

Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão

Effects of urban afforestation on the reduction of runoff and on the peak flow delay

Patrícia Layne Alves¹, Klebber Teodomiro Martins Formiga^{II}

Resumo

A impermeabilização do solo e ausência de cobertura arbórea produz maior volume de escoamento superficial, amplia o pico de vazão e reduz o tempo de retardo. A busca por alternativas para diminuição do volume de escoamento superficial em áreas urbanas é importante para obter respostas hidrológicas aos problemas ocasionados pelo processo de urbanização e, com isso, amenizar o risco de inundação. Este estudo se propôs a estimar a redução do escoamento superficial e o atraso no pico de vazão ocasionados pela presença das árvores de três espécies (*Mangifera indica*, *Tabebuia ochracea* e *Licania tomentosa*) no meio urbano, o que permitiu a quantificação e análise do desempenho de espécies arbóreas na redução do escoamento urbano; correlacionou os parâmetros arbóreos com a capacidade de redução do escoamento; bem como averiguou se há redução e atraso nos picos de vazão. Os benefícios provenientes da interceptação das águas pluviais pelas árvores precisam ser ponderados e garantidos nos planos diretores de arborização e de drenagem urbana, de modo a alcançar a mitigação dos prejuízos provocados pelo descaso com as águas urbanas. Para isso, foram utilizados sensores de nível (linígrafos) para a quantificação do escoamento superficial em áreas com e sem a presença da cobertura arbórea, e em estruturas experimentais instaladas sobre solo impermeabilizado, semipermeável e permeável. Em eventos cujo valor mediano de precipitação bruta foi de 17.1 mm, a presença dos indivíduos arbóreos ocasionou um atraso mediano no tempo ao pico de vazão de 3 minutos, uma redução do pico de vazão de 0.8 mm/min e do escoamento superficial de 4.7 mm/min.

Palavras-chave: Árvores urbanas; Benefícios arbóreos; Escoamento pluvial

Abstract

Soil proofing and absence of tree cover produces more volume of surface runoff, enlarges the peak flow and reduces the delay time. The search for alternatives to reduce the volume of surface runoff in urban areas is important to get the hydrological answers to the problems caused by the urbanization process and, along with that, to reduce the risk of flooding. This article proposes to estimate the reduction of runoff and the delay in the peak flow caused by the presence of three species of trees (*Mangifera indica*, *Tabebuia ochracea* and *Licania tomentosa*) in urban areas. This allowed the quantification and the performance analysis of tree species in reducing urban runoff; the arboreal parameters correlated with the flow capacity reduction; and examined whether there is reduction and delay in the peak flows. The benefits from the interception of storm water for trees need to be pondered and guaranteed in afforestation master plans and urban drainage in order to reach the mitigation of damage caused by the neglect of urban water. For this, level sensors were used (limnigraphs) to quantify the surface runoff in areas with and without the presence of arboreal coverage, and in experimental structures set on waterproof, semipermeable and permeable soil. For events with an average value of gross precipitation of 17.1 mm, the presence of arboreal individuals caused an average time delay up to the peak flow of 3 minutes, an average reduction of peak flow of 0.8 mm/min and it contributed to an average reduction of surface runoff of 4.7 mm/min.

Keywords: Urban trees; Arboreal benefits; Storm water runoff

¹ Arquiteta e Urbanista, Dr^a., Professora e Coordenadora do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Engenharia Civil e Meio Ambiente (ENCIMA) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Rua 75, n. 46, Setor Central, CEP 74055-110, Goiânia (GO), Brasil. patricia.alves@ifg.edu.br (ORCID: 0000-0003-4904-711X)

^{II} Engenheiro Civil, Dr., Professor Assistente da Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Av. Universitária, 1488, Setor Universitário, CEP 74605-220, Goiânia (GO), Brasil. klebber.formiga@gmail.com (ORCID: 0000-0003-1094-362X)

Introdução

No momento presente, a extensão da crise hídrica provocada pelo aumento do consumo e deterioração dos mananciais - com capacidades finitas - exige alternativas imediatas para sua mitigação e/ou resolução. A comunidade científica, por sua vez, busca constantemente soluções para essa problemática, no propósito de encontrar caminhos que poupem os recursos naturais limitados e, ao mesmo tempo, minimizem os sucessivos desastres relacionados às inundações, enchentes urbanas e degradação da qualidade da água.

A falta de planejamento em áreas urbanas provoca o aumento da cobertura impermeável do solo, prejudica a infiltração de águas pluviais e amplia significativamente o escoamento superficial, causando enchentes urbanas, erosões nos canais e problemas de poluição difusa (PAUL; MEYER, 2008). De fato, regiões com poucos remanescentes florestais ou espaços verdes públicos apresentam maiores temperaturas, menor umidade relativa do ar e recorrentes problemas de drenagem (LEAL; BIONDI; BATISTA, 2014).

Em se tratando de áreas impermeabilizadas, a exemplo das cidades, a produção do escoamento ocorre com maior intensidade e em menor período de tempo (SCHUELER; FRALEY-MCNEAL; CAPPIELLA, 2009). Nas superfícies impermeabilizadas há o aumento do fluxo, do pico e da velocidade do escoamento superficial direto, bem como a diminuição do tempo de concentração em decorrência de superfícies menos rugosas e sem obstáculos naturais para a detenção da água (HU et al., 2010). Os principais fatores que exercem influência no escoamento superficial são relacionados à precipitação e decorrentes da ação antrópica, tais como o uso do solo e realização de obras hidráulicas nos cursos d'água e no entorno destes (AMPE et al., 2012; BEREZOWSKI et al., 2012).

Compreender os impactos da impermeabilização do solo e da evolução do uso da terra, é fundamental para uma abordagem eficaz no planejamento de bacias hidrográficas (BRABEC, 2009). Com isso, estudos como os de Verbeiren et al. (2013), por meio de aplicação de modelos computacionais, utilizando dados da cidade de Dublin, Irlanda, constataram um aumento do escoamento superficial de 33 mm/mês (áreas pouco urbanizadas) para 75 mm/mês (áreas urbanizadas), concluindo que este crescimento do escoamento é, em média, 40%. Gumindoga et al. (2014), em pesquisas com duas bacias no Zimbábue, África, constataram um aumento de vazão média de 6.03 m³/mês em 1970, para 30.1 m³/mês em 2006, para áreas cujo crescimento urbano foi de 600%.

As atividades humanas inadequadas, durante o processo de urbanização, podem contribuir com os frequentes eventos de inundação nas cidades e poluição das águas. Gao et al. (2013) indicam que alternativas como *Best Management Practices* (BMPs) e *Low Impact Development* (LID) propiciam uma resposta hidrológica positiva para os problemas ocasionados pela ocupação territorial acelerada, reduzindo o risco de inundação e desastre. Essas técnicas de controles estruturais são utilizadas para gerenciar a quantidade e qualidade do escoamento de águas pluviais, com o incentivo da permanência de áreas com cobertura vegetal, de modo a favorecer o escoamento natural e a proteção do solo (AHIABLAME; ENGEL; CHAUBEY, 2012).

No propósito de reduzir o escoamento superficial em áreas densamente urbanizadas, pesquisas apontam a arborização urbana como uma alternativa. Assim, é relevante reconhecer a importância das árvores na medida em que proporcionam benefícios para a gestão das águas pluviais urbanas (XIAO; MCPHERSON, 2011). A interceptação por suas copas é um importante componente no ciclo hidrológico urbano, pois influencia na redistribuição da água da chuva, no amortecimento, no direcionamento e na retenção das águas que chegam ao solo, beneficiando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração (BALBINOT et al., 2008; WANG; ENDRENY; NOWAK, 2008).

Embora o balanço hidrológico dos ecossistemas florestais tenha sido frequentemente estudado ao nível anual e se tenha conhecimento de que a arquitetura de copa, tipologia de folha e casca influenciam nas capacidades de interceptação pelas árvores, dados específicos com valores da capacidade de interceptação/armazenamento pluviométricos individuais para diferentes espécies arbóreas urbanas, de diversas regiões e países, ainda são escassos (ALVES, 2015; XIAO; MCPHERSON, 2016). Os valores de interceptação utilizados por ferramentas como *Green Values Calculator* (*Center for Neighborhood Technology*) (GALLET, 2011) e *i-Tree Streets* (*formerly STRATUM*) (ROY; BYRNE; PICKERING, 2012) adotam que a capacidade de armazenamento das copas é de 1.0 mm em todas as espécies arbóreas (BERLAND; HOPTON, 2014).

Com isso, gestores de águas urbanas não possuem informações precisas e, muitas vezes, apropriadas sobre tal variável-chave, que é fundamental para a seleção das espécies arbóreas mais adequadas para potencialização da interceptação e redução do escoamento superficial urbano (ALVES, 2015).

Pesquisas realizadas nos Estados Unidos em área urbana com cobertura florestal na Cidade de Dayton, Ohio, apresentaram 7% de redução do escoamento para um evento chuvoso de alta intensidade e em áreas densamente florestadas de Baltimore, Maryland, a redução anual do escoamento foi de 26% (SEITZ; ESCOBEDO, 2011) e, na Cidade de Los Angeles, Califórnia, o plantio de árvores ocasionou redução do escoamento de águas pluviais em 8% (MCPHERSON et al., 2011).

Poucas são as pesquisas que em suas metodologias procuraram aferir diretamente a redução do escoamento superficial urbano ocasionado pelas árvores. Em geral, os dados são obtidos de maneira indireta, por vias computacionais ou associados a pesquisas para a determinação da capacidade de interceptação dos indivíduos arbóreos ou da cobertura florestal urbana. Das águas precipitadas, não há uma medição direta do volume escoado sob as copas. No presente estudo, a redução do escoamento superficial de águas pluviais foi determinada com a utilização de sensores de nível (linígrafos), que aferiram o escoamento em área com e sem a presença da cobertura arbórea.

As informações referentes à redução do escoamento superficial ocasionados pela presença das árvores na cidade, em geral, pouco são correlacionadas às características arbóreas das espécies, tais como particularidades de copa e folha. Estes parâmetros são essenciais para a melhor distinção dos resultados de pesquisas relacionadas ao tema. Eles são dados imprescindíveis para a realização de modelagens e simulações, podem fundamentar tecnicamente diretrizes à arborização urbana e gerar parâmetros para a reaplicação das pesquisas em localidades diversas, permitindo o estudo comparativo entre os resultados alcançados.

Neste artigo foram elencadas as características arbóreas das espécies com o intuito de identificar a relação entre os indivíduos e seus desempenhos na redução do escoamento superficial. Propõe-se estimar a redução do escoamento superficial e o atraso no pico de vazão ocasionados pela presença da arborização no meio urbano.

Material e Método

A pesquisa foi desenvolvida em uma área urbana da Cidade de Uruaçu, Goiás, Brasil, com as coordenadas 14°31'6.23"S e 49° 8'11.16"O. De acordo com a classificação de Köppen, a região climática é do tipo "Aw" com clima tropical, estação seca prolongada e chuvas concentradas no verão. Segundo o banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016), a precipitação anual no município é de aproximadamente 1006.8 mm e, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2016), a temperatura média dos meses mais quentes, é de 39.4°C, enquanto a dos meses mais frios é de 10.8°C. Quanto aos dados pluviométricos, durante os cinco meses de medições realizadas em 2013/2014, registraram-se precipitações com o valor mínimo mensal de 17.5 mm (fevereiro de 2014) e máximo mensal de 182.4 mm (dezembro de 2013).

Três indivíduos arbóreos (Figura 1), sendo um em grupo (*Mangifera indica*) e dois isolados (uma *Tabebuia ochracea* e uma *Licania tomentosa*), foram selecionados por serem os indivíduos com os maiores diâmetros a altura do peito (DAP – aferido por cima da casca a uma altura de 1.30 m do solo conforme estabelece Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (2009)) entre os outros exemplares das mesmas espécies existentes no local da pesquisa; por suas características de copa, casca e folhagem; e, pelo fato destas espécies serem amplamente empregadas na arborização urbana da região da área de estudo.

Em campo foram tomadas medidas da altura e do volume da copa de cada indivíduo arbóreo com a utilização de uma Trena Laser Leica Disto D8-200m (sensor 360°). As áreas das copas foram registradas por medição com a trena e auxílio de estacas para se determinar a projeção das copas e de seus diâmetros médios. Para o dimensionamento dos volumes e alturas médias das copas, as medidas foram tomadas de acordo com o método de medição de altura de copa empregado por Silva et al. (2012). E, para o cálculo das áreas foliares e dos índices de área foliar fez-se a inferência a partir dos resultados obtidos por Alves et al. (2013). Todos os parâmetros arbóreos das espécies, expressos na Tabela 1, foram necessários para as análises das características dos indivíduos arbóreos e seus desempenhos quanto às interceptações.

Tabela 1– Parâmetros arbóreos dos indivíduos estudados na pesquisa.

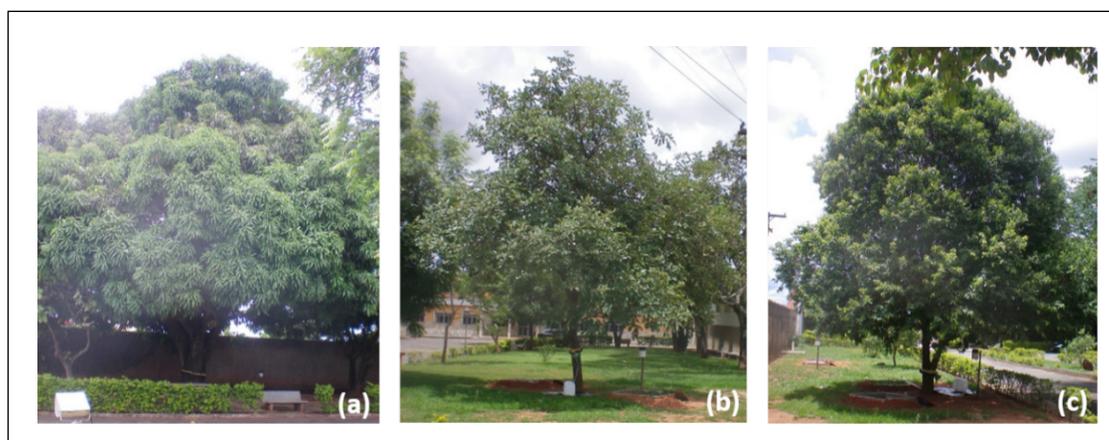
Table 1 – Tree parameters of the individuals studied in the research.

Indivíduos arbóreos	Dados Arbóreos												
	Idade (anos)	Tipo de casca	Dap (m)	Htotal (m)	Hfuste (m)	G (m ²)	Cc (m)	Dmc (m)	Apc (m ²)	Vol (m ³)	% Copa (%)	IAF	Af (m ²)
<i>Mangifera indica</i> (mangueira)	26	Áspera	1,0	9,9	2,6	0,8	7,2	9,8	75,6	693,7	73,3	1,5	1040,9
<i>Tabebuia ochracea</i> (ipê-amarelo)	26	Áspera	0,5	7,5	1,9	0,2	5,6	8,0	50	225,5	74,8	0,6	121,5
<i>Licania tomentosa</i> (oiti)	4	Lisa	0,3	6,7	1,6	0,1	5,1	6,6	33,8	217,5	75,6	0,7	148,9

Em que: Idade (anos): idade de plantio do indivíduo; Dap (m): diâmetro a altura do peito (considerou-se a soma das bifurcações de tronco); Htotal (m): altura total da árvore; Hfuste (m): altura de fuste; G (m²): área basal da árvore = $(\pi \cdot \text{dap}^2)/4$; Cc (m): comprimento de copa; Dmc (m): diâmetro médio de copa; Apc (m²): área de projeção de copa = $(\pi/4) \cdot \text{Dmc}^2$; Vol (m³): volume de copa; % Copa: percentagem de copa = $(\text{Cc}/\text{Htotal}) \cdot 100$; IAF: índice de área foliar; Af (m²): área foliar.

Figura 1 – Indivíduos arbóreos estudados - (a) *Mangifera indica* (mangueira), (b) *Tabebuia ochracea* (ipê-amarelo) e (c) *Licania tomentosa* (oiti).

Figure 1 – The arboreal individuals studied - (a) *Mangifera indica* (mango tree), (b) *Tabebuia ochracea* (yellow ipê) and (c) *Licania tomentosa* (oiti).



A precipitação bruta (PB) e a precipitação interna (PI) foram aferidas por quatro pluviógrafos do modelo RG3-M, marca Onset, instalados a 1,50 m de altura do solo, conforme padrão adotado pela Agência Nacional de Águas para instalação de estações hidrométricas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012), de modo que três ficaram posicionados sob as copas das árvores e um em campo aberto. O pluviógrafo instalado, em campo aberto, teve a função de registrar a quantidade e intensidade pluviométrica ocorridas no município/local do experimento e serviu de referência para a comparação com os registros coletados pelos demais equipamentos instalados sob as copas.

Os equipamentos permaneceram instalados durante o período de novembro de 2013 a março de 2014, e tiveram suas localizações sob as copas alteradas a cada 15 dias, de modo a obter dados mais representativos. Os registros dos pluviógrafos foram adquiridos com uma discretização do intervalo de tempo em 1 minuto.

O escoamento pelo tronco (ET) foi obtido por meio da construção de estruturas fixadas às árvores que desaguavam em galões com capacidade de 23 litros. Tais estruturas, para captação das águas, foram executadas com calhas de borracha seladas ao tronco por meio de espuma de poliuretano (Figura 2a).

Seguindo a metodologia proposta por Livesley, Baudinette e Glover (2014), a interceptação pelas copas (CI), para cada evento chuvoso, foi calculada como:

$$CI = PB - (PI + ET) \quad (1)$$

Em que: CI = interceptação pelas copas; PB = precipitação bruta (precipitação acumulada total em cada evento chuvoso medido no pluviógrafo em campo aberto) (mm); PI = precipitação total acumulada sob a copa (mm); ET = escoamento total pelo tronco (mm).

Para as análises dos efeitos da arborização na redução do escoamento superficial e no atraso do pico de vazão, considerou-se que as chuvas ocorridas sob as copas das árvores, tiveram a mesma duração e momento de início e fim, que as chuvas ocorridas em campo aberto. Esta padronização e análise só foram possíveis graças às medições proporcionadas pelos pluviógrafos que aferem a duração, tempo exato de ocorrência e variação das intensidades durante os eventos chuvosos.

As lâminas de água, decorrentes do escoamento superficial direto (Q), foram obtidas através dos dados mensurados por linígrafos do modelo U20-001-01-Ti Data Logger, marca Onset, instalados em tubos de PVC (DN 200 mm) enterrados a 1,80 m de profundidade no solo (Figura 2b). Estes equipamentos aferiram o escoamento superficial em áreas experimentais de 1 m² cada, isoladas por folhas de zinco e com cobertura do solo impermeabilizada (argamassa simples de cimento e areia), semipermeável (pavimentos permeáveis) e permeável (solo natural) (Figuras 2c, 2d e 2e). Os diferentes tipos de cobertura do solo foram contemplados no total de 08 unidades amostrais, sendo essas distribuídas da seguinte forma: 02 em campo aberto (01 com solo impermeabilizado e 01 com semipermeável/permeável) e 06 sob as copas (02 de cada tipologia de cobertura de solo - impermeabilizado e semipermeável/permeável - sob a copa de cada um dos três indivíduos arbóreos). Destaca-se que as coberturas semipermeáveis e permeáveis foram analisadas conjuntamente nessa pesquisa. E, a referida distribuição espacial foi determinada a fim de garantir posterior comparação entre os dados.

Figura 2 – Estrutura para captação do escoamento pelo tronco (a), instalação dos linígrafos (b), e áreas experimentais de 1 m² com cobertura do solo impermeabilizado (c), semipermeável (d) e permeável (e).

Figure 2 – Structure to capture the runoff through the trunk (a), limngraph installation (b), and the experimental areas of 1 m² with soil cover waterproof (c), semipermeable (d) and permeable (e).



Os dados registrados pelos linígrafos, também, foram discretizados em intervalos de tempo de 1 minuto.

Para o cálculo dos coeficientes de produção de escoamento superficial (C1 - %), que expressam a relação entre o escoamento superficial direto e a precipitação pluvial total do evento, foi adotada a equação:

$$C1 = \frac{Q}{PB} \quad (2)$$

Em que: C1 = coeficiente de produção de escoamento superficial; Q = lâminas de água decorrentes do escoamento superficial direto (mm); PB = precipitação bruta (precipitação acumulada total em cada evento

chuvoso aferida pelo pluviógrafo instalado em campo aberto) (mm).

Seguindo o método de *Soil Conservation Service (SCS)*, adaptado por Setzer e Porto (1979), para o cálculo dos coeficientes de infiltração (CN), considerou-se a expressão:

$$CN = \frac{100}{10 + \frac{S}{25,6}} \quad (3)$$

Em que: CN = coeficiente de infiltração; S = potencial máximo de retenção de água no solo, após o início do escoamento superficial (mm).

Para as áreas experimentais, em campo aberto, o valor de S foi determinado a partir da equação 4:

$$Q = \frac{(PB - 0,2S)^2}{(PB + 0,8S)} \quad (4)$$

Em que: Q = lâminas de água decorrentes do escoamento superficial direto (mm); PB = precipitação bruta (precipitação acumulada total em cada evento chuvoso aferida pelo pluviógrafo instalado em campo aberto) (mm); S = potencial máximo de retenção de água no solo, após o início do escoamento superficial (mm).

Conforme indicado por Ponce e Hawkins (1996), o valor para a estimativa das perdas iniciais (Ia) pode variar de 0.0S a 0.3S. Neste estudo, considerou-se para as áreas experimentais do campo aberto, tanto com cobertura impermeável quanto com semipermeável/permeável, que as perdas iniciais do escoamento superficial foram nulas, não havendo armazenamento em depressões do solo.

Sob as copas das árvores, foram consideradas como perdas iniciais, as interceptações ocasionadas pelas copas. Logo, deduziu-se uma função para o cálculo de Ia, a partir dos dados de interceptação como sendo:

$$Ia = \frac{a * PB}{(b * PB + c)} \quad (5)$$

Em que: Ia = perdas iniciais; PB = precipitação bruta (precipitação acumulada total em cada evento chuvoso aferida pelo pluviógrafo instalado em campo aberto) (mm); e os parâmetros “a”, “b” e “c” foram ajustados, partindo dos dados de interceptação obtidos para cada espécie.

A dedução da fórmula do Ia foi possível somente a partir do uso de pluviógrafos nesta pesquisa. Por meio da caracterização mais detalhada dos eventos, pôde-se avaliar o desempenho da interceptação nas árvores e, assim, ajustar a equação para o cálculo de Ia.

E, para as áreas sob as copas, o valor de S foi determinado a partir de:

$$Q = \frac{(PB - Ia)^2}{(PB + S - Ia)} \quad (6)$$

Em que: Q = lâminas de água decorrentes do escoamento superficial direto (mm); PB = precipitação bruta (precipitação acumulada total em cada evento chuvoso aferida pelo pluviógrafo instalado em campo aberto) (mm); Ia = perdas iniciais; S = potencial máximo de retenção de água no solo, após o início do escoamento superficial (mm).

Durante o período experimental, foram registrados 104 eventos chuvosos com variações de intensidade média entre 1.2 mm.h⁻¹ e 38.0 mm.h⁻¹, precipitação acumulada total entre 0.6 mm e 68.4 mm, volume de escoamento superficial em solo impermeável entre 0.2 mm e 47.4 mm e, em solo permeável/semipermeável, no máximo de 37.6 mm. Para este estudo, foram selecionados os 17 eventos chuvosos que tiveram precipitações brutas acima de 10 mm, e conseqüente produção de escoamento significativa para as análises aqui propostas.

Resultados e discussão

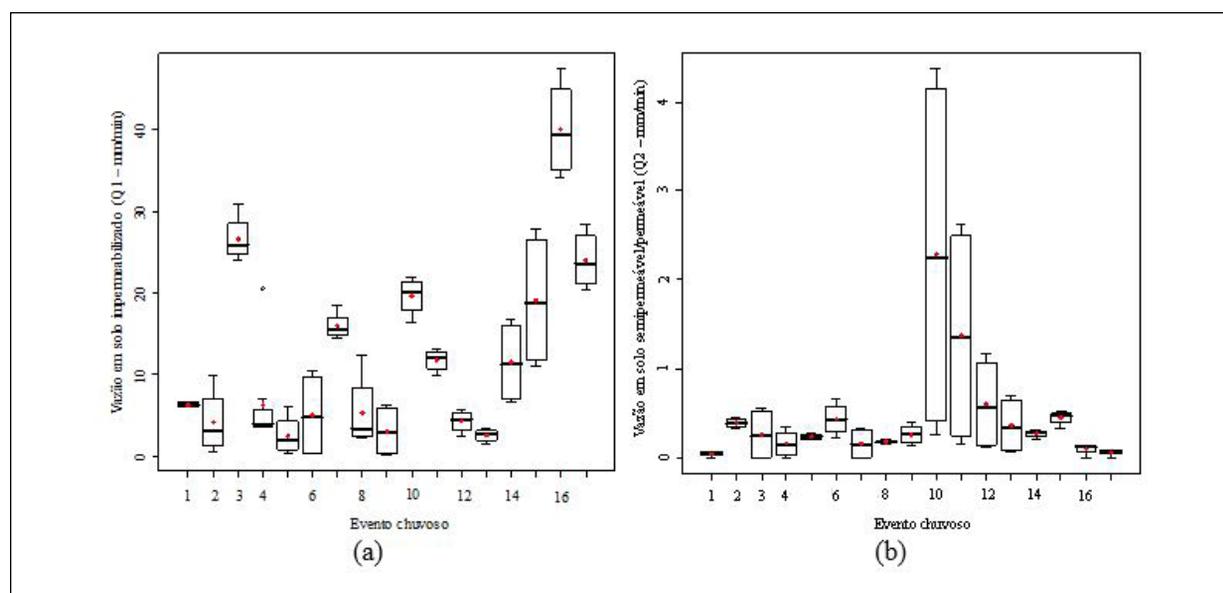
Na Figura 3a fica evidente que, em solo impermeabilizado, poucos eventos chuvosos tiveram seus valores medianos de vazão de escoamento superiores a 20 mm/min. Destacando apenas o evento 16, que obteve o maior valor mediano de Q1 (vazão de escoamento em solo impermeabilizado), 39.4 mm/min. Calculou-se para o evento, valor mediano de C1 (produção de escoamento superficial) igual a 58%, de CN (coeficientes de infiltração) igual a 93.7, e de Ia (perdas iniciais) igual a 14.3 mm. A intensidade pluviométrica média deste evento foi de 27.2 mm.h⁻¹, a precipitação bruta foi de 68.4 mm, e duração de 151 minutos.

Quanto à relação entre os eventos chuvosos e as vazões de escoamento em solo semipermeável/permeável (Q2) (Figura 3b), as medianas mantiveram-se em grande parte com valores abaixo de 2 mm/min, sendo que em apenas alguns eventos chuvosos houve comportamento diferente. Se destaca o evento 10, que obteve o maior valor mediano de Q2, igual a 2.3 mm/min. O evento apresentou valor mediano de C1 igual a 8%, de CN, 49.7, e de Ia igual a 6.9 mm. A intensidade pluviométrica média deste evento foi de 8.5 mm.h⁻¹, precipitação bruta de 27.8 mm, e duração de 197 minutos.

De modo geral, na Figura 3, é notória a redução de Q1 para Q2, em média 18 mm/min, resultados estes que foram próximos a estudos semelhantes. Seitz e Escobedo (2011) obtiveram uma variação na redução de 4 mm/min a 13 mm/min, dependendo da intensidade e duração do evento, bem como da ocupação do solo e área da cidade. Day e Dickinson (2008) alcançaram uma redução máxima de 26% do escoamento anual equivalente a cerca de 94.6 mm. É importante destacar que estes dados foram alcançados de maneira indireta ou em conjunto com pesquisas voltadas à capacidade de interceptação dos indivíduos arbóreos ou da cobertura florestal urbana, não tendo sido aferido o escoamento diretamente sob a copa das árvores.

Figura 3 – Box plot das vazões de escoamento em solo impermeabilizado, semipermeável/permeável nos três indivíduos arbóreos, durante os 17 eventos chuvosos considerados nas análises.

Figure 3 – Box plot of flows in waterproofed soil and semipermeable/permeable soil in three arboreal individuals during the 17 rainy events considered in the analysis.



Em que: Vazão de escoamento em solo impermeabilizado = Q1 (mm/min); Vazão de escoamento em solo semipermeável/permeável = Q2 (mm/min)

Os valores medianos para a vazão de escoamento (Q) (Figura 4a e Tabela 2), em geral, ficaram inferiores a 10 mm/min nas áreas experimentais com cobertura de solo impermeabilizado (argamassa de cimento e areia - áreas 1, 3, 5 e 7), e não ultrapassaram 0.5 mm/min nas áreas com cobertura de solo permeável e semipermeável.

Nos coeficientes de produção de escoamento superficial (C1) (Figura 4b), nota-se que os maiores valores foram observados nas áreas experimentais com cobertura do solo impermeabilizado, independentemente de estarem em campo aberto ou sob as copas das árvores. A área experimental 1 foi a que obteve maior valor mediano de C1, 84%, enquanto que a área experimental 6, foi a que obteve o menor valor mediano de C1, 1.1%. Tal comportamento era previsível, tendo em vista que as áreas permeáveis e semipermeáveis possibilitam a infiltração de grande parte do volume precipitado.

Os coeficientes de infiltração (CN) calculados (Figura 4c e Tabela 2), assim como o C1 também apresentaram valores medianos superiores nas áreas experimentais que correspondem à cobertura do solo impermeabilizado, o que era esperado, já que nestas áreas consideraram-se nulas as taxas de infiltração em função das propriedades da argamassa de cimento e areia aplicada sobre o solo. Para as áreas impermeabilizadas, as medianas dos valores de CN variaram de 92.9 (área experimental sob o ipê-amarelo - 3) a 100.1 (área experimental sob a mangueira - 5). E, nas áreas experimentais permeáveis e semipermeáveis, os valores medianos de CN ficaram entre 28.8 e 37.8 (área experimental sob o ipê-amarelo - 4 e área experimental campo aberto - 2, respectivamente).

As quantidades estimadas para as perdas iniciais (Ia) (Figura 4d e Tabela 2) devido à interceptação inicial, infiltração, armazenamento na superfície, evapotranspiração e outros fatores, variaram entre os indivíduos arbóreos estudados na pesquisa. Em campo aberto, as perdas iniciais foram desconsideradas. Sob as copas, as estimativas para as perdas iniciais foram calculadas a partir de inferências das interceptações dos indivíduos arbóreos, podendo se destacar a influência da capacidade de interceptação das espécies. As perdas iniciais foram iguais para todas as tipologias de cobertura do solo, merecendo destaque os maiores e menores valores medianos correspondentes às áreas sob a mangueira (7.4 mm) e sob o ipê-amarelo (2.8 mm), respectivamente.

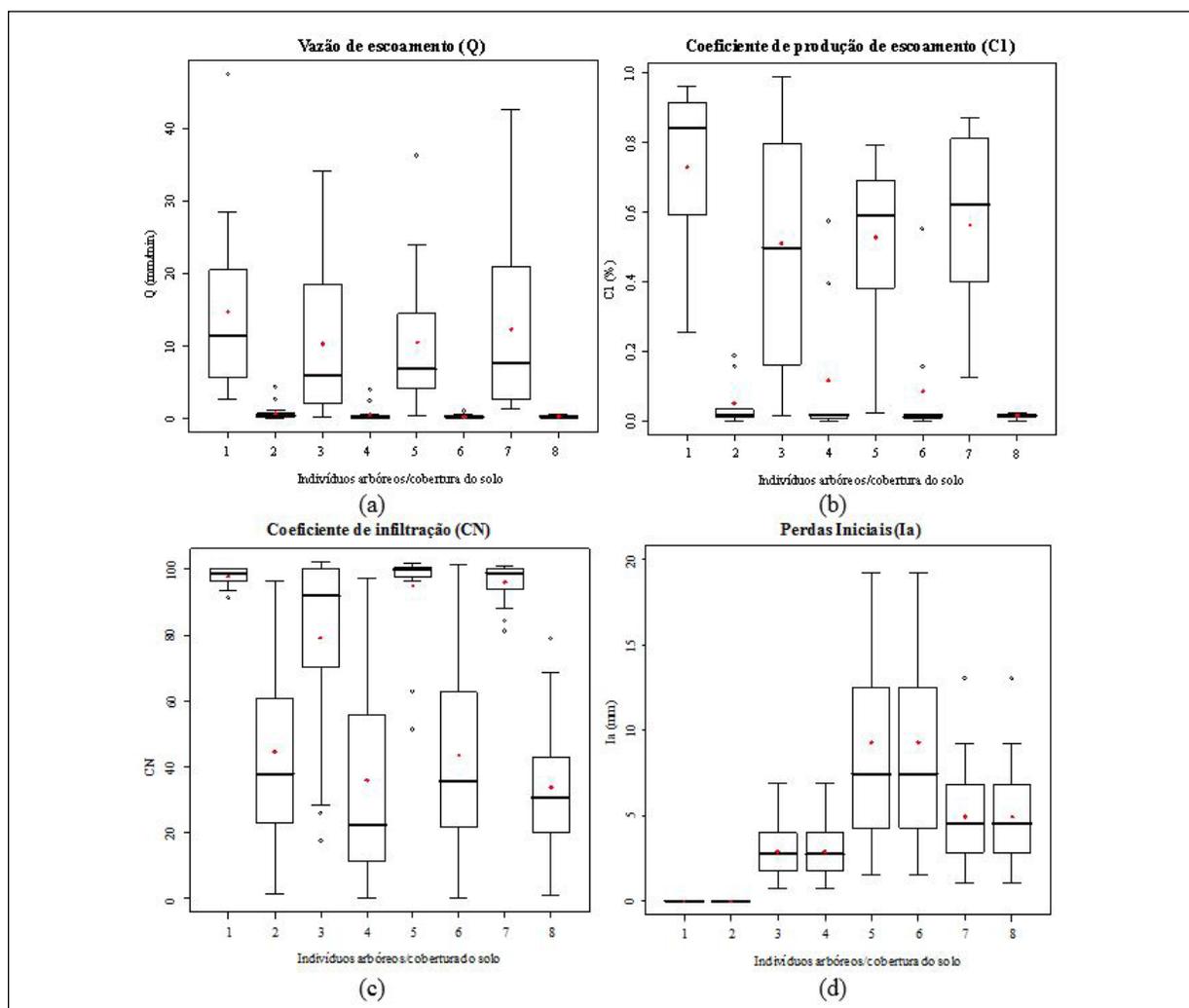
Nas áreas com cobertura de solo natural, ou com pavimentos permeáveis, praticamente todo o volume precipitado foi infiltrado, não havendo produção de escoamento superficial significativo. Como exposto pelos dados de Q, C1 e CN (Figura 4 e Tabela 2), as áreas experimentais em campo aberto, em decorrência da ausência de interceptação pelas copas das árvores, registraram o maior volume de escoamento superficial.

A produção de escoamento superficial sob as copas das árvores, nesta pesquisa, ficou diretamente relacionada à tipologia de casca das espécies. A *Licania tomentosa* (oiti), exemplar com maior produção de escoamento superficial com cobertura do solo impermeabilizado, teve sua capacidade de interferência e redução do escoamento sob sua copa comprometida. Isso, mesmo sendo a espécie mais jovem desta pesquisa (idade = 4 anos de plantio), e possuidora dos maiores parâmetros de volume de copa (Vol. = 217.5 m²), de índice de área foliar (IAF = 0.7) e de área foliar (Af. = 148.9 m²) (Tabela 1). O que determinou sua interferência e capacidade de redução do escoamento sob sua copa foi o fato de ser o único exemplar que possui casca lisa e fina, características que favorecem, sobremaneira, o escoamento das águas de chuva pelo tronco da árvore, aumentando, assim, o volume escoado contabilizado para as áreas sob as copas deste indivíduo. Porém, ressalta-se que todas as características da arquitetura arbórea dessa espécie, fazem a mesma ser uma boa opção para a interceptação de água de chuva retendo-a, temporariamente, em suas copas, conforme demonstrado pelas pesquisas de Alves, Formiga e Traldi (2018) e Alves (2015), tendo apenas o escoamento pelo tronco potencializado pelas características da casca.

O exemplar de *Tabebuia ochracea* (ipê-amarelo) foi o indivíduo com produção oposta à do oiti, porém, possui características arbóreas similares. Seu volume de copa é de 225.5 m², índice de área foliar de 0.6 e área foliar de 121.5 m² (Tabela 1). Logo, justificam-se seus menores registros de escoamento superficial sob a copa, e também pela tipologia de sua casca. A espécie assim como a mangueira, possui a casca áspera e espessa, logo, neste trabalho considera-se que esta característica contribui para a retenção de parte das águas que escoam por elas. Portanto, o oiti e a mangueira obtiveram desempenhos semelhantes quanto às produções de escoamento (62.2% e 59%, respectivamente, no solo com cobertura impermeável) (Figura 4 e Tabela 2).

Figura 4 – Box plot das vazões de escoamento (Q), dos coeficientes de produção de escoamento superficial (C₁), dos coeficientes de infiltração (CN), e estimativas das perdas iniciais (I_a) em cada uma das 08 áreas experimentais.

Figure 4 – Box plot of the flow of runoff (Q), the production coefficients of superficial runoff (C₁), the coefficients of infiltration (CN), and estimates of Initial losses (I_a) in each of the 08 experimental areas.



Em que: Área experimental 1 = em campo aberto com cobertura do solo impermeabilizado; Área experimental 2 = em campo aberto com cobertura do solo semipermeável/permeável; Área experimental 3 = sob o ipê-amarelo com cobertura do solo impermeabilizado; Área experimental 4 = sob o ipê-amarelo com cobertura do solo semipermeável/permeável; Área experimental 5 = sob a mangueira com cobertura do solo impermeabilizado; Área experimental 6 = sob a mangueira com cobertura do solo semipermeável/permeável; Área experimental 7 = sob o oiti com cobertura do solo impermeabilizado; Área experimental 8 = sob o oiti com cobertura do solo semipermeável/permeável.

Nos eventos analisados, o valor mediano de precipitação bruta foi de 17.1 mm. (Tabela 2). Nas espécies estudadas, comparando-se a produção de escoamento superficial sob as copas das árvores e em campo aberto, a redução de escoamento ocasionada pela presença dos indivíduos arbóreos foi, em solo impermeabilizado, na ordem de 5.6 mm/min, 4.6 mm/min e 3.8 mm/min para *Tabebuia ochracea*, *Mangifera indica* e *Licania tomentosa*, respectivamente, e em solo permeável e semipermeável, de 0.2 mm/min para *Tabebuia ochracea* e *Mangifera indica* e, de 0.1 mm/min para *Licania tomentosa*. Do total de 264.6 mm/min escoados em solo impermeabilizado, durante os 17 eventos considerados no estudo, em média as três espécies arbóreas reduziram 66.4 mm/min. Assim como previsto por Xiao e McPherson (2016), a capacidade de armazenamento superficial possui grandes variações entre as espécies de árvores, o que ainda é pouco estudado.

O coeficiente de produção de escoamento superficial (C1) é maior nas áreas impermeabilizadas (Tabela 2), porém, nota-se uma redução significativa deste coeficiente, ao ser comparado o C1 referente à área impermeabilizada em campo aberto (84.0%) e o C1 relativo às áreas impermeabilizadas sob as copas das árvores (57.0% em média). Pesquisas como as de Verbeiren et al. (2013) e Gumindoga et al. (2014) apontam que para cada 10% de aumento de área impermeabilizada ocorre cerca de 100% de aumento no coeficiente de escoamento de cheia e no volume de escoamento superficial, o que ratifica experimentos acerca das influências da vegetação e cobertura do solo sobre o escoamento de águas pluviais urbanas.

Tabela 2 – Valores medianos dos parâmetros relacionados ao escoamento superficial.

Table 2 – Average values of parameters related to runoff.

Áreas Experimentais	Q (mm/min)	C1 (%)	CN	Ia (mm)	PB (mm)
1- Área experimental em campo aberto com cobertura do solo impermeabilizado	11,4	84,0	98,7	0,0	
2- Área experimental em campo aberto com cobertura do solo semipermeável/permeável	0,4	1,8	37,8	0,0	
3- Área experimental sob o ipê-amarelo com cobertura do solo impermeabilizado	5,8	49,9	92,9	2,8	
4- Área experimental sob o ipê-amarelo com cobertura do solo semipermeável/permeável	0,2	1,8	28,8	2,8	
5- Área experimental sob a mangueira com cobertura do solo impermeabilizado	6,8	59,0	100,1	7,4	17,1
6- Área experimental sob a mangueira com cobertura do solo semipermeável/permeável	0,2	1,1	31,5	7,4	
7- Área experimental sob o oiti com cobertura do solo impermeabilizado	7,6	62,2	99,0	4,6	
8- Área experimental sob o oiti com cobertura do solo semipermeável/permeável	0,3	1,6	30,6	4,6	

Em que: vazão de escoamento (Q – mm/min); coeficiente de produção de escoamento superficial (C1 - %); coeficiente de infiltração (CN); estimativas das perdas iniciais (Ia - mm); com precipitação bruta (PB – mm).

No evento chuvoso com PB de 31 mm (Figura 5), valor de precipitação bruta mais representativo dentre os registrados nessa pesquisa para a região de estudos, as vazões de escoamento em solo impermeabilizado (Q1) totalizaram 15.5 mm/min, 18.1 mm/min e 21.6 mm/min para o *Tabebuia ochracea* (ipê-amarelo), para a *Mangifera indica* (mangueira) e para a *Licania tomentosa* (oiti), respectivamente. E, os valores de vazão em solo permeável/semipermeável (Q2), nos exemplares arbóreos, foram iguais a 2.8 mm/min, 4 mm/min e 6.6 mm/min, respectivamente.

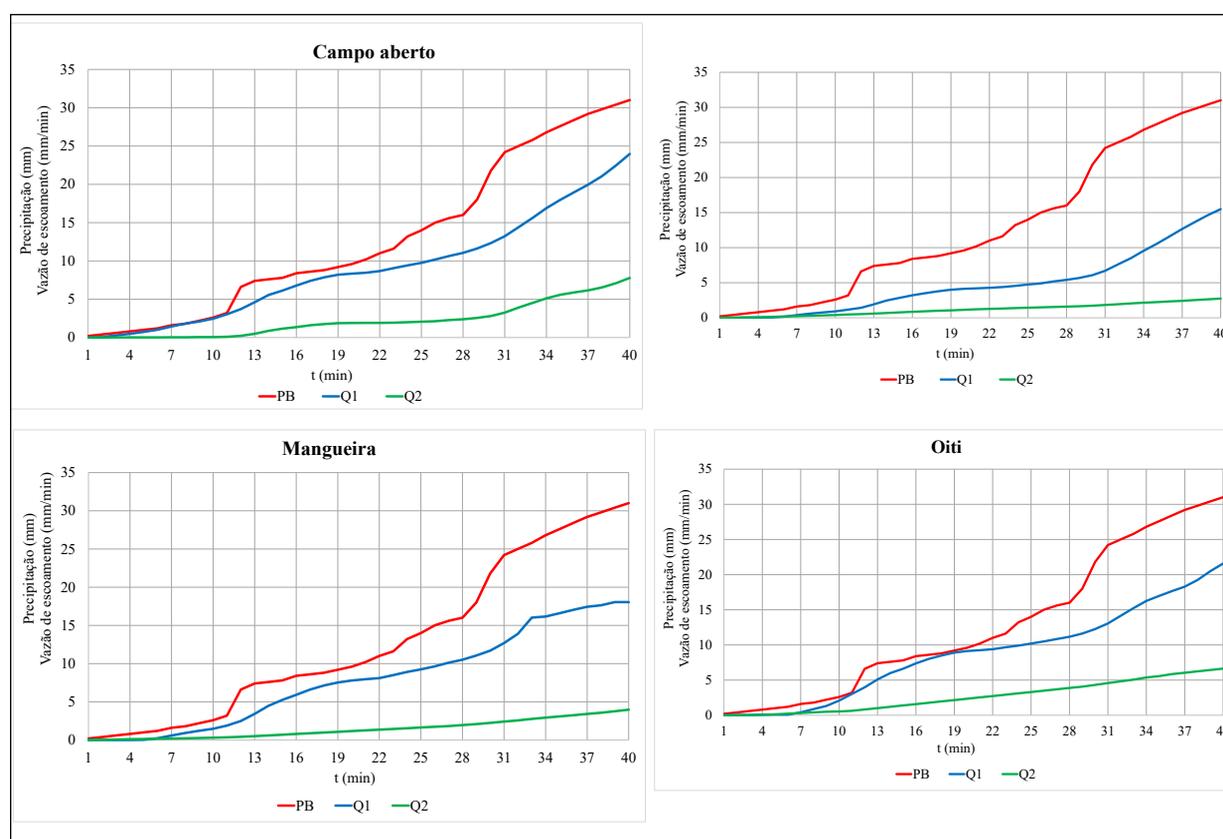
Nota-se na Figura 5, que nas três espécies estudadas, os dados referentes aos registros de vazão em solo impermeabilizado (Q1) e em solo permeável/semipermeável (Q2) tiveram registros bem inferiores aos de precipitação bruta (PB), o que explica a interferência destes indivíduos, em conjunto com a cobertura do solo, para a obtenção de uma melhor capacidade de infiltração e redução da produção de escoamento superficial.

Destaca-se que, em solo permeável/semipermeável (Q2), a redução foi ainda maior em todas as espécies, sendo notório que, a redução da produção de escoamento superficial pode ser ampliada, com a associação entre a presença da árvore + solo permeável sob suas copas. Os indivíduos arbóreos funcionam como retentores e redistribuidores das águas de chuva que, aliados a uma cobertura de solo permeável sob suas copas, ocasionam uma redução considerável de escoamento superficial e, a depender da intensidade e duração do evento chuvoso, essa redução pode chegar a 100%, obtendo assim a infiltração/retenção total

das águas de chuvas nas áreas de florestas e em áreas urbanas arborizadas. Tal capacidade é relacionada às características das espécies, assim como comprovaram as pesquisas de Xiao e McPherson (2016), mas constitui dado basilar para a teoria de que as árvores trazem, dentre tantos outros benefícios já conhecidos, a possibilidade de redução de escoamento superficial urbano e, conseqüentemente, de atenuar os picos de vazão em bacias urbanas.

Figura 5 – Gráficos do evento chuvoso ocorrido no dia 04/03/14, de 9h15min às 9h55min, apresentando o comportamento em campo aberto e sob a copa de todos os indivíduos arbóreos.

Figure 5 – Graphs of the rainy event occurred on 04/03/14, from 9:15 a.m. to 9:55 p.m., showing the behavior in the open field and under the canopy of all the arboreal individuals.



A Figura 6 expõe o comportamento do pico de vazão de um trecho do evento de maior precipitação bruta (PB), que é de 68.4 mm, ocorrido durante a fase de monitoramento. No trecho selecionado, destaca-se a diferença entre PB e as vazões de escoamento em solo com cobertura impermeabilizada (Q1) e permeável/semipermeável (Q2) registradas sob as copas dos indivíduos arbóreos envolvidos na pesquisa. A Tabela 3 demonstra os valores de cada vazão de pico e seus respectivos tempos de ocorrência. O maior pico de precipitação do evento (PB) ocorreu aos 30 min com 3.8 mm. Em campo aberto, o comportamento do escoamento superficial traduziu-se em um pico da vazão em 3.0 mm/min, ocorrido 40 min após o início do evento. Nas áreas experimentais, sob as copas das árvores, a maior vazão de pico registrada foi de 2.8 mm/min, ocorrida aos 47 min sob a mangueira.

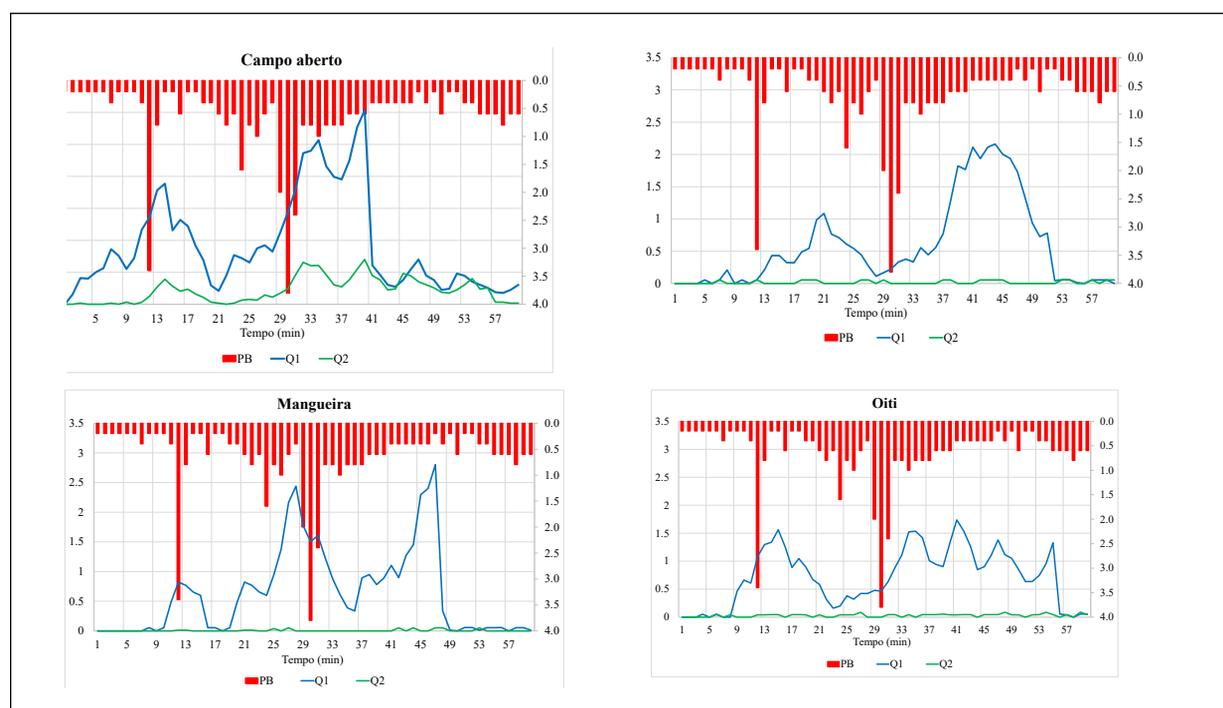
Nota-se que os registros de vazão (Tabela 3), referentes ao escoamento superficial nas áreas experimentais com cobertura do solo permeável/semipermeável, foram ínfimos, com maior valor em 0.09 mm/min sob a copa do oiti. E, nestas áreas não houve picos de vazão, registrando-se apenas uma redistribuição do pico em sucessivos “picos” menores. Isto significa que, para a região de estudos, quando há a cobertura arbórea e solo permeável/semipermeável, a infiltração das águas de

chuva no solo atinge, mesmo em eventos com maior precipitação, a aproximadamente 100%. Tal conclusão evidencia que, em áreas urbanas, os impactos da urbanização podem ser minimizados pela arborização e aumento de áreas permeáveis ou até mesmo semipermeáveis, já que o escoamento, nessas situações, é potencialmente reduzido. Com isso, corroboram-se os estudos de Seitz e Escobedo (2011) e McPherson et al. (2011) que também determinaram a redução anual do escoamento de águas pluviais em áreas urbanas com cobertura florestal ou arbórea em até 26%, ressalvadas as peculiaridades de dimensões das áreas amostrais e características pluviométricas, arbóreas e do solo de cada uma das regiões analisadas.

Quanto ao atraso na ocorrência dos picos de vazão, a mangueira foi a espécie que melhor atrasou a ocorrência do pico de escoamento superficial, 7 min (Tabela 3). Enquanto que o oiti foi o indivíduo com menor interferência no tempo de ocorrência da vazão de pico, apenas 1 min. Tais resultados refletem a relação direta das características arbóreas das espécies com suas respectivas capacidades de interferência no escoamento superficial e vazões de pico. De modo geral, o pico de vazão teve redução do volume variando entre 1 e 2.1 mm/min, e quanto ao retardo no tempo ao pico entre 1 a 7 min para este evento de maior PB. Tais interferências, assim como, nas pesquisas de Seitz e Escobedo (2011) que obtiveram reduções variando entre 4 mm/min a 13 mm/min, teve influência da intensidade e duração do evento, bem como da cobertura do solo. Nas áreas com maior capacidade de infiltração e cobertura arbórea, o desempenho, via de regra, delinea-se mais eficaz.

Figura 6 – Hietogramas e hidrogramas de trecho do evento chuvoso ocorrido nos dias 03/03/14 a 04/03/14, de 22h50min a 1h20min, demonstrando o comportamento variável do pico de vazão em campo aberto e sob as espécies arbóreas.

Figure 6 – Hymenograms and hydrographs of the rainy season occurred on 03/03/14 to 04/03/14, from 22:50 to 1:20, demonstrating the variable behavior of the peak flow in the open field and under the tree species.



Em que: PB = precipitação bruta (mm); Q1 = vazão de escoamento em solo impermeabilizado (mm/min); Q2 = vazão de escoamento em solo permeável/semipermeável (mm/min).

Tabela 3 – Valores dos picos de precipitação bruta e vazão ocorridos no trecho do evento chuvoso, coletados nos dias 03/03/14 a 04/03/14, de 22h50min a 1h20min.

Table 3 – Values of gross precipitation peaks and flow in the rainy season, collected from 03/03/14 to 04/03/14, from 10:50 a.m. to 1:20 a.m.

Área/Espécie Arbórea	Pico Q1 (mm/min)	t pico Q1 (min)	Pico Q2 (mm/min)	t pico Q2 (min)	Pico PB (mm)	t pico PB (min)
Campo aberto	3,0	40	0,7	40		
<i>Tabebuia ochracea</i> (ipê-amarelo)	2,2	43	0,05	-	3,8	30
<i>Mangifera indica</i> (mangueira)	2,8	47	0,05	-		
<i>Licania tomentosa</i> (oiti)	1,7	41	0,09	-		

Em que: pico Q1 (mm/min) = vazão de pico ocorrida em solo impermeabilizado; t pico Q1 (min) = tempo da ocorrência da vazão de pico em solo impermeabilizado; pico Q2 (mm/min) = vazão de pico ocorrida em solo permeável/semipermeável; t pico Q2 (min) = tempo da ocorrência da vazão de pico em solo permeável/semipermeável; pico PB (mm) = pico da precipitação bruta; t pico PB (min) = tempo da ocorrência do pico da precipitação bruta.

Conclusões

Durante o período de cinco meses de monitoramento, o valor mediano de precipitação bruta foi de 17.1 mm nos eventos chuvosos analisados. A presença dos indivíduos arbóreos propiciou um atraso mediano de tempo ao pico de 3 minutos, uma redução mediana de pico de vazão de 0.8 mm/min e contribuiu com uma redução mediana de 4.7 mm/min do escoamento superficial no solo com cobertura impermeabilizada, e de 0.2 mm/min no solo com cobertura permeável e semipermeável. Apesar dos registros de escoamento superficial nas áreas experimentais com cobertura de solo permeável e semipermeável, estando em campo aberto ou sob as copas das árvores, terem sido baixos, a cobertura vegetal, por meio das árvores, mostrou sua relevância para a redução do volume de escoamento, do valor de pico de vazão, bem como do aumento do atraso na ocorrência deste.

O desempenho das espécies foi variável em cada critério analisado neste estudo. As espécies que mais reduziram o escoamento superficial foram a mangueira e o ipê-amarelo por possuírem casca áspera. Quanto ao atraso na ocorrência dos picos de vazão, a mangueira foi a espécie que melhor influenciou, enquanto que o oiti foi o indivíduo com menor interferência. A redução do pico de vazão, por sua vez, foi maior no oiti e menor na mangueira. As perdas iniciais foram diretamente relacionadas à capacidade de interceptação das espécies.

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor; Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo auxílio financeiro para a compra de equipamentos; e, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - Nível 2 ao segundo autor. E ao Seminário Maior São José em Uruaçu, Goiás, pela disponibilidade do espaço físico para instalação do experimento.

Refêrencias

AHIABLAME, L. M.; ENGEL, B. A.; CHAUBEY, I. Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.l.], v. 223, n. 7, p. 4253-4273, jun. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. [2016]. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Orientações para operação de estações hidrométricas**. Brasília: Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, 2012. 52 p.

ALVES, P. L. **Capacidade de interceptação pelas árvores e suas influências no escoamento superficial urbano**. 2015. 100 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ALVES, P. L. *et al.* Estudo de modelo metodológico para estimativa da área foliar do Oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch). In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO – CONPEEX, 10., 2013, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CONPEEX, 2013. p. 11063.

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. ; TRALDI, M. A. B. Rainfall interception capacity of tree species used in urban afforestation. **Urban Ecosystems**, [S.l.], p. 1-10, 2018.

AMPE, E. M. *et al.* Impact of urban land-cover classification on groundwater recharge uncertainty. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, Mississippi, v. 5, n. 6, p. 1859-1867, aug. 2012.

BALBINOT, R. *et al.* O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, abr. 2008.

BEREZOWSKI, T. *et al.* Impact of remotely sensed land-cover proportions on urban runoff prediction. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 16, p. 54-65, jun. 2012.

BERLAND, A.; HOPTON, M. E. Comparing street tree assemblages and associated stormwater benefits among communities in metropolitan Cincinnati, Ohio, USA. **Urban Forestry & Urban Greening**, Canada, v. 13, n. 4, p. 734-741, aug. 2014.

BRABEC, E. A. Imperviousness and land-use policy: toward an effective approach to watershed planning. **Journal of Hydrologic Engineering**, Amsterdam, v. 14, n. 4, p. 425-433, apr. 2009.

DAY, S. D.; DICKINSON, S. B. Managing stormwater for urban sustainability using trees and structural soils. In: USE neat asphalt binder modified with an elastomeric polymer to produce a binder meeting the requirements of PG. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2008. p. 76-22.

GALLET, D. The Value of green infrastructure: a guide to recognizing its economic, environmental and social benefits. **Proceedings of the Water Environment Federation**, [S.l.], v. 20, n. 17, p. 924-928, jan. 2011.

GAO, C. *et al.* Review of current research on urban low-impact development practices. **Research Journal of Chemistry and Environment**, Agra, v. 17, n. S1, p. 209-214, sept. 2013.

GUMINDOGA, W. *et al.* Hydrological impacts of urbanization of two catchments in Harare, Zimbabwe. **Remote Sensing**, Basel, v. 6, n. 12, p. 12544-12574, dec. 2014.

HU, W. X. *et al.* Review of urban storm water simulation techniques. **Advances in Water Science**, [S.l.], v. 21, n. 1, p. 137-144, feb. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **BDMEP, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. [2016]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

LEAL, L.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Influência das florestas urbanas na variação termo-higrométrica da área intraurbana de Curitiba–PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 807-820, out./dez. 2014.

LIVESLEY, S. J.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. Rainfall interception and stemflow by eucalypt street trees - The impacts of canopy density and bark type. **Urban Forestry e Urban Greening**, Canada, v. 13, p. 192-197, aug. 2014.

- MCPHERSON, E. G. et al. Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment. **Landscape and Urban Planning**, Michigan, v. 99, n. 1, p. 40-50, sept. 2011.
- PAUL, M. J.; MEYER, J. L. Streams in the urban landscape. **Urban ecology**, Amsterdam, v. 32, p. 207-231, nov. 2008.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Monitorização e avaliação de recursos florestais nacionais de angola - guia para recolha de dados**. Rome: National Forest Monitoring and Assessment, 2009.
- PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff curve number: has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 11-19, jan. 1996.
- ROY, S.; BYRNE, J.; PICKERING, C. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. **Urban Forestry & Urban Greening**, Canada, v. 11, n. 4, p. 351-363, jun. 2012.
- SCHUELER, T. R.; FRALEY-MCNEAL, L.; CAPIELLA, K. Is impervious cover still important? Review of recent research. **Journal of Hydrologic Engineering**, Amsterdam, v. 14, n. 4, p. 309-315, apr. 2009.
- SEITZ, J.; ESCOBEDO, F. Urban forests in Florida: trees control stormwater runoff and improve water quality. **City**, Florida, v. 393, p. 6, may 2011.
- SETZER, J.; PORTO, R. L. L. Tentativa de Avaliação do Escoamento Superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 81-104, ago. 1979.
- SILVA, G. F. D. *et al.* Evaluation of height measurement methods in natural forests. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 341-348, 2012.
- VERBEIREN, B. *et al.* Assessing urbanisation effects on rainfall-runoff using a remote sensing supported modelling strategy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 21, p. 92-102, aug. 2013.
- WANG, J.; ENDRENY, T. A.; NOWAK, D. J. Mechanistic simulation of tree effects in an urban water balance model. **Journal of the American Water Resources Association**, Middleburg, v. 44, p. 74-85, jan. 2008.
- XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. **Urban Ecosystems**, Duluth, v. 14, n. 4, p. 755-769, jun. 2011.
- XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. Surface water storage capacity of twenty tree species in Davis, California. **Journal of environmental quality**, Madison, v. 45, n. 1, p. 188-198, aug. 2016.