

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

MONITORAMENTO HIDROLÓGICO NO CERRADO: PANORAMA DA AQUISIÇÃO DE DADOS EM CAMPO NA BACIA DO RIBEIRÃO DO GAMA, DISTRITO FEDERAL

*Andréia de Almeida*¹; *Carlos T.C. Nascimento*²; *Elis R. Freire*³; *Daiane F. Maciel*⁴; *Karen F. Sousa*⁵; *Bruno E. Távora*⁶; *Fabrcia C. M. Mota*⁷; *Mário B. B. Siqueira*⁸; *Selma R. Maggiotto*⁹; *Rogério E. S. Uagoda*¹⁰; *Tiago B. Kisaka*¹¹; *Luiz F. Salemi*¹²; *Luciana de Mendonça-Galvão*¹³; *Cícero L. Silva*¹⁴ & *Sérgio Koide*¹⁵

Resumo – Este trabalho sintetiza os esforços de monitoramento hidrológico *in situ* na bacia do Ribeirão do Gama, no Distrito Federal. A bacia em questão é relevante por ser uma área predominantemente coberta por Cerrado preservado, cujos dados e observações possibilitam formular e testar hipóteses e aprimorar o entendimento de processos hidrológicos, inclusive em cenários de mudanças no clima e na cobertura do solo. São apresentados detalhes das instalações hidrometeorológicas, de experimentos e de campanhas de monitoramento, com seus respectivos conjuntos de dados hidrológicos (quantitativos e qualitativos, superficiais e subterrâneos). É importante salientar a necessidade de investimentos para a continuidade dos trabalhos em campo na bacia em estudo, por período que possibilite representar adequadamente os processos hidrológicos característicos do Cerrado.

Palavras-Chave – Bacia experimental, Hidrologia de bacia, Fazenda Água Limpa.

1. INTRODUÇÃO

Em contraponto à desvalorização do trabalho em campo, evidenciada a partir de 1980 em nível mundial, devido aos investimentos requeridos para sua concretização e os avanços computacionais que impulsionaram a modelagem (Fekete *et al.* 2012), atualmente, promover o monitoramento *in situ* é considerado um dos cinco principais desafios para o futuro da hidrologia (McCabe *et al.* 2017). Nesse contexto, as bacias hidrográficas são unidades territoriais prioritárias

1) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; andreaalmeida.df@gmail.com

2) Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, 73345-010 Planaltina, Brasil; carlostadeu@unb.br

3) Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; elisrejanef@gmail.com

4) Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, 73345-010 Planaltina, Brasil; daianefemaciel@gmail.com

5) Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, 73345-010 Planaltina, Brasil; karenfelix.s25@gmail.com

6) Ministério Público do Distrito Federal e Territórios, 70091-900, Brasília, Brasil; bruno.eng.ambiental@gmail.com

7) Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; fabriciacmm@gmail.com

8) Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; mariosiqueira@unb.br

9) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 70910-900 Brasília, Brasil; srmaggio@unb.br

10) Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; rogeriouagoda@unb.br

11) Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; tiagobk.df@gmail.com

12) Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, 73345-010 Planaltina, Brasil; lfsalemi@gmail.com

13) Laboratório de Biodiversidade Aquática, Universidade Católica de Brasília, 71.966-700, Taguatinga, Brasil; luciana.mendoncagalvao@gmail.com

14) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 70910-900 Brasília, Brasil; cicero@unb.br

15) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, Brasil; skoide@unb.br

para instalação e manutenção das redes de monitoramento e obtenção de dados no longo prazo (Zehe *et al.* 2014), inclusive, conforme previsto em dispositivo legal (Lei nº 9.4333, Brasil 1997).

Bacias monitoradas sob condições naturais subsidiam o entendimento da interação água, clima, solo e vegetação (Burt e McDonnell 2015). Consequentemente, estabelecem oportunidades para a previsão dos impactos hidrológicos resultantes de alterações climáticas e de uso e cobertura do solo e o avanço em estudos com bacias desprovidas de monitoramento (Hrachowitz *et al.* 2013; Sivapalan *et al.* 2003; Tetzlaff *et al.* 2017; Whitehead e Robinson 1993). Além disso, estudos em bacia experimental favorecem o desenvolvimento de tecnologias de medição, a exemplo da utilização de metodologias isotópica e geofísica para a avaliação das águas subterrâneas (Acharya *et al.* 2017; Gastmans *et al.* 2016; Lousada e Campos 2011), bem como a integração das observações em campo com técnicas de sensoriamento remoto (Fekete *et al.* 2012; Peters-Lidard *et al.* 2017).

É necessário ressaltar que, devido ao papel do monitoramento para a hidrologia, deve haver convergência de esforços não apenas para a instalação e manutenção de bacias experimentais representativas em diferentes condições fisiográficas, mas também para a acessibilidade aos resultados obtidos (Sivapalan *et al.* 2003). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi apresentar um panorama da estrutura hidrometeorológica, dos estudos de monitoramento *in situ* e dos dados hidrológicos (quantitativos e qualitativos, superficiais e subterrâneos) relacionados à Bacia do Ribeirão do Gama, Distrito Federal (DF).

A bacia em questão é relevante por ser uma área predominantemente de Cerrado preservado, intensamente estudada e caracterizada por pesquisadores dos Departamentos de Ecologia e Agronomia da UnB, o que favorece a realização de estudos visando a compreensão do comportamento hidrológico do Cerrado. No atual cenário hídrico do Distrito Federal (DF), a bacia do Gama tem grande importância por contribuir significativamente para a vazão do Lago Paranoá (vazão média mensal de aproximadamente 2,90 m³.s⁻¹), fornecer água para irrigação e abastecimento público e integrar sub-bacias com condições variadas de uso e cobertura do solo, incluindo áreas significativas de proteção ambiental (Unesco 2003; GDF/ADASA/ECOPLAN 2012).

2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO GAMA

A bacia do Ribeirão do Gama, localizada na porção centro-sul do Distrito Federal, é uma importante tributária do Lago Paranoá que, por sua vez, conflui para a região hidrográfica do Paraná (Unesco 2003) (Fig. 1). Além de integrar a Área de Proteção Ambiental (APA) Gama e Cabeça-de-Veado, a bacia apresenta uma variedade de unidades de conservação, com papel fundamental de proteção do Cerrado (Unesco 2003). Além disso, com área aproximada de 150 km², apresenta condições variadas de uso e cobertura do solo, incluindo ocupação rural e urbana (Fig. 1 e 2).

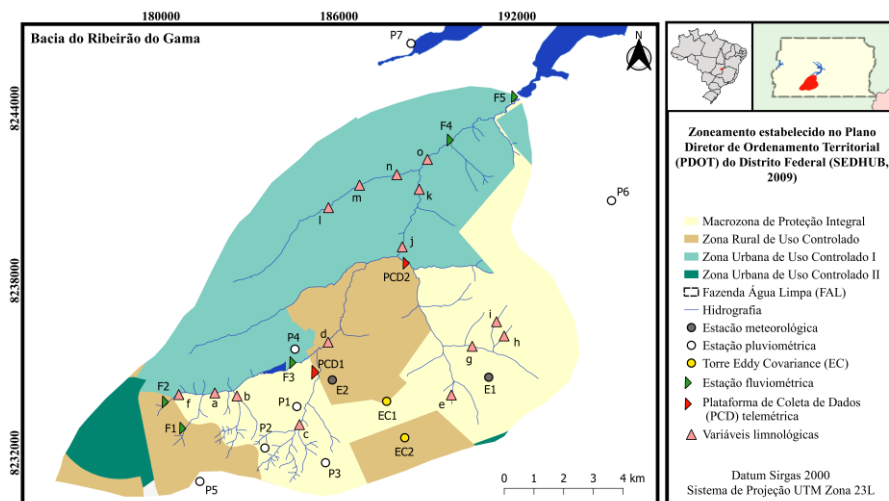


Fig. 1. Zoneamento territorial e instrumentação hidrológica na bacia do Ribeirão do Gama, DF. Informações complementares disponíveis nas Tabelas 1 e 2, com base no código de identificação (ID) de cada ponto indicado no mapa.

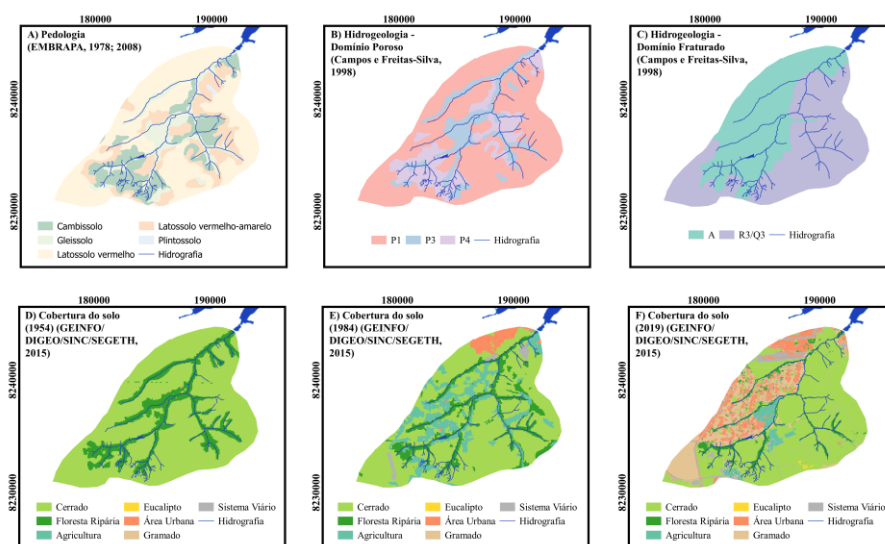


Fig. 2. Caracterização da área de estudo quanto à A) pedologia; B-C) hidrogeologia; e D-F) cobertura do solo.

Inserida no Cerrado brasileiro, a área de estudo apresenta clima tropical Aw, definido por Köppen como típico de savana, com temperatura média de 22°C, evapotranspiração média mensal de 65 mm e precipitação anual de aproximadamente 1500 mm, distribuídos entre outubro e março. A bacia apresenta variações de elevação entre 900 e 1270 m. Com relação à pedologia, é possível identificar latossolos (vermelho e vermelho - amarelo), cambissolos e gleissolos, conforme (Reatto *et al.* 2004) (Fig. 2A).

3. INSTALAÇÕES E COLETA DE DADOS EM CAMPO

A estrutura de monitoramento descrita neste estudo considera tanto as instalações em operação na bacia do Ribeirão do Gama (ou em um raio de até 5 km no entorno da bacia, para os dados meteorológicos e de precipitação) quanto aquelas mantidas ativas até os últimos dez anos, com seus respectivos conjuntos de dados disponibilizados em bases de dados oficiais (ANA-Hidroweb,

CAESB, ADASA, INMET, FAL-UnB), relatórios técnicos e publicações científicas. Nos tópicos seguintes, constam os detalhes relacionados a rede de equipamentos hidrometeorológicos e a descrição de experimentos e campanhas de monitoramento desenvolvidos na bacia, com relação aos processos hidrológicos superficiais e subterrâneos, qualidade da água e variáveis limnológicas.

3.1. Hidrologia superficial: quantificação de processos e monitoramento de variáveis qualitativas e limnológicas

O monitoramento hidrometeorológico na bacia do Ribeirão do Gama iniciou-se na década de 1970, com a operação das estações fluviométrica “Gama Base Aérea” (1970) e pluviométrica “Área Alfa” (1972), ambas ainda em operação, e da estação meteorológica do “Roncador” (1979), desativada em 2017 (Fig.1, Tab. 1). Atualmente, há uma série de equipamentos para a medição de variáveis meteorológicas, nível e qualidade da água superficial, precipitação e evapotranspiração na bacia (Fig. 1, 3 e 4, Tab. 1). A instalação e a operação desses equipamentos envolvem iniciativas de entes governamentais que atuam na área de recursos hídricos e de instituições de ensino superior.

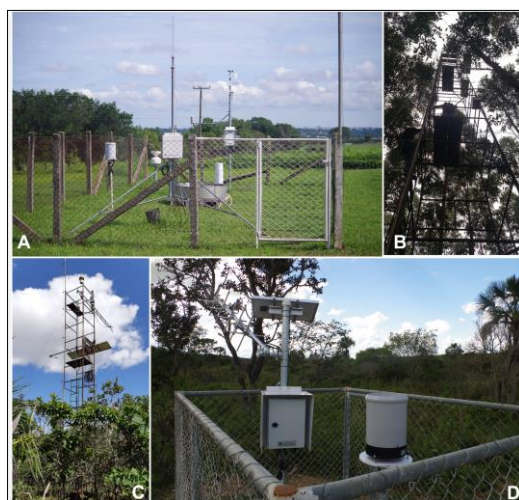


Fig. 3. Monitoramento de variáveis meteorológicas e precipitação. A) Área Experimental da Agroclimatologia (E2). Torres de fluxos turbulentos localizadas em área de B) eucalipto (EC2) e C) cerrado (EC1). D) Plataforma de Coleta de Dados localizada no exutório do Córrego Taquara (PCD2).

Mantida pela Faculdade de Agricultura e Medicina Veterinária (FAV-UnB) para fins de ensino e pesquisa, a Agroclimatologia permanece em operação e disponibiliza um conjunto significativo de dados meteorológicos e de precipitação (Fig. 3A). Lima *et al* (2001) apresentam detalhes desse conjunto de dados em um estudo de estimativa da evapotranspiração de referência na bacia do Córrego Capetinga. Torres de fluxos turbulentos (Eddy covariance – EC) complementam o monitoramento meteorológico na bacia. Equipadas com anemômetro sônico, analisador de gases e sensores de precipitação, de variáveis meteorológicas e do solo (fluxo de calor, umidade e temperatura), as torres foram instaladas em área de cerrado *sensu stricto* (EC1 = 12 m) (Fig 1 e 3C) e eucalipto (*Eucalyptus uruphylla* e *grandis*) (EC2 = 20 m) (Fig. 1 e 3B) por meio do projeto “Estudo

de consequências hidrológicas, meteorológicas, climáticas locais e regionais da substituição de Cerrado nativo por plantação de eucalipto”.

Tabela 1 – Dados obtidos com a rede de monitoramento hidrometeorológica da Bacia do Ribeirão do Gama, DF.

ID	Nome	Operador	Tipo de Estação	Lat	Long	Resolução temporal	Início	Final	Acesso	Código	Dados
<i>1. Estações Meteorológicas</i>											
E1	Roncador	INMET ¹	C	-15.95	-47.88	diária	28/05/1979	30/09/2017	INMET	83373	E, I, P, T, UR, Vv
E2	Área Experimental Agroclimatologia	UnB ²	M + C	-15.95	-47.93	10 min e diária	01/10/1996	01/05/2020	FAL-UnB	-	Rg, E, I, P, T, UR, Vv, Dv
<i>2. Estações Pluviométricas</i>											
P1	Pluviógrafo1	UnB	C	-15.96	-47.94	15 min	15/01/2014	-	-	-	P
P2	Pluviógrafo2	UnB	C	-15.97	-47.95	15 min	12/11/2014	-	-	-	P
P3	Pluviógrafo3	UnB	C	-15.97	-47.94	15 min	12/11/2014	-	-	-	P
P4	Gama - Montante Capetinga	JCTM ³	C	-15.94	-47.94	diária	31/03/2009	-	Hidroweb ⁴	1547075	P
P5	Área Alfa	CAESB ⁵	C	-15.98	-47.98	diária	30/09/1972	-	Hidroweb	1547014	P
P6	ETA Cabeça-de-Veado	CAESB	M	-15.89	-47.85	diária	30/06/1978	-	Hidroweb	1547019	P
P7	ETE Sul	CAESB	M	-15.84	-47.91	diária	31/12/1970	-	Hidroweb	1547008	P
<i>3. Estações pluviométricas</i>											
F1	Catetinho III	CAESB	M	-15.96	-47.98	mensal	11/09/1986	-	Hidroweb e CAESB	60478460	Q, NA, QI
F2	Catetinho II	CAESB	M	-15.95	-47.99	mensal	11/09/1986	-	Hidroweb e CAESB	60478450	Q, NA, QI
F3	Gama - Montante Capetinga	JCTM	C	-15.94	-47.94	diária e mensal	01/05/2009	01/05/2020	Hidroweb e ADASA	60478485	NA, QI
F4	Gama base aérea	CAESB	C	-15.87	-47.89	diária	31/12/1970	-	Hidroweb e CAESB	60478500	NA, QI, S
F5	Ribeirão do Gama	ADASA ⁶	M	-15.87	-47.99	diária	01/02/2016	01/05/2020	Hidroweb e ADASA	60478520	Q, NA, QI
PCD1	Linígrafo	UnB	C	-15.95	-47.94	diária	01/10/1996	31/12/2011	FAL-UnB	-	NA
<i>4. Plataforma de Coleta de Dados (PCD)</i>											
PCD1	FAL-UnB	UnB	T	-15.95	-47.94	15 min	01/09/2011	-	Hidroweb	1547080	P, NA
PCD2*	Córrego Taquara	UnB	T	-15.91	-47.91	15 min	30/01/2014	02/12/2015	Hidroweb	1547081	P, NA
<i>5. Torres de vórtices turbulentos (Eddy Covariance - EC)</i>											
EC1	EC Cerrado	UnB	C	-15.95	-47.92	30 min	01/12/2012	-	-	-	Ft, Vm, Vs
EC2	EC Eucalipto	UnB	C	-15.97	-47.91	30 min	23/05/2014	-	-	-	Ft, Vm, Vs
<i>6. Estações de monitoramento de água subterrânea</i>											
PM	PM1 - PM 12	UnB	M	de Almeida <i>et al.</i> (2021b)		quinzenal	01/03/2019	01/08/2020	-	-	NA, Fq, Hi, Gf, U, Ts
PM	PM48	ADASA	M	-15.97	-47.94	mensal	01/02/2013	-	ADASA	Poço 48	NA, QI, Fq, Hi, U, Ts

¹Instituto Nacional de Meteorologia; ²Universidade de Brasília; ³JCTM – Comércio e Tecnologia Ltda; ⁴Portal HidroWeb-ANA; ⁵Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal; ⁶Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal; *Monitoramento pluviométrico permanece em andamento; E = Evapotranspiração; I = Horas de insolação; P = Precipitação; T = Temperatura do ar, UR = Umidade relativa; Vv = Velocidade do vento; Rg = Radiação global; Dv = Direção do vento; Ft = fluxos turbulentos; Vm = variáveis meteorológicas; Vs = variáveis do solo (calor, temperatura e umidade); NA = Nível da água; QI = Qualidade da água; Parâmetros físicos-químicos (Fq), hidráulicos (Hi) e geofísicos (Gf) dos aquíferos, U = umidade do solo; Ts = temperatura do solo

Na categoria de estações telemétricas enquadram-se as plataformas de coleta de dados (PCD) cedidas pela Agência Nacional de Águas (ANA) e mantidas na FAL sob responsabilidade da UnB (Fig. 1 e 3D, Tab. 1). Após a instalação das PCDs e de outros três pluviômetros convencionais (P1,

P2 e P3) distribuídos na bacia do Capetinga, realizaram-se experimentos com foco na análise do escoamento superficial em área sob cerrado *sensu stricto* (P1, Fig. 1 e 4F-G) e sob vegetação alterada (E2, Fig. 1 e 4E) (Serafim 2016).

Em uma abordagem hidrossedimentológica, Távora (2017) observou, a partir da coleta de água com amostrador ISCO durante eventos de precipitação, que as estradas não pavimentadas são as principais fontes de sedimentos na bacia do Capetinga. Távora (2017) e Lima e Uagoda (2018) promoveram, ainda, atualizações nas curvas-chave dos córregos Capetinga e Taquara, respectivamente, a partir de medições complementares de vazão (Fig. 4D). A distribuição aleatória de onze pluviômetros convencionais, entre outubro de 2015 e fevereiro de 2016, em área de mata de galeria na bacia do Capetinga possibilitou a caracterização do processo de interceptação para diferentes eventos de precipitação (Távora e Koide 2020).



Fig. 4. Seção fluviométrica no exutório da bacia dos córregos A) Taquara (PCD2) e B) Capetinga (PCD1), com destaque, neste último caso, para c) o sensor de nível instalado na ponte do Córrego Capetinga e D) prática de medição de vazão para construção da curva-chave relacionando cota e vazão. Monitoramento do escoamento superficial em parcelas sob condição de cobertura do solo E) alterada (E2) F) preservada (P1), G) com calha de coleta. Fonte: Távora (2017).

Do conjunto de dados fluviométricos, há medições de descarga sólida (sedimentos) apenas na estação “Gama Base Aérea” (Fig. 1). Exceto pelas PCDs, todas as demais estações apresentam dados de qualidade da água (pH, turbidez, DBO, OD e sólidos totais, coliformes, fósforo e nitrogênio total, nitrito, nitrato e amônia). Dados complementares de qualidade da água na bacia do Ribeirão do Gama podem ser obtidos nos pontos indicados na Fig. 1, associados com trabalhos contidos na Tab. 2.

Markewitz *et al.* (2010) analisaram o aporte de nutrientes da precipitação para o córrego Taquara, inserido na Reserva Ecológica do Roncador. Moura *et al.* (2010) avaliaram parâmetros físicos e químicos da água em trechos do Córrego do Cedro e do Ribeirão do Gama sob influência antrópica. Fonseca *et al.* (2013) forneceram valores de referência de nutrientes, cuja concentração foi considerada relativamente baixa, mesmo em riachos sob diferentes graus de impacto, em comparação com outras regiões do Brasil. Fonseca e Mendonça-Galvão (2014), descreveram variáveis limnológicas obtidas no âmbito do Programa Ecológico de Longa Duração (PELD) e evidenciaram o papel das áreas de preservação para a manutenção dos processos limnológicos. Ao avaliar a produção

autóctone e sua relação com a comunidade de invertebrados aquáticos, Kisaka *et al.* (2021) destacaram a importância da vegetação ripária para a manutenção dos serviços ecossistêmicos nos riachos de cabeceira, incluindo aqueles relacionados à manutenção da qualidade da água (Fig. 5).

Tabela 2 – Estudos limnológicos e de qualidade da água na Bacia do Ribeirão do Gama. ID relacionado com pontos da Fig. 1.

ID	Dados	Fonte
a, b, c	Parâmetros físicos, químicos e biológicos, invertebrados aquáticos, biofilme, isótopos	Kisaka <i>et al.</i> (2021)
b, c, d, e, f, g, h, i, k	Parâmetros físicos, químicos e biológicos da água superficial	Fonseca e Mendonça-Galvão (2014)
c, d, f, k	Parâmetros físicos, químicos e biológicos da água superficial	Fonseca <i>et al.</i> (2013)
j, l, m, n, o	Parâmetros físicos e químicos da água superficial	Moura <i>et al.</i> (2010)
g	Parâmetros físicos e químicos da água superficial	Markewitz <i>et al.</i> (2006)



Fig. 5. Monitoramento de variáveis limnológicas. A-B-C) Substrato predominante no córrego Capetinga. D) Experimento de colonização de invertebrados no Ribeirão do Gama com detalhes descritos em Kisaka *et al.* (2021); E e H) Coleta de material suspenso na coluna de água F, G, I-K) Amostragem de invertebrados bentônicos. Fonte: Kisaka (2019).

3.2. Hidrologia subterrânea: monitoramento direto e indireto de variáveis hidrológicas do solo

No âmbito do projeto de doutorado “Dinâmica espaço-temporal da umidade do solo e sua relação com a recarga de águas subterrâneas no domínio Cerrado”, ainda em andamento, doze pontos de monitoramento (PM) foram selecionados na FAL-UnB, compreendendo as bacias dos córregos Capetinga e Taquara, para o desenvolvimento de estudos relacionados a identificação de padrões no comportamento hidrológico do solo e seus reflexos para recarga em aquíferos porosos. Com relação à zona não saturada, umidade e resistividade elétrica do solo foram monitorados com o objetivo foi obter medidas de resistividade equiparáveis às profundidades investigadas por meio da sonda *TDR* (30, 60, 90, 120, 150 e 180 cm), capturando variações de umidade na zona de raiz (Fig. 6). Adicionalmente, testes para aquisição de θ em diferentes profundidades, utilizando sonda *TDR* foram realizados inclusive para verificar a possibilidade de utilização de tubo de PVC como alternativa ao tubo de acesso padrão (policarbonato do tipo *TECANAT*) (Freire *et al* 2020).

O monitoramento do nível da água subterrânea foi realizado quinzenalmente entre 2019 e 2020 (Fig. 7). Além disso, a condutividade hidráulica do aquífero foi estimada, por meio de slug teste,

nos doze PM. Com base em analogias entre o comportamento elétrico e hidráulico do solo, relações empíricas entre parâmetros geolétricos, obtidos por meio de sondagem elétrica vertical (SEV), e parâmetros hidráulicos estimados em campo foram propostas como alternativa aos métodos hidrogeológicos tradicionais, caracterizados pela elevada demanda de tempo e recurso financeiro (Butler 2005). Detalhes deste estudo, realizado entre agosto de 2019 e janeiro de 2020, podem ser obtidos em De Almeida *et al.* (2021).

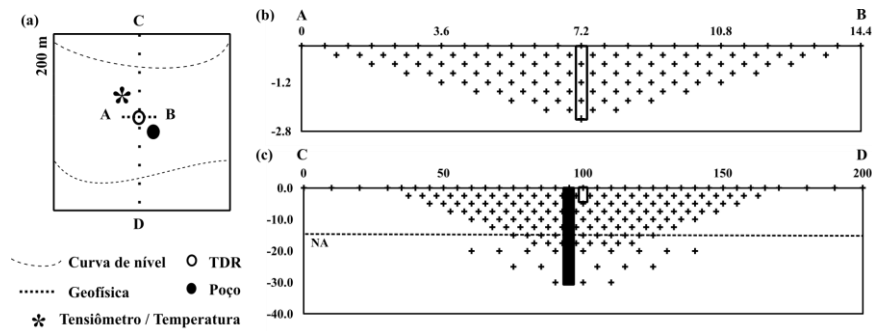


Fig. 6. Desenho experimental proposto. a) Vista em planta da parcela experimental instrumentada com poço de monitoramento, tubo de acesso à sonda TDR e duas linhas de monitoramento geofísico (AB e CD), em uma área de 200 x 200 m. ERI com resoluções espaciais equivalentes a (b) 0,30 m para o perfil de solo até 2,1 m de profundidade; (c) e 2,5 m, para profundidades 2,5 a 30 m.



Fig. 7. Representação esquemática do experimento hidrológico subterrâneo em andamento na FAL-UnB. A-D) Poços de monitoramento do nível da água subterrânea. E) Manutenção dos tensiômetros. F-G) Linhas de ERI instaladas. H-K) Tubos de acesso padrão e PVC e sonda TDR utilizada no monitoramento da umidade do solo. L) Sensores de temperatura do solo. Fonte: de Almeida (2021).

4. CONTRIBUIÇÕES, DESAFIOS E QUESTIONAMENTOS

O estudo resultou em uma síntese dos projetos e estudos desenvolvidos na bacia do Ribeirão do Gama, com o intuito de apresentar a estrutura de monitoramento instalada e seus respectivos

conjuntos de dados. Vale ressaltar que, apesar da importância, o monitoramento *in situ* requer investimento financeiro e humano para instalação e manutenção dos equipamentos. Fato este que pode representar um impeditivo, especialmente no âmbito das instituições de ensino e pesquisa que necessitam captar recursos por intermédio de editais de fomento, para investimentos em trabalho de campo.

Manutenção e substituição de equipamentos, limpeza constante das estações pluviométricas, manutenção das pontes de acesso aos equipamentos fluviométricos, verificação e substituição de fontes de alimentação e memória e verificação do revestimento e da proteção dos poços de monitoramento subterrâneo são preocupações frequentes na rotina do trabalho em campo. Um desafio adicional no âmbito da pesquisa científica é garantir o experimento em campo por um período suficiente para representação dos processos hidrológicos, o que na maioria das vezes ultrapassa a escala de tempo de projetos de mestrado e doutorado.

A exemplo dos programas de pesquisa de longa duração, comuns na área de ecologia, o estabelecimento de programas hidrológicos de longa duração pode representar uma alternativa de manutenção das estruturas em campo, evitando sua degradação, perda de investimento e descontinuidade na aquisição de dados. Para isso, torna-se necessário o envolvimento de estudantes, professores e demais profissionais da área para estabelecer uma rede hidrometeorológica consolidada, ainda não existente na bacia do Ribeirão do Gama, reforçando cooperações em andamento, a exemplo do trabalho conjunto ANA-UnB, e ampliando parcerias nas instituições de ensino e pesquisa e com a comunidade local.

AGRADECIMENTOS

À Fazenda Água Limpa (FAL), pela autorização para desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa. Aos funcionários da FAL/UnB que auxiliaram nos trabalhos em campo. À Agência Nacional de Águas, pela cooperação na instalação e manutenção das PCDs. Ao Laboratório de Agroclimatologia FAL/UnB, pela disponibilização de dados meteorológicos e pelo apoio na coleta de dados em campo. Ao Departamento de Engenharia Mecânica da UnB, pelo acesso aos dados das torres de fluxos turbulentos. Ao Laboratório de Geofísica Aplicada da UnB, por fornecer o equipamento necessário para o levantamento dos dados geofísicos. À CAPES, ao CNPq, à FINEP e à FAP-DF, pelo apoio financeiro para execução de atividades relacionadas a este estudo. E a todos que contribuem para a coleta de dados hidrológicos na bacia do Ribeirão do Gama.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, B. S.; HALIHAN, T.; ZOU, C. B.; WILL, R. E. (2017). "Vegetation Controls on the Spatio-Temporal Heterogeneity of Deep Moisture in the Unsaturated Zone: A Hydrogeophysical Evaluation." *Scientific Reports* 7(1): 1499. <http://www.nature.com/articles/s41598-017-01662-y>.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. (1997). “Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos”. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.
- BUCCI, S.J. *et al.* (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.
- BURT, T. P.; MCDONNELL, J.J. (2015). “Whither Field Hydrology? The Need for Discovery Science and Outrageous Hydrological Hypotheses.” *Water Resources Research* 51(8): 5919–28.
- BUTLER, J. J. (2005). “Hydrogeological Methods for Estimation of Spatial Variations in Hydraulic Conductivity.” In: *Hydrogeophysics*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2005; pp. 23–58
- DE ALMEIDA, A. (2021). “Dinâmica espaço-temporal da umidade do solo e sua relação com a recarga de águas subterrâneas no domínio Cerrado”. Brasília: Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado em andamento.
- DE ALMEIDA, A. *et al.* (2021). “Vertical Electrical Sounding (Ves) for Estimation of Hydraulic Parameters in the Porous Aquifer.” *Water (Switzerland)* 13(2).
- FEKETE, B. M.; LOOSER, U.; PIETRONIRO, A.; ROBERTS, R.D. (2012). “Rationale for Monitoring Discharge on the Ground.” *Journal of Hydrometeorology* 13(6): 1977–86.
- FONSECA, B.M. *et al.* (2013). “Nutrient Baselines of Cerrado Low-Order Streams: Comparing Natural and Impacted Sites in Central Brazil.” *Environmental Monitoring and Assessment* 186(1): 19–33.
- FONSECA, B.M.; MENDONÇA-GALVÃO, L. (2014). “Pristine Aquatic Systems in a Long Term Ecological Research (LTER) Site of the Brazilian Cerrado.” *Environmental Monitoring and Assessment* 186(12): 8683–95.
- FREIRE, E.R.; DE ALMEIDA, A.; KOIDE, S. (2020). “Estudo sobre medição e comportamento da umidade em Latossolos na Fazenda Água Limpa (FAL), Distrito Federal”. *Anais do Congresso de Iniciação Científica da UnB, XXVI, Brasília-DF*.
- GASTMANS, D.; HUTCHEON, I.; MENEGÁRIO, A.A.; CHANG, H.C. (2016). “Geochemical Evolution of Groundwater in a Basaltic Aquifer Based on Chemical and Stable Isotopic Data: Case Study from the Northeastern Portion of Serra Geral Aquifer, São Paulo State (Brazil).” *Journal of Hydrology* 535: 598–611. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.016>.
- GDF/ADASA/ECOPLAN (2012). “Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH/DF)”. Brasília: GDF/ADASA/Ecoplan.
- HRACHOWITZ, M. *et al.* (2013). “A Decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)-a Review.” *Hydrological Sciences Journal* 58(6): 1198–1255. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.803183>.
- KISAKA, T.B. (2019). “Distúrbios naturais em córregos de cabeceira do bioma Cerrado: uma abordagem estrutural e funcional”. Brasília: Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado. 128 p.
- KISAKA, T.B. *et al.* (2021). “Understanding the Factors Controlling Biofilm as an Autochthonous Resource in Shaded Oligotrophic Neotropical Streams.” *Aquatic Sciences* 83(2). <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00781-z>.
- LIMA, D.D.; UAGODA, R.E.S. (2018). “Estudo dos regimes de carga líquida em canal fluvial densamente monitorado.” *Anais do XII SINAGEO*.
- LOUSADA, E.O, CAMPOS, J.E.G. (2011). “Estudos Isotópicos Em Águas Subterrâneas do Distrito Federal: Subsídios Ao Modelo Conceitual de Fluxo.” *Revista Brasileira de Geociências* 41(2): 355–65.
- MARKEWITZ, D. *et al.* (2010). “Soil Moisture Depletion under Simulated Drought in the Amazon: Impacts on Deep Root Uptake.” *New Phytologist* 187(3): 592–607.
- MCCABE, M.R. *et al.* (2017). “The Future of Earth Observation in Hydrology. Hydrology and Earth System Sciences (under Review).” *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, p. 3879–3914.
- MOURA, L.H.A; BOAVENTURA, G.R.; PINELLI, M.P. (2010). “A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama – Distrito Federal.” *Química Nova* 33(1): 97–103.
- PETERS-LIDARD, C. D. *et al.* (2017). “Scaling, Similarity, and the Fourth Paradigm for Hydrology.” *Hydrology and Earth System Sciences* 21(7): 3701–13.
- REATTO, A. *et al.* (2004). “Mapa Pedológico Digital - SIG Atualizado Do Distrito Federal Escala 1:100.000 e Uma Síntese Do Texto Explicativo.” Documentos/Embrapa Cerrados 120: 1–29.
- SERAFIM, F.M. (2016). “Mensuração de perdas de sedimentos em encosta na Fazenda Água Limpa - UnB utilizando parcelas erosivas no período de outubro de 2015 a abril de 2016”. Brasília: Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Tese conclusão de curso. 76 p
- SIVAPALAN, M. *et al.* (2003). “IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012: Shaping an Exciting Future for the Hydrological Sciences.” *Hydrological Sciences Journal* 48(6): 857–80.
- TÁVORA, B.E. (2017). “Zona Ripária de Cerrado: Processos Hidrossedimentológicos”. Brasília: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado. 128 p.
- TÁVORA, B.E; KOIDE, S. (2020). “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.” *Water (Switzerland)* 12(8).
- TETZLAFF, D. *et al.* (2017). “The essential value of long-term experimental data for hydrology and water management” *Water Resources Research*. 53, 2598–2604, doi:10.1002/2017WR020838.
- UNESCO (2003). “Subsídios ao zoneamento da APA Gama-Cabeça de Veado e Reserva da Biosfera do Cerrado: caracterização e conflitos socioambientais”. Brasília: UNESCO, MAB, Reserva da Biosfera do Cerrado. 172p.
- WHITEHEAD, P. G., ROBINSON, M. (1993). “Experimental Basin Studies-an International and Historical Perspective of Forest Impacts.” *Journal of Hydrology* 145(3–4): 217–30.
- ZEHE, E. *et al.* (2014). “HESS Opinions: From Response Units to Functional Units: A Thermodynamic Reinterpretation of the HRU Concept to Link Spatial Organization and Functioning of Intermediate Scale Catchments.” *Hydrology and Earth System Sciences* 18(11): 4635–55.