

Caracterização e regime hídrico de uma área com vegetação florestal no Jardim Botânico do Rio de Janeiro

Description and water regime of an area with forest vegetation in the Botanical Garden of Rio de Janeiro

Patrícia Guedes Pimentel⁽¹⁾; **Wenceslau Gerales Teixeira**⁽²⁾; **Alexandre Ortega Gonçalves**⁽³⁾

(1) Doutoranda em Engenharia Ambiental pela UERJ, Rio de Janeiro, RJ, engpatriciapimentel@gmail.com; (2) Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ e Doutor em Geoecologia pela Universidade de Bayreuth, Alemanha wenceslau.teixeira@embrapa.br; (3) Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ e Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela USP, São Paulo, SP alexandre.ortega@embrapa.br

RESUMO: O entorno do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ) é caracterizado por uma densa ocupação populacional que, conseqüentemente, modificou determinadas características da região, a exemplo do aumento da impermeabilização do solo afetando diretamente o ciclo hidrológico local. Juntamente aos problemas de drenagem existentes no bairro, observam-se eventos de alagamentos e inundações cada vez mais frequentes. O presente estudo tem como objetivo caracterizar o regime hídrico de uma amostra de solo do Jardim Botânico para que, futuramente, seja possível quantificar o balanço hídrico da região e determinar a influência dos tipos de solos e da vegetação no ciclo hidrológico. Para isso, foi utilizado o programa HYDRUS-1D e informações de uma amostra de solo localizada no Roseiral do JBRJ. As simulações foram realizadas em uma série histórica de 20 anos, no período compreendido entre 2000 e 2020. Os resultados permitiram estimar os componentes do balanço hídrico da amostra que envolvem a evapotranspiração real da vegetação. A pesquisa demonstrou grande relevância para a compreensão da influência do JBRJ no bairro em questão. Em estudos futuros, espera-se estimar de forma mais precisa os dados de entrada na simulação, que certamente irão conferir resultados mais satisfatórios.

Palavras-chave: Simulação; ciclo hidrológico; HYDRUS-1D.

ABSTRACT: The surroundings of the Rio de Janeiro Botanical Garden (JBRJ) are due to a dense population occupation that, consequently, changed certain characteristics of the region, an example of the increase in soil sealing directly affecting the local hydrological cycle. Alongside the drainage problems in the neighborhood, there are increasingly frequent flooding events. This study aims to characterize the water regime of a soil sample from the Botanical Garden so that, in the future, it will be possible to quantify the water balance of the region and determine the influence of soil types and vegetation

on the hydrological cycle. For this, it was used in the HYDRUS-1D program and information from a soil sample located in Roseiral do JBRJ. The simulations were carried out over a 20-year historical series, with no period between 2000 and 2020. The results allowed us to estimate the components of the water balance of the sample that involve the actual evapotranspiration of the vegetation. Great specialized research for understanding the understanding of the JBRJ in the neighborhood in question. In future studies, it is expected to estimate the input data more accurately in the simulation, which aims to provide more satisfactory results.

Keywords: Simulation; hydrological cycle; HYDRUS-1D.

INTRODUÇÃO

O município do Rio de Janeiro abriga diversas áreas protegidas, dentre elas os jardins botânicos normatizados pela Resolução CONAMA n° 339 de 25 de setembro de 2003 – baseada nas atribuições conferidas pelos Arts. 6° e 8°, da Lei n° 6.938 de 31 de agosto de 1981 e regulamentada pelo Decreto no 99.274 de 6 de junho de 1990.

De acordo com Miranda (2009) existem 34 jardins botânicos catalogados no Brasil, que estão distribuídos da seguinte forma: Norte (3), Nordeste (5), Centro-oeste (3), Sudeste (16) e Sul (7). Considerados de boa estrutura e enquadrados na categoria B da Resolução CONAMA n° 339/2003, estão os jardins botânicos de São Paulo e do Rio de Janeiro.

O Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ) conta com o Horto Florestal, Jardim Japonês, Jardim Sensorial, Bromeliário, Cactário, Orquidário, Roseiral, Insetívoras, Herbário, Museu do Meio Ambiente – reservado para exposições temporárias, Centro de Visitantes, Núcleo de Educação Ambiental, Patrimônio Histórico e Cultural, e outros espaços naturalmente ricos e com informações valiosas da história do lugar.

No entorno do JBRJ, observam-se áreas densamente urbanizadas que foram sendo ocupadas no decorrer dos anos e que, aliado aos problemas de drenagem existentes no bairro, contribuem para a ocorrência de eventos de alagamentos e inundações cada vez mais frequentes na região.

Considerando o exposto, o objetivo da presente pesquisa é caracterizar o regime hídrico a partir de uma amostra de solo do Jardim Botânico para que, futuramente, seja possível quantificar o balanço hídrico da região e determinar a influência dos tipos de solos e da vegetação no ciclo hidrológico local.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar a pesquisa, foram necessários os dados iniciais de latitude e os valores das variáveis meteorológicas de temperatura e precipitação. Os dados de evapotranspiração foram estimados com base no estudo de Monteiro et al. (2016) que utiliza apenas a temperatura como parâmetro de calibração, com a possibilidade de aplicação para diversas condições climáticas do país.

Com relação aos dados diários de precipitação, estes foram obtidos no portal da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (GEO-Rio), e compilados no período entre 2000 e 2020, caracterizando uma série histórica de 20 anos.

É válido mencionar que o trabalho foi desenvolvido remotamente, considerando a Pandemia de Covid-19 presente desde 2020. Assim, foram coletadas informações da área de estudo por meio de materiais disponibilizados pela Embrapa Solos e outras fontes de pesquisa, foi selecionado o perfil de solo localizado em um dos canteiros do Roseiral Pedro Cachimbo.

Para a modelagem hidrológica, foi utilizado o Hydrus-1D que simula o fluxo de água no solo, resolvendo numericamente a equação de Richards na direção vertical (Equação 1).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

em que: θ é o conteúdo volume de água ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) no solo, t é o tempo (min), ψ é a tensão matricial (cm), K é a condutividade hidráulica (cm min^{-1}) do solo e z é a coordenada vertical (positiva para cima).

O Hydrus-1D é um modelo consolidado para a predição do fluxo de água no solo, portanto para a primeira etapa da modelagem determinou-se a simulação de fluxo de água (*Water Flow*) e absorção de água pela raiz (*Root Water Uptake*). Em seguida, para a determinação das informações geométricas, a pesquisa foi delimitada em um único tipo de solo com duas camadas para o balanço de massa, e profundidade máxima de 150 cm.

Na sequência, foram adicionadas as informações de tempo com base na série histórica coletada no portal da GEO-Rio, referente ao pluviômetro mais

próximo localizado no Jôquei Clube. A série histórica de 20 anos perfaz um total de 7671 dias analisados. Os dados de evapotranspiração real precisaram ser ajustados conforme o coeficiente de cultivo local (vegetação arbórea), por meio da Equação 2, apresentada por Doorenbos e Pruitt (1977).

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (2)$$

em que: Kc é o coeficiente de cultura (adimensional), ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}) e ETo é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}).

Portanto, a partir do estudo de Monteiro et al. (2016) – a evapotranspiração da cultura (ETc) e os coeficientes de cultivo (Kc) de mudas florestais tropicais e o estudo de Funari e Pereira Filho (2020) – a evapotranspiração potencial em uma área do bioma de Mata Atlântica na Região Metropolitana de São Paulo, verificou-se que o coeficiente de cultura para o tipo de cobertura do solo em análise possui valor médio de 0,69. Neste caso, adotou-se para a presente pesquisa Kc igual a 0,70.

A estimativa dos valores de evaporação e transpiração teve como referência os dados diários calculados de ETc . Assim, estipulou-se que para a evaporação o valor corresponderia a 1/3 da ETc e para a transpiração seria adotado 2/3 da ETc .

Para a seleção dos tempos de impressão (*Print Times*) capazes de gerar informações mais detalhadas nos *outputs*, foram escolhidos os seis dias com precipitações mais expressivas, ou seja, datas que refletem possíveis eventos de alagamentos na região.

Na etapa referente ao critério de iteração adotou-se 10 como número máximo de iterações. Quanto ao Modelo Hidráulico do Solo, foram mantidos os valores como padrão. O Manual do Hydrus-1D (Šimůnek et al., 2013) explica que as aplicações de modelos de fluxo insaturado muitas vezes assumem funções de valor único (*No Hysteresis*) para $\theta(h)$ e $K(h)$, para caracterizar as propriedades hidráulicas em um determinado ponto no perfil do solo. Para este estudo, não foram considerados valores de histerese e o modelo adotado para caracterização hidráulica foi o unimodal de van Genuchten (1980).

Em seguida foram estimados os parâmetros de fluxo de água θ_r (umidade volumétrica residual), θ_s (umidade volumétrica na saturação), α e n (parâmetros de ajuste) em função dos atributos do solo. Para o cálculo de cada parâmetro, foram utilizados os dados percentuais de areia, silte, argila e carbono orgânico (CO), extraídos do material “Identificação de limitações pedológicas e ambientais causadoras da degradação de áreas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro” de autoria de Calderano Filho et al. (1992).

As Funções de Pedotransferência – do inglês *Pedotransfer Functions* (PTFs), são funções matemáticas modeladas e validadas que possibilitam

estimar atributos de difícil obtenção por meio de propriedades de mais fácil acesso, como por exemplo, dados de densidade do solo, de textura, carbono orgânico, CTC. Segundo Gomes (2014) a expressão criada por Bouma (1989) significa “transformando dados que possuímos em dados que necessitamos”.

Com base na quantidade de variáveis independentes e da faixa de variação dos valores do solo, optou-se por utilizar a equação de Tomasella e Hodnett (1998) para estimar a densidade aparente do solo (g cm^{-3}) – do inglês *Bulk Density* (BD), apresentada pela Equação 3 a seguir:

$$BD = 1,578 - 0,054 \times (\% CO) - 0,006 \times (\% silte) - 0,004 (\% argila) \quad (3)$$

Os valores de areia, silte e argila foram, respectivamente, iguais a 41, 16,5 e 42,5%, apresentando-se dentro dos intervalos apresentados por Tomasella e Hodnett (1998) para esta PTF. Portanto, o resultado para a estimativa da densidade aparente foi de 1,249, sendo adotado o valor de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$.

Para estimar pela PTF, os parâmetros de fluxo de água, utilizou-se o estudo de Tomasella et al (2000) que apresenta os valores texturais médios de 21,82% (0 - 74,6%) para areia grossa, 18,78% (0 - 93%) para areia fina, 15,70% (0 - 71%) para silte, 43,73 % (1,70 - 96%) para argila, 9,133 g/kg (0,063 – 59,500 g/kg) carbono orgânico e 1,2742 g/cm (0,7800 – 1,9100 g/cm) densidade aparente.

De modo similar, estes intervalos médios também atendem aos valores obtidos pela amostra e foram inseridos no HYDRUS-1D. Os valores aproximados dos parâmetros de van Genuchten foram 0,193 (θ_r), 0,545 (θ_s), 0,519 (α) e 1,321 (n).

Os dados referentes ao perfil da amostra, descrição morfológica, e análises físicas e químicas extraídos de Calderano Filho et al. (1992) estão representados na Tabela 1. O Roseiral está situado em área de vegetação arbórea e passou por um processo de revitalização no ano de 2014.

| DESCRIÇÃO DO PERFIL | |
|---------------------------------------|---|
| CLASSIFICAÇÃO DO SOLO | Cambissolo Tb Distrófico Epieutrófico A |
| LOCALIZAÇÃO | Roseiral “Pedro Cachimbo” Seção 1, Canteiro 22-E |
| SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL | Coletado em área plana, com 0,2% de declive sob o plantio de rosas (que se estende para áreas de vegetação arbórea) |
| ALTITUDE | 3,3 metros |
| MATERIAL ORIGINÁRIO | Sedimentos areno-silto-argilosos com depósitos de materiais de áreas circunvizinhas |
| DRENAGEM | Moderada/Imperfeitamente drenado |
| VEGETAÇÃO PRIMÁRIA | Mata Atlântica |
| USO ATUAL | Roseiral |

| | |
|--------|--|
| CLIMA | Am - Clima tropical úmido ou subúmido |
| RAÍZES | Abundantes no Ap; comuns no Bi; raras no II C1, com diâmetro menor que 0,1 cm. |

Tabela 2 - Descrição do perfil de solo no Roseiral. Fonte: Adaptado de Calderano Filho et al. (1992).

O Manual Técnico de Pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007) descreve as fases de drenagem do solo. Sabendo que a amostra selecionada no estudo está caracterizada entre moderada e imperfeitamente drenada, pode-se inferir que a permeabilidade do solo é lenta.

O teste de permeabilidade recomendado para caracterizar o solo fornece a velocidade da água no interior da massa do solo (IBGE, 2007). Considerando que a condutividade hidráulica (K_s) não pôde ser medida em campo, foi observado o intervalo que deveria estar compreendido o valor a ser estimado por PTF, com base nos critérios de *Irrigated land use: land classification* (1953).

Portanto, a amostra classificada como lenta deve se enquadrar no intervalo entre 0,8 cm/h a 2,0 cm/h. A condutividade hidráulica (K_s) teve como base a equação de Wösten et al. (1999) que considera os valores percentuais de silte, argila, carbono orgânico, densidade aparente e solo superficial (*topsoil*) – este último estipulado nulo por ser uma amostra de subsuperfície (Equação 4). Sendo assim, o valor de K_s foi estimado em 40 cm/dia.

$$Ks = \exp \exp [7,755 + 0,0352 \times silte + 0,93 \times solo\ superficial - 0,967 \times BD^2 - 0,000484 \times argila^2 - 0,000322 \times silte^2 + \frac{0,001}{silte} - \frac{0,0748}{CO} - 0,643 \times \ln \ln (silte) - 0,01398 \times BD \times argila - 0,1673 \times BD \times CO + 0,02986 \times solo\ superficial \times argila - 0,03305 \times solo\ superficial \times silte] \quad (4)$$

Foram determinadas as condições de contorno superior e inferior da simulação. Para a superior adotou-se a condição atmosférica com escoamento superficial devido ao histórico de alagamentos da região. Já na condição inferior foi utilizada a opção de drenagem livre (*Free Drainage*), por não serem conhecidas as características do lençol freático (variação com o tempo e profundidade).

Além disso, foram necessários ajustes nos *Feddes Parameters*, ou seja, nas taxas de absorção das raízes em determinadas condições. O valor da carga de pressão abaixo da qual as raízes começam a extrair água do solo foi ajustado para -1 e o valor da carga de pressão abaixo da qual as raízes começam a extrair água na taxa máxima possível ficou em -10.

Sabe-se ainda que a distribuição espaço-temporal da absorção de água pela raiz (*Root Water Uptake*) depende da distribuição das raízes e da absorção compensatória das regiões mais úmidas da zona radicular. Nesse sentido, as alterações mais expressivas ocorreram nos demais parâmetros: valor

da carga de pressão limite abaixo do qual as raízes não podem mais extrair água na taxa máxima, na condição máxima de transpiração e o valor abaixo do qual cessa a absorção de água pela raiz.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a simulação no HYDRUS-1D, foi possível estimar os componentes do balanço hídrico da amostra que envolvem a evapotranspiração real das plantas. No editor gráfico do perfil do solo, foram definidos dois pontos de observação: N1 localizado mais próximo à superfície com aproximadamente 5 cm de profundidade, e N2 em cerca de 100 cm de profundidade, considerando um perfil homogêneo de 150 cm.

À medida que a água se infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo, alterando gradativamente o perfil de umidade. A Figura 1 ilustra a variação da umidade volumétrica do solo no período observado. Verifica-se então que, quanto mais próximo da superfície, mais expressivas são as variações de umidade, enquanto em maiores profundidades há menor variação dos valores de umidade no solo.

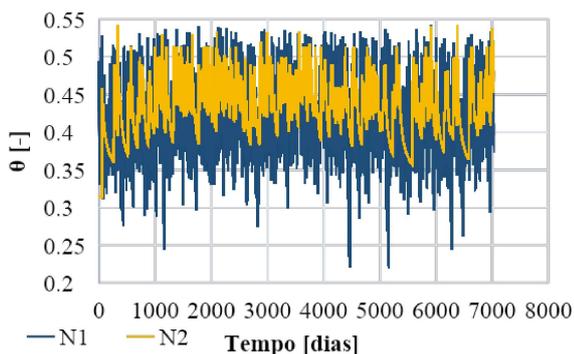


Figura 1 – Variação da umidade volumétrica em duas profundidades no solo, em uma análise de 20 anos.

O gráfico de variação de umidade volumétrica, permite avaliar que as condições apresentadas estão condizentes com as características naturais de umidade do solo. No entanto, é válido mencionar que enquanto houver contribuição de água na superfície, o perfil de umidade tende à saturação ao longo de sua profundidade.

A análise da Figura 1 demonstra que o perfil de umidade tem relação direta com as demais parcelas do balanço hídrico, uma vez que apenas parte da umidade é drenada para as camadas mais profundas do solo, e o restante é transferido para a atmosfera ou escoado.

Na sequência, buscou-se analisar a absorção real de água pela raiz a fim de estimar para onde estão sendo destinados os volumes precipitados. Sabe-se que a transpiração ocorre a partir do gradiente de concentração de vapor de água entre as folhas e a atmosfera. A Figura 2 ilustra graficamente o

comportamento da absorção real de água pela raiz, que demonstra nos elevados picos, valores transpirados em torno de $0,77 \text{ mm dia}^{-1}$ aproximadamente.

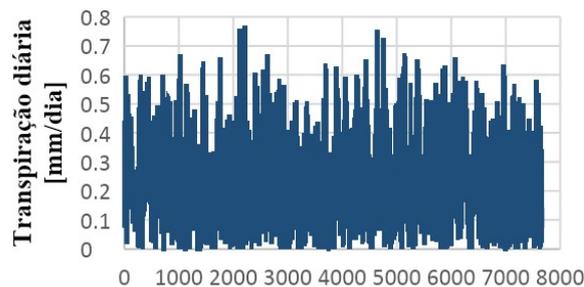


Figura 2 – Variação da transpiração diária, com base em 20 anos de dados analisados

Os valores acumulados de absorção de água pela raiz no período de 20 anos, são apresentados na Figura 3. Nela, observa-se que o crescimento da curva está diretamente associado à transpiração realizada pela vegetação na área de estudo, a qual chegou a 7700 mm aproximadamente.

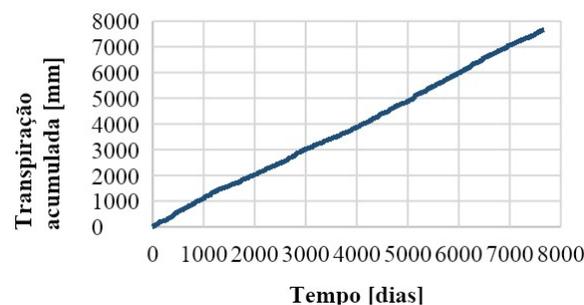


Figura 3 – Transpiração real em valores acumulados.

A Figura 4 mostra o valor acumulado de água de 19780 mm que chega ao final do perfil do solo. O conhecimento desta informação permite avaliar algumas hipóteses com relação à recarga de mananciais na região.

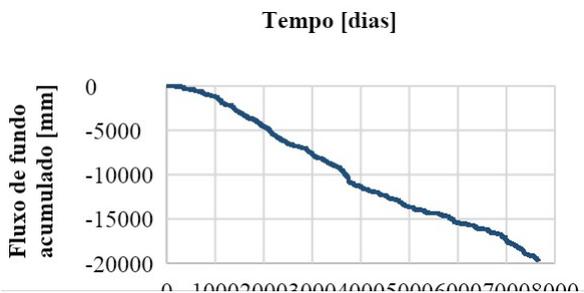


Figura 4 – Valor acumulado do fluxo de fundo

Considerando que o valor aproximado de precipitação acumulada no período em questão foi 31300 mm, foram gerados gráficos que possibilitem representar as demais parcelas estimadas para o balanço hídrico da área de estudo. Nesse sentido, a Figura 5 ilustra o valor acumulado da evaporação que está estimada em 3040 mm.

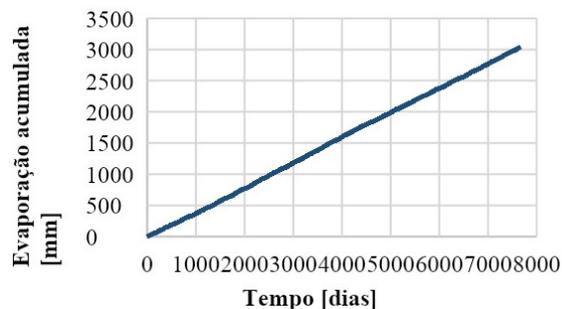


Figura 5 – Evaporação real em valores acumulados.

De modo similar, a Figura 6 apresenta o valor acumulado de infiltração com 31200 mm, que relacionado ao valor do fluxo de água que se encontra no fundo do perfil (*Cumulative Bottom Flux*) de 19800 mm, estima-se então que 11420 mm infiltraram passando pelas camadas do perfil, ficando retidos no solo ou sendo desviados.

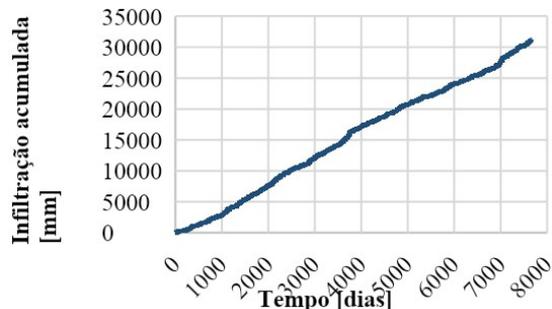


Figura 6 – Infiltração em valores acumulados.

São vários os fatores que permitem justificar o alto valor de infiltração encontrado, como por exemplo, a possibilidade de um determinado horizonte não mapeado na pesquisa conter condutores de fluxos preferenciais, ou até mesmo a alta relação percentual dos teores de areia em comparação aos demais materiais (argila e silte), que favorecem a infiltração da água.

Ainda, é preciso mencionar que sem informações detalhadas a respeito da distribuição das raízes no perfil, não se pode afirmar que os resultados encontrados refletem a verdadeira condição de transpiração e, por consequência, as demais parcelas estimadas. Portanto, ressalta-se que mais estudos deverão ser desenvolvidos na região para confirmar se este comportamento é de fato uma tendência.

Atualmente, o entorno do JBRJ é caracterizado por densas ocupações urbanas (Figura 7) que estão localizadas em áreas naturalmente inundáveis.

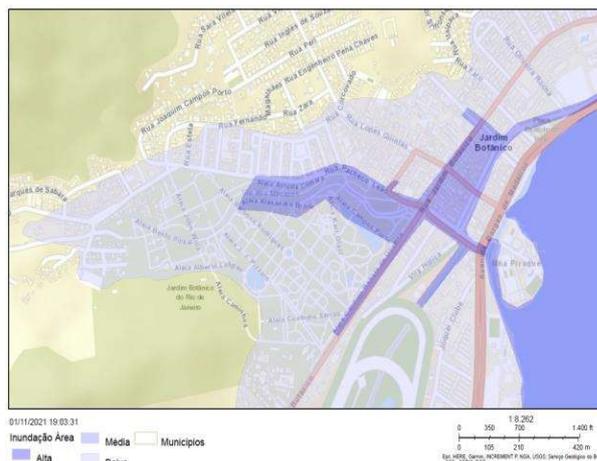


Figura 7 – Ruas sujeitas às inundações no bairro Jardim Botânico.

Observa-se que a região do presente estudo (Roseiral) está localizada dentro da área considerada de baixo risco às inundações. No entanto, algumas ruas do entorno estão dentro dos limites de alto risco, que poderiam ser agravados caso o JBRJ e sua vegetação não estivessem contribuindo para a captação de parte do volume precipitado.

Em uma análise mais ampla que envolve a Bacia do Rio dos Macacos, se não houvesse o JBRJ e sua vegetação predominante, o volume de água precipitado provavelmente estaria gerando escoamento superficial mais expressivo, situação que facilitaria a ocorrência de picos de alagamento ainda mais intensos.

CONCLUSÕES

O estudo de caracterização do regime hídrico da amostra de solo selecionada, se mostrou de grande relevância para a compreensão da influência que o JBRJ tem no bairro em questão. Como pesquisa quantitativa realizada de modo experimental, ficou evidente sua contribuição a partir da simulação desenvolvida no HYDRUS-1D.

Com base nos resultados obtidos, foi possível avaliar a variação da umidade no solo conforme os pontos estabelecidos. A análise gráfica de umidade do solo permitiu deduzir um perfil de umidade que possui relação direta com as demais parcelas do balanço hídrico.

Além disso, foram estimados os valores acumulados de absorção de água pela raiz no período de 20 anos, associada à transpiração realizada pela vegetação na área de estudo. Esta avaliação se estendeu em hipóteses que poderão ser validadas futuramente por pesquisas de campo e novas simulações.

RECOMENDAÇÕES

Com os eventos de alagamentos e inundações cada vez mais frequentes na região, é evidente a

necessidade de compreender a dinâmica hidrológica do Jardim Botânico, para que seja possível estimar de forma mais precisa as parcelas do balanço hídrico em termos da bacia hidrográfica do Rio dos Macacos.

Um dos ajustes futuros na modelagem terá relação com o lençol freático. Para isso, será necessário obter informações mais detalhadas da sua localização e variação com o tempo. Nesse caso, a modelagem será reajustada para uma condição de fronteira mais realística - *Deep drainage* ao invés de *Free drainage*.

A estimativa das parcelas do balanço hídrico tem como principal limitação a precisão dos seus componentes, em especial, a evapotranspiração, determinada no presente caso de maneira teórica admitindo-se um percentual voltado para transpiração e outro para evaporação.

Em estudos futuros, espera-se estimar mais precisamente os dados de entrada na simulação que, certamente irão conferir resultados mais satisfatórios, uma vez que pequenas imprecisões podem acarretar em grandes incertezas.

De posse dos resultados do balanço hídrico, poderão ser adequadas medidas preventivas já existentes e desenvolvidas novas metodologias, capazes de contribuir para minimizar os impactos negativos que afetam o cotidiano da população.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Solos, Fundação GEO-Rio e todos os pesquisadores envolvidos por disponibilizarem os dados necessários para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BOUMA, J. **Using soil survey data for quantitative land evaluation**. In: Stewart, B. A., ed. *Advances in Soil Science*, v. 9, p.171-213, 1989.
- BRASIL. **Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm Acesso em: 20 nov. 2021.
- _____. **Decreto no 99.274 de 6 de junho de 1990**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm Acesso em: 25 nov. 2021.
- _____. **Resolução CONAMA nº 339 de 25 de setembro de 2003**. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2003/res_conama_339_2003_jardinsbotanicos.pdf Acesso em: 25 nov. 2021.
- CALDERANO FILHO, B., WITTERN, K. P., CONCEIÇÃO, M., TAVARES, N. P., FAGUNDES, S. R. F. **Identificação de limitações pedológicas e ambientais causadoras da degradação de áreas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Série Estudos e Contribuições n. 10, EMBRAPA SNLCS- IBAMA. Rio de Janeiro, 1992.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1997. 204p.
- FUNARI, F. L., PEREIRA FILHO, A. J. **Avaliação da evapotranspiração potencial em área de mata atlântica, parque estadual das fontes do Ipiranga, São Paulo**. Revista do Instituto Geológico: São Paulo, 2020.
- GOMES, A. S. **Funções de Pedotransferência para Estimativa da Densidade de Solos da Bacia do Solimões, sob Floresta Tropical Amazônica**. Dissertação (Mestrado) do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ: Seropédica, 2014.
- IBGE. **Manual Técnico de Pedologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**.
- MIRANDA, E. E. **Jardins Botânicos do Brasil/ texto** Evaristo Eduardo Miranda; fotografia Fabio Colombini. São Paulo: Metalivros, 2009.
- MONTEIRO, J. E. B. A. CUADRA, S. V., OLIVEIRA, A. F., NAKAI, A. M., MACIEL, R. J. S. **Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas em temperatura**. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2017.
- RIO DE JANEIRO. **Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://www.rio.rj.gov.br/web/georio> Acesso em: 26 nov. 2021.
- ŠIMŮNEK et al., 2013. **Manual do Hydrus-1D**. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media Department of Environmental Sciences. University of California Riverside, 2013.
- TOMASELLA, J. & HODNETT, M. G. **Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia**. *Soil Science*, Madison, v. 163, n. 3, p. 190 – 202, 1998.
- VAN GENUCHTEN, M. T. **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity on unsaturated soils**. *Soil Science Society of America Journal*, 44, n. 5, p. 892-898, 1980.
- WÖSTEN, J.H.M., LILLY, A., NEMES, A., LE BAS, C. **Development and use of a database of hydraulic properties of European soils**. *Geoderma* 90, p. 169–185, 1999