidrológico do Cerrado*

No Cerrado, o clima predominante é tropical de savana, a precipitação anual é distribuída de forma marcadamente sazonal, concentrando-se nos meses de verão e estando praticamente ausente no período de inverno (Oliveira et al. 2014). Durante a estação chuvosa, a água é mobilizada pela superfície, infiltra no solo e aumenta o volume de armazenamento desse compartimento (Oliveira et al. 2005). A vegetação e a serrapilheira atuam diretamente na baixa taxa de escoamento superficial observada em ecossistemas preservados em contraste com sistemas degradados, e, conseqüentemente, contribuem para altas taxas de infiltração – por exemplo, a remoção de 3,7 kg m<sup>-2</sup> de serrapilheira aumentou até 50% a taxa de escoamento superficial em uma bacia no Japão (Gomyo e Kuraji 2016). No Cerrado, esse processo é ainda mais acentuado em função de solos muito porosos (de Oliveira et al. 2016), de forma que a infiltração pode representar até 79% da precipitação (Oliveira et al. 2015). Os solos argilosos, antigos e profundos, que predominam no Cerrado (Sano et al. 2019), permitem, ainda, o armazenamento de água em grandes volumes no compartimento subterrâneo – Garcia-Montiel et al. (2008), por exemplo, identificaram em um Latossolo, no Distrito Federal, conteúdo volumétrico de água entre 30-32% durante o ano todo, a partir de 8m de profundidade.

Após a estação chuvosa, as raízes profundas características de indivíduos lenhosos do Cerrado absorvem a água armazenada no solo em resposta às demandas fisiológicas, uma vez que a maioria das espécies mantêm folhas durante a estação seca (Oliveira et al. 2005; Sarmiento, Goldstein, e Meinzer 1985). Assim, ao longo da estação seca, a vegetação pode diminuir o conteúdo de água no solo em até 50%, dependendo da profundidade (Garcia-Montiel et al. 2008; Oliveira et al. 2005). Isso desacelera a recarga de aquíferos, ao mesmo tempo em que promove o bombeamento de água para a atmosfera, efeito esse que aumenta quanto maior a densidade vegetal lenhosa (Oliveira et al. 2017). O ciclo hidrológico no

Cerrado, portanto, é caracterizado por uma alta mobilização nos solos durante a estação chuvosa e gradual translocação para a atmosfera durante a seca, Anache et al. (2019), inclusive, afirmam que este parece ser o principal serviço ecossistêmico hídrico da vegetação lenhosa do bioma. Porém, é importante destacar também que parte do volume de água subterrânea inacessível para a vegetação flui como fluxo basal para os corpos de água durante a seca (Nóbrega et al. 2017), por isso, a maioria dos rios no Cerrado são rios perenes, mesmo após meses sem precipitação (Honda e Durigan 2016). A manutenção da vazão ao longo do ano, portanto, também parece ser um relevante serviço ecossistêmico do bioma.

#### *Influência das mudanças ambientais no regime hidrológico*

As mudanças ambientais e o avanço da agropecuária, que já ocupa 44% (870.000 km<sup>2</sup>) da superfície do Cerrado (MapBiomias 2020), têm alterado seu ciclo hidrológico de diferentes formas, dependendo da escala. Em todo o Cerrado, houve aumento da média anual de evapotranspiração entre 2003 e 2010 (Oliveira et al. 2014), o que pode ser explicado, ao menos parcialmente, por aspectos da mudança climática, como o aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>, que aumenta a temperatura do ar e, conseqüentemente, aumenta a demanda evaporativa da vegetação (Lemordant et al. 2018). Os resultados de Jesus et al. (2017) em um cenário de elevada concentração de CO<sub>2</sub> no futuro, para o Cerrado, corroboram a tendência de aumento da evapotranspiração observada por (Oliveira et al. 2014). Em nível local e regional, porém, já foi observada uma diminuição da evapotranspiração após desmatamento, o que provocou aumento da vazão de rios – 25% em 20 anos no Rio Araguaia (Coe et al. 2011) e até 100% em pequenos tributários do Rio Xingu (Dias et al. 2015) –, e pode provocar também diminuição da precipitação – na bacia do Xingu, por exemplo, espera-se uma diminuição entre 5% e 48%, dependendo do mês e da área desmatada (Stickler et al. 2013).

O regime de precipitação no bioma também deve ser alterado com as mudanças climáticas. Apesar de uma diminuição esperada no volume total – 10% (IPCC 2021), os



eventos de precipitação devem se tornar mais intensos e concentrados ao longo do ano (Knapp et al. 2008), ou seja, espera-se um regime com menos episódios de chuva, porém, mais fortes. Isso pode implicar em uma diminuição da infiltração da água no solo e maior escoamento superficial – por *Hortonian overland flow*, ou seja, escoamento superficial gerado quando a chuva excede a capacidade de infiltração e a capacidade de armazenamento das depressões. Isso, por sua vez, compromete a recarga de aquíferos e o fluxo basal (Bacellar, P. Leite, e Murta 2020), além de provocar assoreamento e contaminação dos cursos de água devido ao transporte excessivo de sedimentos e solutos não-naturais (Chaves e Piau 2008; Dellamatrice e Monteiro 2014). Assim, as mudanças esperadas no regime de precipitação não apenas devem diminuir o volume de água que incide no bioma como também devem comprometer a capacidade da superfície terrestre de mantê-la.

O uso de água para irrigação de sistemas agrícolas, que tem aumentado no Cerrado (Bolfe et al. 2020), também impacta o ciclo hidrológico, principalmente, pelo favorecimento de fluxos rápidos, como o fluxo lateral, em detrimento de fluxos lentos, como o fluxo basal (Zeng e Cai 2014). Isso tem impacto direto na qualidade da água, uma vez que ela carrega nutrientes e pesticidas oriundos das lavouras (Dellamatrice e Monteiro 2014). Os solos do Cerrado minimizam o transporte de alguns nutrientes para os cursos de água, como o fósforo, devido a sua alta capacidade de fixação, porém, o mesmo não ocorre com todos os nutrientes e nem com pesticidas (Hunke et al. 2015), que representam uma grande fonte de poluição das águas do Cerrado e acarretam graves consequências para a saúde humana e dos ecossistemas (Hunke et al. 2015; Soares e Porto 2007). A vegetação ripária pode mitigar esses impactos, mas isso depende das condições topográficas e da largura dessa zona de amortecimento (Cordeiro et al. 2020; Nóbrega et al. 2020). Além disso, já foi observado que o avanço da área irrigada no Cerrado baiano, uma região do bioma naturalmente mais seca – Depressão Cárstica do São Francisco (Sano et al. 2019), provocou uma diminuição de 38% na vazão do Rio

Protudão, que abastece não apenas a agricultura, como também diversas comunidades locais (da Silva et al. 2021).

### *UC's como ferramenta de proteção ambiental e provisão de serviços ecossistêmicos*

Apesar da importância hidrológica do Cerrado e do papel de áreas naturais em garantir a provisão e qualidade da água para a população e para a biota dos ecossistemas, apenas 8,31% de sua extensão estão protegidos por unidades de conservação – dos quais apenas um terço são de proteção integral, ou seja, de uso restrito (Françoso et al. 2015). A maioria delas está localizada no norte do bioma, onde, hoje, enfrentam pressão devido ao avanço da nova fronteira agrícola do Brasil, a região conhecida como MATOPIBA – Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Spera et al. 2016). Essa rede de unidades de conservação no Cerrado, que já é deficiente, está envolvida em conflitos de interesses constantemente e, inclusive, já passou por uma série de episódios de queimadas acidentais, normalmente, em razão de um manejo com fogo em pastagens e lavouras adjacentes, e até mesmo criminosas (Batista et al. 2018), como retaliação de alguns grupos da sociedade (Mistry e Bizerril 2011).

Historicamente, seja no Brasil seja no mundo, a delimitação e criação de unidades de conservação não levava em consideração os cursos de água e seu contexto ecológico, sendo, muitas vezes, até mesmo negligenciado em seus planos de manejo (Pittock et al. 2015; Vieira, Pressey, e Loyola 2019). Exemplo marcante, no Brasil, é o caso do então Parque Nacional Indígena do Xingu, cujo perímetro não incluiu as nascentes do rio Xingu (Sanches e Villas-Bôas 2005). Essa realidade, apesar de ainda existir, foi sendo modificada ao longo do tempo com a consideração de múltiplos critérios para a definição de áreas protegidas (Executivo 2000; Fonseca e Venticinque 2018). Duas das Metas de Aichi da Convenção da Diversidade Biológica, elaboradas em 2010, apontam explicitamente a importância da conservação com foco na água: “Até 2020, pelo menos 17% de água terrestre [...], especialmente áreas de particular importância para a biodiversidade e serviços ecossistêmicos, serão conservados

através de manejo efetivo e equitativo, sistemas representativos e bem conectados de áreas protegidas e outras medidas de conservação efetivas, e integrados na paisagem”; e, “Até 2020, ecossistemas que provêm serviços essenciais, incluindo serviços relacionados à água, e contribuem para a saúde, subsistência e bem-estar, serão restaurados e protegidos [...]”.

Mesmo frequentemente não planejadas para a conservação de recursos hídricos especificamente, as áreas protegidas já oferecem contribuições valiosas quando comparadas com áreas não-protegidas. Segundo Harrison et al. (2016), a porcentagem de fluxo hídrico originário de unidades de conservação na América do Sul sob risco de contaminação baixo, médio e alto para o abastecimento humano é, respectivamente, 40, 57 e 3%. Em contraste, fora de unidades de conservação as porcentagens são, 15, 74 e 11%, demonstrando que áreas protegidas têm potencial para oferecer água de melhor qualidade aos usuários (Harrison et al. 2016). No Brasil, a bacia do Rio Guariroba, em Campo Grande (MS), foi definida como área de proteção ambiental em 1995 e recebeu um programa destinado à conservação dos recursos hídricos em 2009. Essa mobilização institucional somada ao manejo sustentável e à implementação de pagamento por serviços ecossistêmicos possibilitou um aumento no fluxo basal da bacia entre 2012 e 2016, mesmo com uma diminuição da precipitação no período (Sone et al. 2019). Isso é um exemplo de que mesmo unidades de uso sustentável, ou seja, aquelas que não são de uso restrito, podem fornecer serviços ecossistêmicos valiosos para as populações locais.

Os serviços ecossistêmicos de provisão e regulação de recursos hídricos são especialmente importantes em países em desenvolvimento. Em países desenvolvidos, as eventuais perdas de qualidade da água devido à urbanização generalizada, o risco de enchentes ou as condições de aridez são contrabalanceadas com alto investimento e governança (Gain, Giupponi, e Wada 2016; Vörösmarty et al. 2010). Além disso, esses países já contam uma grande rede de reservatórios que contribuem para a segurança hídrica das populações humanas

(Chen et al. 2016). Já países em desenvolvimento, ainda que apresentem menor urbanização, exercem uma pressão significativa sobre a qualidade da água em função da falta de saneamento básico (Gain et al. 2016; UNESCO 2019) e contam com menos recursos financeiros, de forma que apresentam menor capacidade de resiliência frente aos impactos causados (Vörösmarty et al. 2010). Isso é exacerbado, ainda, pela governança ineficaz e tensão política (Gain et al. 2016). Além disso, esses países ainda estão em processos de estruturação de sua rede de reservatórios (Chen et al. 2016). Assim, priorizar a conservação de áreas naturais como estratégia de acesso à água em quantidade, qualidade e a baixo custo traz benefícios tanto ecológicos quanto sociais, e apresenta-se como uma oportunidade de pensar soluções eficientes e inovadoras para o desenvolvimento sustentável, como as soluções baseadas na natureza.

Soluções baseadas na natureza são políticas ou estruturas que devem fornecer benefícios simultaneamente para sociedade, natureza e economia e que devem incorporar uma mistura de estruturas verdes e azuis, serviços e funções ecossistêmicas (Albert, Spangenberg, e Schröter 2017). A condição de países menos desenvolvidos e em desenvolvimento, como o Brasil, inclusive, favorecem o fenômeno chamado “*leapfrogging*”, que define a transição para uma infraestrutura mais sustentável sem a passagem pelos estágios de infraestruturas tradicionais, evitando seus malefícios (Tukker 2005). Com a base teórica disponível atualmente, soluções com base na natureza, como as observadas no trabalho de Sone et al. (2019), não apenas são viáveis como desejáveis. Esse é apenas um exemplo de como a ecologia pode auxiliar a região do Cerrado a alcançar um futuro sustentável a partir de um plano de desenvolvimento fundamentado em conhecimento científico e valorização de serviços ecossistêmicos.

### *Objetivos*

Considerando que o investimento em manutenção das funções ecossistêmicas é um “princípio central para a abordagem do nexos” (ver capítulo 1) (Hoff 2011), que os ecossistemas

do Cerrado têm um papel vital na regulação do ciclo hídrico e que as unidades de conservação são importantes ferramentas para o uso sustentável da terra, os objetivos deste capítulo são:

1. Quantificar a contribuição de áreas protegidas, com predomínio de campos e savanas, para a manutenção dos processos hidrológicos na bacia do Lago Paranoá (DF) em comparação com áreas não protegidas, com extensa cobertura urbana.
2. Comparar o balanço hídrico de áreas protegidas e não protegidas em uma sub-bacia do Rio Paranã (GO) com mosaico de savanas e pastagem, predominantemente.

## METODOLOGIA

### *Áreas de estudo*

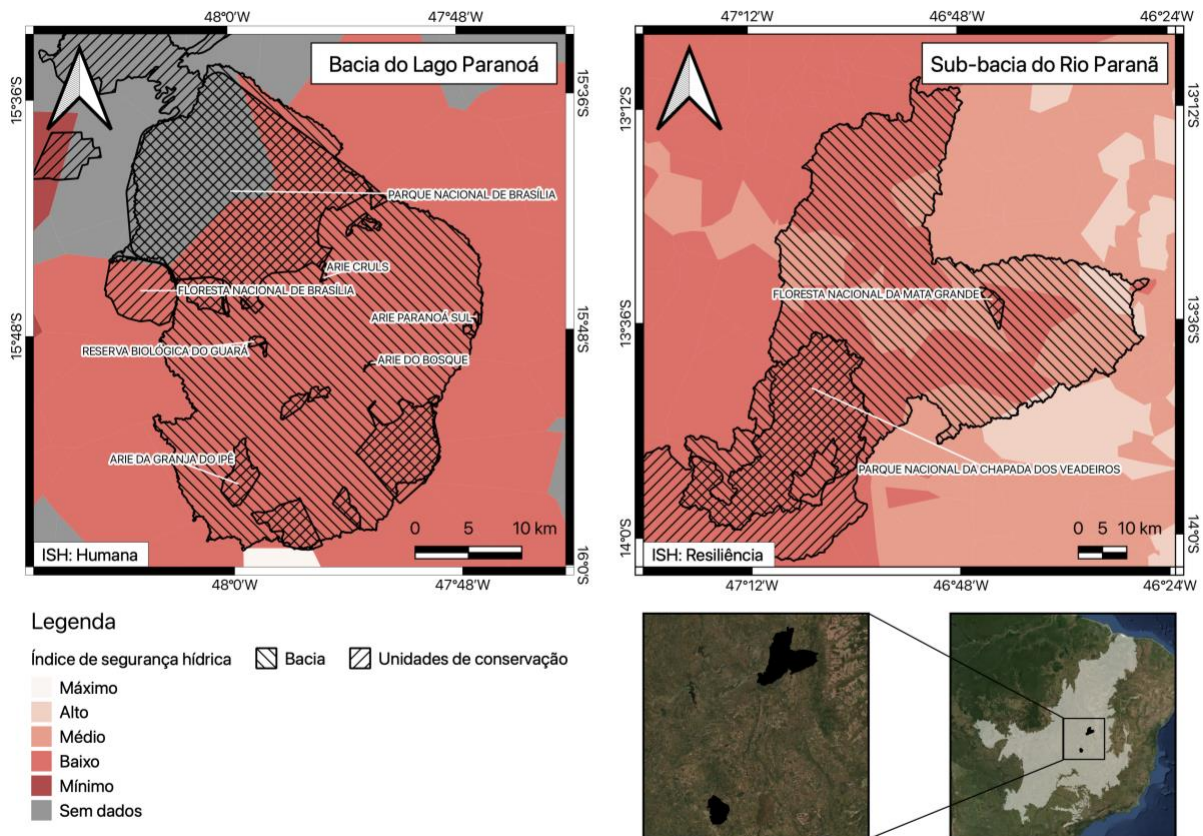
As bacias hidrográficas analisadas foram selecionadas com base nos seguintes critérios de prioridade: 1. Localização em região central do Cerrado, para melhor capturar os processos do bioma, uma vez que as regiões de ecótonos sofrem influência de outros biomas; 2. Sobreposição com unidades de conservação, para investigar as funções ecossistêmicas; 3. Zona de baixa segurança hídrica, para auxiliar a compreensão e gestão dos recursos hídricos locais; e 4. Disponibilidade de séries históricas de vazão, para viabilizar a calibração e validação do modelo. As bacias selecionadas ao final do processo de priorização foram a bacia do Lago Paranoá (DF)<sup>3</sup> e uma sub-bacia do Rio Paranã (GO).

A Bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal, conta com 15 unidades de conservação, sendo a principal o Parque Nacional de Brasília (PNB) – com 289 km<sup>2</sup> dentro da bacia (**Figura 2.1**). A ocupação humana na bacia é principalmente urbana, inclusive, há dois grandes reservatórios em sua área que servem à população de diversas formas, o Reservatório de Santa Maria e o Lago Paranoá. O reservatório de Santa Maria está localizado dentro do Parque Nacional de Brasília, que foi criado, entre outros objetivos, para conservar a sua área de

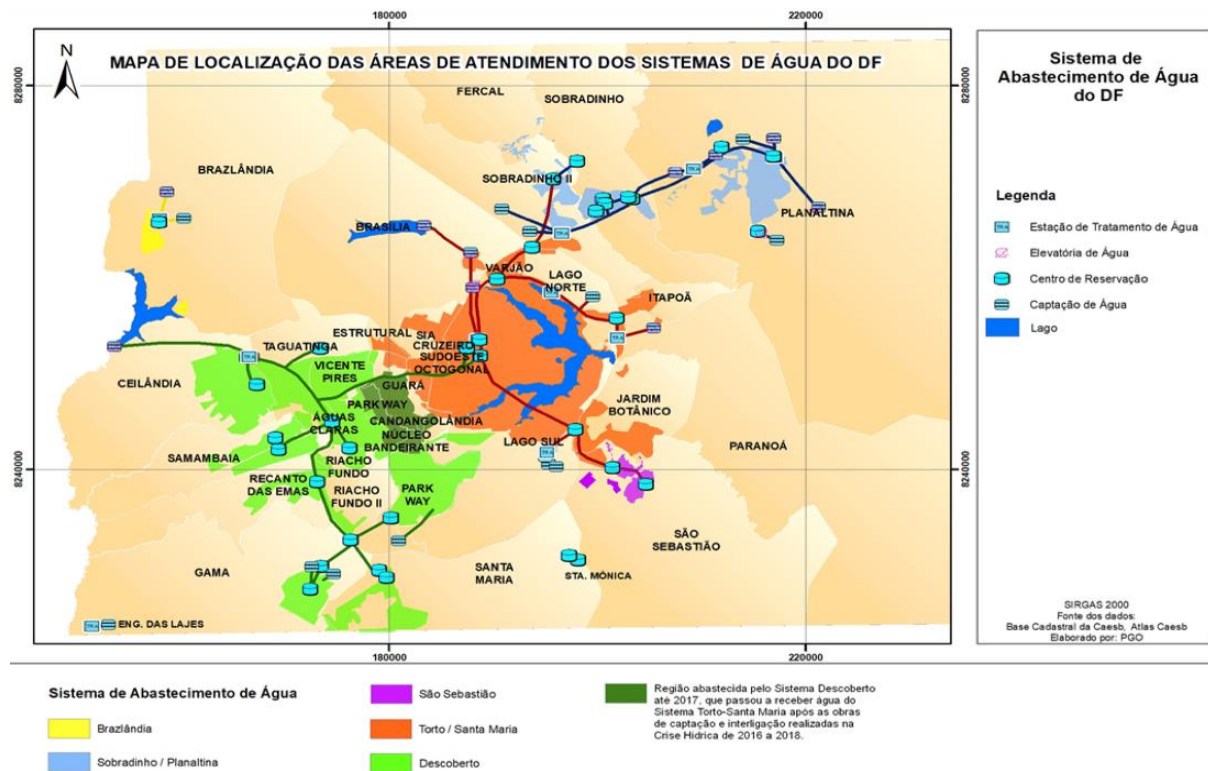
---

<sup>3</sup> Denomina-se bacia do Lago Paranoá toda a região de contribuição do Lago Paranoá. Ela se diferencia da bacia do Rio Paranoá (DF), pois não considera o trecho que vai do reservatório ao Rio São Bartolomeu (DF).

contribuição (IBAMA 1998). Esse reservatório é o segundo maior do DF e abastece diretamente 11 regiões administrativas, com cerca de 600.000 habitantes (**Figura 2.2**). Além disso, devido a obras recentes de interligação com o sistema de abastecimento do Descoberto, a bacia passou a contribuir indiretamente com mais 4 regiões administrativas, com cerca de 200.000 habitantes (**Figura 2.2**). O Lago Paranoá também exerce uma pequena contribuição no abastecimento de água nas regiões administrativas adjacentes, mas se destaca pela produção de energia, diluição de esgoto tratado e pelo turismo/lazer (Nunes 2016). Esses são exemplos, portanto, de serviços ecossistêmicos de provisão e culturais prestados pela bacia. Quanto às pressões antrópicas, em função da extensa ocupação humana é comum problemas com ocupação ilegal de terras públicas, inclusive em áreas protegidas, além de incêndios florestais e esgotos clandestinos (Echeverria 2007; Melo 2018). Segundo o índice de segurança hídrica da Agência Nacional de Águas (ANA), a bacia tem baixa segurança para os humanos. Em 2013, inclusive, o Distrito Federal já havia sido classificado como um “município” de baixa segurança hídrica pela ANA (ANA 2013) e em entre 2016 e 2017 passou por uma crise hídrica sem precedentes na região, em que foi registrada a maior média de pessoas afetadas por evento no Brasil, visto que toda a população sofreu racionamento de água, que na época eram mais de dois milhões e meio de pessoas (ANA, 2018).



**Figura 2.1.** Bacias hidrográficas selecionadas para o estudo e seu contexto de segurança hídrica. O índice de segurança hídrica (ISH) avalia quatro componentes: ecossistemas, humanos, economia e resiliência. Assim, cada bacia apresentou um pior desempenho em uma das categorias, indicadas no canto inferior esquerdo dos mapas. *Fonte: Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA).*



**Figura 2.2.** Sistema de abastecimento hídrico das regiões administrativas do Distrito Federal em 2020. *Fonte: Relatório de Qualidade da Água (Caesb, 2020).*

A Sub-bacia do Rio Paranã, em Goiás, conta com duas unidades de conservação, sendo a principal o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e a menor, a Floresta Nacional de Mata Grande (**Figura 2.1**). A principal ocupação humana na bacia é para uso agropecuário, inclusive, com irrigação por pivôs centrais (Guimarães, Landau, e Fontenelle 2019). Além disso, ela compreende parte do território Kalunga, comunidade quilombola alocada nos municípios de Cavalcante, Teresina de Goiás e Monte Alegre de Goiás, que se localizam imediatamente à jusante da sub-bacia selecionada. Quanto às pressões antrópicas mais presentes na região, destaca-se o desmatamento, os incêndios florestais, a mineração, a extração de madeira clandestina, a falta de saneamento e o interesse na instalação de unidades de aproveitamento hidrelétrico (Queiroz 2018) – como as usinas hidrelétricas Nova Roma e Foz do Atalaia. Segundo o índice de segurança hídrica desenvolvido pela ANA, a bacia tem baixo nível de segurança no que concerne à resiliência, ou seja, além de alta susceptibilidade a eventos críticos de seca, não conta com reservatórios naturais ou artificiais suficientes para mitigar os efeitos negativos.

#### *Descrição do modelo*

O modelo *Soil and Water Assessment Tool*, daqui em diante referido como SWAT, foi escolhido pois já um modelo bem estabelecido, que está em uso desde a década de 90, e conta com uma grande comunidade de usuários no Brasil e no mundo, os quais oferecem um suporte acessível e democrático. No Brasil, o modelo foi usado pela primeira vez em um estudo de 1999 (Oliveira e Medeiros 1999) e ganhou espaço principalmente no bioma Mata Atlântica, com um crescimento menos expressivo no Cerrado (Bressiani et al. 2015). Entre os usos do modelo no bioma, estão: verificação da adequabilidade para medir vazão e evapotranspiração (ET) (Ferreira et al. 2021; da Silva et al. 2018), efeitos de manejo da terra (Siqueira et al. 2021; Strauch et al. 2013), das mudanças na cobertura e uso da terra (de Oliveira Serrão et al. 2020; Rodrigues et al. 2015), das mudanças climáticas (de Oliveira et al. 2019; Rodrigues et al. 2020)



e do fogo (Rodrigues, Jacobi, e Figueira 2019), potencial hidrelétrico (de Oliveira Serrão et al. 2021) e utilização como ferramenta para o estudo de serviços ecossistêmicos (Lopes et al. 2020; Siqueira et al. 2021; Taffarello et al. 2020).

O SWAT foi desenvolvido para “prever o impacto de práticas de manejo da terra na produção de água, sedimentos e químicos agrícolas em bacias grandes e complexas com vários solos, usos da terra e condições de manejo durante longo período de tempo” (Neitsch et al. 2009). Ele é um modelo paramétrico semi-distribuído, isso implica que não requer dados volumosos sobre hidrologia ou meteorologia, mas, em contrapartida, requer diversos parâmetros que caracterizem a bacia de estudo (Devia et al. 2015). Esse tipo de modelo é vantajoso pois é válido para uma grande gama de situações. Por utilizar equações físicas para prever os dados de saídas, em vez de análises de regressão, também apresenta vantagens como a modelagem de bacias sem monitoramento e a quantificação do impacto relativo dos dados de entrada nos resultados (Neitsch et al. 2009). Além disso, os dados de entrada requeridos podem ser prontamente adquiridos de forma gratuita, a modelagem é computacionalmente eficiente e funciona em diversas interfaces – sejam elas pagas, como o ArcGIS, gratuitas, como o QGIS, ou, inclusive, online (SWAT+).

Esse modelo é resultado da evolução do SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) e contou com a incorporação de diversos outros modelos, como CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems), GLEAMS (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems) e EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator). Mais sobre a história e desenvolvimento do SWAT pode ser encontrado no manual teórico (Neitsch et al. 2009).

Inicialmente, o modelo separa a bacia em sub-bacias e unidades hidrológicas, que são áreas agregadas em cada sub-bacia com combinação única de declive, solo, cobertura e manejo. A força motriz do modelo é o balanço hídrico e ele opera em duas fases: fase terrestre, que

controla a quantidade de água, sedimentos e químicos que se movem da terra para os canais, e fase de roteamento, que avalia o transporte de todos esses elementos através dos tributários até o exutório. A rotina de cálculos da fase terrestre está ilustrada na **Figura 2.3** e a equação de balanço hídrico que governa essa fase é:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{sup} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

em que:

$SW_t$  é a quantidade final de água no solo (mm)

$SW_o$  é a quantidade inicial de água no solo (mm)

$t$  é o tempo (dias)

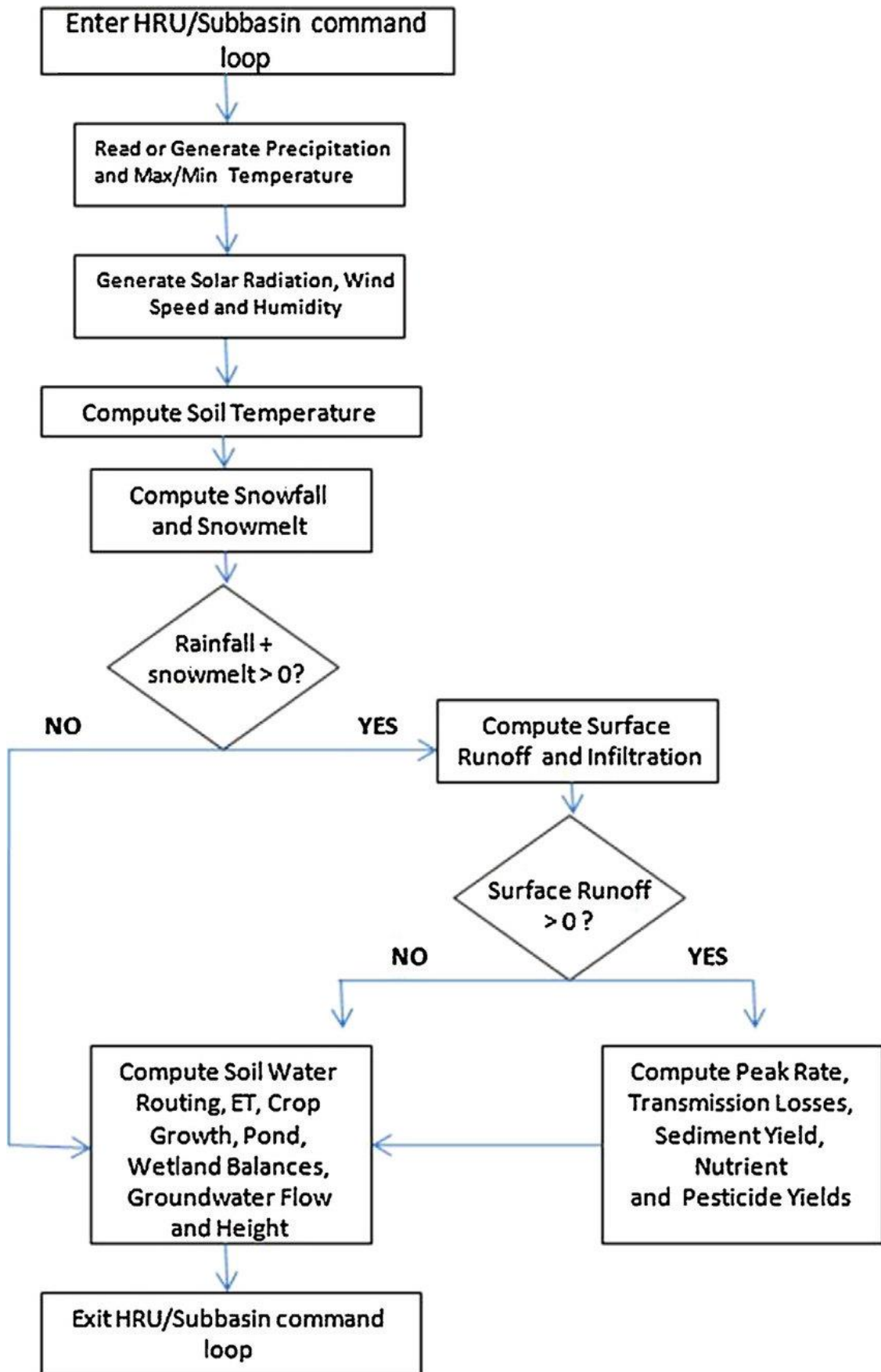
$R_{day}$  é a precipitação total diária no dia  $t$  (mm)

$Q_{sup}$  é o escoamento superficial no dia  $t$  (mm)

$E_a$  é a evapotranspiração total diária no dia  $t$  (mm)

$W_{seep}$  é a quantidade de água que entra e é armazenada no solo no dia  $t$

$Q_{gw}$  é a vazão de retorno no dia  $t$  (mm).



**Figura 2.3.** Sequência de passos do SWAT para modelar a fase terrestre do ciclo hidrológico.  
 Fonte: Manual teórico SWAT.

O balanço hídrico da fase terrestre é um produto de quatro componentes: clima, hidrologia, vegetação e manejo. Para começar, o clima determina a umidade e a energia que controlam o regime hídrico. As variáveis requeridas por esse componente do modelo são a precipitação diária, temperatura mínima e máxima do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa, que podem ser tanto observados quanto gerados pelo modelo. Para gerar essas variáveis, além de preencher vazios nos dados observados, o modelo utiliza a ferramenta Weather Generator.

A hidrologia inicia com a precipitação, que pode ser interceptada ou atingir o solo. A interceptação pode ser modelada separadamente ou juntamente com o escoamento a depender do método de cálculo de infiltração/escoamento – os métodos usados neste estudo estão na **Tabela 2.1** –, já quando atinge o solo, a água pode seguir diferentes caminhos, como indicado na **Figura 2.4**. Em primeiro lugar, pode ocorrer escoamento superficial, a partir do qual o modelo permite derivar o volume total, a taxa de escoamento de pico e empoçamentos na superfície. Caso a água infiltre no solo, ela pode ser redistribuída em função da saturação da água em cada camada, da condutividade hidráulica do solo e da temperatura (importante em solos propensos ao congelamento). O fluxo lateral representa o movimento de água que acontece abaixo da superfície do solo e acima da camada saturada (aquífero raso) e o fluxo de retorno representa o movimento de águas subterrâneas para os canais – aquíferos rasos (não confinados) desaguam nos canais principais das sub-bacias e aquíferos profundos (confinados) desaguam em canais fora da bacia. Finalmente, a evaporação e transpiração são computadas separadamente, mas ambas são uma função da evapotranspiração potencial e índice de área foliar.

**Tabela 2.1.** Métodos de cálculo dos componentes hidrológicos. Mais detalhes sobre os métodos utilizados podem ser encontrados no manual teórico do modelo. *Obs.: Os componentes que não estão listados possuem apenas uma metodologia ou são produtos do cálculo do balanço hídrico.*

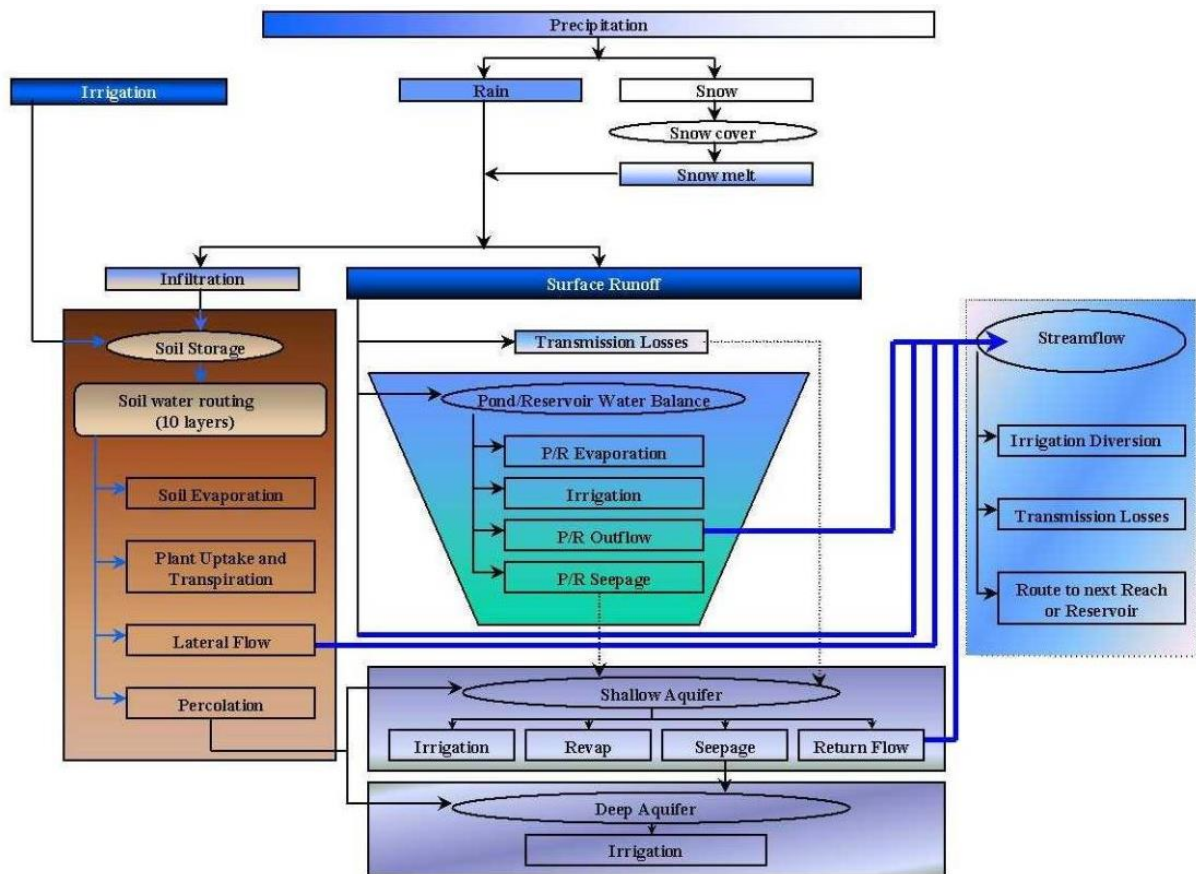
<b>Componente hidrológico</b>	<b>Método</b>
Interceptação	<i>SCS curve number*</i>
Infiltração/escoamento	<i>SCS curve number</i>
Evapotranspiração	<i>Penman-Monteith<sup>1</sup></i>
Roteamento da água	<i>Variable storage routing</i>

\* “Ao calcular o escoamento superficial, o método do número de curva (SCS) agrupa a interceptação do dossel nas abstrações iniciais”, a partir da capacidade de estoque do dossel (S. L. Neitsch et al. 2009).

<sup>1</sup> Allen et al. (1998)

As características da cobertura da terra e vegetação são usadas para identificar a remoção de água e nutrientes da zona de raízes, transpiração e produção de biomassa. Já o manejo não só permite definir a estação de crescimento e o destino da biomassa vegetal (removida ou mantida como resíduo), como também permite incluir o uso de fertilizantes, pesticidas, irrigação, pastejo e uso da água, por exemplo, extração e translocação em área urbana.

A fase de roteamento, por sua vez, além de acompanhar o fluxo de massa dos diferentes componentes nos canais, modela a transformação química nos canais e nos leitos. Mais especificamente, no roteamento da água, ela pode ser perdida por evaporação ou transmissão para o leito, além de usos antrópicos, e pode ser adicionada por chuva diretamente sobre o canal e pontos de despejo de água, como esgoto tratado, por exemplo.



**Figura 2.4.** Vias de destino da água precipitada que atinge o solo no modelo SWAT. *Fonte: Manual teórico SWAT.*

Os passos de execução do modelo estão descritos a seguir:

1. Compilação e preparação dos dados de entrada: os mapas de entrada, assim como sua fonte e caracterização, estão listados na **Tabela 2.2**;
2. Preenchimento de registros vazios: não foi necessário para os dados pluviométricos uma vez que o isso é feito pelo Weather Generator, já para os dados fluviométricos, foi necessário nas estações de entrada na sub-bacia do Rio Paranã. No caso de haver um único registro em falta, foi tirada a média dos valores imediatamente antes e depois, já em caso de vários registros, foi identificada uma série com comportamento semelhante durante o restante do período e o preenchimento foi feito de forma a manter esse padrão;
3. Simulação: executada no software QGIS;

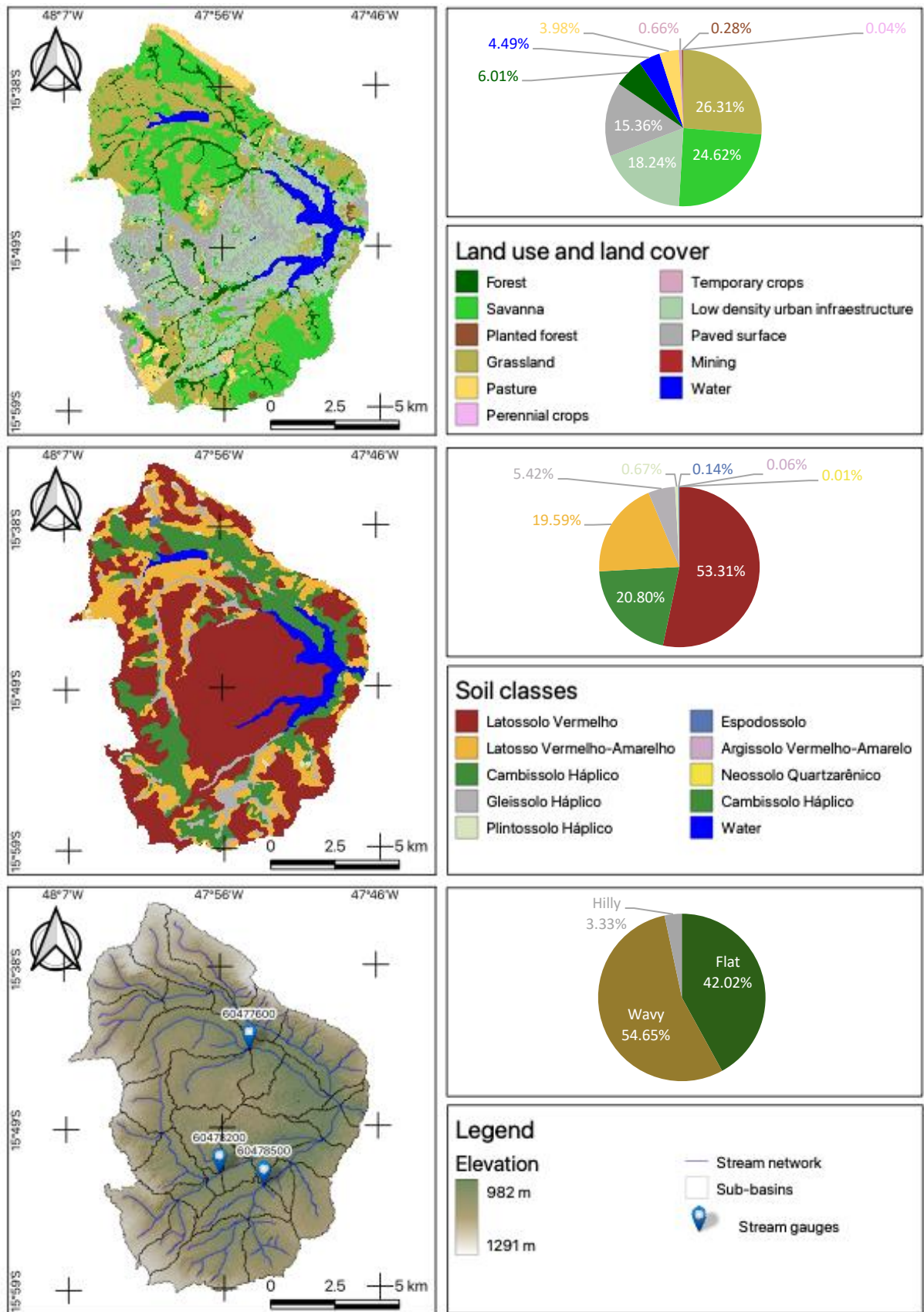
4. Análise de sensibilidade dos parâmetros: os parâmetros mais sensíveis foram identificados no trabalho de Ferrigo (2014) e Nunes (2016), que modelaram a bacia do Descoberto (DF) e a bacia do Lago Paranoá (DF), e no trabalho de Amorim et al. (2020), que modelou a bacia de Serra da Mesa (GO), adjacente à sub-bacia do Rio Paranã (GO);
5. Calibração e validação: a calibração do modelo foi feita de forma semiautomática pelo programa SWAT-CUP. Os períodos de calibração e validação foram definidos pela disponibilidade de dados, e podem ser observados na **Figura 2.7** e **Figura 2.8**.

### *Mapas de entrada*

Na bacia do Lago Paranoá, os mapas de entrada foram o modelo digital de elevação Alos Palsar, mapa de solos do DF atualizado por Reatto et al. (2004) e mapa de uso e cobertura da terra do DF, feito pela Secretária do Meio Ambiente, referente ao ano de 2020. Já na sub-bacia do Rio Paranã, em virtude da falta de mapas específicos da região, recentes e em escalas mais finas, foram usados o modelo digital de elevação SRTM, o mapa de solos do Brasil feito pelo IBGE e o mapa de uso e cobertura da terra feito pelo MapBiomas (versão 5.0), de 2019. A fonte e a descrição de cada mapa estão na **Tabela 2.2**. Já os mapas estão ilustrados na **Figura 2.5** e **Figura 2.6**.

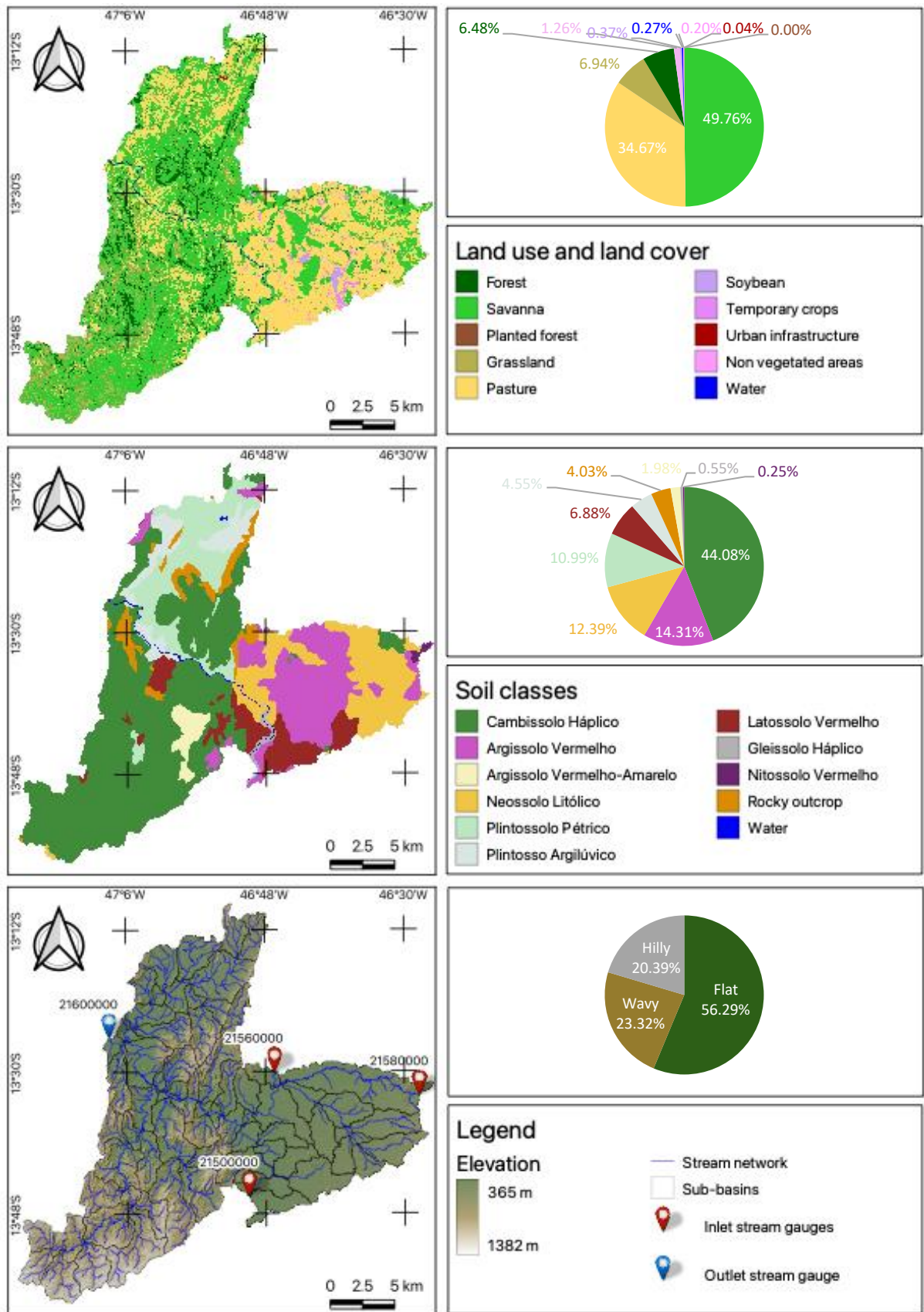
**Tabela 2.2.** Descrição dos mapas de entrada das duas bacias em estudo.

<b>Bacia</b>	<b>Entrada</b>	<b>Fonte</b>	<b>Escala/Resolução</b>
Bacia do Lago Paranoá	Uso da terra	SEMA - DF	1:25.000
	Solos	Reatto (2004)	1:100.000
	MDE	Alos Palsar	12,5 m
Sub-bacia do Rio Paranã	Uso da terra	MapBiomas (5.0)	1:250.000
	Solos	IBGE	1:250.000
	MDE	SRTM	30 m



**Figura 2.5.** Mapas de entrada de modelo digital de elevação, solos e uso da terra (2020) da bacia do Lago Paranoá, como requerido pelo SWAT. No gráfico de topografia, “flat” indica declive de 0-8%, “wavy”, 8-20% e “hilly”, >20%. *Fontes: Alos Palsar, Reatto et al. (2004) e Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal.*





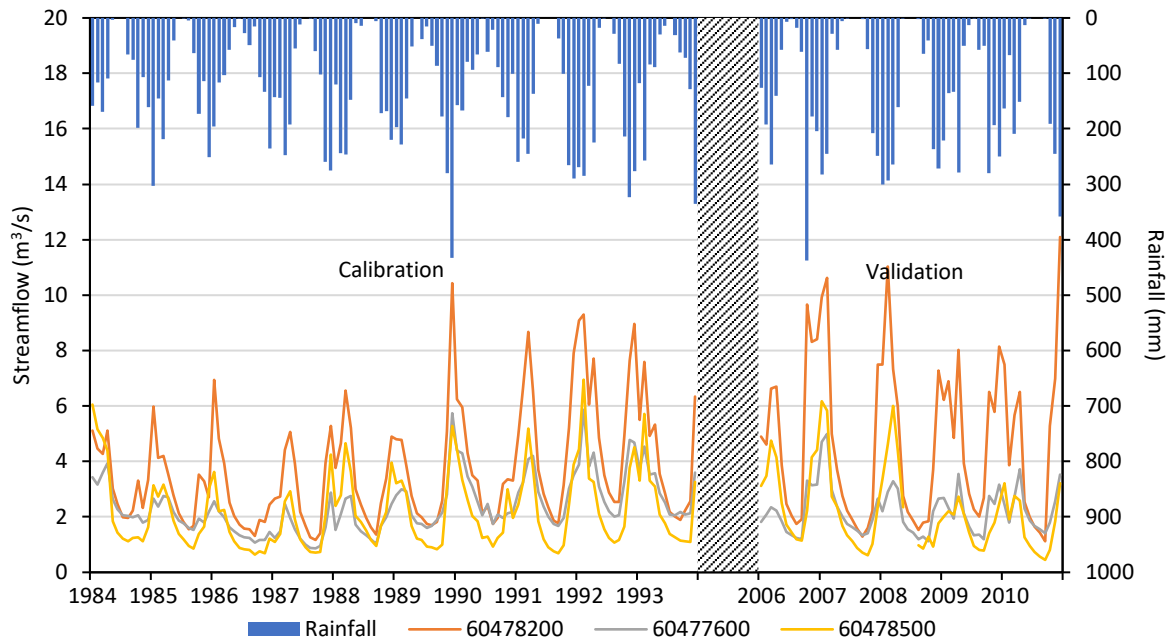
**Figura 2.6.** Mapas de entrada de modelo digital de elevação, solos e uso da terra (2019) da sub-bacia do Rio Paran, como requerido pelo SWAT. No gráfico de topografia, “flat” indica declive de 0-8%, “wavy”, 8-20% e “hilly”, >20%. *Fontes: SRTM, IBGE e MapBiomias (5.0).*

### *Base de dados*

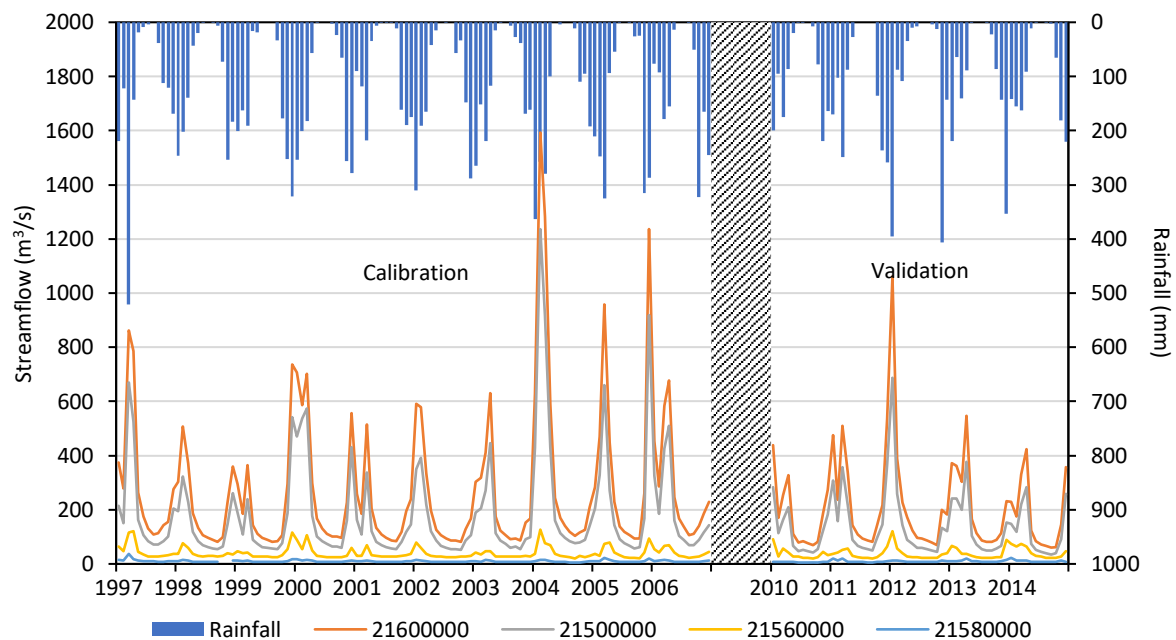
Os parâmetros dos solos foram inicialmente adquiridos de Lima et al. (2013) e posteriormente alguns valores foram adicionados ou ajustados a partir do bando de dados da Embrapa (SiSolos), do mapa de capacidade de água disponível da ANA (Fontenelle, dos Santos, e Siefert 2021) e dos trabalhos de Baldissera (2005) e Spera et al. (2005). Já os parâmetros dos diferentes usos e coberturas da terra foram adquiridos de Ferrigo (2014), com alguns ajustes nos arquivos .hru, .gw e .rte a partir do trabalho de Strauch e Volk (2013). Os dados exatos usados neste trabalho estão descritos do **Apêndice 3** ao **Apêndice 7**.

Os dados do clima (exceto precipitação) foram extraídos dos produtos de reanálise do National Center for Environmental Prediction (NCEP), o Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), que dispõe de dados desde 1979 até 2014. Eles são disponibilizados pelo próprio site do SWAT, que exporta os arquivos no formato adequado para o modelo. Já os dados de precipitação foram adquiridos de estações pluviométricas da ANA, para o período de 1980 a 2019. Esse arranjo foi escolhido pois Bressiani et al. (2015) verificaram que a utilização de dados de precipitação local da ANA com dados climáticos do CFSR produz resultados mais satisfatórios no modelo SWAT do que outros arranjos, por exemplo, apenas dados de satélite ou apenas dados locais. Finalmente, os dados de vazão também foram adquiridos de estações da ANA, para o período de 1980 e 2019. Os dados pluviométricos e fluviométricos das bacias em estudo durante os períodos de calibração e validação estão ilustrados na **Figura 2.7** e **Figura 2.8**. Na bacia do Lago Paranoá o período de calibração foi de 1984 a 1993 e o de validação foi de 2006 a 2010, já na bacia do Rio Paranã foi de 1997 a 2006 e de 2010 a 2014, respectivamente. Essa divisão seguiu a recomendação de Klemeš (1986), que indica que o período simulado deve ser dividido em 2/3 para calibração e 1/3 para validação, e os anos foram definidos de acordo com a disponibilidade de dados.

A preparação e formatação dos dados foi feita principalmente no programa R e o script está disponibilizado no **Apêndice 8**. Além disso, também foram utilizados scripts em código Python disponibilizados para uso público (<https://github.com/SWAT-Brasil/util/>).



**Figura 2.7.** Média mensal da vazão registrada nas estações fluviométricas e chuva acumulada na bacia do Lago Paranoá durante o período de calibração e validação. A barra hachurada indica o período não avaliado. *Fonte: ANA.*



**Figura 2.8.** Média mensal da vazão registrada nas estações fluviométricas e chuva acumulada na sub-bacia do Rio Paranã durante o período de calibração e validação. A barra hachurada indica o período não avaliado. *Fonte: ANA.*

### *Configuração do modelo*

A rede de drenagem foi calculada sobre uma rede já definida (IBGE) e com limite de extensão mínima de 20 km na bacia do Lago Paranoá e 30 km na sub-bacia do Rio Paranã. Após o delineamento da bacia, as sub-bacias com área menor que 5% da área total da bacia foram dissolvidas, exceto se continham algum exutório, reserva, *inlet* ou ponto de despejo de água, pois o modelo não permite. As bandas de declividade foram definidas de acordo com Ferrigo (2014), ou seja, 0-8% (relevo plano e suavemente ondulado), 8-20% (relevo ondulado) e >20% (relevo ondulado, fortemente ondulado, montanhoso e escarpado). Todas as unidades hidrológicas propostas foram mantidas para possibilitar o mapeamento total da área, uma vez que, quando desconsideradas, as unidades não são dissolvidas nem substituídas, apenas excluídas. Na sub-bacia do Rio Paranã, as vazões de entrada foram dadas em médias mensais. Além disso, o período de aquecimento, quando o modelo estabiliza as condições de umidade no solo e estoque nos aquíferos, foi de quatro anos, na bacia do Lago Paranoá, e de três anos, na sub-bacia do Rio Paranã, de forma que em ambas o modelo gerou resultados para um período de 10 anos. O período mínimo recomendado para o aquecimento do modelo (para dados de hidrologia) é de três anos<sup>4</sup>, no Lago Paranoá foi possível aumentar para quatro anos em função da maior disponibilidade de dados adequados.

### *Análise estatística*

Para avaliar o ajuste do modelo, foram utilizados dois indicadores, coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e Percent bias (Pbias). Eles estão entre os mais confiáveis na avaliação de modelos (Moriassi et al. 2007) e atendem a diferentes objetivos:

- a. NSE avalia o quão ajustado são os valores modelados em relação aos observados; é o mais usado para o modelo SWAT; um ajuste satisfatório apresenta valores  $\geq 0,5$ , em que 1 representa um ajuste perfeito; é dado pela equação:

---

<sup>4</sup> Indicado no curso “SWAT beginner Workshop”, ministrado pelo Dr. R. Srinivasan (Texas A&M), em 2020.

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q^{mean})^2} \right] \quad (2)$$

- a. Pbias avalia a relação entre as médias dos valores modelados e observados, assim, tem relevância quantitativa e qualitativa, uma vez que seu valor indica uma subestimação ou superestimação da realidade; um ajuste satisfatório apresenta  $Pbias \leq 25\%$ ; é dado pela equação:

$$Pbias = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs})} \times 100 \quad (3)$$

Em ambas as equações,  $n$  é o número total de observações,  $Q_i^{obs}$  é a vazão observada;  $Q_i^{sim}$  é a vazão simulada; e  $Q^{mean}$  é a média da vazão observada.

## MODIS

Os dados de evapotranspiração do sensor “NASA’s Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer” (MODIS) foram usados como uma segunda fonte de avaliação da razoabilidade do modelo, nesse caso, para simular evapotranspiração. O produto usado foi o “Net Evapotranspiration Yearly L4 Global 500m” (MOD16A3), que tem dados anuais com resolução de 500m. Ele foi recortado espacialmente segundo os limites das bacias de estudo e a extensão temporal foi a mesma dos períodos de validação, ou seja, 2006-2010 para a bacia do Lago Paranoá e 2010-2014 para a sub-bacia do Rio Paranã. Como os dados de evapotranspiração anual são submetidos a um controle e preenchimento de vazios para a publicação (Running et al. 2019), não foram realizados quaisquer outros tratamentos nos dados. A evapotranspiração no MODIS é calculada a partir do índice de área foliar, fração da radiação fotossinteticamente ativa e albedo (Running et al. 2019). Ele foi escolhido por ser um produto recorrentemente utilizado no Cerrado e já ter sido comprovada a sua aptidão para tal (Arantes et al. 2016; Ferreira et al. 2012; Ruhoff et al. 2012, 2013; Strauch e Volk 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Modelagem

Os parâmetros calibrados na bacia do Lago Paranoá (DF), baseados no estudo de Ferrigo (2014) na bacia do Descoberto (DF), e os parâmetros calibrados na sub-bacia do Rio Paranã (GO), baseados no estudo de Amorim et al. (2020) na bacia de Serra da Mesa (GO), se mostraram eficientes para representar as bacias deste estudo (**Tabela 2.3** e **Tabela 2.4**). Na bacia do Lago Paranoá, entre os parâmetros mais sensíveis, os três relacionados ao solo – SOL\_AWC (capacidade de água disponível), SOL\_K (condutividade hidráulica) e SOL\_BD (densidade) – são facilmente medidos (Mohan e Prasadini 2019). Isso pode melhorar o desempenho do modelo, principalmente, em escalas mais finas. Na sub-bacia do Rio Paranã, apenas dois parâmetros foram sensíveis tanto na calibração quanto na validação, ALPHA\_BF (fator alpha do fluxo base) e CH\_K2 (condutividade hidráulica do canal), esses parâmetros estão associados ao movimento de água do solo para o canal e vice-versa. Diferentemente dos parâmetros do solo, a obtenção desses dados não é um processo trivial, pois ALPHA\_BF é um coeficiente que não é diretamente medido (Arnold et al. 2012) e os leitos dos canais são locais de difícil acesso.

**Tabela 2.3.** Estatísticas das modelagens nas duas bacias. PBIAS negativo indica superestimação dos dados e PBIAS positivo indica subestimação.

Bacia	Estação	Nome	Calibração		Validação	
			NSE	PBIAS	NSE	PBIAS
Bacia do Lago Paranoá	60477600	“Bananal - Epia 003”	0.63 <sup>1</sup>	10.8 <sup>2</sup>	0.75 <sup>3</sup>	5.7 <sup>3</sup>
	60478200	“Montante Zoológico - Epia 003 - Riacho Fundo”	0.61 <sup>1</sup>	-9.7 <sup>3</sup>	0.71 <sup>2</sup>	18.8 <sup>1</sup>
	60478500	“Gama - Base Aérea”	0.72 <sup>2</sup>	-5.1 <sup>3</sup>	0.26 <sup>0</sup>	-31.2 <sup>0</sup>
Sub-bacia do Rio Paranã	21600000	“UHE Peixe Angical Ponte Paranã”	0.98 <sup>3</sup>	2.7 <sup>3</sup>	0.95 <sup>3</sup>	0.8 <sup>3</sup>

**Legenda:** <sup>0</sup> Insatisfatório; <sup>1</sup> Satisfatório; <sup>2</sup> Bom; <sup>3</sup> Muito bom.

**Tabela 2.4.** Parâmetros usados para calibração e validação do modelo SWAT nas duas áreas de estudo. Os valores usados na calibração foram retirados de Ferrigo (2014) para a bacia do Lago Paranoá e Amorim et al. (2020) para a sub-bacia do Paranã e os valores da validação foram gerados pelo processo de calibração. A descrição detalhada de cada parâmetro está na documentação do modelo (Arnold et al. 2012).

Bacia	Parâmetros	Calibração		Validação	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Bacia do Lago Paranoá	r__CN2.mgt <sup>cv</sup>	-0,3	0,2	-0,513643	-0,037857
	v__ALPHA_BF.gw	0	1	0,219215	0,739785
	a__GW_DELAY.gw <sup>cv</sup>	-20	450	57,650780	319,239197
	v__GWQMN.gw	0	1228	571,284302	1714,023804
	v__GW_REVAP.gw	0,02	0,1	0,029500	0,076500
	v__ESCO.hru <sup>cv</sup>	0,4	1	0,596029	0,988171
	r__SOL_AWC(1).sol <sup>v</sup>	-0,2	0,5	-0,137899	0,287399
	r__SOL_K(1).sol <sup>cv</sup>	-1,95	0,8	-2,935298	-0,444952
	r__SOL_BD(1).sol <sup>c</sup>	-0,93	0,6	-1,423105	-0,074285
	v__SHALLST.gw	1000	5000	2614,861816	5845,138184
	v__GWHT.gw	0	25	9,167887	27,507111
	v__DEEPST.gw	0	3000	1016,146423	3048,853516
	v__REVAPMN.gw	0	500	-35,892292	321,392303
Sub-bacia do Rio Paranã	v__ESCO.hru <sup>v</sup>	0,6	0,8	0,612256	0,737744
	r__CN2.mgt	-0,1	0,1	-0,010000	0,100000
	v__ALPHA_BF.gw <sup>cv</sup>	0	0,01	0,000000	0,005525
	a__GW_DELAY.gw	-30	30	-19,121367	13,721369
	a__GWQMN.gw	-500	500	-3,730727	500,000000
	v__CANMX.hru	1	50	15,277363	44,052639
	v__CH_K2.rte <sup>cv</sup>	0	10	0,000000	5,290788
	v__CH_N2.rte <sup>c</sup>	0,01	0,2	0,010000	0,110449
	v__EPCO.bsn	0,25	1	0,397268	0,800232
	v__GW_REVAP.gw	0,05	0,17	0,050000	0,120644
	a__REVAPMN.gw <sup>v</sup>	0	500	145,680069	439,319916
	r__SOL_AWC(1).sol	-0,1	0,1	-0,010000	0,100000
	r__SOL_K(1).sol	-0,1	0,1	-0,010000	0,100000
v__SURLAG.bsn	0,01	10	4,169056	10,000000	

**Legenda:**

Operações: r = multiplicação (*relative*), v = substituição (*replace value*), add = soma/subtração (*absolute*);

<sup>c</sup> Parâmetros estatisticamente mais sensíveis na calibração;

<sup>v</sup> Parâmetros estatisticamente mais sensíveis na validação;

ALPHA\_BF: fator alpha do fluxo base;

CANMX: estoque máximo do dossel;

CH\_K2: condutividade hidráulica efetiva no leito do canal;

CH\_N2: valor “n” de Manning para o canal principal;

CN2: curva número SCS para a condição de umidade II;

DEEPST: profundidade inicial da água no aquífero profundo;

EPCO: fator de compensação de captação pelas plantas;

ESCO: fator de compensação de evaporação no solo;

GW\_DELAY: tempo de atraso da água subterrânea;

GW\_REVAP: coeficiente de “revap” da água subterrânea;

GWHT: altura inicial da água subterrânea;

GWQMN: profundidade limite do aquífero raso para ocorrer fluxo de retorno;

REVAPMN: profundidade limite do aquífero raso para ocorrer “revap” ou percolação para o aquífero profundo;

SHALLST: profundidade inicial da água no aquífero raso;

SOL\_AWC: capacidade de água disponível do solo;

SOL\_BD: densidade aparente úmida do solo;

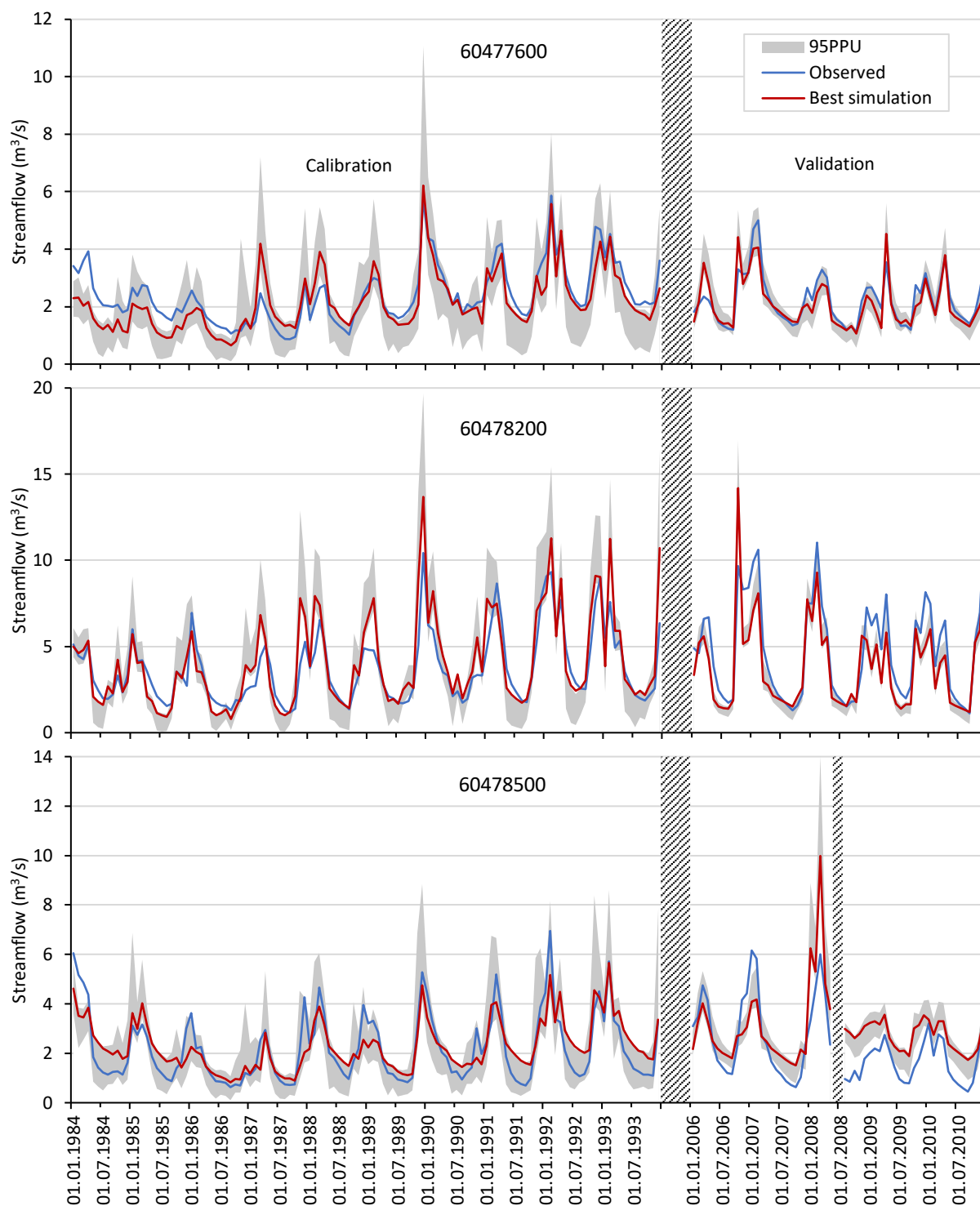
SOL\_K: condutividade hidráulica do solo;

SURLAG: coeficiente de atraso do escoamento superficial;

O desempenho do modelo na bacia do Lago Paranoá, no geral, foi bom (**Tabela 2.3** e **Figura 2.9**). O único resultado insatisfatório foi obtido na estação 60478500 (bacia do Gama) na etapa de validação. Durante a etapa de calibração, porém, essa estação apresentou as melhores estatísticas, tanto do NSE quanto do Pbias. A bacia do Gama tem solos e usos da terra que são bem representados nas demais bacias calibradas, do Bananal (mais preservada) e do Riacho Fundo (mais urbanizada) (**Figura 2.5**), e o bom desempenho do modelo nessas bacias leva a crer que o resultado na bacia do Gama, provavelmente, não é um reflexo de parâmetros inadequados, mas sim de uma particularidade da vazão no período avaliado. Observa-se que nos últimos dois anos a margem de incerteza do modelo (95PPU) não foi capaz de abarcar a vazão observada, apesar de mostrar um padrão muito semelhante (**Figura 2.9**). O modelo de Nunes (2016), nessa mesma bacia e período, também não abarcou a vazão, mas o maior período de validação provavelmente mascarou quaisquer inconsistências e resultou em um desempenho adequado. Assim, levando em conta o menor período de validação deste estudo, a adequabilidade do modelo nas outras sub-bacias e o objetivo focado no ciclo hidrológico terrestre, o modelo construído foi considerado apto para avaliação do regime hidrológico.

Quanto ao restante das sub-bacias, o desempenho foi bom, mas, no geral, subestimou a vazão, principalmente, na bacia do Riacho Fundo no período de validação (**Tabela 2.3**). Percebe-se pela **Figura 2.9** que a subestimação foi mais evidente nos fluxos de pico. Por outro lado, a margem de incerteza na validação foi menor do que na calibração e as estatísticas foram melhores, o que aumenta a confiança no modelo.

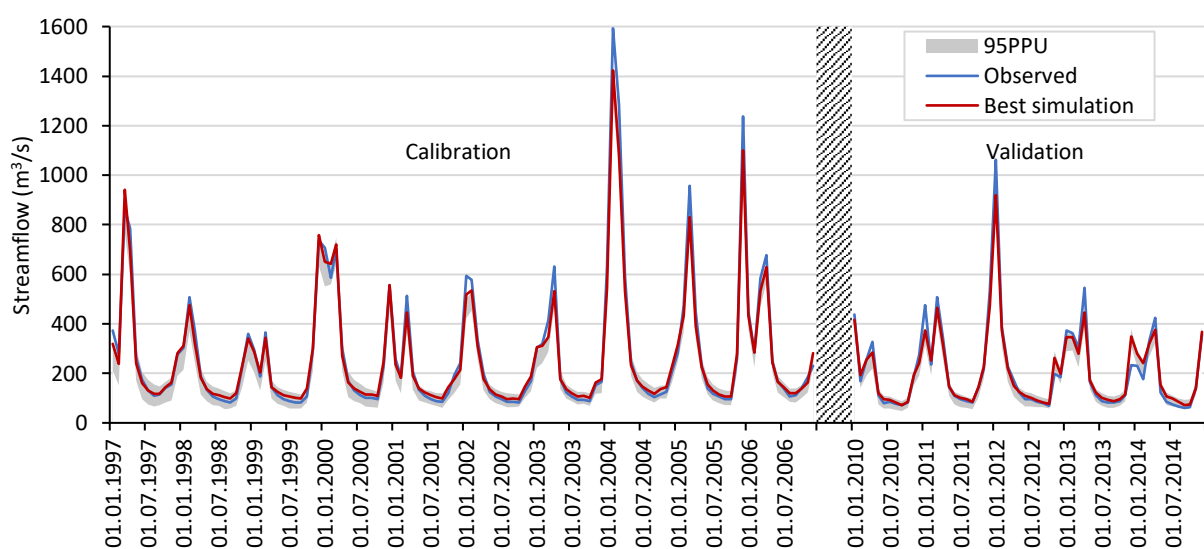




**Figura 2.9.** Vazão observada e simulada durante os períodos de calibração e validação na bacia do Lago Paranoá. A estação 60477600 está localizada na bacia do Bananal, a estação 60478200, na bacia do Riacho Fundo e a estação 60478500, na bacia do Gama. O intervalo 95PPU indica a margem de incerteza do modelo (Abbaspour 2015). A barra hachurada indica o período não avaliado e, no último gráfico, também indica ausência de dados no período da validação.

O ótimo desempenho do modelo na sub-bacia do Rio Paranã (**Tabela 2.3 e Figura 2.10**) se deve, ao menos em parte, ao alto fluxo de entrada (*inlet*) na bacia (**Figura 2.8**), o que inevitavelmente aumenta a correlação entre os dados modelados e observados. Porém, mesmo diante disso, o modelo apresentou estatísticas quase perfeitas e um balanço hídrico, no geral, realista para as condições do Cerrado – com poucas exceções (**Tabela 2.5**). Isso se justifica também pelo uso de parâmetros de cobertura que já foram considerados adequados para outras bacias do Cerrado (Ferrigo 2014; Hernandez, Scarpore, e Seabra 2018; Nunes 2016), inclusive a do Lago Paranoá neste estudo, além de parâmetros de solo que foram refinados com dados específicos da região a partir da base de dados da Embrapa (SiSolos).

Apesar do baixo desempenho da estação 60478500 (Bacia do Lago Paranoá) no período de validação e do baixo fluxo basal na sub-bacia do Rio Paranã, principalmente na validação, o desempenho do restante das estações fluviométricas e a análise do balanço hídrico aumentam a confiabilidade nos parâmetros definidos. Os resultados serão discutidos à luz dessas considerações, mas, ao final, também serão apontadas possíveis limitações e direções de pesquisa a fim de melhorar a compreensão dos processos hidrológicos das áreas no futuro.



**Figura 2.10.** Vazão observada e simulada durante os períodos de calibração e validação na sub-bacia do Rio Paranã. O intervalo 95PPU indica a margem de incerteza do modelo (Abbaspour 2015). A barra hachurada indica o período não avaliado.

**Tabela 2.5.** Valores de taxas anuais e percentual relativo à precipitação dos processos do balanço hídrico terrestre identificados na literatura científica sobre o bioma Cerrado.

Componente	UF	Cobertura	Taxa	Porcentagem	Referência
Evapotranspiração	DF	Campo	847 mm/ano	55%	(Quesada et al. 2004)
		Savana	657 mm/ano	73%	(Garcia-Montiel et al. 2008)
		Campo	689 mm/ano	48%	(Giambelluca et al. 2009)
		Savana	823 mm/ano	57%	
		Mosaico	1248 mm/ano	72%	(Silva e Oliveira 1999)
		Mosaico	831 mm/ano	78%	(Lima 2000)
	GO	Mosaico	1175 mm/ano	76%	(Costa et al. 2003)
	MG	Savana	577 mm/ano	51%	(Lima et al. 1990)
		Mosaico	841 mm/ano	56%	(Rodrigues et al. 2019)
	MT	Campo	840 mm/ano	50%	(Machado et al. 2020)
		Savana	1010 mm/ano	78%	(Dias et al. 2015)
		Floresta	1025 mm/ano	79%	
		Floresta	1095 mm/ano	89%	(Riskin et al. 2017)
		Mosaico	750 mm/ano	54%	(Watanabe e Ortega 2014)
		Mosaico	1004 mm/ano	59%	(Nóbrega et al. 2017)
	SP	Savana	823 mm/ano	69%	(Oliveira et al. 2015)
		Savana	1228 mm/ano	86%	(Cabral et al. 2015)
		Savana	1201 mm/ano	87%	(Anache et al. 2019)
	TO	Campo	1058 mm/ano	60%	(Laipelt et al. 2020)
		Savana	1131 mm/ano	64%	
Floresta		1533 mm/ano	87%		
Mosaico		1252 mm/ano	82%		
Escoamento superficial	DF	Mosaico	52 mm/ano	3%	(Silva e Oliveira 1999)
		Mosaico	15 mm/ano	1,4%	(Lima 2000)
		Mosaico	-	3,6%	(De Alencar et al. 2006)
		Mosaico	12 mm/ano	1%	(Chaves e Piau 2008)
	GO	Mosaico	-	23%	(Costa et al. 2003)
	MT	Savana	0,2 mm/ano	0%	(Dias et al. 2015)
		Floresta	0,2 mm/ano	0%	
	SP	Savana	-	0,1-3%	(de Oliveira et al. 2016)
		Savana	2 mm/ano	0,1%	(Anache et al. 2019)
	Fluxo subsuperficial	DF	Mosaico	284 mm/ano	27%
Mosaico			444 mm/ano	25%	(Silva e Oliveira 1999)
MG		Mosaico	379 mm/ano	25%	(Rodrigues et al. 2019)
		Mosaico	322 mm/ano	25%	(Dias et al. 2015)
DF	Savana	-	14-18%	(Quesada et al. 2008)	
	Mosaico	50-1186 mm/ano	0-80%	(dos Santos e Koide 2016)	
Percolação	MG	Savana	556 mm/ano	50%	(Lima et al. 1990)
		Mosaico	-	51-72%	(Batalha et al. 2018)
	SP	Campo	363 mm/ano	30%	(Oliveira et al. 2017)
		Savana	315 mm/ano	26%	
		Mosaico	244 mm/ano	16%	(Gonçalves e Manzione 2019)
		Mosaico	253 mm/ano	20%	(Ramires e Manzione 2019)

### Mapeamento dos componentes hidrológicos na bacia do Lago Paranoá

#### 1. Evapotranspiração:

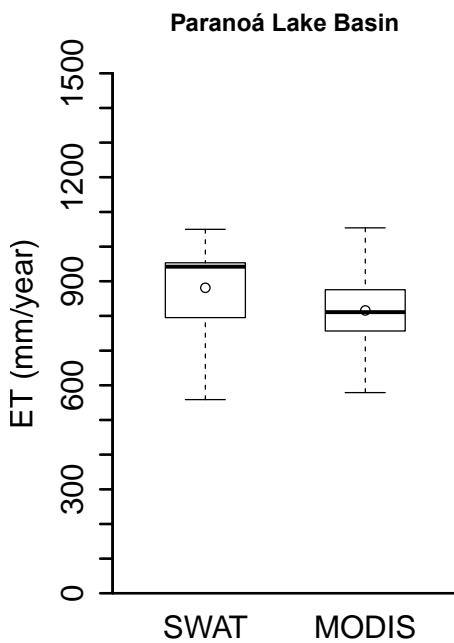
A evapotranspiração na bacia do Lago Paranoá diferiu pouco, em termos absolutos, entre as áreas protegidas e não protegidas (**Figura 2.12**), o que, em parte, é um reflexo da

variabilidade na precipitação (**Figura 2.14**), muito comum em climas tropicais (Wohl et al. 2012). Entre os usos da terra, as áreas urbanas edificadas tiveram as menores taxas, 560 mm/ano em média, já as áreas verdes urbanas apresentaram uma média de 795 mm/ano. Esse valor, inclusive, foi bem próximo das áreas nativas, que variou entre 800 e 841 mm/ano. Já entre os diferentes tipos de solo, a evapotranspiração sobre Latossolos foi a maior, com médias variando entre 850 e 925 mm/ano, dependendo da cobertura. Quanto aos Cambissolos, que dominam a bacia juntamente com Latossolos (**Figura 2.5**), a variação foi de 749 a 780 mm/ano.

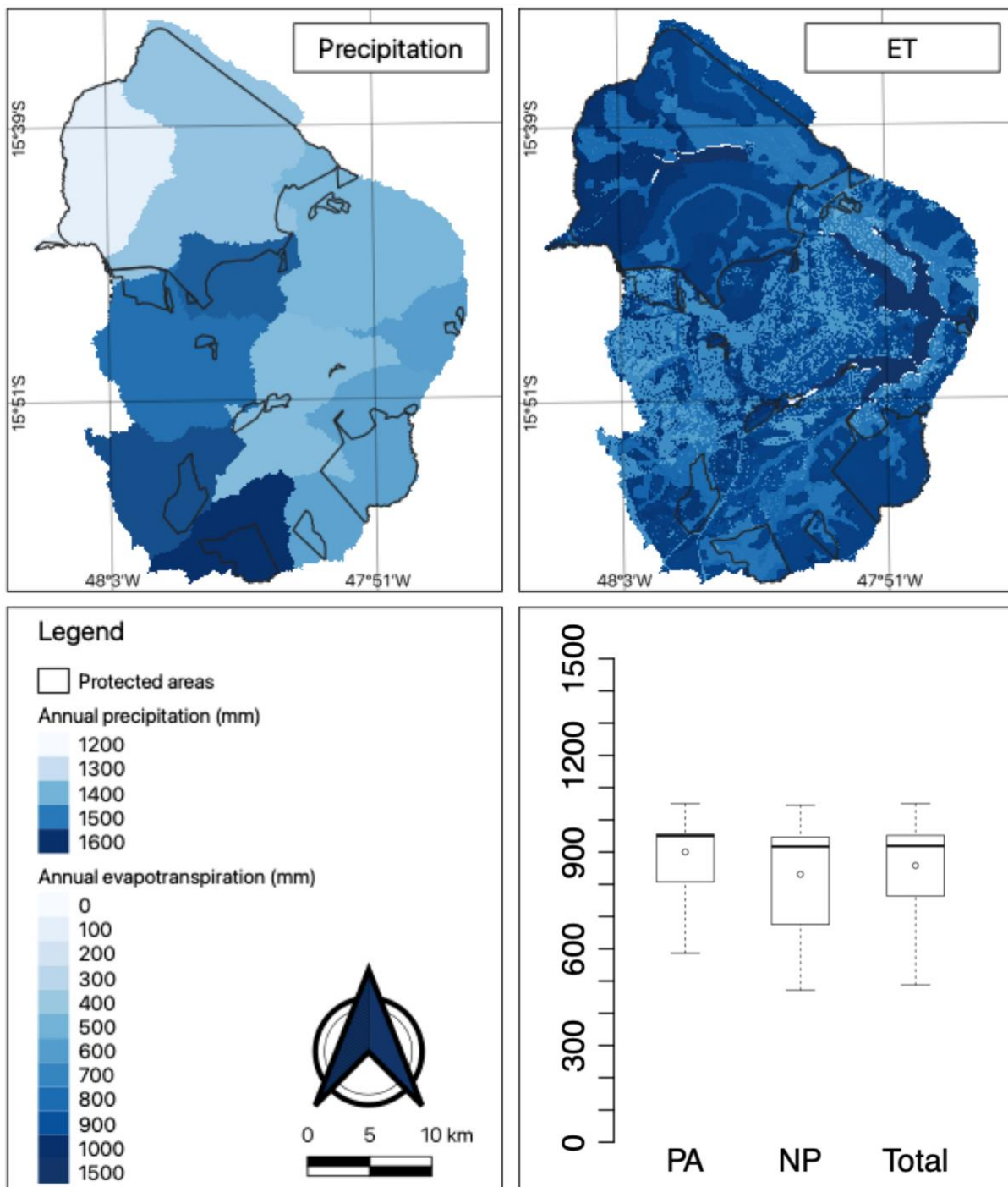
A evapotranspiração estimada pelo modelo e pelo MODIS foram similares (**Figura 2.11**), principalmente quanto à variabilidade. A média do SWAT de 881 mm/ano e a do MODIS de 816 mm/ano então dentro do intervalo já observado no Cerrado (**Tabela 2.5**). Essa comparação, porém, vale apenas para áreas vegetadas, pois o MODIS não mede evapotranspiração de áreas predominantemente urbanas e nem de espelhos de água (Running et al. 2019). Assim, não foi possível verificar a veracidade da evapotranspiração urbana estimada pelo modelo.

A evapotranspiração das áreas naturais, protegidas ou não protegidas, foi de 817 mm/ano e ficou dentro do intervalo já identificado no DF (657-1248 mm/ano) (**Figura 2.12**). A evapotranspiração das áreas urbanas, por outro lado, apresentou valores mais altos do que se espera para esse uso da terra – 677 mm/ano, considerando o mosaico de áreas urbanas verdes e edificadas. No estudo de Mazrooei et al. (2021), entre 2003 e 2012, a evapotranspiração de áreas urbanas no DF foi 575 mm/ano e a de áreas não urbanas adjacentes foi de 816 mm/ano, representando uma diferença de 241 mm. Já neste trabalho, as áreas não urbanas (incluindo áreas rurais) apresentaram evapotranspiração de 846 mm/ano, o que gerou uma diferença de 169 mm em comparação com as áreas urbanas. A diferença entre os resultados para a área de estudo podem ser tanto uma consequência da variabilidade interanual quanto das diferentes resoluções – a resolução do trabalho de Mazrooei et al. (2021) foi de 1000 m,

consideravelmente diferente dos 12,5 m de resolução deste estudo. Esse tópico merece maior investigação, afinal, esse processo é um dos principais responsáveis pela diminuição das ilhas de calor urbanas (Zou, Yang, e Qiu 2019), de forma que é essencial no planejamento de cidades verdes, além de ter sido pouco estudado em cidades tropicais (Qiu et al. 2017).



**Figura 2.11.** Comparação da evapotranspiração anual estimada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e pelo satélite MODIS entre 2006 e 2010, na bacia do Lago Paranoá (DF). Os **pontos** indicam as médias de cada grupo, que são, respectivamente, 881 mm/ano, 816 mm/ano. *Obs.: a resolução do modelo foi de 12,5m na bacia do Lago Paranoá, enquanto o MODIS tem resolução de 500 metros. Além disso, essa comparação vale apenas para áreas vegetadas, pois o MODIS não mede ET de áreas predominantemente urbanas e nem espelhos de água.*



**Figura 2.12.** Distribuição espacial da precipitação e da evapotranspiração (ET) anual (2006-2010) na bacia do Lago Paranoá (DF) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e distribuição dos valores de ET dentro das unidades de conservação (PA), nas áreas não protegidas (NP) e na totalidade da bacia (Total). Os pontos representam as médias, que são, respectivamente, 900 mm/ano, 831 mm/ano e 858 mm/ano. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.*

## 2. Escoamento superficial, fluxos lateral e basal

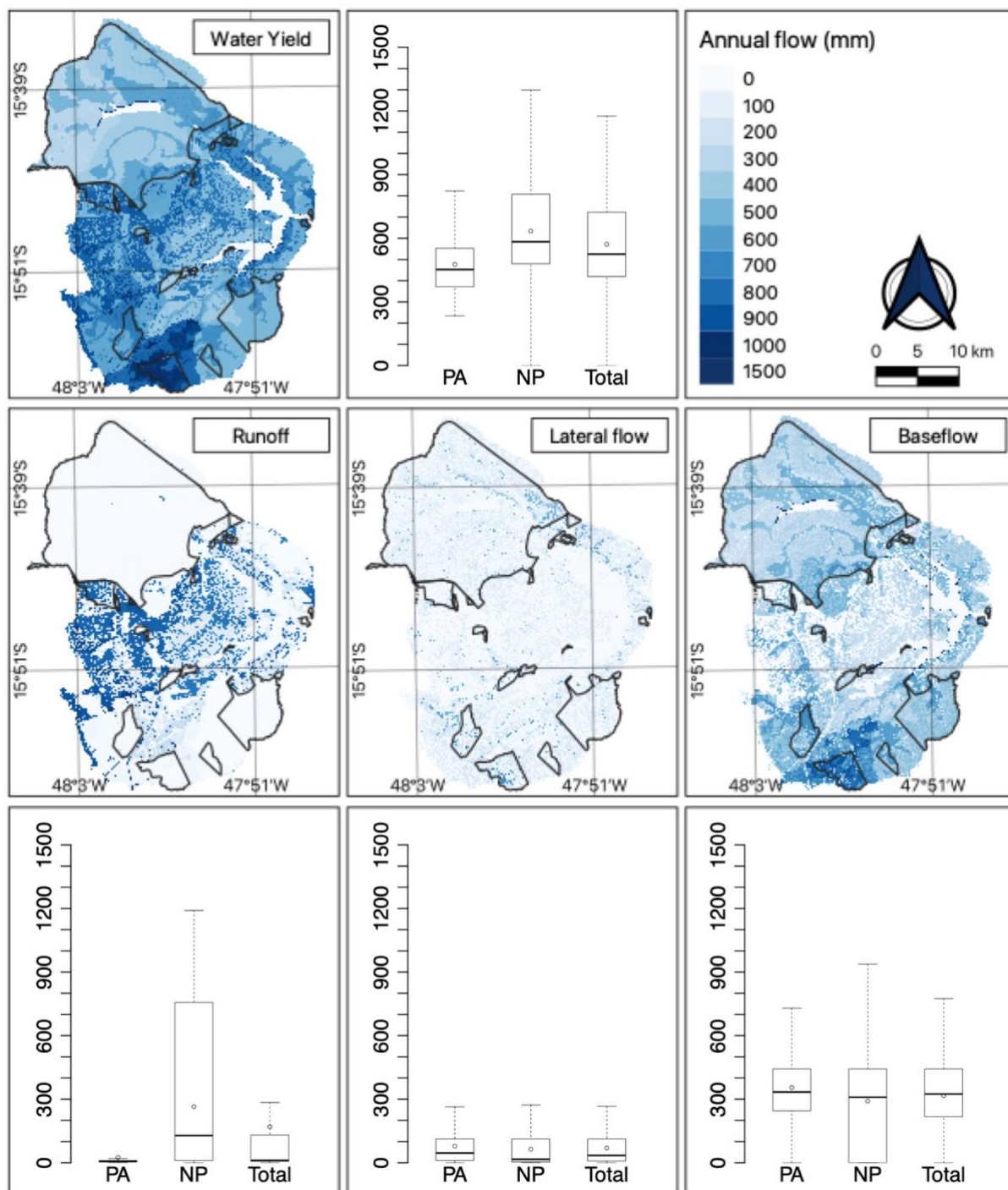
A produção de água é definida no SWAT como um balanço da soma do escoamento superficial, fluxo lateral e fluxo basal, subtraídas as perdas por transmissão – do canal para o aquífero – e empoçamentos (Arnold et al. 2012). A média anual da produção de água na área não protegida foi 157 mm maior do que nas áreas protegidas, no entanto, cada qual teve diferentes proporções de contribuição dos componentes escoamento superficial, fluxo lateral e fluxo basal (**Figura 2.13**). O escoamento atingiu os maiores valores na cobertura urbana, seja em áreas edificadas (822 mm/ano, a maior média), seja em áreas verdes (156 mm/ano). As áreas nativas, por sua vez, apresentaram as menores médias, entre 5,7 e 7,8 mm/ano, o que está dentro do observado no bioma em diferentes regiões (**Tabela 2.5**). O fluxo lateral foi baixo em toda a bacia, em função principalmente da baixa declividade – 0-20% (**Figura 2.5**) (Arnold et al. 2012; Neitsch et al. 2009). Já o fluxo basal se concentrou nas áreas protegidas, onde também apresentou menor variabilidade. Isso é relevante pois, além da oferta direta de água, essas áreas protegidas resultam em uma água de boa qualidade, devido à retenção de solutos e sedimentos (Cordeiro et al. 2020). O fluxo basal foi favorecido nas unidades hidrológicas que tiveram baixo fluxo lateral, ou seja, menores declividades, além de solos mais rasos (Neitsch et al. 2009) e de coberturas com menor evapotranspiração (Anache et al. 2019). Nas áreas urbanas, apesar da menor evapotranspiração, a maior parte da água escoou na superfície e os solos são mais profundos (Latosolos), o que justifica o menor fluxo basal.

A produção de água pelas unidades hidrológicas na bacia do Lago Paranoá apresentou diferença entre áreas protegidas e não protegidas bem mais evidente do que a evapotranspiração, não apenas na quantidade, mas também no particionamento entre seus subcomponentes – escoamento, fluxo lateral e fluxo basal (**Figura 2.13**). O alto escoamento das áreas urbanas pode ser ainda mais impactante ao considerar que a bacia do Riacho Fundo, a mais antropizada entre as bacias calibradas, teve vazões de pico subestimadas pelo modelo

(Tabela 2.3 e Figura 2.9). Esse fluxo é o principal responsável por enchentes, erosão dos solos e contaminação da água (Gomes e de Magalhaes 2010) e aponta para a necessidade de se planejar e adaptar o ambiente urbano para capturar e absorver a água das chuvas, em vez de repelir (Qiao, Liao, e Randrup 2020; Zevenbergen, Fu, e Pathirana 2018). A maior infiltração permitiria também uma maior disponibilidade de água para as plantas, aumentando a evapotranspiração urbana e contribuindo para os benefícios já citados (Anache et al. 2019).

O fluxo basal, por sua vez, foi o maior contribuinte da produção de água nas áreas protegidas. Esse fluxo é o principal responsável pela manutenção da vazão durante o período da seca (Bart e Hope 2014; Dralle et al. 2016) e aponta para o papel dessas áreas para a segurança hídrica. Isso é ainda mais relevante considerando que a região já passou por uma grave crise hídrica, influenciada pela baixa precipitação (ANA , 2018). Assim, a manutenção e até mesmo a expansão de áreas protegidas é uma estratégia eficiente para aumentar a resiliência da região frente a esses eventos que devem se tornar ainda mais recorrentes no futuro (IPCC 2021).





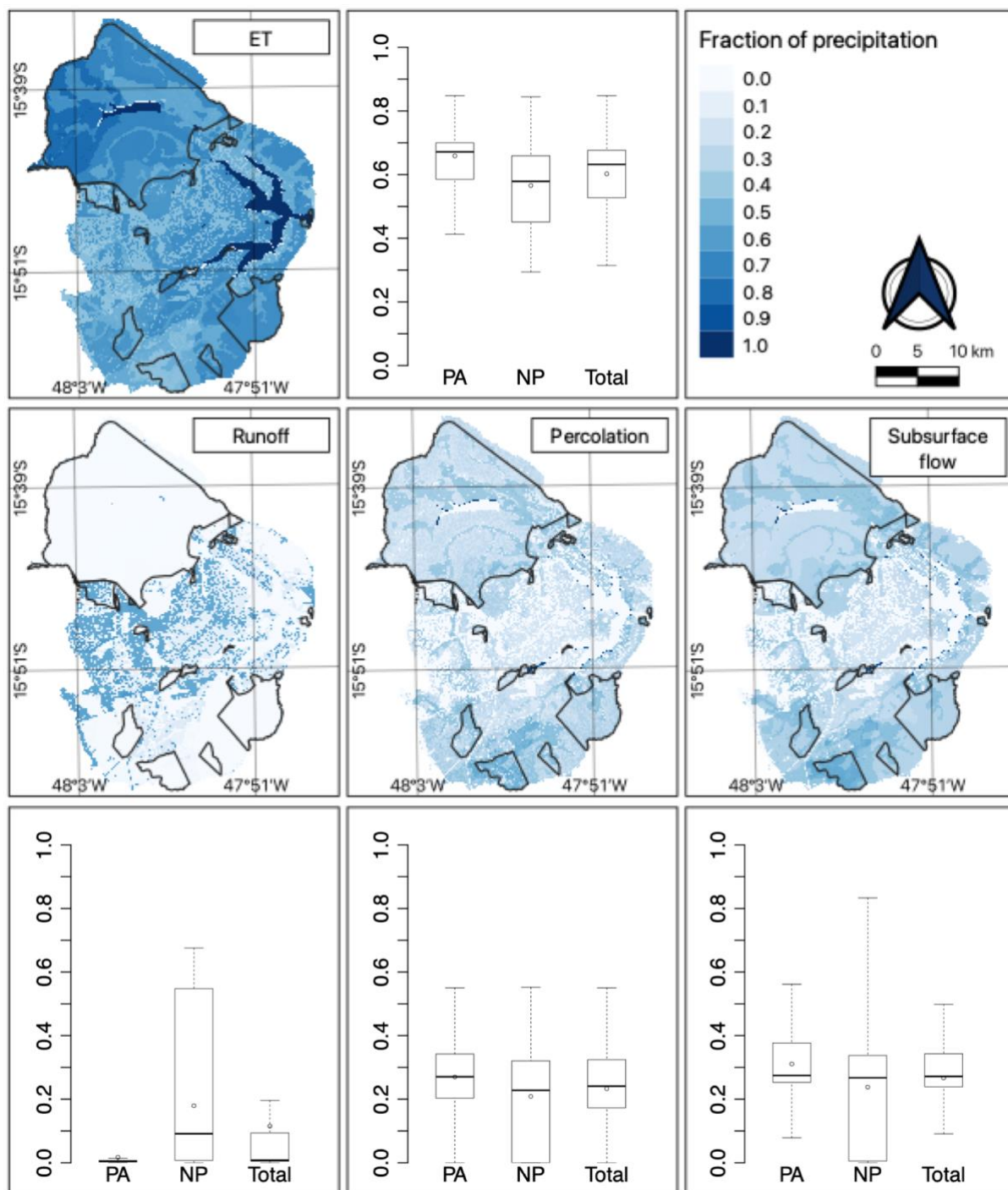
**Figura 2.13.** Distribuição espacial da produção de água anual (2006-2010) por unidade hidrológica (*hydrologic response unit* – HRU) e dos seus subcomponentes – escoamento superficial, fluxo lateral e fluxo basal – na bacia do Lago Paranoá (DF) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). A distribuição dos valores da produção de água dentro das unidades de conservação (PA), nas áreas não protegidas (NP) e na totalidade da bacia (Total) está à esquerda do mapa e a dos demais componentes estão sob os respectivos mapas. A média (pontos) da produção de água em cada área é: 477 mm/ano, 634 mm/ano, 572 mm/ano, respectivamente. A média do escoamento superficial em cada área é: 25 mm/ano, 264 mm/ano, 169 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo lateral em cada área é: 78 mm/ano, 64 mm/ano, 70 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo basal em cada área é: 355 mm/ano, 291 mm/ano, 316 mm/ano, respectivamente. *Obs.:* Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.

### 3. Valores relativos à precipitação

Ao mapear os componentes hidrológicos pela fração da precipitação para retirar o efeito da sua variabilidade, a diferença na evapotranspiração se tornou mais evidente, com uma diferença de quase 10% entre as áreas protegidas (66%) e não protegidas (57%) (**Figura 2.14**). A percolação das áreas protegidas (27%) se mostrou dentro do intervalo observado na literatura (**Tabela 2.5**), no entanto, é preciso destacar a alta variabilidade desses dados de referência. Já o fluxo subsuperficial (fluxo lateral mais fluxo basal) estimado ficou fora do intervalo, mas próximo, do que já foi observado no bioma em diferentes regiões do Cerrado, incluindo o DF (31% e 25-27%, respectivamente) (**Tabela 2.5**).

O balanço hídrico das áreas protegidas na bacia do Lago Paranoá se mostrou bem próximo do que já foi observado no Cerrado (**Figura 2.14 e Tabela 2.5**). Indicando que essas unidades podem atuar na manutenção do regime hidrológico natural da bacia. A área não protegida, por sua vez, apresentou um balanço diferente e teve a maior variabilidade de valores. Isso reflete a heterogeneidade dessa área, que, mesmo dominada por cobertura urbana, também conta com áreas naturais não protegidas e áreas agrícolas (**Figura 2.5**). Essas áreas atenuaram o efeito dos valores extremos observados na cobertura urbana e contribuíram, inclusive, para uma aproximação das médias de fluxo basal (**Figura 2.13**). Isso demonstra que mesmo áreas naturais não protegidas podem contribuir com a oferta de serviços ecossistêmicos e ressalta a importância de se estabelecer mecanismos para seu uso sustentável afim de manter esses serviços (Avigliano et al. 2019; Castro et al. 2015). Essa contribuição de áreas não protegidas pode ser especialmente importante quando o processo de criação das unidades de conservação não priorizou serviços ecossistêmicos hídricos, por priorizar a biodiversidade, por exemplo (Margules e Pressey 2000), ou quando a demanda é maior do que a área pode ofertar, o que pode facilmente acontecer em uma cidade muito populosa (González-García et al. 2022).

Mesmo que as áreas não protegidas tenham potencial para complementar a oferta de serviços ecossistêmicos hídricos, a rede de unidades de conservação ainda é a forma mais eficiente de preservar a cobertura vegetal e os serviços ecossistêmicos do Cerrado (Carranza et al. 2014; Resende et al. 2021). Isso é particularmente importante no Distrito Federal, devido a pressão do crescimento urbano sobre áreas nativas (dos Anjos et al. 2019). Além disso, mudanças no regime de queimadas podem prejudicar os serviços ecossistêmicos hídricos das áreas nativas (Rodrigues et al. 2019) – isso é relevante considerando o histórico de queimadas no Distrito Federal (Silva, Costa, e Matricardi 2017) –, mas algumas unidades de conservação já contam com iniciativas de manejo integrado do fogo (Hoffmann et al. 2020).



**Figura 2.14.** Distribuição espacial da evapotranspiração (**ET**), do escoamento superficial, da percolação e do fluxo subsuperficial (fluxo lateral + fluxo basal) como fração da precipitação (2006-2010) na bacia do Lago Paranoá (DF). A distribuição dos valores de cada componente nas unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa, no caso da ET, e sob os mapas, no caso dos demais componentes. A fração média (**ponto**) da ET em cada área é: 0,66, 0,57, 0,60, respectivamente. A fração média do escoamento em cada área é: 0,02, 0,18, 0,11, respectivamente. A fração média da percolação em cada área é: 0,27, 0,21, 0,23, respectivamente. A fração média do fluxo subsuperficial em cada área é: 0,31, 0,24, 0,27, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.*

## *Mapeamento dos componentes hidrológicos na sub-bacia do Rio Paranã*

A sub-bacia do Rio Paranã, apesar de ser apenas uma parte da bacia, representa bem o contexto regional. A bacia do Rio Paranã, tributário do Rio Tocantins, é caracterizada por um mosaico de pastagens e vegetação natural, principalmente, solos da classe dos Latossolos, Neossolos, Argissolos, Plintossolos e Cambissolos, majoritariamente, além de áreas protegidas concentradas em relevo mais acidentado – ou seja, que representam baixo interesse para a agropecuária (Vieira et al. 2019). Além disso, a região também se destaca pela baixa segurança hídrica de resiliência (Ravanello 2020). Por isso, os resultados encontrados para a sub-bacia definida neste estudo podem se aplicar também ao restante da região. O modelo da sub-bacia do Rio Paranã apresentou diferenças marcantes na validação em comparação com a calibração e com o balanço hídrico observado no Cerrado (**Tabela 2.5**), por isso, os resultados das duas etapas estão apresentados neste trabalho.

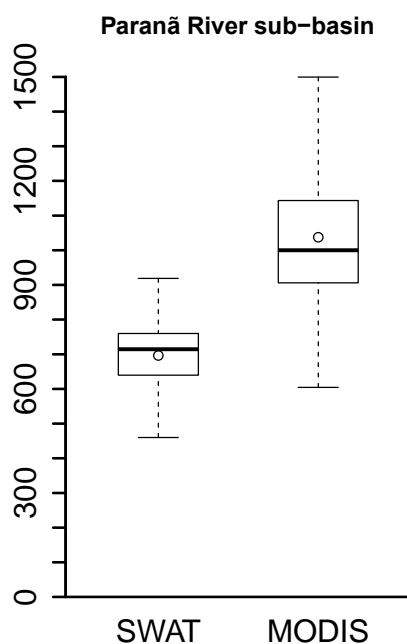
### 1. Evapotranspiração

A evapotranspiração da sub-bacia variou em torno de 694 e 756 mm/ano (**Figura 2.17** e **Figura 2.16**), magnitude já observada, por exemplo, no DF (**Tabela 2.5**), mas abaixo dos valores calculados por Costa et al. (2003) para a região do Alto Tocantins – 1175 mm/ano, obtido pelo cálculo do balanço hídrico, não por medição. As taxas das áreas protegidas e da área não protegida foram similares entre si em ambas as etapas do modelo, com uma diferença de 46 mm na calibração e 77 mm na validação. O fato de que as coberturas predominantes em cada uma das áreas, vegetação nativa e pastagem, apresentaram valores similares pode ter contribuído para isso. A evapotranspiração média de pastagens foi 698 mm/ano na calibração e 642 mm/ano na validação, já a da vegetação nativa foi entre 703 e 735 mm/ano na calibração e 645 e 684 mm/ano na validação, a depender da fitofisionomia – campestre, savânica ou florestal. A diferença entre os tipos de solos, por outro lado, foi mais marcante e sua influência está evidenciada no padrão espacial desse componente na bacia (**Figura 2.17** e **Figura 2.16**).

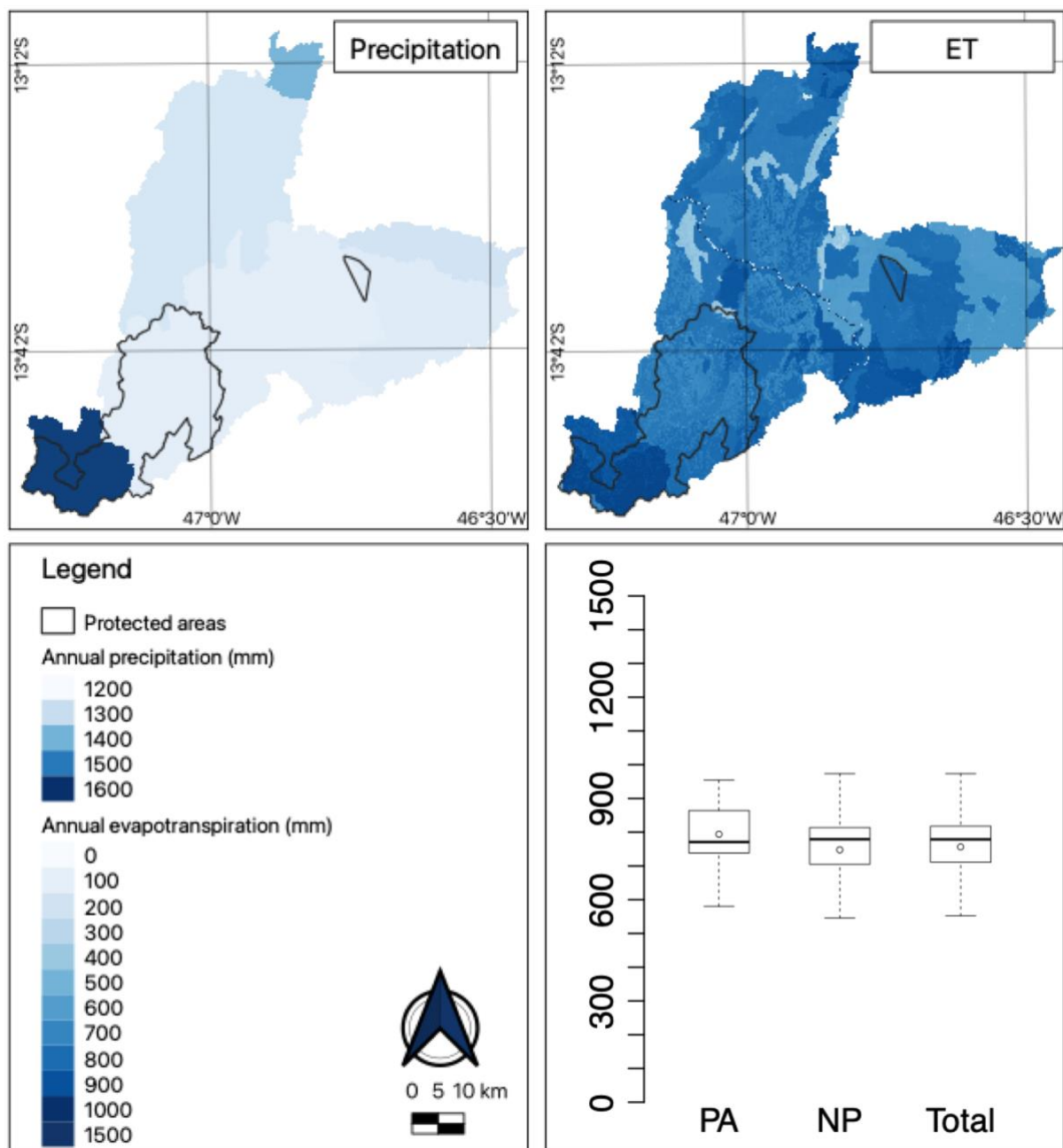
Os solos com menores taxas de evapotranspiração foram afloramento rochoso, que ocupa 4% da sub-bacia (455 mm/ano na calibração e 432 mm/ano na validação) e Neossolo Litólico, 12% da sub-bacia (629 mm/ano na calibração e 552 mm/ano na validação) (**Figura 2.6**). Já os solos com maiores taxas foram Latossolo Vermelho, 7% da sub-bacia (868 mm/ano na calibração e 777 mm/ano na validação), Gleissolo Háplico, 0,5% da sub-bacia (978 mm/ano na calibração e 853 mm/ano na validação) e Plintossolo Argilúvico, 5% da sub-bacia (857 mm/ano na calibração e 819 mm/ano na validação) (**Figura 2.6**).

A estimativa do SWAT também ficou abaixo da estimativa obtida a partir do sensor MODIS, que foi 1037 mm/ano, ou seja, 340 mm maior – diferença de 33% (**Figura 2.11**). Os dados do modelo convergem com os menores valores encontrados na literatura enquanto os do MODIS convergem com os maiores (**Tabela 2.5**), com uma média que equivale a 93% da precipitação no período. As maiores taxas de evapotranspiração verificadas pelo sensor MODIS se concentram na região leste da sub-bacia (dado não mostrado), que tem um relevo mais plano e maior cobertura antrópica (**Figura 2.6**). Já no SWAT, entre as menores taxas de evapotranspiração estão as unidades hidrológicas com Neossolo Litólico, que se concentram justamente nessa região. Parte dessa discrepância é fruto dos diferentes parâmetros considerados em cada metodologia. O SWAT considera inúmeros parâmetros de clima, solo, vegetação e manejo (Neitsch et al. 2009), já o MODIS se baseia basicamente em parâmetros da vegetação e da superfície – índice de área foliar, fração da radiação fotossinteticamente ativa e albedo (Running et al. 2019). Inclusive, justamente por depender tanto de parâmetros da vegetação, já foi verificado que o sensor superestimou a evapotranspiração de pastagens na Amazônia durante períodos de baixa radiação (Brito et al. 2018). Apesar de a radiação não ser o maior limitante da evapotranspiração no Cerrado (Biudes et al. 2015), isso reforça a necessidade de medição direta de dados em campo para melhor compreender os potenciais e limitações dos modelos disponíveis.

Quanto ao modelo SWAT, o mapeamento indica forte efeito dos solos na evapotranspiração (**Figura 2.16, Figura 2.17**). Inclusive, a evapotranspiração das diferentes fisionomias do Cerrado pouco diferiu entre si nas duas etapas do modelo – variação de 703 a 735 mm/ano na calibração e de 644 a 684 mm/ano na validação, com campo apresentando as maiores taxas. Isso pode apontar para uma maior dependência dos parâmetros de solo no modelo construído, o oposto do que ocorre com o sensor MODIS, como também pode indicar que o efeito dos solos na evapotranspiração se sobressai ao da vegetação em escala de paisagem. É interessante notar, porém, que o solo que coincidiu com a menor evapotranspiração neste trabalho, foi o que apresentou as maiores taxas no trabalho de Bosquilia et al. (2019), que utilizaram dados de satélite. A concentração de estudos nos tipos de solos mais abundantes (Latosolos e Neossolos, especificamente Neossolo Quartzarênico) e em escala local dificulta a interpretação dessas incoerências (Cap. 1) e, mais uma vez, reforça a necessidade de coletar dados de ambientes com diferentes combinações de solo e vegetação e em diferentes escalas para melhor compreender os processos em nível de paisagem.

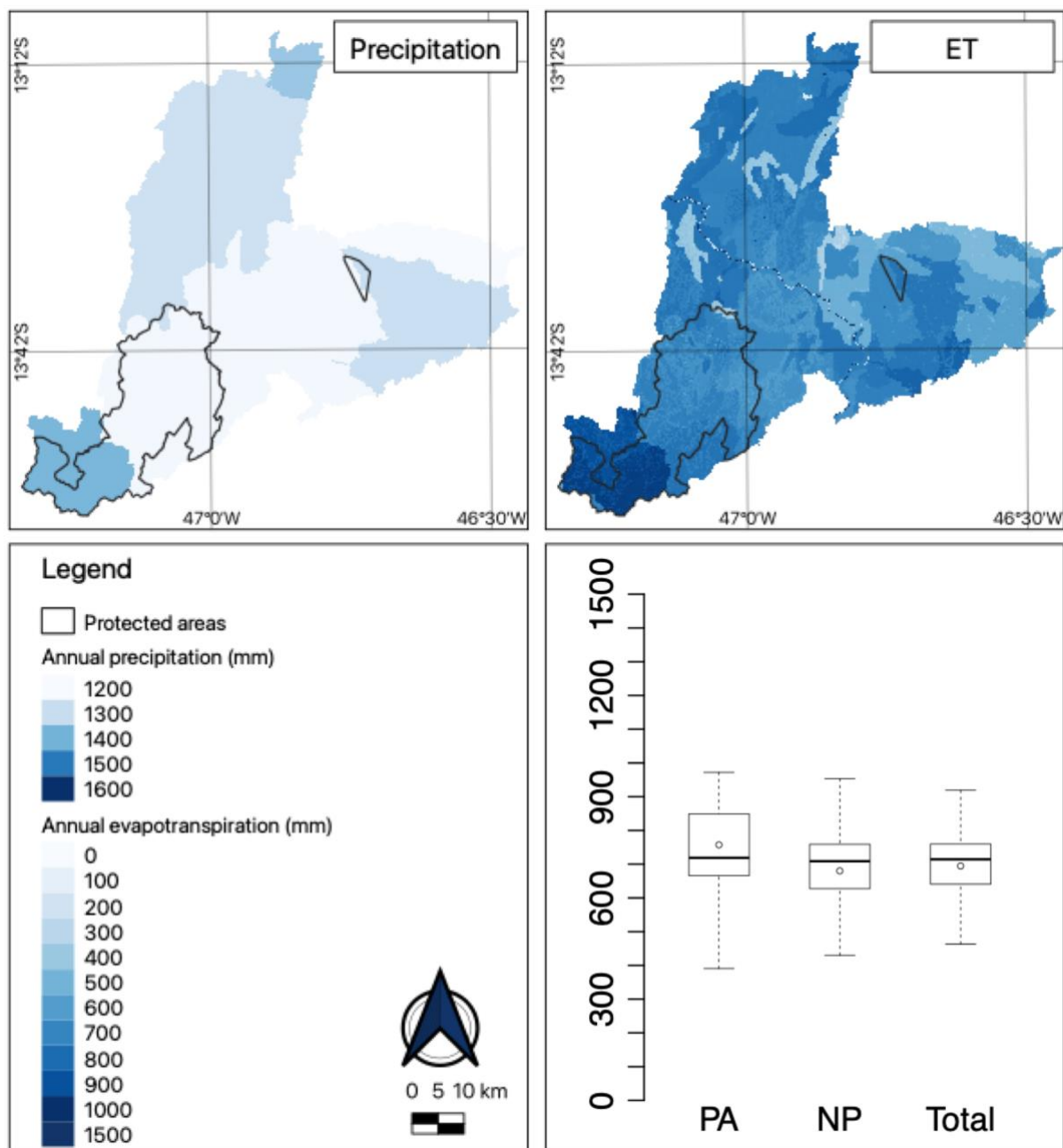


**Figura 2.15.** Comparação da evapotranspiração anual estimada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e pelo satélite MODIS entre 2010 e 2014, na sub-bacia do Rio Paranã (GO). Os **pontos** indicam as médias de cada grupo, que são, respectivamente, 697 mm/ano e 1037 mm/ano. *Obs.: a resolução do modelo foi de 30m na sub-bacia do Rio Paranã, enquanto o MODIS tem resolução de 500 metros.* Essa comparação vale apenas para áreas vegetadas, pois o MODIS não mede ET de áreas predominantemente urbanas e nem de espelhos de água.



**Figura 2.16.** Distribuição espacial da precipitação e da evapotranspiração (ET) anual no período de calibração (1997-2006) na sub-bacia do Rio Paranã (GO) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e distribuição dos valores de ET dentro das unidades de conservação (PA), nas áreas não protegidas (NP) e na totalidade da bacia (Total). Os pontos representam as médias, que são, respectivamente, 794 mm/ano, 748 mm/ano e 756 mm/ano. Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.





**Figura 2.17.** Distribuição espacial da precipitação e da evapotranspiração (ET) anual no período de validação (2010-2014) na sub-bacia do Rio Paranã (GO) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e distribuição dos valores de ET dentro das unidades de conservação (PA), nas áreas não protegidas (NP) e na totalidade da bacia (Total). Os pontos representam as médias, que são, respectivamente, 757 mm/ano, 680 mm/ano e 694 mm/ano. Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.

## 2. Escoamento superficial, fluxos lateral e basal

Quanto à produção de água na sub-bacia do Rio Paranã, houve diferença entre as etapas de calibração (1997-2006) e validação (2010-2014). No período de calibração, a produção de água foi maior nas áreas protegidas do que na área não protegida (**Figura 2.18**). Apesar de o escoamento superficial nas áreas não protegidas (61 mm/ano) ter sido praticamente o dobro do da área protegida (32 mm/ano), tanto o fluxo lateral quanto o fluxo basal foram maiores nas áreas protegidas, com uma diferença de 102 mm e 34 mm, respectivamente, o que aumentou a produção de água nessas áreas. Porém, assim como ocorreu na bacia do Lago Paranoá, a contribuição relativa de cada componente variou entre as áreas, com o fluxo lateral predominando nas áreas protegidas (cerca de 50% da produção, seguida de fluxo basal com 35% e escoamento com 15%) e fluxo basal predominando nas áreas não protegidas (cerca de 40% da produção, seguida de 35% de escoamento e 25% de fluxo lateral).

O escoamento superficial teve grande influência da cobertura da terra, afinal, essa é a primeira barreira para a infiltração da água no solo (Bessi et al. 2018). As áreas antropizadas, como é de se esperar (Anache et al. 2018; Chaves e Piau 2008), apresentaram as maiores taxas de escoamento, com destaque para agricultura (139 mm/ano) e pastagem (137 mm/ano). E, entre as áreas naturais, os campos tiveram maior escoamento (50 mm/ano). O tipo de solo também exerceu influência no escoamento, mas menor. Enquanto os afloramentos rochosos tiveram a maior taxa (190 mm/ano), os Latossolos tiveram a menor (29 mm/ano), mesmo com a extensa cobertura de pastagem nesses solos (**Figura 2.6**). O fluxo lateral, por sua vez, teve grande correlação com as áreas de alto declive, que dominam na área protegida do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (**Figura 2.18, Figura 2.6**) e contribuíram para as altas taxas observadas. Já o fluxo basal, além de ter predominado nas áreas de menor declive, foi favorecido pelos solos mais rasos que, inclusive, se concentram nas áreas de menor declive da

bacia. Além disso, esse componente também teve uma relação inversa com a evapotranspiração e fluxo lateral.

No período de validação, a produção de água nas áreas protegidas diminuiu e se assemelhou a das áreas não protegidas (**Figura 2.19**), diferindo, portanto, do período de calibração. Parte dessa diminuição, provavelmente, está associada à diminuição da precipitação em sítios de alta produção de água, principalmente na região sudoeste da sub-bacia, onde choveu 370 mm a menos no período de validação. O escoamento diminuiu praticamente pela metade nas áreas protegidas – o que, em termos absolutos, significou 15 mm – e permaneceu semelhante nas áreas não protegidas, mantendo o padrão do período de calibração. O fluxo lateral também manteve o padrão observado na calibração. Já o fluxo basal, apresentou as diferenças mais impactantes entre a calibração e validação, principalmente nos fluxos das áreas protegidas. Com a diminuição do fluxo basal nessas áreas para 27 mm/ano, as áreas não protegidas passaram a superá-las nesse quesito. Ainda assim, observa-se que, durante o período de calibração, o grande volume de chuvas na região sudoeste da área do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros provocou alto fluxo basal (**Figura 2.18**) e, no restante da bacia, a distribuição espacial desse fluxo foi determinada predominantemente pelo relevo e solo. Durante o período de validação, com a diminuição das chuvas na região em questão, seu efeito sobre o fluxo basal diminuiu e destacou ainda mais o papel do relevo e dos solos presentes na área não protegida, que facilitam esse fluxo.

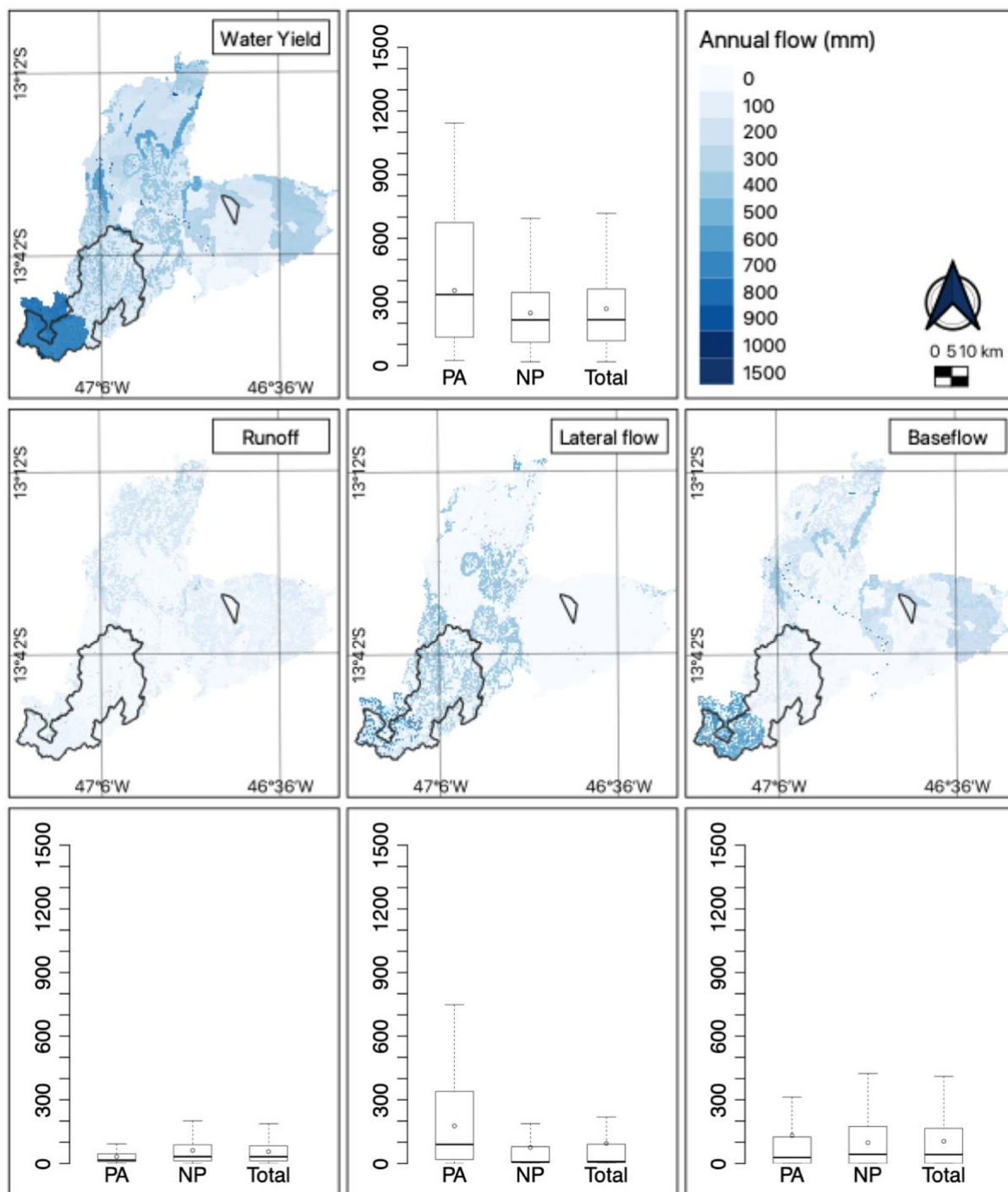
A produção de água na sub-bacia do Rio Paranã, apesar das diferenças entre os períodos usados para calibração e validação, demonstrou padrões claros. Em primeiro lugar, houve uma prevalência de fluxo lateral nas áreas protegidas, em detrimento do escoamento e do fluxo basal, e, em segundo lugar, o escoamento superficial foi maior na área não protegida (**Figura 2.18, Figura 2.19**). O fluxo basal, por sua vez, foi o que mais mudou entre as etapas, mas o mapeamento indica que as unidades hidrológicas com as maiores taxas se concentram na área

não protegida, influenciada pelo relevo menos acidentado e pelos solos mais rasos. O fluxo basal é favorecido nos solos mais rasos pois o volume de água necessário para saturar esses solos é menor, e o relevo mais plano inibe o alto fluxo lateral (Arnold et al. 2012; Neitsch et al. 2009). Esses resultados demonstram que nessa sub-bacia, a maior área protegida (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros) tem menor potencial de contribuição para os fluxos lentos, ou seja, os fluxos da seca, em comparação com a área não protegida. Ainda, se não fosse o alto escoamento causado pela cobertura entrópica – um fluxo muito rápido que gera perda de água e sedimentos (Chaves e Piau 2008) –, é provável que a contribuição da área não protegida para o fluxo basal fosse ainda maior. Assim, verifica-se que, na área não protegida, não apenas há prejuízo ao serviço ecossistêmico em questão, como o potencial de compensação das áreas protegidas é baixo. Por isso, é importante a adoção de boas práticas agrícolas que visem a minimizar o escoamento nas áreas antropizadas da bacia (Strauch et al. 2013), principalmente, considerando a sua baixa segurança hídrica de resiliência (Ravanello 2020), que leva em conta precisamente a capacidade de manutenção da oferta de água mesmo em situações de baixa pluviosidade (ANA 2019).

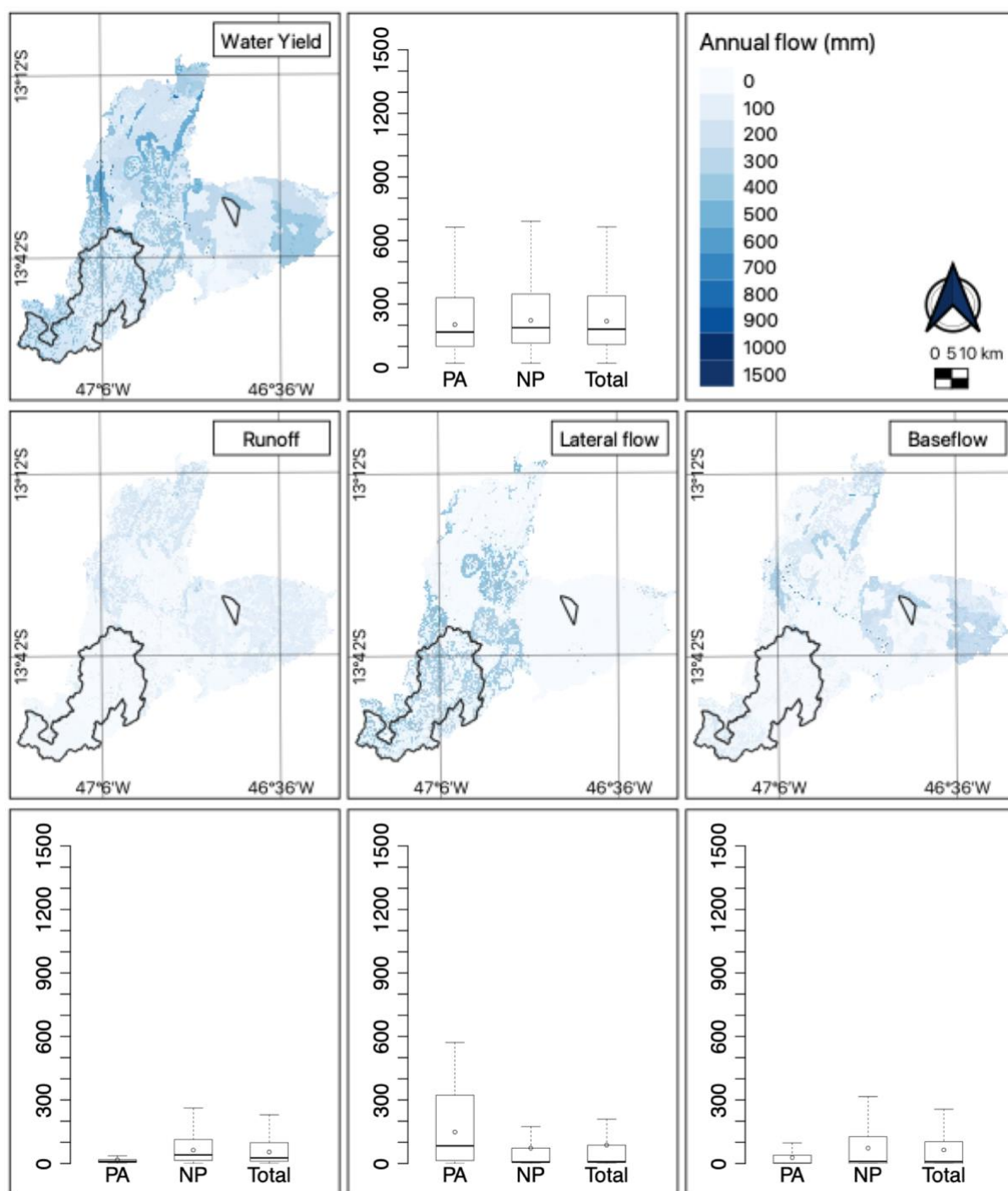
Em relação ao escoamento, estudos realizados no Cerrado são consoantes quanto ao baixo escoamento no bioma (**Tabela 2.5**), mas a maioria foi realizada em Latossolos que, também no modelo, apresentaram baixo escoamento. Dos poucos estudos que avaliaram outros tipos de solo, ainda menos avaliaram efeitos da cobertura da terra (Cap. 1). Ou seja, o conhecimento ainda incipiente sobre o escoamento superficial nos diversos solos do Cerrado e sua interação com o uso e cobertura da terra dificultam as comparações sobre os resultados gerados pelo modelo sobre esse componente do ciclo hidrológico.

No que diz respeito às diferenças entre os períodos considerados para a calibração e a validação na estimativa do fluxo basal, há de se considerar alguns pontos. Em primeiro lugar, as variáveis climáticas e o volume de precipitação não diferiram drasticamente entre os

períodos – apesar de a distribuição da precipitação ter mudado (**Figura 2.16** e **Figura 2.17**). Em segundo lugar, entre os cinco parâmetros mais sensíveis nessa bacia (**Tabela 2.4**), estão dois coeficientes relacionados ao fluxo subsuperficial – ALPHA\_BF (fator alpha do fluxo base) e REVAPMN (profundidade limite do aquífero raso para ocorrer “revap” ou percolação para o aquífero profundo) (Arnold et al. 2012). Finalmente, um dos fatores considerados pela ANA para a classificação de segurança hídrica da região foi justamente o estoque de água subsuperficial. Assim, a caracterização dos processos hidrológicos subterrâneos parecem ser chave para o entendimento dessa bacia e o estudo mais aprofundado dos seus parâmetros pode proporcionar uma base teórica mais detalhada para a modelagem e conservação dos recursos hídricos na bacia. Inclusive, a revisão da literatura demonstrou que ainda não existem estudos na região no que se refere ao fluxo basal ou água subterrâneas (Cap. 1), além disso, existem pivôs centrais para irrigação instalados na região (Guimarães et al. 2019), o que acentua ainda mais a necessidade de investigação do tema.



**Figura 2.18.** Distribuição espacial da produção de água anual no período de calibração (1997-2006) por unidade hidrológica (*hydrologic response unit* – HRU) e dos seus subcomponentes – escoamento superficial, fluxo lateral e fluxo basal – na sub-bacia do Rio Paraná (GO) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). A distribuição dos valores da produção de água dentro das unidades de conservação (PA), nas áreas não protegidas (NP) e na totalidade da bacia (Total) está à esquerda do mapa e a dos demais componentes estão sob os respectivos mapas. A média (pontos) da produção de água em cada área é: 354 mm/ano, 248 mm/ano, 268 mm/ano, respectivamente. A média do escoamento superficial em cada área é: 32 mm/ano, 61 mm/ano, 56 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo lateral em cada área é: 177 mm/ano, 75 mm/ano, 94 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo basal em cada área é: 132 mm/ano, 98 mm/ano, 105 mm/ano, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo de quartis e médias.*

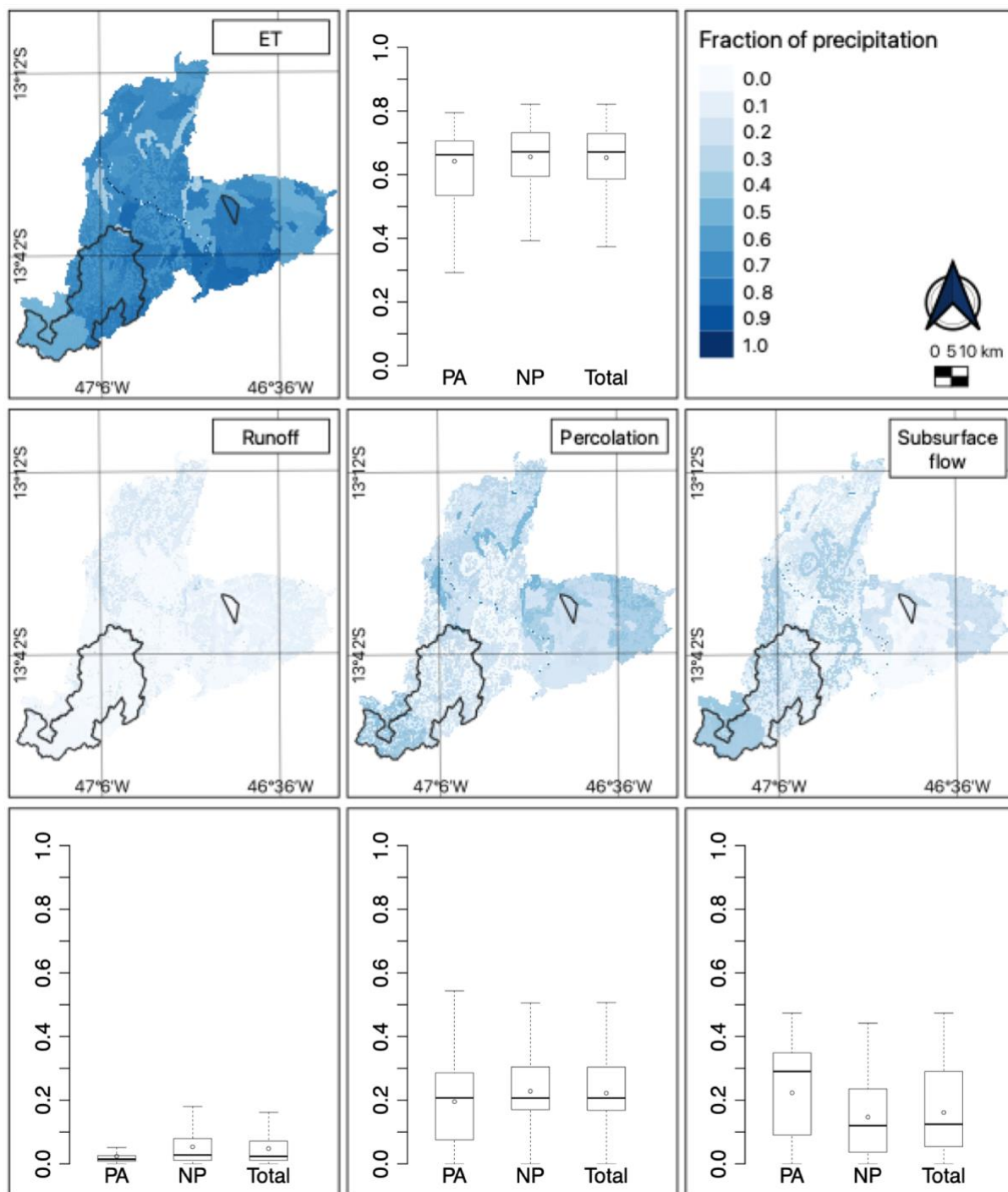


**Figura 2.19.** Distribuição espacial da produção de água anual no período de validação (2010-2014) por unidade hidrológica (*hydrologic response unit* – HRU) e dos seus subcomponentes – escoamento superficial, fluxo lateral e fluxo basal – na sub-bacia do Rio Paraná (GO) calculada pelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). A distribuição dos valores da produção de água dentro das unidades de conservação (PA), nas áreas não protegidas (NP) e na totalidade da bacia (Total) está à esquerda do mapa e a dos demais componentes estão sob os respectivos mapas. A média (pontos) da produção de água em cada área é: 203 mm/ano, 223 mm/ano, 219 mm/ano, respectivamente. A média do escoamento superficial em cada área é: 17 mm/ano, 63 mm/ano, 55 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo lateral em cada área é: 148 mm/ano, 72 mm/ano, 86 mm/ano, respectivamente. A média do fluxo basal em cada área é: 27 mm/ano, 72 mm/ano, 64 mm/ano, respectivamente. *Obs.:* *Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.*

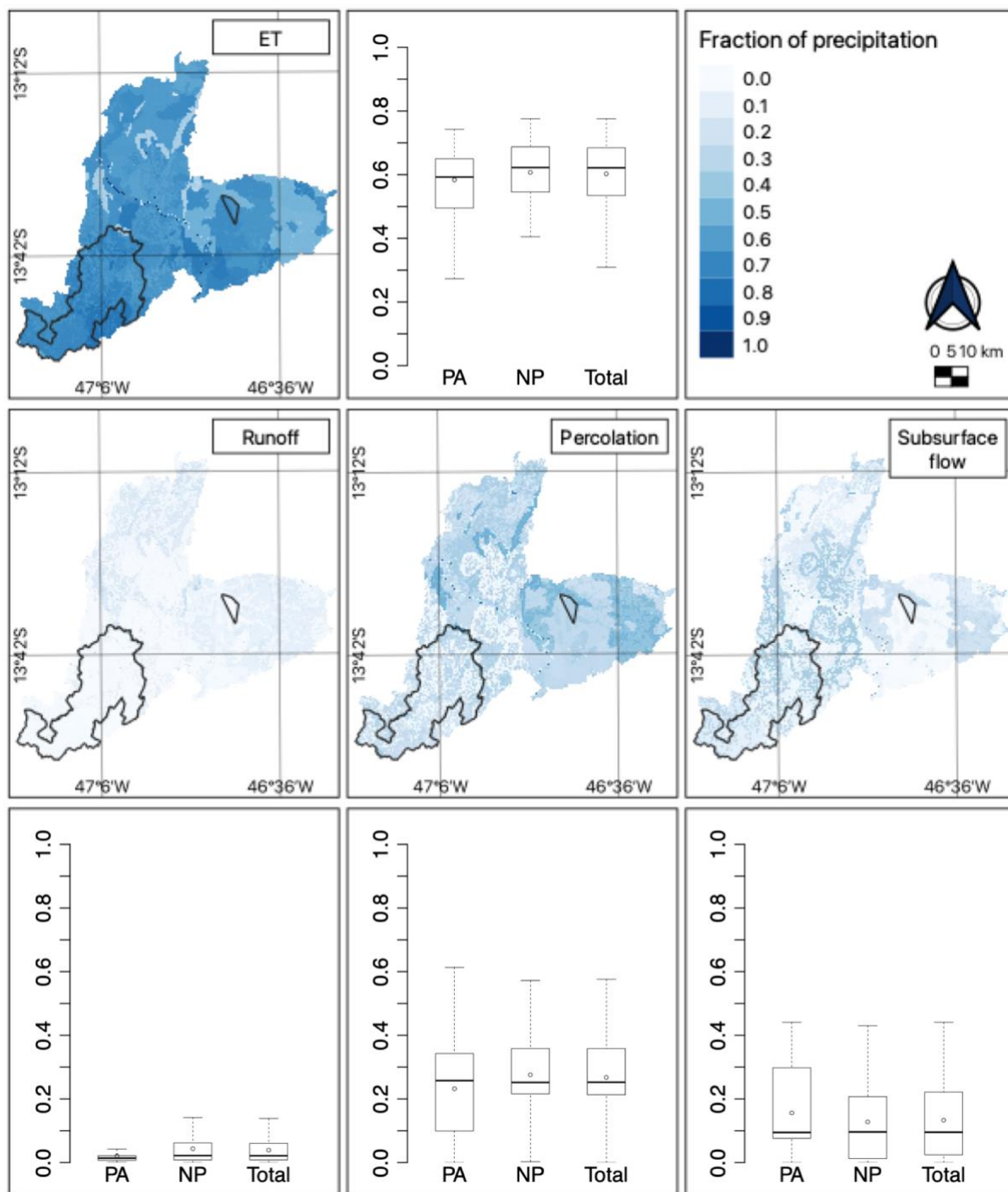
### 3. Valores relativos à precipitação

Ao considerar os componentes como fração da precipitação, observa-se uma boa concordância entre os valores simulados de evapotranspiração, escoamento e percolação e os valores observados na literatura (**Figura 2.20**, **Figura 2.21** e **Tabela 2.5**). A diferença do escoamento entre o período de calibração e validação foi negligenciável. Já a fração da evapotranspiração, no período de validação, diminuiu, acompanhada também de um aumento na fração da percolação, uma vez que esses componentes são inversamente relacionados (Anache et al. 2019). Mesmo assim, a diferença não passou de 6% entre as duas etapas e pode ter sido reflexo de diferenças no volume e distribuição da precipitação (**Figura 2.16** e **Figura 2.17**). O fluxo subsuperficial, por sua vez, em ambas as etapas apresentou valores abaixo do que já foi identificado em estudos de outras regiões do Cerrado – 25 a 27% (**Tabela 2.5**) –, principalmente na validação. A diferença nas taxas desse fluxo entre as etapas se deu principalmente pela diminuição nas áreas protegidas, onde a diminuição na precipitação foi a mais marcante (370 mm). O subcomponente mais responsável por essa diminuição, porém, foi o fluxo basal, cuja média diminuiu 61% entre as etapas (**Figura 2.18** e **Figura 2.19**).





**Figura 2.20.** Distribuição espacial da evapotranspiração (**ET**), do escoamento superficial, da percolação e do fluxo subsuperficial (fluxo lateral + fluxo basal) como fração da precipitação no período de calibração (1997-2006) na sub-bacia do Rio Paranã (GO). A distribuição dos valores de cada componente nas unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa, no caso da ET, e sob os mapas, no caso dos demais componentes. A fração média (**ponto**) da ET em cada área é: 0,64, 0,66, 0,65, respectivamente. A fração média do escoamento em cada área é: 0,02, 0,05, 0,05, respectivamente. A fração média da percolação em cada área é: 0,20, 0,23, 0,22, respectivamente. A fração média do fluxo subsuperficial em cada área é: 0,22, 0,15, 0,16, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.*



**Figura 2.21.** Distribuição espacial da evapotranspiração (**ET**), do escoamento superficial, da percolação e do fluxo subsuperficial (fluxo lateral + fluxo basal) como fração da precipitação no período de validação (2010-2014) na sub-bacia do Rio Paranã (GO). A distribuição dos valores de cada componente nas unidades de conservação (**PA**), nas áreas não protegidas (**NP**) e na totalidade da bacia (**Total**) está à esquerda do mapa, no caso da ET, e sob os mapas, no caso dos demais componentes. A fração média (**ponto**) da ET em cada área é: 0,58, 0,61, 0,60, respectivamente. A fração média do escoamento em cada área é: 0,02, 0,04, 0,04, respectivamente. A fração média da percolação em cada área é: 0,23, 0,28, 0,27, respectivamente. A fração média do fluxo subsuperficial em cada área é: 0,16, 0,13, 0,13, respectivamente. *Obs.: Píxeis representantes de espelhos de água foram desconsiderados para o cálculo dos quartis e das médias.*

### *Considerações finais*

Os resultados apresentados indicam que em cada uma das bacias estudadas o papel das unidades de conservação no regime hídrico é diferente. Na bacia do Lago Paranoá, as áreas protegidas por unidades de conservação são chave para a promoção da infiltração da água no solo – em oposição ao escoamento superficial – e para a manutenção dos fluxos lentos. Assim, contribuem para a segurança hídrica da população do DF que depende dessa bacia. Já na sub-bacia do Rio Paranã, apesar da promoção de maior infiltração nas áreas protegidas, os fluxos lentos são favorecidos, na verdade, pelas áreas não protegidas, em função principalmente do relevo. A análise das duas bacias, porém, apontou uma situação em comum: a necessidade de regular usos da terra e valorizar as funções ecossistêmicas de áreas não protegidas, seja para suprir altas demandas das áreas urbanas, seja para complementar a oferta por áreas protegidas.

### *Limitações e aperfeiçoamentos*

Alguns fatores dificultaram a construção e validação do modelo, devendo ser considerados na interpretação dos resultados e nas direções para desenvolvimento no futuro. Em primeiro lugar, algumas séries históricas incompletas – e aparentemente com algumas inconsistências, como parece ser o caso da bacia do Gama no Distrito Federal (ver resultados e Nunes 2016) – prejudicaram a delimitação dos períodos de calibração e validação, que poderiam ter sido maiores. Ainda sobre os dados de vazão, a restrita rede de estações na bacia do Rio Paranã também prejudicou a delimitação da área de estudo, de forma que a sub-bacia deste trabalho contou com um grande volume de entrada de água e isso afetou as estatísticas do modelo.

Quanto às estimativas de evapotranspiração do sensor MODIS que foram usadas para comparação da magnitude com relação às estimativas do modelo SWAT, observa-se que a falta de dados sobre áreas urbanas limitou a interpretação dos resultados na bacia do Lago Paranoá. Além disso, as diferenças observadas entre o modelo SWAT e o MODIS, provavelmente

devido à consideração de diferentes parâmetros (Arnold et al. 2012; Running et al. 2019), reforçam a necessidade de se coletar e analisar dados primários em campo.

Finalmente, todo o processo de modelagem deste trabalho reafirmou o que foi abordado no primeiro capítulo. É preciso preencher as lacunas de conhecimento sobre os componentes do balanço hídrico em diferentes tipos de solos e vegetação para aprimorar a análise do modelo, principalmente na fase de calibração inicial, realizada de forma manual, quando os resultados passam pelo primeiro filtro. As lacunas mais evidentes neste trabalho foram os estudos em solos menos abundantes no Cerrado e os estudos sobre processos subterrâneos, mais especificamente, fluxo basal.

## CONCLUSÕES

Este trabalho identificou padrões nas áreas de estudo que impactam o balanço hídrico local e resultam em diferentes implicações no que concerne às áreas protegidas de cada bacia. As principais conclusões, portanto, são:

1. As unidades de conservação na bacia do Lago Paranoá apresentaram taxas de fluxo hídrico próximas do que já foi observado no Cerrado e na região, com destaque para sua relevância no fluxo basal, o fluxo mais importante para a manutenção da vazão na seca. Ou seja, as unidades de conservação são chave para a segurança hídrica da região.
2. Na bacia do Lago Paranoá, as áreas com vegetação nativas fora das unidades de conservação exercem papel quase tão importante quanto as áreas nativas protegidas, pois atenuam os efeitos negativos da urbanização sobre diversos componentes hidrológicos (por exemplo, percolação). Por isso, planejamento territorial, mecanismos para manutenção da cobertura vegetal nativa em áreas não protegidas e uso sustentável da terra são essenciais para complementar os serviços ecossistêmicos hídricos prestados pelas áreas protegidas com vegetação nativa.

3. As áreas protegidas na sub-bacia do Rio Paranã, particularmente a área do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, apresentaram um balanço hídrico diferente do que já foi observado em outras regiões do Cerrado, principalmente devido ao alto fluxo lateral (rápido), em detrimento do fluxo basal (lento). As áreas não protegidas, por outro lado, demonstraram potencial de manter mais alto fluxo basal do que fluxo lateral. Isso ressalta a importância de prezar por usos sustentáveis da terra e boas práticas agrícolas mesmo em áreas não protegidas, dado que o desenho de unidades de conservação nem sempre será capaz de prover todos os serviços ecossistêmicos essenciais ao bem-estar humano e as funções de conservação da biodiversidade. Isso é especialmente relevante nessa região devido à baixa segurança hídrica de resiliência.

## BIBLIOGRAFIA

- Abbaspour, Karim C. 2015. “SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A user manual”. 100.
- Albert, Christian, Joachim H. Spangenberg, e Barbara Schröter. 2017. “Nature-based solutions: criteria”. *Nature* 543(7645):315–315.
- De Alencar, D B S, C L Da Silva, Carlos A. da S. C. A. D. S. Oliveira, Danielle B S de Alencar, Cícero L da Silva, Carlos A. da S. C. A. D. S. Oliveira, CARLOS A. DA S. OLIVEIRA DANIELLE B. S. DE ALENCAR<sup>1</sup>, CÍCERO L. DA SILVA<sup>2</sup>, D B S De Alencar, C L Da Silva, e Carlos A. da S. C. A. D. S. Oliveira. 2006. “Precipitation influence on the runoff of a small-watershed in the Federal District, Brazil”. *Engenharia Agricola* 26(1):103–12.
- Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, e Martin Smith. 1998. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. Rome.
- de Almeida Bressiani, Danielle, Raghavan Srinivasan, Charles Allan Jones, e Eduardo Mario Mendiondo. 2015. “Effects of different spatial and temporal weather data resolutions on the stream flow modeling of a semi-arid basin, Northeast Brazil”. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 8(3):1–16.
- Alvares, Clayton Alcarde, José Luiz Stape, Paulo Cesar Sentelhas, José Leonardo De Moraes Gonçalves, e Gerd Sparovek. 2013. “Köppen’s climate classification map for Brazil”. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6):711–28.

- Amorim, Jhones da S., Marcelo R. Viola, Rubens Junqueira, Vinicius A. de Oliveira, e Carlos R. de Mello. 2020. "Evaluation of satellite precipitation products for hydrological modeling in the Brazilian Cerrado biome". *Water* 12(9):2571.
- ANA. 2013. "Diagnóstico da situação do abastecimento urbano".
- ANA. 2018. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: Informe anual*. Brasília.
- ANA. 2019. "Índice de Segurança Hídrica – Manual Metodológico 1.0".
- ANA. 2021. "Séries Históricas de Estações". *Portal HidroWeb*.
- Anache, Jamil A. A. A., Edson Wendland, Lívia M. P. Rosalem, Cristian Youlton, e Paulo T. S. Oliveira. 2019. "Hydrological trade-offs due to different land covers and land uses in the Brazilian Cerrado". *Hydrology and Earth System Sciences* 23(3):1263–79.
- Anache, Jamil A. A., Dennis C. Flanagan, Anurag Srivastava, e Edson C. Wendland. 2018. "Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado". *Science of The Total Environment* 622–623:140–51.
- dos Anjos, Rafael Sanzio Araújo, Rodrigo de Oliveira Vilela, Ana Clara Bolzon, e Jade Oliveira. 2019. "Monitoramento do crescimento urbano em Brasília: Vetores de expansão, densidades espaciais e impactos ambientais". *Time - Technique - Territory* 6(2):25–50.
- Arantes, Arielle Elias, Laerte G. Ferreira, e Michael T. Coe. 2016. "The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of land cover and land use". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 117:66–78.
- Arnold, Jeffrey G., J. R. Kiniry, R. Srinivasan, J. R. Williams, E. B. Haney, e S. L. Neitsch. 2012. "Soil and Water Assessment Tool (SWAT): Input/output documentation version 2012". 654.
- Austin, Kemen G., Mariano González-Roglich, Danica Schaffer-Smith, Amanda M. Schwantes, e Jennifer J. Swenson. 2017. "Trends in size of tropical deforestation events signal increasing dominance of industrial-scale drivers". *Environmental Research Letters* 12(5):054009.
- Avigliano, Esteban, Juan Jose Rosso, Dario Lijtmaer, Paola Ondarza, Luis Piacentini, Matías Izquierdo, Adriana Cirigliano, Gonzalo Romano, Ezequiel Nuñez Bustos, Andres Porta, Ezequiel Mabragna, Emanuel Grassi, Jorge Palermo, Belen Bukowski, Pablo Tubaro, e Nahuel Schenone. 2019. "Biodiversity and threats in non-protected areas: A multidisciplinary and multi-taxa approach focused on the Atlantic Forest". *Heliyon* 5(8):e02292.
- Bacellar, L. A. P., M. G. P. Leite, e C. R. Murta. 2020. "Artificial recharge to increase base flow in a small

- catchment, eastern Brazil”. P. 357–60 in *Management of Aquifer Recharge for Sustainability*, organizado por P. J. Dillon. Adelaide, Australia: CRC Press.
- Baldissera, Gisele Cristina. 2005. “Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá/MT”. Universidade Federal do Mato Grosso.
- Bart, Ryan e Allen Hope. 2014. “Inter-seasonal variability in baseflow recession rates: The role of aquifer antecedent storage in central California watersheds”. *Journal of Hydrology* 519(PA):205–13.
- Batalha, Marcia S., Maria C. Barbosa, Boris Faybishenko, e Martinus Th. van Genuchten. 2018. “Effect of temporal averaging of meteorological data on predictions of groundwater recharge”. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 66(2):143–52.
- Batista, Eugênia Kelly Luciano, Jeremy Russell-Smith, Helena França, e José Eugênio Côrtes Figueira. 2018. “An evaluation of contemporary savanna fire regimes in the Canastra National Park, Brazil: Outcomes of fire suppression policies”. *Journal of Environmental Management* 205:40–49.
- Berger-Tal, Oded, Alison L. Greggor, Biljana Macura, Carrie Ann Adams, Arden Blumenthal, Amos Bouskila, Ulrika Candolin, Carolina Doran, Esteban Fernández-Juricic, Kiyoko M. Gotanda, Catherine Price, Breanna J. Putman, Michal Segoli, Lysanne Snijders, Bob B. M. Wong, e Daniel T. Blumstein. 2019. “Systematic reviews and maps as tools for applying behavioral ecology to management and policy”. *Behavioral Ecology* 30(1):1–8.
- Bessi, Débora, Marcel Okamoto Tanaka, Lara Aranha da Costa, Carina Julia Pensa Correa, e Kelly Cristina Tonello. 2018. “Forest restoration and hydrological parameters effects on soil water conditions: A structural equation modelling approach”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 23.
- Biudes, Marcelo Sacardi, George Louis Vourlitis, Nadja Gomes Machado, Paulo Henrique Zanella de Arruda, Geraldo Aparecido Rodrigues Neves, Francisco de Almeida Lobo, Christopher Michael Usher Neale, Jose de Souza Nogueira, Geraldo Aparecido Rodrigues Neves, Francisco de Almeida Lobo, Christopher Michael Usher Neale, José de Souza Nogueira, Geraldo Aparecido Rodrigues Neves, Francisco de Almeida Lobo, Christopher Michael Usher Neale, e Jose de Souza Nogueira. 2015. “Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil”. *AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY* 202:112–24.
- Bolfe, Édson Luis, Edson Eyji Sano, e Silvia Kanadani Campos, orgs. 2020. *Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções*. Vol. 1. Brasília, DF: Embrapa.
- Bosquilia, Raoni W. D., Christopher M. U. Neale, Sergio N. Duarte, Solon J. Longhi, Silvio F. de B. Ferraz, e

- Frank E. Muller-Karger. 2019. "Evaluation of evapotranspiration variations according to soil type using multivariate statistical analysis". *Geoderma* 355(August 2019):113906.
- Brando, Paulo M., Lucas Paolucci, Caroline C. Ummenhofer, Elsa M. Ordway, Henrik Hartmann, Megan E. Cattau, Ludmila Rattis, Vincent Medjibe, Michael T. Coe, e Jennifer Balch. 2019. "Droughts, wildfires, and forest carbon cycling: A pantropical synthesis". *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 47(1):555–81.
- Breil, Marcus, Edouard L. Davin, e Diana Rechid. 2021. "What determines the sign of the evapotranspiration response to afforestation in European summer?" *Biogeosciences* 18(4):1499–1510.
- Bressiani, Danielle de Almeida, Philip W. Gassman, Josimar Gurgel Fernandes, Luis Hamilton Pospissil Garbossa, Raghavan Srinivasan, Nadia Bernardi Bonumá, e Eduardo Mario Mendiondo. 2015. "Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects". *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 8(3):9–35.
- Bridgewater, Peter. 2021. "A commentary on ecohydrology as a science-policy interface in implementing the UN Sustainable Development Goals". *Ecohydrology & Hydrobiology* 21(3):387–92.
- Brito, Agni Cristina de Carvalho, Nara Luisa Reis de Andrade, Larissa Santos Fambri, Camila Bermond Ruezzenne, e Renata Gonçalves Aguiar. 2018. "Aplicação do produto de evapotranspiração do MODIS para uma área de pastagem na Amazônia ocidental". *Ciência e Natura* 40:162.
- Bucci, Sandra J., Fabian G. Scholz, Guillermo Goldstein, William A. Hoffmann, Frederick C. Meinzer, Augusto C. Franco, Thomas Giambelluca, e Fernando Miralles-Wilhelm. 2008. "Controls on stand transpiration and soil water utilization along a tree density gradient in a Neotropical savanna". *Agricultural and Forest Meteorology* 148(6–7):839–49.
- Cabral, Osvaldo M. R. R., Humberto R. da Rocha, John H. Gash, Helber C. Freitas, e Marcos A. V. V. Ligo. 2015. "Water and energy fluxes from a woodland savanna (Cerrado) in southeast Brazil". *Journal of Hydrology: Regional Studies* 4(B):22–40.
- Caldeira, Maria C., Xavier Lecomte, Teresa S. David, Joaquim G. Pinto, Miguel N. Bugalho, e Christiane Werner. 2015. "Synergy of extreme drought and shrub invasion reduce ecosystem functioning and resilience in water-limited climates". *Scientific Reports* 5(1):15110.
- Caldow, R. W. G. e P. A. Racey. 2000. "Large-scale processes in ecology and hydrology". *Journal of Applied Ecology* 37(s1):6–12.
- Campolina, Bernardo. 2019. "Population growth and urbanization in the Brazilian Cerrado". P. 163–88 in



- Innovation with Spatial Impact: Sustainable Development of the Brazilian Cerrado*, organizado por A. Hosono, N. Hamaguchi, e A. Bojanic. Singapore: Springer Singapore.
- Capuano, Linda. 2020. “International energy outlook 2018 (IEO2018)”. *US Energy Information Administration (EIA): Washington, DC, USA* 21.
- Carranza, Tharsila, Andrew Balmford, Valerie Kapos, e Andrea Manica. 2014. “Protected area effectiveness in reducing conversion in a rapidly vanishing ecosystem: The Brazilian Cerrado”. *Conservation Letters* 7(3):216–23.
- Castro, Antonio J., Berta Martín-López, Enrique López, Tobias Plieninger, Domingo Alcaraz-Segura, Caryn C. Vaughn, e Javier Cabello. 2015. “Do protected areas networks ensure the supply of ecosystem services? Spatial patterns of two nature reserve systems in semi-arid Spain”. *Applied Geography* 60:1–9.
- Chaves, Henrique Marinho Leite e Leonardo Peres Piau. 2008. “Effect of rainfall variability and land use on runoff and sediment in the Pipiripau River basin, in the Distrito Federal, Brazil”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32(1):333–43.
- Chen, Ji, Haiyun Shi, Bellie Sivakumar, e Mervyn R. Peart. 2016. “Population, water, food, energy and dams”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56:18–28.
- CI. 2021. “Biodiversity Hotspots: Targeted investment in nature’s most important places”. Recuperado 10 de setembro de 2021 (<https://www.conservation.org/priorities/biodiversity-hotspots>).
- Coe, Michael T., Paulo M. Brando, Linda A. Deegan, Marcia N. Macedo, Christopher Neill, e Divino V. Silvério. 2017. “The forests of the Amazon and Cerrado moderate regional climate and are the key to the future”. *Tropical Conservation Science* 10(June):194008291772067.
- Coe, Michael T., E. M. Latrubesse, M. E. Ferreira, e M. L. Amsler. 2011. “The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil”. *Biogeochemistry* 105(1–3):119–31.
- Colli-Silva, Matheus, Thais N. C. C. Vasconcelos, e José Rubens Pirani. 2019. “Outstanding plant endemism levels strongly support the recognition of campo rupestre provinces in mountaintops of eastern South America”. *Journal of Biogeography* 46(8):1723–33.
- Cook, Carly N., Hugh P. Possingham, e Richard A. Fuller. 2013. “Contribution of systematic reviews to management decisions”. *Conservation Biology* 27(5):902–15.
- Cordeiro, Giovanna Gomes, Vinicius Vasconcelos, Luiz Felipe Salemi, e Gabriela Bielefeld Nardoto. 2020. “Factors affecting the effectiveness of riparian buffers in retaining sediment: An isotopic approach”. *Environmental Monitoring and Assessment* 192(11):735.

- Coreau, Audrey, Gilles Pinay, John D. Thompson, Pierre-Olivier Cheptou, e Laurent Mermet. 2009. “The rise of research on futures in ecology: Rebalancing scenarios and predictions”. *Ecology Letters* 12(12):1277–86.
- Costa, Marcos Heil, Aurélie Botta, e Jeffrey A. Cardille. 2003. “Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia”. *Journal of Hydrology* 283(1–4):206–17.
- Costa, Marcos Heil e Gabrielle Ferreira Pires. 2010. “Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation”. *International Journal of Climatology* 30(13):1970–79.
- CPRM. 2021. “Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS”.
- Dellamatrice, Priscila M. e Regina T. R. Monteiro. 2014. “Main aspects of the pollution in Brazilian rivers by pesticides”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18(12):1296–1301.
- Descamps, Charlotte, Muriel Quinet, e Anne Laure Jacquemart. 2021. “The effects of drought on plant–pollinator interactions: What to expect?” *Environmental and Experimental Botany* 182(September 2020).
- Deutsch, Lisa, Malin Falkenmark, Line Gordon, Johan Rockström, e Carl Folke. 2010. “Water-mediated ecological consequences of intensification and expansion of livestock production”. P. 97–110 in *Livestock in a changing landscape – Volume 1: Drivers, consequences, and responses*, organizado por H. Steinfeld, H. A. Mooney, F. Schneider, e L. E. Neville. Washington: Island Press.
- Devia, Gayathri K., B. P. Ganasri, e G. S. Dwarakish. 2015. “A Review on hydrological models”. *Aquatic Procedia* 4:1001–7.
- Dias, Lívia Cristina Pinto, Márcia N. Marcia N. Márcia N. Macedo, Marcos Heil Costa, Michael T. Coe, e Christopher Neill. 2015. “Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River basin, Central Brazil”. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 4(PB):108–22.
- van Dijk, Michiel, Tom Morley, Marie Luise Rau, e Yashar Saghai. 2021. “A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050”. *Nature Food* 2(7):494–501.
- Döll, Petra e Hannes Müller Schmied. 2012. “How is the impact of climate change on river flow regimes related to the impact on mean annual runoff? A global-scale analysis”. *Environmental Research Letters* 7(1):014037.
- Dralle, David N., Nathaniel J. Karst, e Sally E. Thompson. 2016. “Dry season streamflow persistence in seasonal climates”. *Water Resources Research* 52(1):90–107.
- Echeverria, Rosângela Martines. 2007. “Avaliação de impactos ambientais nos tributários do Lago Paranoá,

- Brasília DF”. Universidade de Brasília.
- Endo, Aiko, Izumi Tsurita, Kimberly Burnett, e Pedcris M. Orencio. 2017. “A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus”. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 11:20–30.
- Executivo. 2000. *Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000*. Brasil: Diário Oficial da União.
- Feng, Yu, Zhenzhong Zeng, e Chunmiao Zheng. 2020. “Topographical patterns of tropical forest loss in the early 21 st century”. P. GC101-0013 in *AGU Fall Meeting Abstracts*. American Geophysical Union.
- Ferreira, A. D., A. de Almeida, S. Koide, R. T. Minoti, e M. B. B. de Siqueira. 2021. “Evaluation of Evapotranspiration in Brazilian Cerrado Biome Simulated with the SWAT Model”. *WATER* 13(15).
- Ferreira, Laerte G., Srinivas Bettadpur, Michael T. Coe, e Marcos H. Costa. 2012. “Water fluxes in the central brazilian savanna: Seasonal patterns and land cover interdependencies as observed from GRACE, TRMM, and MODIS data”. P. 7169–72 in *2012 IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS), IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing IGARSS*.
- Ferrigo, Sarah. 2014. “Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto - DF”. Universidade de Brasília.
- Ficetola, Gentile Francesco, Massimo Cagnetta, Emilio Padoa-Schioppa, Anita Quas, Edoardo Razzetti, Roberto Sindaco, e Anna Bonardi. 2014. “Sampling bias inverts ecogeographical relationships in island reptiles”. *Global Ecology and Biogeography* 23(11):1303–13.
- Fischer, Christine, Sophia Leimer, Christiane Roscher, Janneke Ravenek, Hans de Kroon, Yvonne Kreuziger, Jussi Baade, Holger Beßler, Nico Eisenhauer, Alexandra Weigelt, Liesje Mommer, Markus Lange, Gerd Gleixner, Wolfgang Wilcke, Boris Schröder, e Anke Hildebrandt. 2019. “Plant species richness and functional groups have different effects on soil water content in a decade-long grassland experiment”. *Journal of Ecology* 107(1):127–41.
- Fonseca, Carlos Roberto e Eduardo Martins Venticinque. 2018. “Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning”. *Perspectives in Ecology and Conservation* 16(2):61–67.
- Fontenelle, Thiago Henriques, Irani dos Santos, e Cesar Augusto Crovador Siefert. 2021. “Capacidade de água disponível - CAD ou AWC dos solos no Brasil”.
- Françoso, Renata D., Reuber Brandão, Cristiano C. Nogueira, Yuri B. Salmons, Ricardo Bomfim Machado, e Guarino R. Colli. 2015. “Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot”. *Natureza & Conservação* 13(1):35–40.

- Furlan, Lucas Moreira, Vania Rosolen, Jepherson Salles, César Augusto Moreira, Manuel Eduardo Ferreira, Guilherme Taitson Bueno, Carla Vanessa de Sousa Coelho, e Stéphane Mounier. 2020. “Natural superficial water storage and aquifer recharge assessment in Brazilian savanna wetland using unmanned aerial vehicle and geophysical survey”. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 8(3):224–44.
- Gain, Animesh K., Carlo Giupponi, e Yoshihide Wada. 2016. “Measuring global water security towards sustainable development goals”. *Environmental Research Letters* 11(12):124015.
- Garcia-Montiel, Diana C., Michael T. Coe, Meyr P. Cruz, Joice N. Ferreira, Euzebio M. da Silva, e Eric A. Davidson. 2008. “Estimating seasonal changes in volumetric soil water content at landscape scales in a savanna ecosystem using two-dimensional resistivity profiling”. *Earth Interactions* 12(2):1–25.
- Georgescu, M., D. B. Lobell, C. B. Field, e A. Mahalov. 2013. “Simulated hydroclimatic impacts of projected Brazilian sugarcane expansion”. *Geophysical Research Letters* 40(5):972–77.
- Giambelluca, Thomas W., Fabian G. Scholz, Sandra J. Bucci, Frederick C. Meinzer, Guillermo Goldstein, William A. Hoffmann, Augusto C. Franco, e Martin P. Buchert. 2009. “Evapotranspiration and energy balance of Brazilian savannas with contrasting tree density”. *Agricultural and Forest Meteorology* 149(8):1365–76.
- Gomes, Marcelo e Luiz Paulo Canedo de Magalhaes. 2010. “Urban flood control, simulation and management – An integrated approach”. P. 131–60 in *Methods and Techniques in Urban Engineering*, organizado por A. C. de Pina Filho e A. C. de Pina. Rijeka, Croacia: InTech.
- Gomyo, Mie e Koichiro Kuraji. 2016. “Effect of the litter layer on runoff and evapotranspiration using the paired watershed method”. *Journal of Forest Research* 21(6):306–13.
- Gonçalves, Vitor Fidelis Monteiro e Rodrigo Lilla Manzione. 2019. “Groundwater recharge estimates at Bauru Aquifer System (BAS)”. *Geo UERJ* (35):e37063.
- González-García, Alberto, Ignacio Palomo, José A. González, Víctor García-Díez, Marina García-Llorente, e Carlos Montes. 2022. “Biodiversity and ecosystem services mapping: Can it reconcile urban and protected area planning?” *Science of The Total Environment* 803:150048.
- Gosselin, Marie-Pierre, Valérie Ouellet, Atle Harby, e John Nestler. 2019. “Advancing ecohydraulics and ecohydrology by clarifying the role of their component interdisciplines”. *Journal of Ecohydraulics* 4(2):172–87.
- De Groen, Maria Margaretha. 2002. “Modelling interception and transpiration at monthly time steps: introducing daily variability through Markov chains; Proefschrift Technische Universiteit Delft.” Lisse:

Swets & Zeitlinger BV.

- Guimarães, Daniel Pereira, Elena Charlotte Landau, e Thiago Henriques Fontenelle. 2019. “Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2019)”.
- Guswa, Andrew J., Doerthe Tetzlaff, John S. Selker, Darryl E. Carlyle-Moses, Elizabeth W. Boyer, Michael Bruen, Carles Cayuela, Irena F. Creed, Nick Giesen, Domenico Grasso, David M. Hannah, Janice E. Hudson, Sean A. Hudson, Shin’ichi Iida, Robert B. Jackson, Gabriel G. Katul, Tomo’omi Kumagai, Pilar Llorens, Flavio Lopes Ribeiro, Beate Michalzik, Kazuki Nanko, Christopher Oster, Diane E. Pataki, Catherine A. Peters, Andrea Rinaldo, Daniel Sanchez Carretero, Branimir Trifunovic, Maciej Zalewski, Marja Haagsma, e Delphis F. Levia. 2020. “Advancing ecohydrology in the 21st century: A convergence of opportunities”. *Ecohydrology* 13(4):1–14.
- Haddaway, N. R., B. Macura, P. Whaley, e A. S. Pullin. 2017. “ROSES flow diagram for systematic maps. Version 1.0”.
- Haidar, Ricardo Flores. 2017. “Núcleo de florestas tropicais sazonalmente secas do Cerrado: Diversidade, fitogeografia, endemismo, fenologia foliar e os controles ambientais e espaciais”. Universidade de Brasília.
- Harding, Sandra, Rodney McComiskie, Mark Wolff, Dennis Trewin, e Stephanie Hunter, orgs. 2014. *State of the Tropics 2014*. Townsville, Australia: James Cook University.
- Harding, Sandra e Ann Penny, orgs. 2020. *State of the Tropics 2020*. Townsville, Australia: James Cook University.
- Harper, David, Maciej Zalewski, e Nic Pacini, orgs. 2008. *Ecohydrology: Processes, models and case studies*. CAB International.
- Harrison, Ian J., Pamela A. Green, Tracy A. Farrell, Diego Juffe-Bignoli, Leonardo Sáenz, e Charles J. Vörösmarty. 2016. “Protected areas and freshwater provisioning: A global assessment of freshwater provision, threats and management strategies to support human water security”. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26:103–20.
- Hayhoe, Shelby J., Christopher Neill, Stephen Porder, Richard Mchorney, Paul Lefebvre, Michael T. Coe, Helmut Eelsenbeer, e Alex V. Krusche. 2011. “Conversion to soy on the Amazonian agricultural frontier increases streamflow without affecting stormflow dynamics”. *Global Change Biology* 17(5):1821–33.
- Hernandes, Thayse Aparecida Dourado, Fabio Vale Scarpate, e Joaquim Eugênio Abel Seabra. 2018. “Assessment of the recent land use change dynamics related to sugarcane expansion and the associated

- effects on water resources availability”. *Journal of Cleaner Production* 197:1328–41.
- Hoekstra, A. Y. e A. K. Chapagain. 2006. “Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern”. *Water Resources Management* 21(1):35–48.
- Hoff, Holger. 2011. *Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011 Nexus Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus*. Stockholm, Sweden.
- Hoffmann, Tania Beatriz, Andeise Cerqueira Dutra, Yosio Edemir Shimabukuro, Egidio Arai, Henrique Luis Godinho Cassol, Cesare Di Girolamo Neto, e Valdete Duarte. 2020. “Fire occurrence in the Brazilian Savanna conservation units and their buffer zones”. P. 4263–66 in *IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Waikoloa, HI, USA: IEEE.
- Honda, Eliane A. e Giselda Durigan. 2016. “Woody encroachment and its consequences on hydrological processes in the savannah”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 371(1703):20150313.
- Hunke, Philip, Eva Nora Mueller, Boris Schröder, e Peter Zeilhofer. 2015. “The Brazilian Cerrado: Assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use”. *Ecohydrology* 8(6):1154–80.
- IB. 2019. *Relatório anual Itaipu Binacional 2019*.
- IB. 2020. *Relatório anual Itaipu Binacional 2020*.
- IBAMA. 1998. “Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília.” 305.
- IBGE. 2004. “Mapa de Biomas do Brasil”.
- IBGE. 2018. “Base temática vetorial 1:250.000 – Brasil – Pedologia - Unidade de mapeamento”.
- INMET. 2021. “Banco de dados meteorológicos”.
- INPE. 2021. “Programa de monitoramento da Amazônia e demais biomas – Desmatamento – Cerrado”.
- Recuperado 10 de setembro de 2021  
(<http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>).
- IPCC. 2021. *Future global climate: Scenario-based projections and near-term information*.
- Ireson, A., C. Makropoulos, e C. Maksimovic. 2006. “Water resources modelling under data scarcity: Coupling MIKE BASIN and ASM Groundwater Model”. *Water Resources Management* 20(4):567–90.
- Islam, R. e R. Reeder. 2014. “No-till and conservation agriculture in the United States: An example from the David Brandt farm, Carroll, Ohio”. *International Soil and Water Conservation Research* 2(1):97–107.
- James, Katy L., Nicola P. Randall, e Neal R. Haddaway. 2016. “A methodology for systematic mapping in

- environmental sciences”. *Environmental Evidence* 5(1):7.
- Jesus, Tammy Caroline Lima de, Mônica Carneiro Alves Senna, Marcio Cataldi, Célia Maria Paiva, e Barbara Franz. 2017. “Impacto do aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> no balanço hídrico climatológico do Cerrado”. *Revista Brasileira de Climatologia* 21:313–26.
- Johnson, Nils, Peter Burek, Edward Byers, Giacomo Falchetta, Martina Flörke, Shinichiro Fujimori, Petr Havlik, Mohamad Hejazi, Julian Hunt, Volker Krey, Simon Langan, Nebojsa Nakicenovic, Amanda Palazzo, Alexander Popp, Keywan Riahi, Michiel van Dijk, Michelle van Vliet, Detlef van Vuuren, Yoshihide Wada, David Wiberg, Barbara Willaarts, Caroline Zimm, e Simon Parkinson. 2019. “Integrated solutions for the water-energy-land nexus: Are global models rising to the challenge?” *Water* 11(11):2223.
- Kihwele, Emilian, Epaphras Muse, Evance Magomba, Bakari Mnaya, Ahamed Nassoro, Paul Banga, Edimund Murashani, Daniel Irmamasita, Halima Kiwango, Charon Birkett, e Eric Wolanski. 2018. “Restoring the perennial Great Ruaha River using ecohydrology, engineering and governance methods in Tanzania”. *Ecohydrology & Hydrobiology* 18(2):120–29.
- Klemeš, V. 1986. “Operational testing of hydrological simulation models”. *Hydrological Sciences Journal* 31(1):13–24.
- Knapp, Alan K., Claus Beier, David D. Briske, Aimée T. Classen, Yiqi Luo, Markus Reichstein, Melinda D. Smith, Stanley D. Smith, Jesse E. Bell, Philip A. Fay, Jana L. Heisler, Steven W. Leavitt, Rebecca Sherry, Benjamin Smith, e Ensheng Weng. 2008. “Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems”. *BioScience* 58(9):811–21.
- Laipelt, Leonardo, Anderson Luis Ruhoff, Ayan Santos Fleischmann, Rafael Henrique Bloedow Kayser, Elisa de Mello Kich, Humberto Ribeiro da Rocha, e Christopher Michael Usher Neale. 2020. “Assessment of an automated calibration of the SEBAL algorithm to estimate dry-season surface-energy partitioning in a forest-savanna transition in Brazil”. *Remote Sensing* 12(7):1108.
- Latrubesse, Edgardo M., Eugenio Arima, Manuel E. Ferreira, Sergio H. Nogueira, Florian Wittmann, Murilo S. Dias, Fernando C. P. Dagosta, e Maximiliano Bayer. 2019. “Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome”. *Conservation Science and Practice* 1(9):1–8.
- Lawrence, Deborah e Karen Vandecar. 2015. “Effects of tropical deforestation on climate and agriculture”. *Nature Climate Change* 5(1):27–36.
- Lemordant, Léo, Pierre Gentine, Abigail S. Swann, Benjamin I. Cook, e Jacob Scheff. 2018. “Critical impact of vegetation physiology on the continental hydrologic cycle in response to increasing CO<sub>2</sub>”. *Proceedings*

*of the National Academy of Sciences* 115(16):4093–98.

- Lima, Jorge Enoch Furquim Werneck. 2000. “Determinação da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica sob vegetação natural de Cerrado, pelo método do balanço hídrico”. Universidade de Brasília.
- Lima, Jorge Enoch Furquim Werneck. 2011. “Situação e perspectivas sobre as águas do Cerrado”. *Ciência e Cultura* 63(3):27–29.
- Lima, Jorge Enoch Furquim Werneck, da Euzébio Medrado Silva, e Euzébio Medrado da Silva. 2007. “Estimativa da contribuição hídrica superficial do Cerrado para as grandes regiões hidrográficas brasileiras”. P. 13 in *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Lima, Jorge Enoch Furquim Werneck, Euzébio Medrado da Silva, Eduardo Cyrino Oliveira-Filho, Eder de Souza Martins, Adriana Reatto, e Vinicius Bof Bufon. 2011. “The relevance of the Cerrado’s water resources to the Brazilian development”. P. 11 in *Proceedings of the XIVth IWRA World Water Congress*. Montpellier.
- Lima, Jorge Enoch Furquim Werneck, Euzébio Medrado da Silva, Michael Strauch, e Carsten Lorz. 2013. “Desenvolvimento de base de dados de solos para aplicação do modelo SWAT em bacia do Bioma Cerrado”. P. 8 in *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Bento Gonçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Lima, M. A., L. F. R. Mendes, G. A. Mothé, F. G. Linhares, M. P. P. de Castro, M. G. da Silva, e M. S. Sthel. 2020. “Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil”. *Environmental Development* 33(September 2016):100504.
- Lima, Walter de Paula, Maria José Brito Zakia, Paulo Leonel Libardi, e Antonio Pereira de Souza Filho. 1990. “Comparative evapotranspiration of Eucalyptus, Pine and natural ‘Cerrado’ vegetation measure by the soil water balance method”. P. 5–11 in *IPEF International*. Vol. 1. Piracicaba: Citeseer.
- Lopes, Tércio Rocha, Larissa Brêtas Moura, Jéssica Garcia Nasimento, Luciano Sobral Fraga Junior, Cornélio Alberto Zolin, Sérgio Nascimento Duarte, Marcos Vinicius Folegatti, e Otávio Neto Almeida Santos. 2020. “Priority areas for forest restoration aiming at the maintenance of water resources in a basin in the Cerrado/Amazon ecotone, Brazil”. *Journal of South American Earth Sciences* 101(May):102630.
- Machado, Nadja Gomes, Marcelo Sacardi Biudes, Lucas Peres Angelini, Carlos Alexandre Santos Querino, e Pablinne Cynthia Batista da Silva Angelini. 2020. “Impact of changes in surface cover on energy balance in a tropical city by remote sensing: A study case in Brazil”. *Remote Sensing Applications: Society and*



*Environment* 20:100373.

- MapBiomass. 2020. “Projeto MapBiomass – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil”.
- Margules, C. R. e R. L. Pressey. 2000. “Systematic conservation planning”. *Nature* 405(6783):243–53.
- Marques, Eduardo A. G., Gerson C. Silva Junior, Glauco Z. S. Eger, Archange M. Ilambwetsi, Pousa Raphael, Tarcila N. Generoso, Josiane Oliveira, e Jales N. Júnior. 2020. “Analysis of groundwater and river stage fluctuations and their relationship with water use and climate variation effects on Alto Grande watershed, Northeastern Brazil”. *Journal of South American Earth Sciences* 103:102723.
- Martínez Valdés, Yaset e Víctor Michel Villalejo García. 2020. “Caudal ambiental: herramienta ecohidrológica en la gestión de los recursos hídricos”. *Ingeniería hidráulica y ambiental* 41(1):56–70.
- Mazrooei, Amir, Meredith Reitz, Dingbao Wang, e A. Sankarasubramanian. 2021. “Urbanization impacts on evapotranspiration across various spatio-temporal scales”. *Earth’s Future* 9(8).
- Melo, Raymeson Rodrigues de. 2018. “Dinâmica de ocorrência de incêndios florestais em unidade de conservação influenciada por diversos usos e cobertura do solo: APA Gama e Cabeça de Veado – DF Dinâmica de ocorrência de incêndios florestais em unidade de conservação influenciada por diversos”. *Universidade de Brasília* 85.
- Meyer, Swen, Michael Blaschek, Rainer Duttmann, e Ralf Ludwig. 2016. “Improved hydrological model parametrization for climate change impact assessment under data scarcity — The potential of field monitoring techniques and geostatistics”. *Science of The Total Environment* 543:906–23.
- MIN. 2004. *Projeto de integração do Rio São Francisco com bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional – Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)*.
- de Miranda, Sabrina do Couto, Mercedes Bustamante, Michael Palace, Stephen Hagen, Michael Keller, e Laerte Guimarães Ferreira. 2014. “Regional variations in biomass distribution in Brazilian savanna woodland”. *Biotropica* 46(2):125–38.
- Mistry, Jayalaxshmi e Marcelo Bizerril. 2011. “Why it is important to understand the relationship between people, fire and protected areas”. *Biodiversidade Brasileira* 1(2):40–49.
- MMA. 2007. *Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: Áreas e ações prioritárias para conservação*. 2º ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- Mohan, M. Madhan e Prabhu Prasadini. 2019. *Manual on Practical Soil Physics*. Tirupati, India: Regional Agricultural Research Station.

- de Molenaar, J. G. 1987. “An ecohydrological approach to floral and vegetational patterns in Arctic landscape ecology”. *Arctic and Alpine Research* 19(4):414.
- Moore, Jennie. 2015. “Ecological footprints and lifestyle archetypes: Exploring dimensions of consumption and the transformation needed to achieve urban sustainability”. *Sustainability* 7(4):4747–63.
- Moriassi, Daniel N., Jeffrey G. Arnold, Michael W. van Liew, R. L. Bingner, R. Daren Harmel, e T. L. Veith. 2007. “Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations”. *Transactions of the ASABE* 50(3):885–900.
- Morin, Efrat, Yehouda Enzel, Uri Shamir, e Rami Garti. 2001. “The characteristic time scale for basin hydrological response using radar data”. *Journal of Hydrology* 252(1–4):85–99.
- Moura, Leonardo Zandonadi, Carlos Henrique Ribeiro Lima, L. Zandonadi Moura, e C. H. R. Lima. 2018. “Analysis of atmospheric moisture transport to the Upper Parana River basin”. *International Journal of Climatology* 38(14):5153–67.
- Neitsch, Por S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, e J. R. Williams. 2009. “Soil and Water Assessment Tool ‘SWAT’”.
- Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, e J. R. Williams. 2009. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas, USA.
- Nóbrega, Rodolfo L. B. B., Alphonse C. Guzha, Gilmar N. Torres, Kristof Kovacs, Gabriele Lamparter, Ricardo S. S. S. Amorim, Eduardo Couto, Gerhard Gerold, Rodolfo L. B. Nobrega, Alphonse C. Guzha, Gilmar N. Torres, Kristof Kovacs, Gabriele Lamparter, Ricardo S. S. S. Amorim, Eduardo Couto, e Gerhard Gerold. 2017. “Effects of conversion of native cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier”. *PLoS ONE* 15(7).
- Nóbrega, Rodolfo L. B., Taciana Ziembowicz, Gilmar N. Torres, Alphonse C. Guzha, Ricardo S. S. Amorim, Domingos Cardoso, Mark S. Johnson, Túlio G. Santos, Eduardo Couto, e Gerhard Gerold. 2020. “Ecosystem services of a functionally diverse riparian zone in the Amazon-Cerrado agricultural frontier”. *Global Ecology and Conservation* 21:e00819.
- NRC. 2001. *Basic Research Opportunities in Earth Science*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Nunes, Gilliard. 2016. “Aplicação do modelo SWAT no estudo hidrológico e de qualidade de água da Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá - DF”. Universidade de Brasília.
- O’Leary, Bethan C., Kristian Kvist, Helen R. Bayliss, Géraldine Derroire, John R. Healey, Kathryn Hughes, Fritz Kleinschroth, Marija Sciberras, Paul Woodcock, e Andrew S. Pullin. 2016. “The reliability of

- evidence review methodology in environmental science and conservation”. *Environmental Science and Policy* 64:75–82.
- Oliveira, Maria Quiteria Castro de e Yvonilde Dantas Pinto Medeiros. 1999. “Aplicação do modelo SWAT na avaliação de impactos decorrentes da modificação no uso do solo em bacias hidrográficas”. in *XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte, MG: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Oliveira, P. T. S., Edson Wendland, M. A. Nearing, Russell L. Scott, R. Rosolem, e H. R. da Rocha. 2015. “The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian Cerrado”. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(6):2899–2910.
- Oliveira, Paulo Tarso S., Marcelo Boccia Leite, Tiago Mattos, Mark A. Nearing, Russell L. Scott, Rafael Oliveira Xavier, Dalva Maria Silva Matos, e Edson Wendland. 2017. “Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian Cerrado”. *Ecohydrology* 10(1):e1759.
- Oliveira, Paulo Tarso S., Mark A. Nearing, M. Susan Moran, David C. Goodrich, Edson Wendland, e Hoshin V. Gupta. 2014. “Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado”. *Water Resources Research* 50(9):7100–7114.
- de Oliveira, Paulo Tarso Sanches, Mark A. Nearing, R. H. Hawkins, J. J. Stone, D. B. B. Rodrigues, E. Panachuki, e E. Wendland. 2016. “Curve number estimation from Brazilian Cerrado rainfall and runoff data”. *Journal of Soil and Water Conservation* 71(5):420–29.
- Oliveira, R. S., L. Bezerra, E. A. Davidson, F. Pinto, C. A. Klink, D. C. Nepstad, e A. Moreira. 2005. “Deep root function in soil water dynamics in Cerrado savannas of central Brazil”. *Functional Ecology* 19(4):574–81.
- de Oliveira Serrão, Edivaldo Afonso, Madson Tavares Silva, Thomás Rocha Ferreira, Lorena Conceição Paiva de Ataíde, Romero Thiago Sobrinho Wanzeler, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, Aline Maria Meiguins de Lima, e Francisco de Assis Salviano de Sousa. 2021. “Large-Scale hydrological modelling of flow and hydropower production, in a Brazilian watershed”. *Ecohydrology & Hydrobiology* 21(1):23–35.
- de Oliveira Serrão, Edivaldo Afonso, Madson Tavares Silva, Thomás Rocha Ferreira, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, Francisco de Salviano de Sousa, Aline Maria Meiguins de Lima, Lorena Conceição Paiva de Ataíde, e Romero Thiago Sobrinho Wanzeler. 2020. “Land use change scenarios and their effects on hydropower energy in the Amazon”. *Science of The Total Environment* 744:140981.
- de Oliveira, Vinicius Augusto Vinicius Augusto, Carlos Rogério Rogerio de Mello, Samuel Beskow, Marcelo

- Ribeiro Viola, e Raghavan Srinivasan. 2019. “Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome”. *Ecological Engineering* 133(October 2018):20–31.
- Olson, David M., Eric Dinerstein, Eric D. Wikramanayake, Neil D. Burgess, George V. N. Powell, Emma C. Underwood, Jennifer A. D’amico, Illanga Itoua, Holly E. Strand, John C. Morrison, Colby J. Loucks, Thomas F. Allnutt, Taylor H. Ricketts, Yumiko Kura, John F. Lamoreux, Wesley W. Wettengel, Prashant Hedao, e Kenneth R. Kassem. 2001. “Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth”. *BioScience* 51(11):933–38.
- Pedroli, Bas. 1990. “Ecohydrological parameters indicating different types of shallow groundwater”. *Journal of Hydrology* 120(1–4):381–404.
- Piccolo, Renee Louise, Jan Warnken, Alienor Louise Marie Chauvenet, e James Guy Castley. 2020. “Location biases in ecological research on Australian terrestrial reptiles”. *Scientific Reports* 10(1):9691.
- Pires-Luiz, Carlos H. e Philippe Maillard. 2010. “Inferring fluctuations of the aquifer by monitoring the area of small lakes in a Brazilian savanna region using a temporal sequence of 50 Landsat images”. P. 463–68 in *100 Years ISPRS - Advancing Remote Sensing Science, PT 2*. Vol. 38, *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, organizado por B. Wagner, W and Szekely.
- Pittock, Jamie, C. Max Finlayson, Angela H. Arthington, D. J. Roux, John H. Matthews, H. Biggs, Esther Blom, Rebecca Flitcroft, Ray Froend, Ian J. Harrison, Virgilio Hermoso, Wolfgang Junk, Ritesh Kumar, Simon Linke, Jeanne Nel, Catia Nunes da Cunha, Ajit Pattnaik, Sharon Pollard, Walter Rast, Michele Thieme, E. Turak, Jane Turpie, Lara van Niekerk, Daphne Willems, e Joshua Viers. 2015. “Managing freshwater, river, wetland and estuarine protected areas”. P. 569–608 in *Protected Area Governance and Management*, organizado por G. L. Worboys, M. Lockwood, A. Kothari, S. Feary, e I. Pulsford. Canberra, Australia: ANU Press.
- Porporato, Amilcare e Ignacio Rodriguez-Iturbe. 2002. “Ecohydrology – A challenging multidisciplinary research perspective”. *Hydrological Sciences Journal* 47(5):811–21.
- Power, Alison G. 2010. “Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365(1554):2959–71.
- Pullin, Andrew S. 2012. “Realising the potential of environmental data: A call for systematic review and evidence synthesis in environmental management”. *Environmental Evidence* 1(1):2.

- Pullin, Andrew S., Geoff K. Frampton, Barbara Livoreil, e Gillian Petrokofsky, orgs. 2018. *Guidelines and standards for evidence synthesis in environmental management*. 5º ed. Collaboration for Environmental Evidence.
- Purwanto, Aries, Janez Sušnik, Franciscus X. Suryadi, e Charlotte de Fraiture. 2021. “Water-energy-food nexus: Critical review, practical applications, and prospects for future research”. *Sustainability* 13(4):1919.
- Qiao, Xiu-Juan, Kuei-Hsien Liao, e Thomas B. Randrup. 2020. “Sustainable stormwater management: A qualitative case study of the Sponge Cities initiative in China”. *Sustainable Cities and Society* 53:101963.
- Qiu, Guoyu, Shenglin Tan, Yue Wang, Xiaohui Yu, e Chunhua Yan. 2017. “Characteristics of evapotranspiration of urban lawns in a sub-tropical megacity and its measurement by the ‘three temperature model + infrared remote sensing’ method”. *Remote Sensing* 9(5):502.
- Queiroz, Joana Jubé Ribeiro. 2018. “Áreas de Preservação Permanente estratégicas para os recursos hídricos na APA de Pouso Alto: Panorama, técnicas e custos para restauração”. Universidade de Brasília.
- Quesada, C. A., A. C. Miranda, M. G. Hodnett, A. J. B. Santos, H. S. Miranda, e L. M. Breyer. 2004. “Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil”. *Ecological Applications* 14(sp4):33–41.
- Quesada, Carlos Alberto, Martin G. Hodnett, Lace M. Breyer, A. J. B. Santos, Sergio Andrade, H. S. Miranda, Antonio Carlos Miranda, e Jon Lloyd. 2008. “Seasonal variations in soil water in two woodland savannas of central Brazil with different fire histories”. *Tree Physiology* 28(3):405–15.
- Ramires, Thiago e Rodrigo Lilla Manzione. 2019. “Groundwater recharge estimation using water budget method for Bauru Aquifer system in a Cerrado environmental protection area”. *Applied Research & Agrotechnology* 12(2):25–36.
- von Randow, Celso, Marcelo Zeri, Natalia Restrepo-Coupe, Michel N. Muza, Luis Gustavo G. de Gonçalves, Marcos H. Costa, Alessandro C. Araujo, Antonio O. Manzi, Humberto R. da Rocha, Scott R. Saleska, M. Alaf Arain, Ian T. Baker, Bruno P. Cestaro, Bradley Christoffersen, Philippe Ciais, Joshua B. Fisher, David Galbraith, Xiaodan Guan, Bart van den Hurk, Kazuhito Ichii, Hewlley Imbuzeiro, Atul Jain, Naomi Levine, Gonzalo Miguez-Macho, Ben Poulter, Debora R. Roberti, Alok Sahoo, Kevin Schaefer, Mingjie Shi, Hanqin Tian, Hans Verbeeck, e Zong-Liang Yang. 2013. “Inter-annual variability of carbon and water fluxes in Amazonian forest, Cerrado and pasture sites, as simulated by terrestrial biosphere models”. *Agricultural and Forest Meteorology* 182–183(SI):145–55.
- Ravanello, Mariane Moreira. 2020. “Índice de Segurança Hídrica - ISH”.

- Reatto, Adriana, Éder de Souza Martins, Marcus Fábio Ribeiro Farias, Angelo Valverde da Silva, Osmar Abílio de Carvalho Jr., da Angelo Valverde Silva, e Osmar Abílio de Carvalho Jr. 2004. *Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo*. Planaltina, DF.
- Reddy, Sushma e Liliana M. Dávalos. 2003. “Geographical sampling bias and its implications for conservation priorities in Africa”. *Journal of Biogeography* 30(11):1719–27.
- Resende, Fernando M., Jérôme Cimon-Morin, Monique Poulin, Leila Meyer, Daiany C. Joner, e Rafael Loyola. 2021. “The importance of protected areas and Indigenous lands in securing ecosystem services and biodiversity in the Cerrado”. *Ecosystem Services* 49(May 2020):101282.
- Ribeiro, José Felipe e Bruno Machado Teles Walter. 1998. “Fitofisionomias do bioma Cerrado”. P. 87–166 in *Cerrado: Ambiente e Flora*, organizado por S. M. Sano e S. P. Almeida. Planaltina, DF: Embrapa CPAC.
- Ribeiro, Leonardo Costa, Márcia Siqueira Rapini, Leandro Alves Silva, e Eduardo Motta Albuquerque. 2018. “Growth patterns of the network of international collaboration in science”. *Scientometrics* 114(1):159–79.
- Riskin, Shelby H., Christopher Neill, Kathijo Jankowski, Alex V. Krusche, Richard McHorney, Helmut Elsenbeer, Marcia N. Macedo, Darlison Nunes, e Stephen Porder. 2017. “Solute and sediment export from Amazon forest and soybean headwater streams”. *Ecological Applications* 27(1):193–207.
- Ritzema, Henk, Jochen Froebrich, Ramakrishna Raju, Ch Sreenivas, e Rob Kselik. 2010. “Using participatory modelling to compensate for data scarcity in environmental planning: A case study from India”. *Environmental Modelling & Software* 25(11):1450–58.
- Rodrigues, Evandro L., Marcos A. T. T. Elmiro, Francisco de A. Braga, Claudia M. Jacobi, e Rafael D. Rossi. 2015. “Impact of changes in land use in the flow of the Pará River basin, MG”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19(1):70–76.
- Rodrigues, Evandro Luis, Claudia Maria Jacobi, e José Eugênio Côrtes Figueira. 2019. “Wildfires and their impact on the water supply of a large neotropical metropolis: A simulation approach”. *Science of The Total Environment* 651(1):1261–71.
- Rodrigues, Jéssica A. M., Marcelo Ribeiro Viola, Lívia A. Alvarenga, Carlos Rogério Mello, Sin Chan Chou, Vinícius Augusto Oliveira, Venkatesh Uddameri, e Marco Antonio Vieira Morais. 2020. “Climate change impacts under representative concentration pathway scenarios on streamflow and droughts of basins in the Brazilian Cerrado biome”. *International Journal of Climatology* 40(5):2511–26.
- Ronquillo, Cristina, Fernanda Alves-Martins, Vicente Mazimpaka, Thadeu Sobral-Souza, Bruno Vilela-Silva, Nagore G. Medina, e Joaquín Hortal. 2020. “Assessing spatial and temporal biases and gaps in the

- publicly available distributional information of Iberian mosses”. *Biodiversity Data Journal* 8.
- Roser, Max e Hannah Ritchie. 2013. “Technological Progress”. *Our World in Data*. Recuperado 28 de julho de 2021 (<https://ourworldindata.org/technological-progress>).
- Rossatto, D. R., L. da Silveira Lobo Sternberg, e A. C. Franco. 2013. “The partitioning of water uptake between growth forms in a Neotropical savanna: Do herbs exploit a third water source niche?” *Plant Biology* 15(1):84–92.
- Ruhoff, A. L., A. R. Paz, L. E. O. C. O. C. Aragao, Q. Mu, Y. Malhi, W. Collischonn, H. R. Rocha, e S. W. Running. 2013. “Assessment of the MODIS global evapotranspiration algorithm using eddy covariance measurements and hydrological modelling in the Rio Grande basin”. *HYDROLOGICAL SCIENCES JOURNAL-JOURNAL DES SCIENCES HYDROLOGIQUES* 58(8):1658–76.
- Ruhoff, Anderson L., Adriano R. Paz, Walter Collischonn, Luiz E. O. C. O. C. Aragao, Humberto R. Rocha, e Yadvinder S. Malhi. 2012. “A MODIS-Based Energy Balance to Estimate Evapotranspiration for Clear-Sky Days in Brazilian Tropical Savannas”. *REMOTE SENSING* 4(3):703–25.
- Running, Steve. 2021. “MOD16 Global Evapotranspiration Products”. *NASA Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System (LAADS) Distributed Active Archive Center (DAAC)*.
- Running, Steven W., Qiaozhen Mu, Maosheng Zhao, e Alvaro Moreno. 2019. “MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (MOD16A2/A3 and Year-End Gap-Filled MOD16A2GF/A3GF) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm (For Collection 6)”. 36.
- Rytwinski, Trina, Steven J. Cooke, Jessica J. Taylor, Dominique G. Roche, Paul A. Smith, Greg W. Mitchell, Karen E. Smokorowski, Kent A. Prior, e Joseph R. Bennett. 2021. “Acting in the face of evidentiary ambiguity, bias, and absence arising from systematic reviews in applied environmental science”. *Science of the Total Environment* 775:145122.
- Salerno, Franco, Gaetano Viviano, Elisa Carraro, Emanuela Chiara Manfredi, Andrea Lami, Simona Musazzi, Aldo Marchetto, Nicolas Guyennon, Gianni Tartari, e Diego Copetti. 2014. “Total phosphorus reference condition for subalpine lakes: A comparison among traditional methods and a new process-based watershed approach”. *Journal of Environmental Management* 145:94–105.
- Sanches, Rosely Alvim e André Villas-Bôas. 2005. “Planejando a gestão em um cenário socioambiental de mudanças: o caso da bacia do rio Xingu”. *Revista de Administração Pública (RAP)* 39(2):365–79.
- Sano, Edson E., Ariane A. Rodrigues, Eder S. Martins, Giovana M. Bettiol, Mercedes M. C. Bustamante, Amanda S. Bezerra, Antônio F. Couto, Vinicius Vasconcelos, Jéssica Schüler, e Edson L. Bolfe. 2019.

- “Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation”. *Journal of Environmental Management* 232:818–28.
- Sano, Sueli Matiko, Semíramis Pedrosa de Almeida, e José Felipe Ribeiro. 2008. *Cerrado: Ecologia e Flora*. Vol. 1. 1º ed. organizado por S. M. Sano, S. P. de Almeida, e J. F. Ribeiro. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.
- Santana, Carlos Augusto Mattos, Silvia Kanadani Campos, Renner Marra, e Adalberto Araújo Aragão. 2020. “Cerrado: Pilar da agricultura brasileira”. P. 39–58 in *Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções*. Vol. 1, organizado por É. L. Bolfe, E. E. Sano, e S. K. Campos. Brasília, DF: Embrapa.
- Santos, Isaac R., Felipe Niencheski, William Burnett, Richard Peterson, Jeffrey Chanton, Carlos F. F. Andrade, Idel B. Milani, Axel Schmidt, e Kay Knoeller. 2008. “Tracing anthropogenically driven groundwater discharge into a coastal lagoon from southern Brazil”. *Journal of Hydrology* 353(3–4):275–93.
- dos Santos, Ronaldo Medeiros e Sergio Koide. 2016. “Groundwater Recharge Evaluation in Brazilian Cerrado Biome Site by Saturated Zone Flow Numerical Modeling”. *RBRH-REVISTA BRASILEIRA DE RECURSOS HIDRICOS* 21(2):451–65.
- Sarmiento, Guillermo, Guillermo Goldstein, e Frederick Meinzer. 1985. “Adaptive strategies of woody species in neotropical savannas”. *Biological Reviews* 60(3):315–55.
- Savenije, Hubert H. G. G. 2004. “The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary”. *Hydrological Processes* 18(8):1507–11.
- da Silva, Andréa Leme, Saulo Aires de Souza, Osmar Coelho Filho, Ludivine Eloy, Yuri Botelho Salmons, e Carlos José Sousa Passos. 2021. “Water appropriation on the agricultural frontier in western Bahia and its contribution to streamflow reduction: Revisiting the debate in the Brazilian Cerrado”. *Water* 13(8):1054.
- Silva, C. L. e C. A. S. Oliveira. 1999. “Runoff measurement and prediction for a watershed under natural vegetation in central Brazil”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 23(3):695–701.
- Silva, Camila Valéria de Jesus, Olívia Bueno da Costa, e Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi. 2017. “Detecção de cicatrizes de fogo na vegetação Cerrado do Distrito Federal entre 1999 a 2011.” *Revista Brasileira de Cartografia* 69/4:687–99.
- Silva, J. F., M. R. Farinas, J. M. Felfili, e C. A. Klink. 2006. “Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil”. *Journal of Biogeography* 33(3):536–48.
- da Silva, Richarde Marques, José Carlos Dantas, Joyce de Araújo Beltrão, e Celso A. G. G. Santos. 2018. “Hydrological simulation in a tropical humid basin in the Cerrado biome using the SWAT model”.



*Hydrology Research* 49(3):908–23.

Siqueira, Paula Prado, Paulo Tarso S. Oliveira, Danielle Bressiani, Antonio A. Meira Neto, e Dulce B. B.

Rodrigues. 2021. “Effects of climate and land cover changes on water availability in a Brazilian Cerrado basin”. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 37(September 2020):100931.

Skøien, J. O., G. Blöschl, e A. W. Western. 2003. “Characteristic space scales and timescales in hydrology”. *Water Resources Research* 39(10).

Smettem, Keith R. J. 2007. “Welcome address for the new ‘Ecohydrology’ Journal”. *Ecohydrology* 130(February):126–30.

Soares, Wagner Lopes e Marcelo Firpo Porto. 2007. “Agricultural activity and environmental externality: An analysis of the use of pesticides in the Brazilian savannah”. *Ciência & Saúde Coletiva* 12(1):131–43.

Sone, Jullian S., Gabriela C. Gesualdo, Pedro A. P. Zamboni, Nelson O. M. Vieira, Tiago S. Mattos, Glauber A. Carvalho, Dulce B. B. Rodrigues, Teodorico Alves Sobrinho, e Paulo Tarso S. Oliveira. 2019. “Water provisioning improvement through payment for ecosystem services”. *Science of The Total Environment* 655:1197–1206.

Spera, Silvio Tulio, Adriana Reatto, Éder de Souza Martins, e João Roberto Correia. 2005. *Atributos físicos de solos e distribuição das fitofisionomias de Cerrado na Bacia Hidrográfica do Rio Jardim, DF*. Planaltina, DF.

Spera, Stephanie A., Gillian L. Galford, Michael T. Coe, Marcia N. Macedo, e John F. Mustard. 2016. “Land-use change affects water recycling in Brazil’s last agricultural frontier”. *Global Change Biology* 22(10):3405–13.

Sprenger, Matthias, Christine Stumpp, Markus Weiler, Werner Aeschbach, Scott T. Allen, Paolo Benettin, Maren Dubbert, Andreas Hartmann, Markus Hrachowitz, James W. Kirchner, Jeffrey J. McDonnell, Natalie Orłowski, Daniele Penna, Stephan Pfahl, Michael Rinderer, Nicolas Rodriguez, Maximilian Schmidt, e Christiane Werner. 2019. “The demographics of water: A review of water ages in the critical zone”. *Reviews of Geophysics* 57(3):800–834.

Stickler, Claudia M., Michael T. Coe, Marcos Heil Costa, Daniel C. Nepstad, David G. McGrath, Livia Cristina Pinto Dias, Hermann O. Rodrigues, e Britaldo S. Soares-Filho. 2013. “Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon basin at local and regional scales”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(23):9601–6.

Strauch, Michael, Jorge E. F. W. Lima, Martin Volk, Carsten Lorz, e Franz Makeschin. 2013. “The impact of

- Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment”. *Journal of Environmental Management* 127:S24–36.
- Strauch, Michael e Martin Volk. 2013. “SWAT plant growth modification for improved modeling of perennial vegetation in the tropics”. *Ecological Modelling* 269:98–112.
- Suter, Christian, S. Madheswaran, e B. P. Vani, orgs. 2020. *The middle class in world society: Negotiations, diversities and lived experiences*. Routledge.
- Taffarello, D., M. S. Bittar, K. S. Sass, M. C. Calijuri, D. G. F. Cunha, e E. M. Mendiondo. 2020. “Ecosystem service valuation method through grey water footprint in partially-monitored subtropical watersheds”. *Science of The Total Environment* 738:139408.
- Thomaz, Sidinei Magela, Luciana Gomes Barbosa, Marise Costa de Souza Duarte, e Renata Panosso. 2020. “Opinion: The future of nature conservation in Brazil”. *Inland Waters* 10(2):295–303.
- Thompson, Sally E., Ciaran J. Harman, Peter A. Troch, Paul D. Brooks, e Murugesu Sivapalan. 2011. “Spatial scale dependence of ecohydrologically mediated water balance partitioning: A synthesis framework for catchment ecohydrology”. *Water Resources Research* 47(10):1–20.
- Tukker, Arnold. 2005. “Leapfrogging into the future: Developing for sustainability”. *International Journal of Innovation and Sustainable Development* 1(1/2):65.
- Tundisi, José Galizia e Takako Matsumura Tundisi. 2016. “Integrating ecohydrology, water management, and watershed economy: case studies from Brazil”. *Ecohydrology & Hydrobiology* 16(2):83–91.
- UN. 2015. “Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development”.
- UNESCO. 2019. *The United Nations world water development report 2019: Leaving no one behind*. Paris, France.
- UNESCO. 2020. *Water and Climate Change*. Paris, France: UNESCO.
- Velazco, Santiago José Elías, Fabricio Villalobos, Franklin Galvão, e Paulo De Marco Júnior. 2019. “A dark scenario for Cerrado plant species: Effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness”. *Diversity and Distributions* 25(4):660–73.
- Vieira, Raísa R. S., Robert L. Pressey, e Rafael Loyola. 2019. “The residual nature of protected areas in Brazil”. *Biological Conservation* 233(November 2018):152–61.
- Vörösmarty, Charles J., Pamela A. Green, Joseph Salisbury, e Richard B. Lammers. 2000. “Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth”. *Science* 289(5477):284–88.
- Vörösmarty, Charles J., P. B. McIntyre, Mark O. Gessner, David Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden,

- S. E. Bunn, Caroline A. Sullivan, C. Reidy Liermann, e P. M. Davies. 2010. “Global threats to human water security and river biodiversity”. *Nature* 467(7315):555–61.
- Watanabe, Marcos D. B. e Enrique Ortega. 2014. “Dynamic emergy accounting of water and carbon ecosystem services: A model to simulate the impacts of land-use change”. *Ecological Modelling* 271(SI):113–31.
- van Wirdum, G. 1982. *The ecohydrological approach to nature protection*. Leersum, The Netherlands.
- Wohl, Ellen, Ana Barros, Nathaniel Brunzell, Nick A. Chappell, Michael T. Coe, Thomas Giambelluca, Steven Goldsmith, Russell Harmon, Jan M. H. Hendrickx, James Juvik, Jeffrey McDonnell, e Fred Ogden. 2012. “The hydrology of the humid tropics”. *Nature Climate Change* 2(9):655–62.
- Wright, Cynthia, Aurora Kagawa-Viviani, Cynthia Gerlein-Safdi, Giovanni M. Mosquera, María Poca, Han Tseng, e Kwok Pan Chun. 2018. “Advancing ecohydrology in the changing tropics: Perspectives from early career scientists”. *Ecohydrology* 11(3):e1918.
- Zalewski, M., G. A. Janauer, e G. Jolánkai, orgs. 1997. *Ecohydrology: A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources*. Paris.
- Zeng, R. e X. Cai. 2014. “Analyzing streamflow changes: Irrigation-enhanced interaction between aquifer and streamflow in the Republican River basin”. *Hydrology and Earth System Sciences* 18(2):493–502.
- Zevenbergen, Chris, Dafang Fu, e Assela Pathirana. 2018. “Transitioning to sponge cities: Challenges and opportunities to address urban water problems in China”. *Water* 10(9):1230.
- Zhang, Chi, Xiaoxian Chen, Yu Li, Wei Ding, e Guangtao Fu. 2018. “Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies”. *Journal of Cleaner Production* 195:625–39.
- Zhang, Xuesong e Raghavan Srinivasan. 2009. “GIS-based spatial precipitation estimation: A comparison of geostatistical approaches”. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 45(4):894–906.
- Zipkin, Elise F., Erin R. Zylstra, Alexander D. Wright, Sarah P. Saunders, Andrew O. Finley, Michael C. Dietze, Malcolm S. Itter, e Morgan W. Tingley. 2021. “Addressing data integration challenges to link ecological processes across scales”. *Frontiers in Ecology and the Environment* 19(1):30–38.
- Zou, Zhendong, Yajun Yang, e Guo Qiu. 2019. “Quantifying the evapotranspiration rate and its cooling effects of urban hedges based on three-temperature model and infrared remote sensing”. *Remote Sensing* 11(2):202.

# Apêndice

**Apêndice 1.** Publicações selecionadas para o mapeamento durante o processo de triagem, que somam 127 publicações.

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
A MODIS-based energy balance to estimate evapotranspiration for clear-sky days in Brazilian tropical savannas	A. L. Ruhoff; A. R. Paz; W. Collischonn; L. E. O. C. Aragao; H. R. Rocha; Y. S. Malhi	2012	Observational; Model/Simulation	Comparative – methodological-multiscale	Regional	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Rio Grande basin			Evapotranspiration
Addressing rainfall data selection uncertainty using connections between rainfall and streamflow	M. C. Levy; A. Cohn; A. V. Lopes; S. E. Thompson	2017	Observational	Comparative – methodological	Biome	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Amazon-Cerrado transition states of Brazil			Evapotranspiration, Runoff, Precipitation
Analysis of atmospheric moisture transport to the Upper Paraná River basin	L. Z. Moura; C. H. R. Lima	2018	Model/Simulation	Descriptive	Regional	Decade	No	Reanalysis	No	Upper Paraná River basin			Water balance
Analysis of groundwater and river stage fluctuations and their relationship with water use and climate variation effects on Alto Grande watershed, Northeastern Brazil	E. A. G. Marques; G. C. Silva Jr.; G. Z. S. Eger; A. M. Ilambwetsi; P. Raphael; T. N. Generoso; J. Oliveira; J. N. Júnior	2020	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Regional	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Alto Grande watershed			Groundwater level, Precipitation, Streamflow
Annual course of matric potential in differently used savanna Oxisols in Brazil	J. Lilienfein; W. Wilcke; M. A. Ayarza; S. C. Lima; L. Vilela; W. Zech	1999	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	Yes	Ground-based	Yes	Uberlândia	Typical Cerrado		Precipitation, Soil water storage
Application of SWAT Model in the evaluation of water consumption in planted forest areas in Pará river basin, Upper São Francisco, in Minas Gerais	E. L. Rodrigues; M. A. T. Elmiro; C. M. Jacobi; W. L. Lamounier	2015	Model/Simulation	Comparative – scenario	Regional	Decade	No	Ground-based	No	Vale do Rio Pará Basin	Antropic mosaic		Streamflow
Assessment of an automated calibration of the SEBAL algorithm to estimate dry-season surface-energy partitioning in a forest–savanna transition in Brazil	L. Laipelt; A. L. Ruhoff; A. S. Fleischmann; R. H. B. Kayser; E. M. Kich; H. R. Rocha; C. M. U. Neale	2020	Model/Simulation	Descriptive	Regional	Year	No	Ground-based, Satellite-based; Reanalysis	No	Bananal Island	Antropic mosaic		Evapotranspiration
Assessment of the MODIS global evapotranspiration algorithm using eddy covariance measurements and hydrological modelling in the Rio Grande basin	A. L. Ruhoff; A. R. Paz; L. E. O. C. Aragao; Q. Mu, Y. Malhi; W. Collischonn; H. R. Rocha; S. W. Running	2013	Model/Simulation	Comparative – methodological	Regional	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Rio Grande basin			Evapotranspiration, Streamflow
Atmosphere and hydrological controls of the evapotranspiration over a floodplain forest in the Bananal Island region, Amazonia	L. S. Borma; H. R. da Rocha; O. M. Cabral; C. von Randow; E. Collicchio; D. Kurzatkowski; P. J. Brugger; H. Freitas; R. Tannus; L. Oliveira; C. D. Renno; P. Artaxo	2009	Observational	Comparative – spatial-temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Cantão State Park (CSP)	Transitional forest, Varjão		Groundwater level, Soil moisture

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
Brazilian maize yields negatively affected by climate after land clearing	S. A. Spera; J. M. Winter; T. F. Partridge	2020	Model/Simulation	Comparative – scenario	Biome	Decade	No	Reanalysis	No	Amazon-Cerrado			Evaporation, Precipitation
Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture	L. C. Balbino; A. Bruand; I. Cousin; M. Brossard; P. Quélin; M. Grimaldi	2004	Observational	Comparative – spatial	Local	-	No	Ground-based	Yes	Planaltina de Goiás	Cerrado strictu-sensu	Latossolo	Soil water content
Changes in physical quality of Oxisols under management systems in Brazilian Cerrado	C. E. L. Feitosa; P. H. S. Costa; K. C. de Menezes; U. C. de Oliveira; M. F. de Farias	2020	Observational	Comparative – spatial	Local	Month	Yes	Ground-based	Yes	Chapadinha	Undefined natural vegetation		Infiltration
Changes to the energy budget and evapotranspiration following conversion of tropical savannas to agricultural lands in São Paulo State, Brazil	B. B. Silva; B. P. Wilcox; V. P. R. da Silva; S. M. G. L. Montenegro; L. M. M. de Oliveira	2015	Model/Simulation	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Mogi Guaçu watershed	Undefined natural vegetation		Evapotranspiration
Chemical and physical-hydric characterisation of a red latosol after five years of management during the summer between-crop season	J. F. G. Silva; E. C. Severiano; K. A. P. Costa; V. M. Benites; W. S. Guimarães Júnnyor; J. C. Bento	2014	Observational	Comparative – spatial	Local	-	Yes	Ground-based	Yes	Technology Centre (CTC) of the Agroindustrial Cooperative of Rural Farmers of Southwest Goiás (COMIGO), Rio Verde	Undefined natural vegetation		Soil water content
Climate change impacts under representative concentration pathway scenarios on streamflow and droughts of basins in the Brazilian Cerrado biome	J. A. M. Rodrigues; M. R. Viola; L. A. Alvarenga; C. R. de Mello; S. C. Chou; V. A. de Oliveira; V. Uddameri; M. A. V. Morais	2019	Model/Simulation	Comparative – scenario	Regional	Decade	No	Ground-based, Projection	No	Sono River basin; Manuel Alves da Natividade River basin; Palma River basin		Gleissolo	Evapotranspiration, Precipitation, Streamflow
Comparison of simulated and measured data of actual evapotranspiration of a watershed with natural Brazilian savannah conditions	J. E. F. W. Lima; C. L. da Silva; C. A. S. Oliveira	2001	Model/Simulation	Comparative – methodological	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Córrego Capetinga micro-catchment	Natural mosaic		Evapotranspiration, Precipitation, Runoff, Soil water storage
Comparative assessment of modelled and empirical reference evapotranspiration methods for a Brazilian savanna	L. C. G. Valle Jr.; A. M. Ventura; R. S. R. Gomes; J. S. Nogueira; F. A. Lobo; G. L. Vourlitis; T. R. Rodrigues	2020	Observational; Model/Simulation	Comparative – methodological	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Fazenda Miranda, Cuiabá	Campo Sujo	Latossolo Vermelho	Evapotranspiration, Precipitation, Soil moisture
Comparative evapotranspiration of Eucalyptus, Pine and natural “Cerrado” vegetation measure by the soil water balance method	W. P. Lima; M. J. B. Zakia; P. L. Libardi; A. P. de Souza Filho	1990	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Grão Mogol, Jequitinhonha valley	Undefined natural vegetation	Latossolo Amarelo distrófico	Evapotranspiration, Precipitation, Soil water storage, Water balance, Capillary rise; Groundwater recharge
Comparative gas exchange performance during the wet season of three Brazilian Styra species under habitat conditions of cerrado vegetation types differing in soil water availability and crown density	G. Habermann; P. F. V. Ellsworth; J. L. Cazoto; E. Simão; A. C. Bieras	2011	Observational	Comparative – spatial	Local	Day	No	Ground-based	Yes	Itirapina (São José da Conquista farm); Corumbataí; Ajapi	Cerrado strictu-sensu, Riparian vegetation, Cerradão	Latossolo	Soil water content

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
Contribution of understory vegetation on total evapotranspiration in distinct environments of the cerrado biome, Distrito Federal, Brazil	O. A. Santana; G. Cuniat; J. Imaña-Encinas	2010	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Cerrado strictu-sensu, Riparian vegetation	Latossolo Vermelho distrófico	Evapotranspiration
Controls on stand transpiration and soil water utilization along a tree density gradient in a Neotropical savanna	S. J. Bucci; F. G. Scholz; G. Goldstein; W. A. Hoffmann; F. C. Meinzer; A. C. Franco; T. Giambelluca; F. Miralles-Wilhelm	2008	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Campo Sujo, Cerrado strictu-sensu, Cerradão, Campo cerrado, Cerrado denso		Evaporation, Precipitation, Soil water storage
Converging patterns of uptake and hydraulic redistribution of soil water in contrasting woody vegetation types	F. C. Meinzer; J. R. Brooks; S. Bucci; G. Goldstein; F. G. Scholz; J. M. Warren	2004	Observational	Comparative – spatial	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Cerrado strictu-sensu, Campo cerrado, Cerrado denso		Soil water storage, Hydraulic redistribution
Conversion to soy on the Amazonian agricultural frontier increases streamflow without affecting stormflow dynamics	S. J. Hayhoe; C. Neill; S. Porder; R. McHorney; P. Lefebvre; M. T. Coe; H. Elsenbeer; A. V. Krusche	2011	Observational; Model/Simulation	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Tanguro farm	Transitional forest	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Streamflow, Baseflow
Curve number estimation from Brazilian Cerrado rainfall and runoff data	P. T. S. Oliveira; M. A. Nearing; R. H. Hawkins; J. J. Stone; D. B. B. Rodrigues; E. Panachuki; E. Wendland	2016	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Itirapina	Cerrado strictu-sensu		Precipitation, Runoff
Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil	R. S. Oliveira; L. Bezerra; E. A. Davidson; F. Pinto; C. A. Klink; D. C. Nepstad; A. Moreira	2005	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Campo Sujo, Cerrado denso		Evapotranspiration, Soil water content
Deforestation changes land–atmosphere interactions across South American biomes	A. Salazar; J. Katzfey; M. Thatcher; J. Syktus; K. Wong; C. McAlpine	2016	Model/Simulation	Comparative – spatial-temporal	Biome	Decade	No	Satellite-based, Reanalysis	No	non-Amazonian South America		Latossolo Vermelho distrófico	Evapotranspiration, Precipitation, Soil moisture
Determining forest litter interception in an area of the Cerrado sensu stricto	L. M. P. Rosalem; J. A. A. Anache; E. Wendland	2018	Experimental	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Itirapina	Cerrado strictu-sensu	Latossolo	Evaporation, Evapotranspiration
Differential seedling establishment of woody plants along a tree density gradient in Neotropical savannas	A. Salazar; G. Goldstein; A. C. Franco; F. Miralles-Wilhelm	2012	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Closed savanna; Intermediate savanna; Open savanna	Latossolo	Soil water content
Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil	S. R. Loarie; D. B. Lobell; G. P. Asner; Q. Mu; C. B. Field	2011	Observational	Comparative – spatial-temporal	Regional	Year	No	Satellite-based	No	Mato Grosso, Goias, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul and São Paulo		Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; Gleissolo	Evapotranspiration
Dissolved rainfall inputs and streamwater outputs in an undisturbed watershed on highly weathered soils in the Brazilian Cerrado	D. Markewitz; J. C. F. Resende; L. Parron; M. Bustamante; C. A. Klink; R. O. Figueiredo; E. A. Davidson	2006	Observational	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Natural mosaic	Neossolo Quartzarênico órtico	Precipitation, Runoff, Streamflow
Do groundwater dynamics drive spatial patterns of tree density and diversity in Neotropical savannas?	R. Villalobos-Vega; A. Salazar; F. Miralles-Wilhelm; M. Haridasan; A. C. Franco; G. Goldstein	2014	Observational	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Natural mosaic	Latossolo Vermelho	Precipitation, Groundwater level

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
Droughts amplify differences between the energy balance components of Amazon forests and croplands	C. Caioni; D. V. Silvério; M. N. Macedo; M. T. Coe; P. M. Brando	2020	Observational	Comparative – spatial	Regional	Decade	No	Satellite-based	No	Mato Grosso			Evapotranspiration, Water balance
Dynamic energy accounting of water and carbon ecosystem services: A model to simulate the impacts of land-use change	M. D. B. Watanabe; E. Ortega	2014	Model/Simulation; Model/Simulation	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	No	Taquarizinho watershed	Antropic mosaic		Evapotranspiration, Groundwater recharge, Soil moisture, Streamflow
Dynamics of the subsoil regeneration in degraded areas of Cerrado	G. B. Rodrigues; K. L. Maltoni; A. M. R. Cassiolato	2007	Observational	Comparative – spatial	Local	Day	Yes	Ground-based	Yes	Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, Selvíria	Undefined natural vegetation	Latossolo	Infiltration
Effect of fires on biophysical parameters, energy balance and evapotranspiration in a protected area in the Brazilian Cerrado	I. O. Ivo; M. S. Biudes; G. L. Vourlitis; N. G. Machado; C. C. Martim	2020	Observational	Comparative – spatial	Local	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Chapada dos Guimarães National Park (CGNP)	Natural mosaic		Evapotranspiration
Effect of rainfall variability and land use on runoff and sediment in the Pípiripau river basin, in the Distrito Federal, Brazil	H. M. L. Chaves; L. P. Piau	2008	Model/Simulation	Comparative – spatial-temporal	Local	Decade	No	Ground-based	No	Pípiripau river basin		Latossolo Vermelho-Escuro; Latossolo Vermelho-Amarelo; Cambissolo; Gleissolo	Runoff
Effect of temporal averaging of meteorological data on predictions of groundwater recharge	M. S. Batalha; M. C. Barbosa; B. Faybishenko; M. T. van Genuchten	2018	Model/Simulation	Comparative – spatial; methodological	Local	Year	No	Ground-based	No	Paracatu		Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho-Amarelo; Latossolo Amarelo; Plintossolo Pétrico	Evaporation, Groundwater recharge
Effective hydraulic conductivity and its relationship with the other attributes of Cerrado soils	E. D. Bocuti; R. S. S. Amorim; L. A. L. Di Raimo; W. A. Magalhães; E. C. de Azevedo	2020	Experimental	Comparative – spatial	Local	-	Yes	Ground-based	Yes	Campo Verde; Santo Antônio de Leverger	Undefined natural vegetation		Infiltration
Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation	M. H. Costa; G. F. Pires	2010	Model/Simulation	Comparative – spatial-scenario	Biome	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Amazon-Cerrado			Evapotranspiration, Precipitation
Effects of conversion of native cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier	R. L. B. Nóbrega; A. C. Guzha; G. N. Torres; K. Kovacs; G. Lamparter; R. S. S. Amorim; E. Couto; G. Gerold	2017	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Campo Verde	Cerrado strictu-sensu	Latossolo Vermelho; Argissolo Vermelho	Evapotranspiration, Precipitation, Streamflow
Effects of fire on surface carbon, energy and water vapour fluxes over campo sujo savanna in central Brazil	A. J. B. Santos; G. T. D. A. Silva; H. S. Miranda; A. C. Miranda; J. Lloyd	2003	Experimental	Comparative – temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Campo Sujo		Evaporation

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil	L. C. P. Dias; M. N. Macedo; M. H. Costa; M. T. Coeb, C. Neill	2015	Model/Simulation	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Tanguro Farm	Undefined natural vegetation		Evapotranspiration, Groundwater storage, Precipitation, Runoff, Lateral flow, Water balance
Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia	M. H. Costa; A. Botta; J. A. Cardille	2003	Observational	Comparative – spatial-temporal	Regional	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Upper Tocantins river basin	Antropic mosaic		Evapotranspiration, Precipitation, Runoff, Streamflow
Energy balance in terms of land use changes in the southern of Mato Grosso State	L. P. Angelini; P. C. B. S. Silva; M. A. Fausto; N. G. Machado; M. S. Biudes	2017	Observational	Comparative – spatial-temporal	Local	Month	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Mato Grosso Federal University experimental farm	Antropic mosaic		Evapotranspiration, Precipitation
Environmental flow in the River Ondas basin in Bahia, Brazilian Cerrado	E. R. R. S. Castro; M. C. Moreira; D. D. Silva	2016	Model/Simulation	Descriptive	Local	Decade	No	Ground-based	Yes	River Ondas basin			Streamflow
Environmental spatial-temporal heterogeneity of streams in a Cerrado-Caatinga ecotone	D. S. Veras; L. C. Medeiros-França; C. A. S. de Azêvedo	2018	Observational	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Área de Proteção Ambiental Municipal do Inhamum	Transitional vegetation	Neossolo Quartzênico	Streamflow
Estimating seasonal changes in volumetric soil water content at landscape scales in a savanna ecosystem using two-dimensional resistivity profiling	D. C. Garcia-Montiel; M. T. Coe; M. P. Cruz; J. N. Ferreira; E. M. da Silva; E. A. Davidson	2008	Observational; Model/Simulation	Comparative – temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Ecological Station of Águas Emendadas	Cerrado strictu-sensu	Latossolo Vermelho-Amarelo	Evapotranspiration, Runoff, Soil water content, Water balance
Evaluating water use for agricultural intensification in Southern Amazonia using the Water Footprint Sustainability Assessment	M. J. Lathuillière; M. T. Coe; A. Castanho; J. Graesser; M. S. Johnson	2018	Model/Simulation	Comparative – spatial	Regional	Decade	No	Ground-based, Projection	No	Xingu Basin	Antropic mosaic	Latossolo	Evapotranspiration, Runoff, Streamflow
Evaluation of agricultural land cover representations on regional climate model simulations in the Brazilian Cerrado	S. A. Spera; J. M. Winter; J. W. Chipman	2018	Model/Simulation	Comparative – methodological-multiscale	Biome	Decade	No	Ground-based, Satellite-based, Reanalysis	No	Cerrado and Amazon			Evapotranspiration, Precipitation, Runoff, Soil moisture
Evaluation of evapotranspiration variations according to soil type using multivariate statistical analysis	R. W. D. Bosquilia; C. M. U. Neale; S. N. Duarte; S. J. Longhi; S. F. B. Ferraz; F. E. Muller-Karger	2019	Model/Simulation	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	No	Northeast of the State of São Paulo	Undefined natural vegetation		Evapotranspiration
Evaluation of methods for estimating atmospheric emissivity in mato-grossense cerrado	J. B. Silva; D. C. Gaio; L. F. A. Curado; J. S. Nogueira; L. C. G. Valle Jr.; T. R. Rodrigues	2019	Observational	Descriptive	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Fazenda Miranda, Cuiabá	Natural mosaic		Precipitation
Evaluation of natural regeneration and recovery of environmental services in a watershed in the Cerrado-Brazil	G. L. dos Santos; M. G. Pereira; R. C. Delgado; J. L. R. Torres; M. D. C. Cravo; A. C. Barreto; I. C. Magistrali	2020	Observational	Comparative – temporal	Local	Year	No	Ground-based	No	Watershed at the Federal Institute of the Triângulo Mineiro (IFTM) Uberaba Campus	Undefined natural vegetation		Streamflow
Evaluation of satellite precipitation products for hydrological modeling in the Brazilian Cerrado biome	J. S. Amorim; M. R. Viola; R. Junqueira; V. A. de Oliveira; C. R. de Mello	2020	Model/Simulation	Comparative – methodological	Regional	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Serra da Mesa Basin		Latossolo	Streamflow



Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
Evaluation of the performance of SM2RAIN-derived rainfall products over Brazil	F. Paredes-Trejo; H. Barbosa; C. A. C. dos Santos	2019	Observational	Comparative – methodological	Biome	Year	No	Ground-based, Satellite-based	No	Brazil			Precipitation
Evapotranspiration and energy balance of Brazilian savannas with contrasting tree density	T. W. Giambelluca; F. G. Scholz; S. J. Bucci; F. C. Meinzer; G. Goldstein; W. A. Hoffmann; A. C. Franco; M. P. Buchert	2009	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Campo cerrado, Cerrado denso		Evapotranspiration
Event-based rainfall interception modeling in a Cerrado riparian forest – central Brazil: An alternative approach to the IS method for parameterization of the Gash Model	B. E. Távora; S. Koide	2020	Observational; Model/Simulation	Comparative – methodological	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Capetinga experimental watershed	Riparian vegetation	Latossolo Vermelho-Amarelo; Latossolo Vermelho; Neossolo Quartzarênico; Argissolo Vermelho-Amarelo; Neossolo Litólico; Organossolo Háplico; Gleissolo Háplico	Interception, Precipitation
Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian Cerrado: An analysis using eddy covariance and stable isotopes	A. C. Miranda; H. S. Miranda; J. Lloyd; J. Grace; R. J. Francey; J. A. McIntyre; P. Meir; P. Riggan; R. Lockwood; J. Brass	1997	Observational	Descriptive	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Reserva Ecológica de Águas Emendadas	Cerrado strictu-sensu	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Transpiration
Forest restoration and hydrological parameters effects on soil water conditions: a structural equation modelling approach	D. Bessi; M. O. Tanaka; L. A. da Costa; C. J. P. Correa; K. C. Tonello	2018	Observational	Comparative – temporal	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Private Natural Heritage Reserve (PNHR) Floresta das Águas Perenes, Brotas	Cerrado strictu-sensu, Cerradão	Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho-Amarelo; Plintossolo Pétrico; Cambissolo Flúvico; Gleissolo háplico; Gleissolo Melânico	Infiltration, Interception, Soil moisture
Groundwater depth as a constraint on the woody cover in a Neotropical Savanna	M. B. Leite; R. O. Xavier; P. T. S. Oliveira; F. K. G. Silva; D. M. S. Matos	2018	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Itirapina Ecological Station	Campo limpo, Campo sujo, Campo cerrado, Cerrado strictu-sensu, Campo úmido		Groundwater level
Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian Cerrado	P. T. S. Oliveira; M. B. Leite; T. Mattos; M. A. Nearing; R. L. Scott; R. O. Xavier; D. M. S. Matos; E. Wendland	2017	Observational	Comparative – spatial-temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Itirapina Ecological Station	Campo limpo, Campo sujo, Campo cerrado, Cerrado strictu-sensu		Groundwater level, Groundwater recharge

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
Groundwater recharge estimates at Bauru Aquifer System (BAS)	V. F. M. Gonçalves; R. L. Manzione	2019	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB)	Natural mosaic	Latossolo	Groundwater level, Groundwater recharge
Groundwater recharge estimation using water budget method for Bauru Aquifer system in a Cerrado environmental protection area	T. Ramires; R. L. Manzione	2019	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	No	Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB)	Natural mosaic		Groundwater recharge, Interception, Precipitation, Runoff, Water balance
Groundwater recharge evaluation in Brazilian Cerrado biome site by saturated zone flow numerical modeling	R. M. dos Santos; S. Koide	2016	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Capão Comprido experimental basin	Antropic mosaic	Latossolo Vermelho-Amarelo	Groundwater recharge
Hydraulic lift in a Neotropical savanna: Experimental manipulation and model simulations	F. G. Scholz; S. J. Bucci; W. A. Hoffmann; F. C. Meinzer; G. Goldstein	2010	Experimental; Model/Simulation	Descriptive	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Campo sujo, Campo cerrado, Cerrado strictu-sensu, Cerrado denso, Cerradão	Neossolo Quartzarênico	Soil water content, Soil water storage
Hydrological simulation in a tropical humid basin in the Cerrado biome using the SWAT model	R. M. da Silva; J. C. Dantas; J. A. Beltrão; C. A. G. Santos	2018	Model/Simulation	Descriptive	Regional	Decade	No	Ground-based	No	Upper São Francisco River basin			Streamflow
Hydrological trade-offs due to different land covers and land uses in the Brazilian Cerrado	J. A. A. Anache; E. Wendland; L. M. P. Rosalem; C. Youlton; P. T. S. Oliveira	2019	Experimental	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Arruda Botelho Institute (IAB), Itirapina	Undefined natural vegetation	Neossolo Quartzarênico órtico	Evapotranspiration, Groundwater level, Precipitation, Runoff, Soil moisture, Water balance
Impact of changes in land use in the flow of the Pará River Basin, MG	E. L. Rodrigues; M. A. T. Elmiro; F. A. Braga; C. M. Jacobi; R. D. Rossi	2015	Model/Simulation	Comparative – spatial-temporal	Regional	Decade	No	Ground-based	No	Pará River Basin	Antropic mosaic		Evapotranspiration, Streamflow
Impact of changes in surface cover on energy balance in a tropical city by remote sensing: A study case in Brazil	N. G. Machado; M. S. Biudes; L. P. Angelini; C. A. S. Querino; P. C. B. S. Angelini	2020	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Month	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Cuiabá	Cerrado woodland; Cerrado grassland		Evapotranspiration
Impact of sum-of-hourly and daily timesteps in the computations of reference evapotranspiration across the Brazilian territory	D. Althoff; R. Filgueiras; S. H. B. Dias; L. N. Rodrigues	2019	Model/Simulation	Comparative – methodological	Biome	Year	No	Ground-based	No	Brazil		Latossolo; Plintossolo; Cambissolo; Gleissolo	Evapotranspiration
Impacts of agricultural land use on ecosystem structure and whole-stream metabolism of tropical Cerrado streams	B. Björn; I. G. Boëchat; A. Giani	2009	Observational	Comparative – temporal	Regional	Week	No	Ground-based	Yes	Upper São Francisco River basin	Grassland	Latossolo	Streamflow
Impacts of land-use and land-cover change on streamhydrochemistry in the Cerrado and Amazon biomes	R. L. B. Nóbrega; A. C. Guzha; G. Lamparter; R. S. S. Amorim; E. G. Couto; H. J. Hughes; H. F. Jungkunst; G. Gerold	2018	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Rancho do Sol farm, Campo Verde	Cerrado strictu-sensu		Streamflow
Improved albedo estimates implemented in the METRIC model for modeling energy balance fluxes and evapotranspiration over	B. S. Oliveira; E. C. Moraes; M. Carrasco-Benavides; G. Bertani; G. A. V. Mataveli	2018	Observational; Model/Simulation	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	No	Pé de Gigante reserve in Vassununga State Park; Instituto Brasileiro de Geografia	Cerrado strictu-sensu	Neossolo	Evapotranspiration

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
agricultural and natural areas in the Brazilian Cerrado										e Estatística (IBGE) Ecological Reserve			
Inferring fluctuations of the aquifer by monitoring the area of small lakes in a Brazilian savanna region using a temporal sequence of 50 landsat images	C. H. Pires-Luiz; P. Maillard	2010	Observational	Descriptive	Local	Decade	No	Satellite-based	No	Veredas do Peruaçu State Park	Undefined natural vegetation		Water balance
Influence of the land use and occupation in hidrologic availability of river basin Uruçuí-Preto, Piauí	K. B. Souza; J. B. L. Silva; R. F. Ratke; G. S. Lisboa; K. N. S. Almeida	2019	Observational	Comparative – spatial	Regional	Decade	No	Ground-based	No	Uruçuí-Preto River basin	Riparian vegetation, Undefined natural vegetation		Streamflow
Inter-annual variability of carbon and water fluxes in Amazonian forest, Cerrado and pasture sites, as simulated by terrestrial biosphere models	C. von Randow; M. Zeri; N. Restrepo-Coupe; M. N. Muza; L. G. G. de Gonçalves; M. H. Costa; A. C. Araujo; A. O. Manzi; H. R. da Rocha; S. R. Saleska; M. A. Arain; I. T. Baker; B. P. Cestaro; B. Christoffersen; P. Ciais; J. B. Fisher; D. Galbraith; X. Guan; B. van den Hurk; K. Ichii; H. Imbuzeiro; A. Jain; N. Levine; G. Miguez-Macho; B. Poulter; D. R. Roberti; A. Sahoo; K. Schaefer; M. Shi; H. Tian; H. Verbeeck; Z.-L. Yang	2013	Observational; Model/Simulation	Comparative – spatial-methodological	Local	Year	No	Ground-based	No	Javaes River, Bananal Island; Pé-de-Gigante reserve	Undefined natural vegetation		Evapotranspiration
Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado	J. A. A. Anache; D. C. Flanagan; A. Srivastava; E. C. Wendland	2018	Observational; Model/Simulation	Comparative – spatial-temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Arruda Botelho Institute (IAB), Itirapina	Undefined natural vegetation		Precipitation, Runoff
Land use change increases streamflow across the Arc of Deforestation in Brazil	M. C. Levy; A. V. Lopes; A. Cohn; L. G. Larsen; S. E. Thompson	2018	Observational; Model/Simulation	Comparative – spatial-temporal	Biome	Decade	Yes	Ground-based, Satellite-based	No	Amazon-Cerrado's Arc of Deforestation		Neossolo Quartzarênico	Streamflow
Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier	S. A. Spera; G. L. Galford; M. T. Coe; M. N. Macedo; J. F. Mustard	2016	Observational	Comparative – spatial-temporal	Regional	Decade	No	Satellite-based, Reanalysis	No	MATOPIBA		Neossolo Quartzarênico; Latossolo Vermelho-Amarelo; Latossolo Vermelho-Escuro; Plintossolo Pétrico	Evapotranspiration
Measurement of the ecological integrity of Cerrado streams using biological metrics and the Index of Habitat Integrity	D. F. dos Reis; A. E. Salazar; M. M. D. Machado; S. R. M. Couceiro; P. B. de Morais	2017	Observational	Comparative – spatial	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Taquaruçu Grande river basin	Natural mosaic		Streamflow
Measurements of CO2 exchange over a woodland savanna 2 (Cerrado Sensu stricto) in southeast Brasil	H. R. da Rocha; H. C. Freitas; R. Rosolem; R. I. N. Juárez;	2002	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Pé de Gigante reserve	Cerrado strictu-sensu		Soil moisture

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
	R. N. Tannus; M. A. Ligo; O. M. R. Cabral; M. A. F. S. Dias												
Mechanisms of water supply and vegetation demand govern the seasonality and magnitude of evapotranspiration in Amazonia and Cerrado	B. O. Christoffersen; N. Restrepo-Coupe; M. A. Arain; I. T. Baker; B. P. Cestaro; P. Ciais; J. B. Fisher; D. Galbraith; X. Guan; L. Gulden; B. van den Hurk; K. Ichii; H. Imbuzeiro; A. Jain; N. Levine; G. Miguez-Macho; B. Poulter; D. R. Roberti; K. Sakaguchi; A. Sahoo; K. Schaefer; M. Shi; H. Verbeeck; Z.-L. Yang; A. C. Araújo; B. Kruijt; A. O. Manzi; H. R. da Rocha; C. von Randow; M. N. Muza; J. Borak; M. H. Costa; L. G. G. de Gonçalves; X. Zeng; S. R. Saleska	2014	Observational; Model/Simulation	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	No	Pé de Gigante reserve in Vassununga State Park	Cerrado strictu-sensu		Evapotranspiration, Groundwater recharge, Precipitation, Runoff, Capillary rise
Modeling canopy conductance under contrasting seasonal conditions for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso, Brazil	T. R. Rodrigues; G. L. Vourlitis; F. A. Lobo; F. B. Santana; P. H. Z. de Arruda; J. S. Nogueira	2016	Observational; Model/Simulation	Comparative – temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Fazenda Miranda, Cuiabá	Campo sujo	Neossolo	Precipitation, Soil water content
Morphometric characteristics and hydrological dynamics in microbasins with different land uses of cerrado soils in Mato Grosso	W. A. Magalhães; R. S. S. Amorim; M. O'H. Hunter; E. D. Bocuti; T. G. dos Santos	2020	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Alto Rio das Mortes micro-basins	Undefined natural vegetation		Precipitation, Runoff, Streamflow
Natural water storage and aquifer recharge assessment in Brazilian savanna wetland using Unmanned Aerial Vehicle and geophysical survey	L. Furlan; V. Rosolen; J. Sales; C. Moreira; M. Ferreira; G. Bueno; C. Coelho; S. Mounier	2020	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Upper basin of the Rio Claro, Uberaba	Campo de Murundus		Groundwater storage
Net precipitation and recharge of groundwater in Riacho Fundo watershed, Felixlândia - MG	A. P. V. Carvalho; H. C. T. Dias; K. C. Tonello; H. N. de Paiva	2016	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Riacho Fundo watershed	Riparian vegetation	Latossolo Vermelho-Amarelo; Plintossolo Pétrico; Cambissolo Háplico; Neossolo Lítico; Latossolo Vermelho; Neossolo Flúvico; Gleissolo Háplico	Groundwater level, Precipitation
On the link between soil hydromorphy and geomorphological development in the Cerrado (Brazil) wetlands	V. Rosolen; G. T. Bueno; M. Mutema; C. A. Moreira; I. R. Faria Jr.; G. Nogueira; V. Chaplot	2019	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	-	No	Ground-based	Yes	Upper reach of the Uberabinha catchment (Caroço River)	Campo de Murundus		Groundwater level

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment	P. T. S. Oliveira; M. A. Nearing; E. Wendland	2015	Experimental	Comparative – spatial-temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Arruda Botelho Institute (IAB), Itirapina	Cerrado strictu-sensu		Precipitation, Runoff
Organic matter, water infiltration and tomographic images of Latosol in reclamation under different managements	D. C. Marchini; T. C. Ling; M. C. Alves; S. Crestana; S. N. Souto Filho; O. G. de Arruda	2015	Experimental	Comparative – spatial	Local	Day	Yes	Ground-based	Yes	Paraná river, Selvíria	Undefined natural vegetation	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Infiltration
Partitioning of soil water among tree species in a Brazilian Cerrado ecosystem	P. C. Jackson; F. C. Meinzer; M. Bustamante; G. Goldstein; A. Franco; P. W. Rundel; L. Caldas; E. Iglar; F. Causin	1999	Observational	Descriptive	Local	Day	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Campo sujo, Cerrado strictu-sensu, Cerradão	Neossolo Quartzarênico	Soil water content
Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil	M. S. Biudes; G. L. Vourlitis; N. G. Machado; P. H. Z. de Arruda; G. A. R. Neves; F. A. Lobo; C. M. U. Neale; J. S. Nogueira	2015	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Sinop; Fazenda Miranda;	Campo sujo, Cerradão	Gleissolo	Soil water content
Performance evaluation of Eta/HadGEM2-ES and Eta/MIROC5 precipitation simulations over Brazil	A. Almagro, P. T. S. Oliveira; R. Rosolem; S. Hagemann; C. A. Nobre	2020	Model/Simulation	Comparative – methodological	Biome	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Brazil		Latossolo	Precipitation
Physical attributes of a Yellow Oxisol under some management systems in the cerrado of Piauí State, Brazil	W. Fontenele; A. A. C. Salviano; F. E. P. Mousinho	2009	Observational	Comparative – spatial	Local	Day	Yes	Ground-based	Yes	Fazenda Progresso, município de Uruçuí	Undefined natural vegetation	Gleissolo; Latossolo; ;	Infiltration
Physical properties and organic matter in a red latosol under management systems and native Cerrado	C. C. Figueiredo; M. L. G. Ramos; R.Tostes	2008	Observational	Comparative – spatial	Local	Day	Yes	Ground-based	Yes	Fazenda União, Unai	Undefined natural vegetation	Neossolo Quartzarênico órtico	Soil moisture, Soil water storage
Physical-chemical and microbiological changes in Cerrado Soil under differing sugarcane harvest management systems	C. T. C. C. Rachid; M. C. Piccolo; D. C. A. Leite; F. C. Balieiro; H. L. C. Coutinho; J. D. van Elsas; R. S. Peixoto; A. S. Rosado	2012	Observational	Comparative – spatial	Local	Day	Yes	Ground-based	Yes	Porteirão	Cerradão	Latossolo Vermelho distrófico	Soil moisture
Precipitation influence on the runoff of a small-watershed in the Federal District, Brazil	D. B. S. de Alencar; C. L. da Silva; C. A. S. Oliveira	2006	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Córrego Capetinga micro-catchment	Natural mosaic		Precipitation, Runoff
Rainfall partitioning in fragments of Cerrado vegetation at different stages of conduction of natural regeneration	D. Bessi; H. C. T. Dias; K. C. Tonello	2018	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Floresta das Águas Perenes RPPN, Brotas	Undefined natural vegetation	Neossolo Quartzarênico; Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Interception, Precipitation
Rainfall variability in the Brazilian northeast biomes and their interactions with meteorological systems and ENSO via CHLSA product	W. L. F. Correia Filho; J. F. de Oliveira-Júnior; D. B. Santiago; P. M. B. Terassi; P. E. Teodoro; G. de Gois; C. J. C. Blanco; P. H. A. Souza; M.	2019	Observational	Comparative – spatial-temporal	Regional	Decade	No	Satellite-based	No	Northeast Region			Precipitation

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
	S. Costa; H. B. Gomes; P. J. dos Santos												
Runoff measurement and prediction for a watershed under natural vegetation in central Brazil	C. L. Silva; C. A. S. Oliveira	1999	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Capetinga experimental watershed	Natural mosaic	Latossolo Amarelo distrófico	Evapotranspiration, Precipitation, Runoff, Streamflow
Seasonal and depth variation of soil moisture in a burned open savanna (campo sujo) in central Brazil	C. A. Quesada; A. C. Miranda; M. G. Hodnett; A. J. B. Santos; H. S. Miranda; L. M. Breyer	2004	Experimental	Comparative – spatial-temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Campo sujo	Latossolo Vermelho	Evapotranspiration, Soil water content, Soil water storage, Water balance
Seasonal variation in energy balance and canopy conductance for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso, Brazil	T. R. Rodrigues; G. L. Vourlitis; F. A. Lobo; R. G. de Oliveira; J. S. Nogueira	2014	Observational	Comparative – temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Fazenda Miranda, Cuiabá	Campo sujo	Latossolo Vermelho eutrófico	Precipitation, Soil moisture
Seasonal variations in soil water in two woodland savannas of central Brazil with different fire history	C. A. Quesada; M. G. Hodnett; L. M. Breyer; A. J. B. Santos; S. Andrade; H. S. Miranda; A. C. Miranda; J. Lloyd	2008	Observational	Comparative – spatial-temporal	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Reserva Ecológica de Águas Emendadas	Undefined natural vegetation		Evapotranspiration, Soil water content, Transpiration, Groundwater recharge
Simulated hydroclimatic impacts of projected Brazilian sugarcane expansion	M. Georgescu; D. B. Lobell; C. B. Field; A. Mahalov	2013	Model/Simulation	Comparative – spatial	Regional	Year	No	Satellite-based	No	South-central Brazil		Neossolo Quartzarênico	Evapotranspiration, Soil moisture
Soil carbon and nitrogen stocks and physical properties under no-till and conventional tillage cotton-based systems in the Brazilian Cerrado	L. H. C. Souza; E. S. Matos; C. A. S. Magalhães; É. R. de la Torre; F. M. Lamas; R. Lal	2018	Experimental	Comparative – spatial	Local	Day	Yes	Ground-based	Yes	Mato Grosso Cotton Institute (IMA), Primavera do Leste	Undefined natural vegetation		Infiltration
Soil changes under different land-uses in the Cerrado of Mato Grosso, Brazil	P. Hunke; R. Roller; P. Zeilhofer; B. Schröder; E. N. Mueller	2015	Observational	Comparative – spatial	Local	Day	Yes	Ground-based	Yes	Tenente Amaral Catchment	Undefined natural vegetation		Infiltration
Soil quality under different uses and native Cerrado	R. Araújo; W. J. Goedert; M. P. C. Lacerda	2007	Observational	Comparative – spatial	Local	Day	Yes	Ground-based	Yes	Fazenda Água Limpa	Cerrado strictu-sensu	Latossolo Vermelho-Amarelo	Infiltration
Soil water dynamics in a toposequence under Savanna Woodland (Cerradão) in Assis, SP, Brazil	C. E. P. Juhász; P. R. Cursi; M. Cooper; T. C. Oliveira; R. R. Rodrigues	2006	Observational	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Ecological Station of Assis	Cerradão	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Precipitation, Soil moisture
Soil water-holding capacity and monodominance in Southern Amazon tropical forests	B. H. Marimon-Junior; J. V. Hay; I. Oliveras; H. Jancoski; R. K. Umetsu; T. R. Feldpausch; D. R. Galbraith; E. U. Gloor; O. L. Phillips; B. S. Marimon	2020	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Reserve of the Vera Cruz farm, Nova Xavantina	Transitional forest	Latossolo Amarelo-Vermelho	Soil moisture
Solute and sediment export from Amazon forest and soybean headwater streams	S. H. Riskin; C. Neill; K. Jankowski; A. V. Krusche; R. McHorney; H. Elsenbeer; M. N. Macedo; D. Nunes; S. Porder	2017	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based, Satellite-based	Yes	Tanguro Farm	Transitional forest		Evapotranspiration, Streamflow, Baseflow

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
Surface runoff and soil erosion in a natural regeneration area of the Brazilian Cerrado	K. S. Falcão; E. Panachuki; F. N. Monteiro; R. S. Menezes; D. B. B. Rodrigues; J. S. Sone; P. T. S. Oliveira	2020	Experimental	Comparative – spatial	Local	-	No	Ground-based	Yes	Experimental Farm of the State University of Mato Grosso do Sul, Aquidauana	Cerradão, Regenerating Cerradão	Latossolo Vermelho-Amarelo	Runoff, Soil water content
Surprisingly modest water quality impacts from expansion and intensification of large-scale commercial agriculture in the Brazilian Amazon-Cerrado region	C. Neill; K. Jankowski; P. M. Brando; M. T. Coe; L. A. Deegan; M. N. Macedo; S. H. Riskin; S. Porder; H. Elsenbeer; A. V. Krusche	2017	Observational	Comparative – spatial	Local	-	No	Ground-based	Yes	Tanguro Farm	Undefined natural vegetation	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico	Infiltration; Water yield
SWAT plant growth modification for improved modeling of perennial vegetation in the tropics	M. Strauch; M. Volk	2013	Model/Simulation	Comparative – spatial	Local	Decade	No	Ground-based	No	Santa Maria/Torto watershed	Cerrado woodland; Riparian vegetation; Cerrado grassland; Antropic mosaic	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	Evapotranspiration, Streamflow
The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil	M. T. Coe; E. M. Latrubesse; M. E. Ferreira; M. L. Amsler	2011	Model/Simulation	Comparative – spatial-temporal	Regional	Decade	No	Ground-based, Satellite-based	No	Araguaia sub-watershed upstream of the Arauã stream gauge	Antropic mosaic	Latossolo Vermelho distrófico; Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; Latossolo Amarelo distrófico; Gleissolo Háptico distrófico	Evapotranspiration, Precipitation, Streamflow
The impact of land cover change on surface energy and water balance in Mato Grosso, Brazil	J. Pongratz; L. Bounoua; R. S. DeFries; D. C. Morton; L. O. Anderson; W. Mauser; C. A. Klink	2006	Model/Simulation	Comparative – spatial	Regional	Year	No	Satellite-based	No	North-central Mato Grosso	Antropic mosaic	Plintossolo Pétrico	Evapotranspiration
The partitioning of water uptake between growth forms in a Neotropical savanna: Do herbs exploit a third water source niche?	D. R. Rossatto; L. S. L. Sternberg; A. C. Franco	2013	Observational	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Ecological Reserve	Cerrado strictu-sensu	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; Gleissolo	Groundwater level, Precipitation
The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of land cover and land use	A. E. Arantes; L. G. Ferreira; M. T. Coe	2016	Observational; Model/Simulation	Comparative – spatial-temporal	Biome	Decade	No	Satellite-based	No	Cerrado		Argissolo Vermelho distrófico	Evapotranspiration
The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian Cerrado	P. T. S. Oliveira; E. Wendland; M. A. Nearing; R. L. Scott; R. Rosolem; H. R. da Rocha	2015	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	No	Pé de Gigante reserve in Vassununga State Park; Arruda Botelho Institute (IAB)	Cerrado strictu-sensu	Latossolo	Evapotranspiration, Groundwater level, Groundwater recharge, Infiltration, Precipitation, Runoff, Soil water content, Soil water storage, Water balance
Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado	P. T. S. Oliveira; M. A. Nearing; M. S. Moran; D. C.	2014	Observational	Descriptive	Biome	Year	No	Ground-based, Satellite-based	No	Cerrado			Evapotranspiration, Precipitation, Runoff, Streamflow, Water

Title	Author(s)	Year	Design	Type	Spatial scale	Temporal scale	Control	Data source	Primary data	Study area	Land cover	Soils	Hydrological variables
	Goodrich; E. Wendland; H. V. Gupta												balance, Terrestrial water storage
Understanding the effect of an agroforestry system with high litter input on topsoil permeability	J. R. M. Murta; G. Q. de Brito; S. F. Mendonça Filho; M. R. Hoffmann; L. F. Salemi	2020	Observational	Comparative – spatial	Local	Month	Yes	Ground-based	Yes	Santa Rita sub-basin, Planaltina	Cerrado strictu-sensu		Infiltration
Understanding the water dynamics on a tropical forest litter using a new device for interception measurement	L. M. P. Rosalem; E. C. Wendland; J. A. A. Anache	2018	Experimental	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Itirapina	Undefined natural vegetation		Interception
Variation of stream metabolism along a tropical environmental gradient	W. A. Saltarelli; W. K. Dodds; F. Tromboni; M. C. Calijuri; V. Neres-Lima; C. E. Jordão; J. C. P. Palhares; D. G. F. Cunha	2018	Observational	Comparative – spatial	Local	Month	No	Ground-based	Yes	Espraiado stream; Fazzari stream; Broa stream (São Carlos and Brotas)	Riparian vegetation, Transition forest	Latossolo	Streamflow
Water and element input into native, agri- and silvicultural ecosystems of the Brazilian savanna	J. Lilienfein; W. Wilcke	2004	Observational	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Uberlândia	Typical cerrado		Interception, Precipitation
Water and energy fluxes from a woodland savanna (cerrado) in southeast Brazil	O. M. R. Cabral; H. R. da Rocha; J. H. Gash; H. C. Freitas; M. A. V. Ligo	2015	Observational; Model/Simulation	Descriptive	Local	Year	No	Ground-based	No	Pé de Gigante reserve in Vassununga State Park	Cerrado strictu-sensu	Neossolo Quartzarênico órtico	Evaporation, Evapotranspiration, Interception, Precipitation, Soil water content
Water fluxes in the central Brazilian savanna: Seasonal patterns and land cover interdependencies as observed from GRACE, TRMM, and MODIS data	L. G. Ferreira; S. Bettadpur; M. T. Coe; M. H. Costa	2012	Observational	Comparative – spatial	Biome	Year	No	Satellite-based	No	Cerrado			Evapotranspiration, Precipitation
Water infiltration into an oxisol in the south-west cerrado region under different use and management systems	J. A. M. Bono; M. C. M. Macedo; C. A. Tormena; M. R. Nanni; E. P. Gomes; M. M. L. Müller	2012	Experimental	Comparative – spatial-temporal	Local	Year	Yes	Ground-based	Yes	Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte - Embrapa Gado de Corte	Cerradão	Latossolo	Infiltration
Water movement and resistance to penetration in a dystrophic Red Latosol of cerrado under different uses and management	Z. M. de Souza; M. C. Alves	2003	Observational	Comparative – spatial	Local	Month	Yes	Ground-based	Yes	Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Selvíria	Undefined natural vegetation		Infiltration
Wildfires and their impact on the water supply of a large neotropical metropolis: A simulation approach	E. L. Rodrigues; C. M. Jacobi; J. E. C. Figueira	2019	Model/Simulation	Descriptive	Local	Decade	No	Ground-based	No	Microbasins complex of Serra do Rola Moça State Park	Natural mosaic		Evapotranspiration, Infiltration, Runoff, Streamflow
Woody encroachment and its consequences on hydrological processes in the savannah	E. A. Honda; G. Durigan	2016	Observational; Model/Simulation	Comparative – spatial	Local	Year	No	Ground-based	Yes	Ecological Station of Assis	Cerrado strictu-sensu, Cerradão	Latossolo Vermelho acriférico	Interception, Precipitation



## Apêndice 2. Publicações excluídas durante a fase de triagem do texto completo.

Title	Status	Reason for "OUT"
Assessment of the soil hydraulic conductivity about coverage conditions by prairie and pastures	Inaccessible	
Regionalizing hydrological soil properties in the Brazilian Cerrado region using a semantic import model approach	Inaccessible	
Soil functions and land management: Potential synergies and tradeoffs at the Tropical agricultural frontier (Brazil)	Inaccessible	
Use of the SEBAL algorithm and LANDSAT imagens for estimating evapotranspiration in monoculture and Brazilian savanna areas	Inaccessible	
A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil	Out	Revisão.
A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Amazon River basin: Characterization and environmental impacts due to deforestation	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
An empirical workflow to integrate uncertainty and sensitivity analysis to evaluate agent-based simulation outputs	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
An integer linear programming approach applied to the cerrado (savanna) management	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Analysis of evapotranspiration and biomass in pastures with degradation indicatives in the Upper Tocantins River Basin, in Brazilian Savanna	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Are fire, soil fertility and toxicity, water availability, plant functional diversity, and litter decomposition related in a Neotropical savanna?	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Assessing groundwater potential use for expanding irrigation in the Buriti Vermelho watershed	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Assessing hydrological and provisioning ecosystem services in a case study in Western Central Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Assessment of empirical methods for estimation of reference evapotranspiration in the Brazilian Savannah	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Assessment of impacts on basin stream flow derived from medium-term sugarcane expansion scenarios in Brazil	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Biofuel-water-land nexus in the last agricultural frontier region of the Brazilian Cerrado	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Brazilian sugarcane expansion and the impacts on water resources: An overview	Out	Não avalia variáveis hidrológicas em áreas naturais.
Cattle production in Southern Amazonia: Implications for land and water management	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Changes in cerrado vegetation after disturbance by frost (São Paulo State, Brazil)	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Changes in hydro-physical attributes of a typic haplustox in the Cerrado of Mato Grosso state under different forms of soil use	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Chemistry and physical-hydric characterization of a Red Latosol after 20 years of different soil use and management	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Climatic risk zoning methodologies for soybean cultivation in the Cerrado Biome	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration: An approach to the management of water resources within an experimental basin in the Brazilian Cerrado	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Comparison of simplified methods for estimation of reference evapotranspiration (ET <sub>o</sub> ) for Brazilian coffee growing regions	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
Complementarity in mid-point impacts for water use in life cycle assessment applied to cropland and cattle production in Southern Amazonia	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Consequences of delaying actions for safeguarding ecosystem services in the Brazilian Cerrado	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Contribution to the discussions on the origin of the cerrado biome: Brazilian Savanna	Out	Revisão.

<b>Title</b>	<b>Status</b>	<b>Reason for "OUT"</b>
Deep drainage modeling for a fertigated coffee plantation in the Brazilian savanna	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Development of a spatially explicit approach for mapping ecosystem services in the Brazilian Savanna – MapES	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Diffuse pollution monitoring and modelling of small urban watershed in Brazil Cerrado	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Discharge-calcium concentration relationships in streams of the Amazon and Cerrado of Brazil: Soil or land use controlled	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Does environmental data increase the accuracy of land use and land cover classification?	Out	Dados não-originais.
Ecosystem restoration and water yield	Out	Revisão.
Ecosystem service valuation method through grey water footprint in partially monitored subtropical watersheds	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Ecosystem services of a functionally diverse riparian zone in the Amazon-Cerrado agricultural frontier	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Edaphic, structural, and physiological contrasts across Amazon Basin forest-savanna ecotones suggest a role for potassium as a key modulator of tropical woody vegetation structure and function	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
Efficiency of methods for calculating class A pan coefficients to estimate evapotranspiration reference	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Energy balance in the Cerrado of Ecological Station of Assis - Assis, Sao Paulo State, Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Environmental costs of soybean in areas of expansion in recent Brazilian savannah: The case of Pedro Afonso/TO	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo. Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Environmental factors and groundwater behavior in an agricultural experimental basin of the Brazilian central plateau	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Environmental zoning applied to soil and water conservation	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Equivalent water thickness in savanna ecosystems: MODIS estimates based on ground and EO-1 Hyperion data	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Establishment and growth of young plants of <i>Vochysia tucanorum</i> Mart. (Vochysiaceae) in open and shaded area under forest canopy	Out	Estudo em nível de espécie.
Estimation of climatological water deficit in an experimental watershed in the Brazilian Cerrado	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
Estimation of reference evapotranspiration for coffee irrigation management in a productive region of Minas Gerais cerrado	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Evaluation of groundwater recharge estimation methods in a watershed in the Brazilian Savannah	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Evaluation of models for the prevision of water infiltration in the soil under savanna	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Evaluation of soil-water parameters of a Red Latosol under pasture and 'cerrado'	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Evapotranspiration	Out	Não é um estudo.
Exposure assessment of rainfall to interannual variability using the wavelet transform	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Factors affecting the stemflow of trees in the Brazilian Cerrado	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Fire effects on soil and vegetation in a degraded Brazilian Savanna	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Flooding hydrology and peak discharge attenuation along the middle Araguaia River in central Brazil	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Geotechnologies applied to natural resources management of river basin Paranaíba in the Cerrado of Minas Gerais Fabrício	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Hydrological calibration and validation of the MGB-IPH model for water resource management in the upper Teles Pires River basin in the Amazon-Cerrado ecotone in Brazil	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.

<b>Title</b>	<b>Status</b>	<b>Reason for "OUT"</b>
Hydropedology of a high tableland with Cerrado, Brazilian central plateau: The frutal catchment case study	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Improving streamflow prediction using uncertainty analysis and Bayesian Model averaging	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
Influence of land use and land cover on hydraulic and physical soil properties at the cerrado agricultural frontier	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Integrated management systems for the improvement of the physical-hydric quality of a cerrado oxisol	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Interactions between climate and soil shape tree community assembly and above-ground woody biomass of tropical dry forests	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Interrelationship among among MODIS vegetation products across an amazon eco-climatic gradient	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Land evaluation combined with climatic risk estimate for corn using geographic information system	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Land occupation and transformation impacts of soybean production in Southern Amazonia, Brazil	Out	Dados não-originais.
Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review	Out	Revisão.
Land use change scenarios and their effects on hydropower energy in the Amazon	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
Linking woody species diversity with plant available water at a landscape scale in a Brazilian savanna	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Mapping trends in water table depths in a Brazilian Cerrado area	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Mechanisms contributing to seasonal homeostasis of minimum leaf water potential and predawn disequilibrium between soil and plant water potential in neotropical savanna trees	Out	Estudo em nível de espécie.
Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Modeling the water retention curve in Oxisols using the Double Van Genuchten Equation	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Modelling hydrological impacts of agricultural expansion in two macro-catchments in Southern Amazonia, Brazil	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Modelling soil-water-plant relationships in the Cerrado soils of Brazil: The case of maize ( <i>Zea mays</i> L.)	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Multitemporal evaluation of landscape of the area of environmental protection (APA) of the water catchment Guariroba stream, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, by means of satellite images	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo. Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Native grassland and adjacent forest at Humaitá region, Amazonas state, Brazil: Differential attributes of soils	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Pasture evapotranspiration as indicators of degradation in the Brazilian Savanna. A case study for Alto Tocantins watershed	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Payment for environmental services: How big must be the check to multiproduct farmers?	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Physical and chemical properties of a dark-red Latosol and agroecosystem sustainability	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Physical characteristics of a Dark-Red Latosol (Oxisol) of the Brazilian Savannas ("Cerrados") of Planaltina under fire action	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Physical quality of quartzarenic neosol submitted to different systems of agricultural use	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Physical-hydric attributes of an oxisol from the cerrado region under coffee plantation as affected by the sampling position	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Planning by the rules: A fair chance for the environment in a land-use conflict area	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo. Não há dados do Cerrado ou não é claro.

Title	Status	Reason for "OUT"
Potential use by attributes morphometric soil of the upper Meia Ponte watershed, Goiás	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Potential vegetation model for the Northeast region of Brazil as a function of precipitation	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Potentiality of sugarcane expansion under irrigation conditions considering natural and potential water availability	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Predictive modeling distribution of pioneer species in the state of Minas Gerais, Brazil	Out	Estudo em nível de espécie.
Priority areas for forest restoration aiming at the maintenance of water resources in a basin in the Cerrado/Amazon ecotone, Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Process-Based modelling of the impacts of land use change on the water balance in the Cerrado biome (Rio das Mortes, Brazil)	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Quantifying impacts of agro-industrial expansion in Mato Grosso, Brazil, on hydrological fluxes and water related ecosystem service provision using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Rainfall and evapotranspiration patterns in Goiânia, GO	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Regionalization of reference streamflows for the Araguaia River basin in Brazil	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Relationship between hydrology and aquatic ecosystems in the Araguaia River floodplain	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo. Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Relationship between soil properties and vegetation in the ecotone region of the middle São Francisco River valley, Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Relationship between the environmental conditions and floristic patterns in two phytogeographies of the Brazilian Cerrado	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Research and extension as a basis for building environmental knowledge: Collaborative workshop on permanent preservation area in the Ribeirão do Taquarucu Grande basin	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Resource availability shapes fire-filtered savannas	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Savanna woodland soil micromorphology related to water retention	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Seasonal patterns of gas exchange, water relations and growth of <i>Roupala montana</i> , an evergreen savanna species	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
Soil chemical management drives structural degradation of Oxisols under a no-till cropping system	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
Soil physical attributes under different tillage systems and cover crops, as influenced by pore distribution	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Spatial and temporal dynamics of water footprint for soybean production in areas of recent agricultural expansion of the Brazilian savannah (Cerrado)	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Spatial distribution of tropical wetlands in Central Brazil as influenced by geological and geomorphological settings	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Spatial pattern of the seasonal drought/burned area relationship across Brazilian biomes: Sensitivity to drought metrics and global remote-sensing fire products	Out	Não há dados do Cerrado ou não é claro.
Spatial variation in vegetation structure coupled to plant available water determined by two-dimensional soil resistivity profiling in a Brazilian savanna	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Structural changes in latosols of the cerrado region: I - relationships between soil physical properties and least limiting water range	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Temporal and spatial dynamics of C-band brightness temperature over the Brazilian tropical savanna	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Temporal evaluation of natural regeneration in a semideciduous secondary forest in Pirenópolis, Goiás, Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
The barren side of Brazil: Science, water resources, and the debate on the (in)fertile soils of the Brazilian Cerrado, 1892-1942	Out	Não é um estudo.
The Brazilian Cerrado: Assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use	Out	Revisão.

Title	Status	Reason for "OUT"
The ecophysiological performance of Vernonia polyanthes Less. (Asteraceae) in conserved and degraded forests in the Brazilian Cerrado	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
The environmental triangle of the Cerrado Domain: Ecological factors driving shifts in tree species composition between forests and savannas	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
The forests of the Amazon and Cerrado moderate regional climate and are the key to the future	Out	Revisão.
The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Towards more sustainable cropping systems: Lessons from native Cerrado species	Out	Revisão.
Transfer function-noise modeling and spatial interpolation to evaluate the risk of extreme (shallow) water-table levels in the Brazilian Cerrados	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Uncertain modeling on spatio-temporal analysis of water table depths in a watershed	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Using GRACE to quantify the depletion of terrestrial water storage in Northeastern Brazil: The Urucua Aquifer System	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em região de Cerrados	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Vegetation coverage in hydrographic basins in the central region of the State of São Paulo, Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Vegetation structure: Fine scale relationships with soil in a cerrado site	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Veredas of Minas Gerais Triangle: Soils, water and use	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Water availability determines physiognomic gradient in an area of low-fertility soils under Cerrado vegetation	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Water availability drives gradients of tree diversity, structure and functional traits in the Atlantic-Cerrado-Caatinga transition, Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Water availability in some soils covered with cerrado	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Water deficit affects wood vessels of Croton floribundus Spreng. in different vegetation types, São Paulo State, Brazil	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Water erosion on an Oxisol under integrated crop-forest systems in a transitional area between the Amazon and Cerrado biomes	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.
Water quality of rural ponds in the extensive agricultural landscape of the Cerrado (Brazil)	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Water stress and phenological synchronism between Copaifera langsdorffii (Fabaceae) and multiple galling insects: Formation of seasonal patterns	Out	Não há dados hidrológicos do escopo deste estudo.
Water-energy-food nexus of sugarcane ethanol production in the state of Goiás, Brazil: An analysis with regional input-output matrix	Out	Não estuda área majoritariamente natural ou não é claro.

### Apêndice 3. Base de dados de solos da bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal.

SNAM	LV	LV (Urb)	LVA	CX	CX (Urb)	GX	FX	EK	PVA	RQ	Water
NLAYERS	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	1
HYDGRP	A	A	A	C	C	D	D	C	B	B	D
SOL_ZMX	3300	1000	3300	1300	1000	1300	1300	1300	1300	3300	25
ANION_EXCL	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,5
SOL_CRK	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5
TEXTURE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

SNAM	LV	LV (Urb)	LVA	CX	CX (Urb)	GX	FX	EK	PVA	RQ	Water
SOL_Z1	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	25
SOL_BD1	0,9	0,9	1	1	1	0,9	1,1	1,1	1,2	1,3	1,7
SOL_AWC1	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,16	0,14	0,1	0,12	0,04	0
SOL_K1	500	500	1000	750	770	400	450	450	250	180	260
SOL_CBN1	1,67	0,5	1,69	1,58	0,5	2,56	1,14	1,14	2,56	0,6	0
CLAY1	53,93	53,93	57,36	49,84	49,84	51,59	37,97	37,97	36	30,1	0
SILT1	28,37	28,37	24,61	32,95	32,95	28,54	21,91	21,91	54	9,65	0
SAND1	12,94	12,94	18,03	17,2	17,2	19,86	40,13	40,13	10	60,5	0
ROCK1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_ALB1	0,03	0,03	0,08	0,1	0,1	0,08	0,08	0,08	0,15	0,2	0,23
USLE_K1	0,018	0,018	0,019	0,023	0,023	0,021	0,03	0,03	0,014	0,031	0
SOL_EC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_Z2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	0
SOL_BD2	0,94	0,94	0,96	1	0,96	0,9	1,1	1,1	1,2	1,38	0
SOL_AWC2	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,16	0,14	0,1	0,12	0,04	0
SOL_K2	360	360	300	160	160	350	400	400	100	50	0
SOL_CBN2	1,01	1,01	0,95	0,72	0,72	2,56	1,14	1,14	0,5	0,4	0
CLAY2	66,28	66,28	64,37	49,16	49,16	51,59	37,97	37,97	42	34,35	0
SILT2	22,93	22,93	20,54	34,31	34,31	28,54	21,91	21,91	51	9,58	0
SAND2	10,79	10,79	15,09	16,53	16,53	19,86	40,13	40,13	7	42,9	0
ROCK2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_ALB2	0,05	0,05	0,1	0,12	0,12	0,08	0,1	0,1	0,15	0,22	0
USLE_K2	0,015	0,015	0,017	0,023	0,023	0,021	0,03	0,03	0,015	0,03	0
SOL_EC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_Z3	3500	3500	3500	0	0	0	0	0	0	3500	0
SOL_BD3	0,94	0,94	0,96	0	0	0	0	0	0	1,38	0
SOL_AWC3	0,12	0,12	0,12	0	0	0	0	0	0	0,04	0
SOL_K3	150	150	150	0	0	0	0	0	0	50	0
SOL_CBN3	1,01	1,01	0,95	0	0	0	0	0	0	0,4	0
CLAY3	66,28	66,28	64,37	0	0	0	0	0	0	34,35	0
SILT3	22,93	22,93	20,54	0	0	0	0	0	0	9,58	0
SAND3	10,79	10,79	15,09	0	0	0	0	0	0	42,9	0
ROCK3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_ALB3	0,05	0,05	0,1	0	0	0	0	0	0	0,22	0
USLE_K3	0,015	0,015	0,017	0	0	0	0	0	0	0,032	0

**Apêndice 4. Base de dados de solos da bacia do Rio Paranã, em Goiás.**

SNAM	Rocku outcrop	CX	PV	PVA	RL	FF	FT	LV	GX	NV	Water
NLAYERS	1	2	2	2	1	2	2	3	2	2	1
HYDGRP	D	C	B	B	D	D	D	A	D	B	D
SOL_ZMX	300	1500	1300	1300	500	1300	1300	3300	1300	1300	25
ANION_EXCL	0,5	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,215697	0,5
SOL_CRK	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5
TEXTURE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SOL_Z1	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	25
SOL_BD1	2,5	1	1	1,2	1,6	1,5	1,3	0,9	0,9	1,2	1,72
SOL_AWC1	0,01	0,13	0,13	0,13	0,13	0,09	0,14	0,08	0,17	0,12	0
SOL_K1	0,01	874	900	900	125	450	450	612	494	900	260
SOL_CBN1	0,01	16,1	15,4	15	15	14,4	14	17	25,6	17	0
CLAY1	0	36	32	27	42	15	26	40	52	43	0
SILT1	0	27	37	20	36	11	38	20	28	33	0
SAND1	0,01	37	31	53	22	74	36	40	20	24	0
ROCK1	99,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_ALB1	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,23
USLE_K1	0,001	0,023	0,014	0,014	0,031	0,03	0,03	0,018	0,021	0,014	0
SOL_EC1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_Z2	0	1000	1000	1000	0	1000	1000	1000	1000	1000	0
SOL_BD2	0	1	1	1,2	0	1,5	1,3	0,9	0,9	1,2	0
SOL_AWC2	0	0,12	0,12	0,12	0	0,08	0,13	0,07	0,16	0,11	0
SOL_K2	0	262	125	125	0	125	125	461	494	125	0
SOL_CBN2	0	6,7	4	5	0	5,3	3,3	4,3	25,6	6,7	0
CLAY2	0	40	54	38	0	38	33	43	52	50	0
SILT2	0	27	31	19	0	15	35	20	28	29	0
SAND2	0	33	15	43	0	47	32	37	20	21	0
ROCK2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_ALB2	0	0,15	0,15	0,15	0	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0
USLE_K2	0	0,023	0,014	0,014	0	0,03	0,03	0,015	0,021	0,014	0
SOL_EC2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_Z3	0	1500	0	0	0	0	0	3500	0	0	0
SOL_BD3	0	1	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0
SOL_AWC3	0	0,11	0	0	0	0	0	0,06	0	0	0
SOL_K3	0	100	0	0	0	0	0	142	0	0	0
SOL_CBN3	0	1	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0

SNAM	Rocku outcrop	CX	PV	PVA	RL	FF	FT	LV	GX	NV	Water
CLAY3	0	10	0	0	0	0	0	43	0	0	0
SILT3	0	36	0	0	0	0	0	23	0	0	0
SAND3	0	54	0	0	0	0	0	34	0	0	0
ROCK3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOL_ALB3	0	0,1	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0
USLE_K3	0	0,023	0	0	0	0	0	0,015	0	0	0

### Apêndice 5. Base de dados de cobertura da terra da bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal.

CPNM	AGRR	CERR	CMPL	CMPS	DEGR	EUCA	MATA	ORCD	PAST	PRES	WATR
CROPNAME	Agricultural Land-Row Crops	Cerrado	Campo	Campo	Área Degradada	Eucalyptus	Mata Galeria	Orchard	Pasture	Cerrado/Área Preservada	Water
BIO_E	39	20	27	27	0,02	15	17	15	35	27	0
HVSTI	0,5	0,05	0,9	0,9	0,01	0,1	0,05	0,1	0,9	0,9	0
BLAI	3	2,5	2,3	2,3	0,01	2,5	3,8	4	4	2,15	0
FRGRW1	0,15	0,05	0,06	0,06	0,05	0,1	0,11	0,1	0,05	0,06	0
LAIMX1	0,05	0,1	0,12	0,12	0,05	0,15	0,37	0,15	0,05	0,12	0
FRGRW2	0,5	0,25	0,32	0,32	0,49	0,5	0,37	0,5	0,49	0,32	0
LAIMX2	0,95	0,7	0,82	0,82	0,95	0,75	0,97	0,75	0,95	0,82	0
DLAI	0,7	1	0,46	0,46	0,99	0,99	0,76	0,99	0,99	0,44	0
CHTMX	2,5	8	1	1	0,01	3,5	25	3,5	0,5	1	0
RDMX	2	4	2	2	0,1	2	3	2	2	2	0
T_OPT	25	25	25	25	25	20	30	20	25	25	0
T_BASE	8	12	11	11	12	7	10	7	12	11	0
CNYLD	0,014	0,016	0,016	0,016	0,0234	0,0019	0,0015	0,0019	0,0234	0,016	0
CPYLD	0,0016	0,0022	0,0022	0,0022	0,0033	0,0004	0,0003	0,0004	0,0033	0,0022	0
BN1	0,047	0,02	0,02	0,02	0,06	0,006	0,006	0,006	0,06	0,02	0
BN2	0,0177	0,012	0,012	0,012	0,0231	0,002	0,002	0,002	0,0231	0,012	0
BN3	0,0138	0,005	0,005	0,005	0,0134	0,0015	0,0015	0,0015	0,0134	0,005	0
BP1	0,0048	0,0014	0,0014	0,0014	0,0084	0,0007	0,0007	0,0007	0,0084	0,0014	0
BP2	0,0018	0,001	0,001	0,001	0,0032	0,0004	0,0004	0,0004	0,0032	0,001	0
BP3	0,0014	0,0007	0,0007	0,0007	0	0,0003	0,0003	0,0003	0,0019	0,0007	0
WSYF	0,3	0,01	0,9	0,9	0,9	0,05	0,01	0,05	0,9	0,9	0
USLE_C	0,2	0,003	0,003	0,003	0,3	0,001	0,001	0,001	0,003	0,042	0
GSI	0,007	0,002	0,003	0,003	0,005	0,007	0,0027	0,007	0,005	0,003	0
VPDFR	4	3	2,5	2,5	4	4	2,3	4	4	2,5	0
FRGMAX	0,75	0,65	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0
WAVP	7,2	10	10	10	10	3	8	3	10	10	0



CPNM	AGRR	CERR	CMPL	CMPS	DEGR	EUCA	MATA	ORCD	PAST	PRES	WATR
CO2HI	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	0
BIOEHI	45	39	39	39	0,01	20	16	20	36	39	0
RSDCO_PL	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0
OV_N	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,01
CN2A	67	30	35	35	77	45	25	45	49	30	92
CN2B	78	35	45	45	86	66	35	66	69	40	92
CN2C	85	40	55	55	88	77	45	77	79	50	92
CN2D	89	45	65	65	89	83	55	83	84	60	92
FERTFIELD	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
ALAI_MIN	0	1,5	0,9	0,9	0	0,75	3,5	0,75	0	0,9	0
BIO_LEAF	0	0,1	0,1	0,1	0	0,3	0,1	0,3	0	0,1	0
MAT_YRS	0	50	50	50	0	10	50	0	0	50	0
BMX_TREES	0	75	75	75	0	500	110	0	0	75	0
EXT_COEF	0,65	0,33	0,33	0,33	1	0,65	0,65	0,65	0,65	0,33	0
BM_DIEOFF	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

#### Apêndice 6. Base de dados de cobertura da terra da bacia do Rio Paranã, em Goiás.

CPNM	AGRL	BARR	CMPS	DEGR	EUCA	MATA	ORCD	PAST	PRES	SOYB	SUGC	WATR
CROPNAME	Agricultural Land-Generic	Barren	Campo	Área Degradada	Eucalyptus	Mata Galeria	Orchard	Pasture	Cerrado/Área Preservada	Soybean	Sugarcane	Water
BIO_E	33,5	0,01	27	0,02	15	17	15	35	27	25	25	0
HVSTI	0,45	0,01	0,9	0,01	0,1	0,05	0,1	0,9	0,9	0,31	0,5	0
BLAI	3	0,01	2,3	0,01	2,5	3,8	4	3	2,15	3	6	0
FRGRW1	0,15	0,05	0,06	0,05	0,1	0,11	0,1	0,05	0,06	0,15	0,15	0
LAIMX1	0,05	0,05	0,12	0,05	0,15	0,37	0,15	0,05	0,12	0,05	0,01	0
FRGRW2	0,5	0,49	0,32	0,49	0,5	0,37	0,5	0,49	0,32	0,5	0,5	0
LAIMX2	0,95	0,95	0,82	0,95	0,75	0,97	0,75	0,95	0,82	0,95	0,95	0
DLAI	0,64	0,99	0,46	0,99	0,99	0,76	0,99	0,99	0,44	0,6	0,75	0
CHTMX	1	0,01	1	0,01	3,5	25	3,5	0,5	1	0,8	3	0
RDMX	2	0,1	2	0,1	2	3	2	1,5	2	1,7	2	0
T_OPT	30	25	25	25	20	30	20	25	25	25	25	0
T_BASE	11	12	11	12	7	10	7	12	11	10	11	0
CNYLD	0,0199	0,0234	0,016	0,0234	0,0019	0,0015	0,0019	0,0234	0,016	0,065	0	0
CPYLD	0,0032	0,0033	0,0022	0,0033	0,0004	0,0003	0,0004	0,0033	0,0022	0,0091	0	0
BN1	0,044	0,06	0,02	0,06	0,006	0,006	0,006	0,06	0,02	0,0524	0,01	0
BN2	0,0164	0,0231	0,012	0,0231	0,002	0,002	0,002	0,0231	0,012	0,0265	0,004	0
BN3	0,0128	0,0134	0,005	0,0134	0,0015	0,0015	0,0015	0,0134	0,005	0,0258	0,0025	0

CPNM	AGRL	BARR	CMPS	DEGR	EUCA	MATA	ORCD	PAST	PRES	SOYB	SUGC	WATR
BP1	0,006	0,0084	0,0014	0,0084	0,0007	0,0007	0,0007	0,0084	0,0014	0,0074	0,0075	0
BP2	0,0022	0,0032	0,001	0,0032	0,0004	0,0004	0,0004	0,0032	0,001	0,0037	0,003	0
BP3	0,0018	0	0,0007	0	0,0003	0,0003	0,0003	0,0019	0,0007	0,0035	0,0019	0
WSYF	0,25	0,9	0,9	0,9	0,05	0,01	0,05	0,9	0,9	0,01	0,01	0
USLE_C	0,2	0,2	0,003	0,3	0,001	0,001	0,001	0,003	0,042	0,2	0,001	0
GSI	0,005	0,005	0,003	0,005	0,007	0,0027	0,007	0,003	0,003	0,007	0,005	0
VPDFR	4	4	2,5	4	4	2,3	4	4	2,5	4	4	0
FRGMAX	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0
WAVP	8,5	10	10	10	3	8	3	10	10	8	10	0
CO2HI	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	0
BIOEHI	36	0,01	39	0,01	20	16	20	36	39	34	33	0
RSDCO_PL	0,05	0,5	0,05	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0
OV_N	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,01
CN2A	67	77	35	77	45	25	45	49	30	67	67	92
CN2B	77	86	45	86	66	35	66	69	40	78	77	92
CN2C	83	91	55	88	77	45	77	79	50	85	83	92
CN2D	87	94	65	89	83	55	83	84	60	89	87	92
FERTFIELD	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
ALAI_MIN	0	0	0,9	0	0,75	3,5	0,75	0,75	0,9	0	0	0
BIO_LEAF	0	0	0,1	0	0,3	0,1	0,3	0	0,1	0	0	0
MAT_YRS	0	0	50	0	10	50	0	0	50	0	0	0
BMX_TREES	0	0	75	0	500	110	0	0	75	0	0	0
EXT_COEF	0,65	1	0,33	1	0,65	0,65	0,65	0,65	0,33	0,45	0,65	0
BM_DIEOFF	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

**Apêndice 7.** Base de dados de cobertura urbana da bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal (UAAD e UBBD), e da bacia do Rio Paranã, em Goiás (URBN).

URBNAME	UAAD	UBBD	URBN
URBFLNM	Residencial Alta Densidade	Residencial Baixa Densidade/Chácaras	Residencial
FIMP	0,89999998	0,2	0,38
FCIMP	0,44	0,1	0,30000001
CURBDEN	0,23999999	0,23999999	0,23999999
URBCOEF	0,18000001	0,18000001	0,18000001
DIRTMX	225	225	225
THALF	0,75	0,75	0,75
TNCONC	550	460	550

URBNAME	UAAD	UBBD	URBN
TPCONC	223	196	223
TNO3CONC	7,19999981	6	7,19999981
OV_N	0,1	0,1	0,1
CN2A	31	31	31
CN2B	59	59	59
CN2C	72	72	72
CN2D	79	79	79
URBCN2	98	98	98

### Apêndice 8. Script do R de preparação dos dados de entrada.

```

1 ##### DIRETORIO E PACOTES #####
2
3 dir = "~/Documents/DadosEspaciais/"
4 dir2 = "~/Documents/DataSetPNCV/"
5 setwd(dir)
6 library(raster)
7 library(rgdal)
8 library(sf)
9 library(rmapshaper)
10 library(stars)
11 library(tmap)
12 library(fs)
13
14 # https://spatialreference.org/ref/epsg/ (31983 -> SIRGAS2000 UTM23S) ou (32723 -> WGS84 UTM23S)
15
16 ##### LIMITES SUB-BACIAS #####
17
18 #dir()
19 #dir(paste(dir, "otto-PNCV", sep = ""))
20 otto = read_sf(paste(dir, "otto-PNCV/subbacias-PNCV.shp", sep = "")); otto
21 otto.or = otto
22
23 #### CRS
24
25 otto = st_transform(otto, 31983); otto
26

```

```

27 ##### Dissolver
28
29 otto = ms_dissolve(otto)
30 #plot(otto)
31
32 ##### Salvar
33
34 otto = as_Spatial(otto)
35 writeOGR(otto, dsn = dir2, driver = "ESRI Shapefile", "sub-baciasPNCV", overwrite = T)
36
37 ##### Reabrir o arquivo da pasta local
38
39 #otto = read_sf(paste(dir2, "sub-bacia-buffer.shp", sep = "")); otto
40 #plot(otto)
41
42 ##### DEM #####
43
44 #dir()
45 dem = raster("srtm-PNCV.tif"); dem
46
47 ##### CRS
48
49 dem = projectRaster(dem, crs = 31983, method = "bilinear", res = 30); dem
50 #dem.proj = dem
51 #dem = dem.proj
52
53 ##### Cortar pelos limites das sub bacias
54
55 dem = crop(dem, otto)
56 dem = mask(dem, otto)
57 #plot(dem)
58
59 ##### Salvar
60
61 writeRaster(dem, file.path(dir2, "dem-baciaPNCV.tif"), overwrite = T)
62
63 ##### Reabrir o arquivo da pasta local
64
65 #dem = raster(paste(dir2, "dem-PNCV.tif", sep = "")); dem

```

```

66 #plot(dem)
67
68 ##### USO DA TERRA #####
69
70 #dir()
71 usoterra = raster("mapbio5-PNCV-2019.tif"); usoterra
72
73 ##### CRS
74
75 usoterra = projectRaster(usoterra, crs = 31983, method = "ngb", res = 30); usoterra
76 #usoterra.proj = usoterra
77 #usoterra = usoterra.proj
78
79 ##### Limites
80
81 usoterra = crop(usoterra, otto)
82 usoterra = mask(usoterra, otto)
83 #plot(usoterra)
84
85 ##### Reclassificar valores das celulas* (se necessario)
86
87 #freq(usoterra)
88 #zero = usoterra %in% 0
89 #plot(zero)
90 #values(usoterra)[values(usoterra) == 0] = -99
91 #usoterra[is.na(usoterra)] = -99
92
93 ##### Salvar
94
95 writeRaster(usoterra, file.path(dir2, "usoterra-bacia-PNCV-99.tif"), overwrite = T)
96
97 ##### Reabrir o arquivo da pasta local
98
99 #usoterra = raster(paste(dir2, "usoterra-bacia-PNCV.tif", sep = "")); usoterra
100 #plot(usoterra)
101
102 ##### USO DA TERRA 2 #####
103
104 #dir()

```

```

105 #dir(paste(dir, "usoterra", sep = ""))
106 usoterra = read_sf(paste(dir, "usoterra-DF-sirgas.shp", sep = "")); usoterra
107
108 # Novo shapefile a partir de um unico atributo
109
110 #View(usoterra)
111 #names(usoterra)
112 usoterra = subset(usoterra, select = "CODIGO")
113 usoterra = st_crop(usoterra, st_bbox(otto))
114 usoterra = ms_dissolve(usoterra, "CODIGO")
115 #plot(usoterra)
116
117 ##### CRS
118
119 usoterra = st_transform(usoterra, 31983); usoterra
120
121 ##### Vetor para raster
122
123 usoterra = as_Spatial(usoterra)
124 usoterra = rasterize(usoterra, solos, "CODIGO"); usoterra
125 #plot(usoterra)
126
127 ##### Limites
128
129 usoterra = mask(usoterra, otto)
130 #plot(usoterra)
131 #usoterra.or = usoterra
132
133 ##### Reclassificar valores das celulas (remover classe "outros" e "agua")
134
135 #freq(usoterra)
136 while (freq(usoterra,value = NA) != 0) {
137   usoterra = focal(usoterra, matrix(1,3,3), fun = modal, na.rm = T, pad = T, NAonly = T)
138 }
139 #values(usoterra)[values(usoterra) == -99] = NA
140 #plot(usoterra)
141
142 ##### Salvar
143

```

```

144 writeRaster(usoterra, file.path(dir2, "usoterra-PNCV-99.tif"), overwrite = T)
145
146 ##### Reabrir o arquivo da pasta local
147
148 #usoterra = raster(paste(dir2, "usoterra-bacia-paranoa.tif", sep = "")); usoterra
149 #plot(usoterra)
150
151 ##### SOLOS #####
152
153 #dir()
154 #dir(paste(dir, "Solos", sep = ""))
155 solos = read_sf(paste(dir, "Solos/mapa_solos_df_lat_long_wgs84.shp", sep = "")); solos
156
157 # Novo shapefile a partir de um unico atributo
158
159 #View(solos)
160 #names(solos)
161 solos = subset(solos, select = "COD_ORD2")
162 solos = st_crop(solos, st_bbox(otto))
163 solos = ms_dissolve(solos, "COD_ORD2")
164 #plot(solos)
165
166 ##### CRS
167
168 solos = st_transform(solos, 31983); solos
169
170 ##### Vetor para raster
171
172 solos = as_Spatial(solos)
173 solos = rasterize(solos, usoterra, "COD_ORD2"); solos
174 #plot(solos)
175
176 ##### Limites
177
178 solos = mask(solos, otto)
179 #plot(solos)
180 #solos.or = solos
181
182 ##### Reclassificar valores das celulas (remover classe "outros" e "agua")

```

```

183
184 #freq(solos)
185 while (freq(solos,value = NA) != 0) {
186   solos = focal(solos, matrix(1,3,3), fun = modal, na.rm = T, pad = T, NAonly = T)
187 }
188 #values(solos)[values(solos) == -99] = NA
189 #plot(solos)
190
191 ##### Salvar
192
193 writeRaster(solos, file.path(dir2, "solos-bacia-PNCV-99.tif"), overwrite = T)
194
195 ##### Reabrir o arquivo da pasta local
196
197 #solos = raster(paste(dir2, "solos-bacia-PNCV.tif", sep = "")); solos
198 #plot(solos)
199
200 ##### MALHA HIDRICA #####
201
202 #dir()
203 #dir(paste(dir, "hidro_trecho_drenagem", sep = ""))
204 dren = read_sf(paste(dir, "hidro_trecho_drenagem/hidro_trecho_drenagem.shp", sep = "")); dren
205
206 dren = st_crop(dren, st_bbox(otto.or))
207 #tm_shape(dren) + tm_fill(col = "regime") + tm_lines(alpha = 1)
208
209 ##### CRS
210
211 dren = st_transform(dren, 31983); dren
212
213 ##### Limites
214
215 dren = st_intersection(dren, st_make_valid(otto))
216 #tm_shape(dren) + tm_fill(col = "regime") + tm_lines(alpha = 1)
217
218 ##### Salvar
219
220 dren = as_Spatial(dren)
221 writeOGR(dren, dsn = dir2, driver = "ESRI Shapefile", "dren-sub-PNCV", overwrite = T)

```



## Apêndice 9. Script do R de análise dos dados de saída.

```
1  dir = "~/Documents/Projeto/ResultadosBACIA/"
2  setwd(dir)
3  dir()
4
5  library(raster)
6  library(rgdal)
7  library(sf)
8  library(rmapshaper)
9  library(stars)
10 library(tmap)
11 library(fs)
12 library(fasterize)
13 library(rgeos)
14 library(proj4)
15 library(ggplot2)
16
17 ##### Mapas #####
18
19 HRU = read_sf(paste(dir, "HRUs-BACIA-Val.shp", sep = ""))
20 id = "-BACIA-Val.tif"
21
22 UC = read_sf("~/Documents/DadosEspaciais/Limites/UCs-mest.shp")
23 UC = st_transform(UC, 31983); UC
24
25 aguaBACIA = raster("~/Documents/DadosEspaciais/agua-BACIA.tif"); aguaBACIA
26
27 aguaBACIA0 = aguaBACIA
28 aguaBACIA0[] = ifelse(aguaBACIA0[] == 1,0,1)
29 aguaBACIA0[is.na(aguaBACIA0)] = 1
30 #plot(aguaBACIA0)
31
32 # Salvar mapas dos componentes hidrologicos
33
34 H2O =
35 c("PRECIPmm","ETmm","PERCmm","GW_RCHGmm","DA_RCHGmm","SA_STmm","DA_STmm","SURQ_GENmm","SURQ_CNTmm","LATQ_mm","GW
_Qmm","WYLD_Qmm")
```

```

35
36 for(i in 1:length(H2O)) {
37     obj = fasterize(HRU, aguaBACIA, field = H2O[i])
38     writeRaster(obj, file.path(paste(dir, H2O[i], id, sep = "" )), overwrite = T)
39 }
40
41 # Salvar mapas da porcentagem no balanço hídrico
42
43 precip = raster(paste(dir,"PRECIPmm", id, sep = ""))
44
45 for(i in 1:length(H2O)) {
46     raster = raster(paste(dir, H2O[i], id, sep = "" ))
47     prct = raster/precip
48     writeRaster(prct, file.path(paste(dir, H2O[i], "-prct", id, sep = "" )), overwrite = T)
49 }
50
51 ##### PRECIPITACAO #####
52
53 PRECIP = raster(paste(dir,"PRECIPmm", id, sep = ""))
54 #plot(PRECIP)
55
56 ##### SUBSURFACE FLOW #####
57
58 LAT = raster(paste(dir,"LATQ_mm", id, sep = ""))
59 BAS = raster(paste(dir,"GW_Qmm", id, sep = ""))
60 SS = LAT + BAS
61
62 SSp = SS/PRECIP
63
64 writeRaster(SS, file.path(paste(dir, "SSmm", id, sep = "" )), overwrite = T)
65 writeRaster(SSp, file.path(paste(dir, "SSmm-prct", id, sep = "" )), overwrite = T)
66
67 ##### Componentes hidrologicos #####
68
69 H2Oi =
70 c("PRECIPmm", "ETmm", "PERCmm", "GW_RCHGmm", "DA_RCHGmm", "SA_STmm", "DA_STmm", "SURQ_GENmm", "SURQ_CNTmm", "LATQ_mm", "GW
_Qmm", "SSmm", "WYLD_Qmm")
71 H2Oii = c("PRECIPmm-prct", "ETmm-prct", "PERCmm-prct", "GW_RCHGmm-prct", "DA_RCHGmm-prct", "SA_STmm-prct", "DA_STmm-
prct", "SURQ_GENmm-prct", "SURQ_CNTmm-prct", "LATQ_mm-prct", "GW_Qmm-prct", "SSmm-prct", "WYLD_Qmm-prct")

```

```

71
72 #1 = PRECIP
73 #2 = ET
74 #3 = PERC
75 #4 = GW_RCHG
76 #5 = DA_RCHG
77 #6 = SA_ST
78 #7 = DA_ST
79 #8 = SURQ_GEN
80 #9 = SURQ_CNT
81 #10 = LATQ
82 #11 = GW_Q
83 #12 = SS
84 #13 = WYLD_Q
85
86 CMPuc = mask(CMP, UC)
87 #plot(CMPuc, main = H2Oi[2])
88
89 CMPout = CMP
90 mascara = raster(paste(dir,"mascaraBACIA.tif", sep = ""))
91 values(CMPout)[values(CMPout) == 0] = -99
92 CMPout = CMPout*mascara
93 values(CMPout)[values(CMPout) == 0] = NA
94 values(CMPout)[values(CMPout) == -99] = 0
95 #plot(CMPout, main = H2Oi[2])
96
97 IN = values(CMPuc)
98 OUT = values(CMPout)
99 TOT = values(CMP)
100 data_list = list(IN, OUT, TOT)
101 x = mean(IN, na.rm = T); x
102 y = mean(OUT, na.rm = T); y
103 z = mean(TOT, na.rm = T); z
104
105 plot(CMP)
106
107 # Boxplot total
108
109 mascara = raster(paste(dir,"mascaraBACIA.tif", sep = ""))

```

```

110
111 H2Om = c("ETmm", "WYLD_Qmm", "SURQ_GENmm", "LATQ_mm", "GW_Qmm")
112 fig.myplot <- function() {
113   b = boxplot(data_list, names = c("PA", "NP", "Total"), col = "transparent", ylim = c(0,1500), yaxs = "i", boxwex = 0.5, yaxt = "n", xaxt = "n", outline = F,
frame.plot=F)
114   points(x = seq_along(b$names), y = c(x,y,z))
115   axis(2, at = seq(0, 1500, by = 100), tck=-0.04, lwd = 2, labels = F)
116   axis(2, at = seq(0, 1500, by = 300), line = 0.7, lwd = 0, cex.axis = 2.4)
117   mtext(1, at = seq_along(b$names), text = b$names, 1, cex = 2.4)
118 }
119 for(i in 1:length(H2Om)) {
120   raster = raster(paste(dir, H2Om[i], id, sep = ""))
121   values(raster)[values(raster) == 0] = -99
122   raster = raster*aguaBACIA0
123   values(raster)[values(raster) == 0] = NA
124   values(raster)[values(raster) == -99] = 0
125   rasteruc = mask(raster, UC)
126   rasterout = raster
127   values(rasterout)[values(rasterout) == 0] = -99
128   rasterout = rasterout*mascara
129   values(rasterout)[values(rasterout) == 0] = NA
130   values(rasterout)[values(rasterout) == -99] = 0
131   IN = values(rasteruc)
132   OUT = values(rasterout)
133   TOT = values(raster)
134   data_list = list(IN, OUT, TOT)
135   x = mean(IN, na.rm = T)
136   y = mean(OUT, na.rm = T)
137   z = mean(TOT, na.rm = T)
138   pdf(paste(H2Om[i], id, sep = ""), width=6, height=8)
139   fig.myplot()
140   dev.off()
141 }
142
143 # Boxplot fracao
144
145 H2Op = c("ETmm-prct", "SURQ_GENmm-prct", "PERCmm-prct", "SSmm-prct")
146 fig.myplot <- function() {

```

```

147     b = boxplot(data_list, names = c("PA", "NP", "Total"), col = "transparent", ylim = c(0,1), yaxs = "i", boxwex = 0.5, yaxt = "n", xaxt = "n", outline = F,
frame.plot=F)
148     points(x = seq_along(b$names), y = c(x,y,z))
149     axis(2, at = seq(0, 1, by = 0.1), tck=-0.04, lwd = 2, labels = F)
150     axis(2, at = seq(0, 1, by = 0.2), line = 0.7, lwd = 0, cex.axis = 2.4)
151     mtext(1, at = seq_along(b$names), text = b$names, 1, cex = 2.4)
152 }
153 for(i in 1:length(H2Op)) {
154     raster = raster(paste(dir, H2Op[i], id, sep = ""))
155     values(raster)[values(raster) == 0] = -99
156     raster = raster*aguaBACIA0
157     values(raster)[values(raster) == 0] = NA
158     values(raster)[values(raster) == -99] = 0
159     rasteruc = mask(raster, UC)
160     rasterout = raster
161     values(rasterout)[values(rasterout) == 0] = -99
162     rasterout = rasterout*mascara
163     values(rasterout)[values(rasterout) == 0] = NA
164     values(rasterout)[values(rasterout) == -99] = 0
165     IN = values(rasteruc)
166     OUT = values(rasterout)
167     TOT = values(raster)
168     data_list = list(IN, OUT, TOT)
169     x = mean(IN, na.rm = T)
170     y = mean(OUT, na.rm = T)
171     z = mean(TOT, na.rm = T)
172     pdf(paste(H2Op[i], id, sep = ""), width=6, height=8)
173     fig.myplot()
174     dev.off()
175 }

```