

Levantamento e análise de fatores de influência na ocorrência de feições à margem esquerda de uma feição erosiva principal: caso da Cohab-16 em Bauru/SP

Survey and analysis of factors that influence the occurrence of features on the left margin of a main erosive feature: case of Cohab-16 in Bauru/SP

Relevamiento y análisis de factores que influyen en la ocurrencia de características en el margen izquierdo de una característica erosiva principal: caso de Cohab-16 en Bauru/SP

David Luan Mendes de Souza

Aluna do curso de Engenharia Civil, Unesp, Brasil.
david.luan@unesp.br

Letícia Marin Romero

Aluna do curso de Engenharia Civil, Unesp, Brasil.
leticia.romero@unesp.br

Simone Andrea Furegatti

Professora Doutora, Unesp, Brasil.
simone.furegatti@unesp.br

RESUMO

O aumento do escoamento superficial devido a crescente impermeabilização das cidades, provocado pelo processo de urbanização, acarreta alguns malefícios e complicações para a sociedade, como inundações e o surgimento de erosões lineares induzidas pela concentração de fluxo, em regiões suscetíveis a processos erosivos. O objetivo do trabalho aqui apresentado foi realizar um estudo de caso na erosão hídrica do Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva, na cidade de Bauru/SP, para identificar os principais fatores de influência no surgimento de feições à margem esquerda da feição erosiva principal e, então, sugerir possíveis formas de conter parte do volume do escoamento superficial. Assim, foram determinados, pelo *software Google Earth*, a área de contribuição, o comprimento de rampa e a declividade média. Enquanto algumas das características da feição erosiva estudada foram obtidas por meio de consulta ao relatório de erosões urbanas de Bauru, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas e comitê da bacia hidrográfica Tietê-Jacaré. E, o cálculo do escoamento superficial, principal foco do estudo, foi realizado por meio do Método Racional. Algumas das técnicas apresentadas para, em conjunto com o sistema de drenagem convencional, reduzir o escoamento superficial são microrreservatórios e trincheiras de infiltração.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão, escoamento superficial, técnicas compensatórias.

ABSTRACT

The increase in runoff due to the growing impermeability of cities, caused by the urbanization process, causes some harm and complications for society, such as floods and the appearance of linear erosions induced by the concentration of flow, in regions susceptible to erosive processes. The objective of the work presented here was to conduct a case study on the hydric erosion of the Edson Francisco da Silva Housing Nucleus, in the city of Bauru/SP, to identify the main influencing factors in the formation of erosive feature on the left margin of the main erosive feature and then, suggest possible ways to contain part of the surface runoff volume. Thus, the contribution area, the ramp length and the average slope were determined by the Google Earth software. While some of the characteristics of the studied erosive feature were obtained by consulting the Bauru urban erosion report, prepared by the Technological Research Institute and the Tietê-Jacaré watershed committee. And, the surface runoff calculation, the main focus of the study, was executed using the Rational Method. Some of the techniques presented to, as well as the conventional drainage system, reduce runoff are micro-reservoirs and infiltration trenches.

KEYWORDS: Erosion, runoff, compensatory techniques.

RESUMEN

El aumento de la escorrentía debido a la creciente impermeabilidad de las ciudades, provocada por el proceso de urbanización, provoca algunos daños y complicaciones para la sociedad, como inundaciones y la aparición de erosiones lineales inducidas por la concentración de caudal, en regiones susceptibles a procesos erosivos. El objetivo del trabajo aquí presentado fue realizar un estudio de caso acerca de la erosión hídrica del Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva, en la ciudad de Bauru/SP, para identificar los principales factores que influyen en la formación de característica erosiva en el margen izquierdo. de la principal característica erosiva y, luego, sugerir posibles formas de contener parte del volumen de escorrentía superficial. Así, el área de contribución, la longitud de la rampa y la pendiente media fueron determinados por el software Google Earth. Mientras que algunas de las características del rasgo erosivo estudiado se obtuvieron consultando el informe de erosión urbana de Bauru, elaborado por el Instituto de Investigaciones Tecnológicas y el comité de la cuenca del Tietê-Jacaré. Y, el cálculo de la escorrentía superficial, el foco principal del estudio, se realizó utilizando el Método Racional. Algunas de las técnicas presentadas para, en conjunto con el sistema de drenaje convencional, reducir la escorrentía son micro-reservorios y zanjas de infiltración.

PALABRAS CLAVE: Erosión, escorrentía, técnicas compensatorias.

1. INTRODUÇÃO

A falta de planejamento durante o intenso processo de urbanização que ocorreu no Brasil, principalmente a partir da segunda metade do século XX, reflete hoje de forma negativa nas cidades. Em um curto período, a população que vivia predominantemente em zonas rurais migrou para os centros urbanos, visando uma melhor qualidade de vida, tendo em vista a maior oferta de empregos e estabilidade oferecidos pelo processo de industrialização. De acordo com o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 50 anos a taxa da população urbana subiu de 45,08% para 84,36% (IBGE, 2010).

A falta de Plano Diretor e documentos que assegurassem uma melhor organização do espaço urbano culminou em zonas altamente povoadas, muitas vezes com sistemas de saneamento básico comprometidos. Além disso, a ocupação desordenada resultou em áreas altamente impermeabilizadas, tendo em vista a retirada contínua da cobertura vegetal e o crescimento da utilização de materiais como o asfalto e o concreto. Com isso, as áreas que antigamente contribuíam para a infiltração da água no solo ficaram cada vez mais escassas, fazendo com que a água da chuva deixasse de percorrer seu ciclo natural, favorecendo o aumento e concentração do escoamento superficial (FONTES, 2003). Ao longo do tempo todos esses fatores acarretam alguns malefícios e complicações para a sociedade, como inundações e o surgimento de erosões lineares provocadas pela concentração de fluxo, em regiões suscetíveis a processos erosivos. Erosões são causadas por um conjunto de fatores como, o perfil de terreno (sua declividade e comprimento de rampa), a capacidade do solo de absorver água, as características da chuva, a resistência do solo à ação erosiva, a densidade do solo e a cobertura vegetal presente (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1999).

Historicamente, as cidades são instaladas em áreas que apresentam maiores riscos de inundação, como por exemplo, áreas próximas a cursos d'água, onde o homem atua modificando o traçado natural, canalizando ou cobrindo os cursos d'água (MOURA, 2004). Conforme uma bacia hidrográfica se torna mais urbanizada, a velocidade e o volume de escoamento e os picos de cheias aumentam consideravelmente, diminuindo, portanto, o tempo de concentração da enxurrada, resultando no aumento do volume do fluxo concentrado. A interação entre o homem e os cursos d'água e a necessidade de expansão das cidades, deram origem aos sistemas de drenagem, os quais existem para fazer o manejo das águas pluviais de forma que se assemelhe aos processos naturais. Os conceitos empregados para o dimensionamento de um sistema de microdrenagem evoluíram ao longo dos anos. O principal foco era coletar e transportar a água para a rede pública pelo menor trajeto e no menor tempo possível, conceito conhecido como política higienista. Hoje adota-se o conceito ambiental, pensamento que busca soluções mais amplas abrangendo toda a bacia hidrográfica, ao invés de resolver os problemas pontualmente.

As inundações urbanas acontecem devido a falhas no desenvolvimento de projetos de drenagem, que devem ser dimensionados considerando um evento extremo de precipitação pluviométrica, chamado de chuva de projeto (ROCHA NETO e BLANCO, 2020). A previsão equivocada dessa chuva de projeto pode ocasionar o subdimensionamento do sistema, resultando em danos materiais e, por vezes, humanos (ARISZ e BURRELL, 2006). Além disso, muitas estruturas foram executadas não considerando o futuro desenvolvimento e consequente

aumento de vazão em uma região, deixando o sistema obsoleto em um curto espaço de tempo. Outro problema é o acúmulo de resíduos sólidos nas bocas de lobo, o qual impede, portanto, que as águas pluviais alcancem os canais subterrâneos do sistema de drenagem.

O fluxo de água, quando concentrado, pode ocasionar erosões hídras lineares. Quando o escoamento se concentra através de linhas de fluxo bem definidas, três tipos de feições lineares podem ser gerados: sulcos, ravinas e boçorocas. Os sulcos constituem feições alongadas e rasas (inferiores a 50 cm); as ravinas são feições de maior porte, de profundidade variável, de forma alongada e não atingem o lençol de água subterrânea; as boçorocas têm dimensões superiores às ravinas e atingem o lençol de água subterrânea, havendo, portanto, processo de erosão subterrânea (piping) (AYRES, 1936). Caso a boçoroca não seja devidamente controlada, o desenvolvimento da erosão pode se dar tanto na direção da cabeceira, aumentando sua largura ou até mesmo aumentando a profundidade e, eventualmente, se ramificando ou, ainda, formando novos canais de drenagem (AYRES, 1936).

Com um dimensionamento da rede de drenagem ineficiente a quantidade de fluxo que sobra na superfície pode se concentrar provocando a ocorrência de feições erosivas lineares. A descarga do fluxo nos cursos d'água de forma inadequada pode ter o mesmo efeito. Dados como área de contribuição, o comprimento de rampa, a declividade e o formato do relevo, além do arruamento e uso e ocupação do solo são importantes para compreensão do comportamento do fluxo e contribuem na determinação de uma quantidade de fluxo mais realista.

O objetivo do trabalho aqui apresentado foi realizar um estudo de caso na erosão hídrica do Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva, na cidade de Bauru/SP, para identificar os principais fatores de influência no surgimento de feições à margem esquerda da feição erosiva principal e, então, sugerir possíveis formas de conter parte do volume do escoamento superficial.

2. METODOLOGIA

A área de contribuição, o comprimento de rampa e a declividade média foram determinados pelo *software Google Earth*. Enquanto algumas das características da feição erosiva estudada foram obtidas por meio de consulta ao relatório de erosões urbanas de Bauru, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas e comitê da bacia hidrográfica Tietê-Jacaré (IPT, 2002). Foi realizada, também, uma visita à área de estudo, em abril de 2021, para localizar feições erosivas em formação à margem esquerda da feição principal.

O cálculo do escoamento superficial, objeto de estudo, foi realizado por meio do Método Racional, formulação indicada para pequenas áreas e que leva em consideração o tamanho da área de contribuição, o coeficiente de escoamento superficial e a intensidade das chuvas no local.

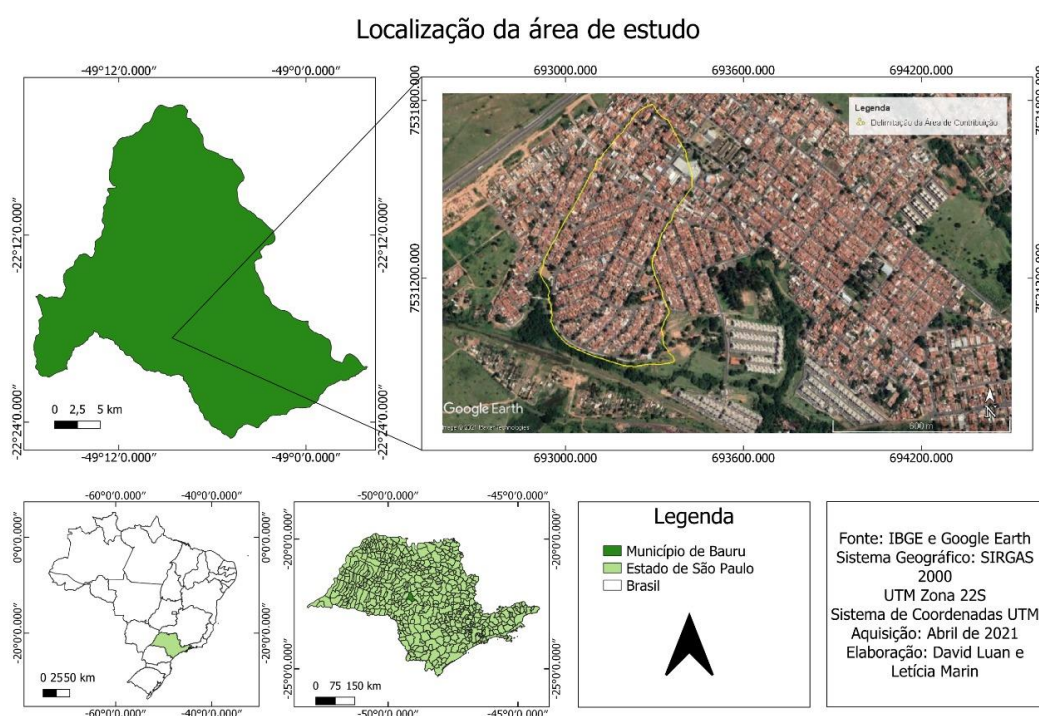
3. DEFINIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Optou-se por fazer esse estudo no município de Bauru/SP, por apresentar solo arenoso com relevo acentuado, tendo forte tendência a processos erosivos (ALMEIDA FILHO, 2000). O

solo é constituído predominantemente por Latossolo Vermelho Escuro, de textura média, e Argissolo Vermelho, de textura arenosa-média (ALMEIDA FILHO, 2000).

Com base no Relatório de Diagnóstico Ambiental e dos Recursos Hídricos do Município de Bauru/SP (SHS, 2008) e análise de imagens de satélite pelo software *Google Earth* foi possível identificar algumas feições erosivas de dimensões significativas, presentes no perímetro urbano. Portanto definiu-se para estudo a região do núcleo habitacional Edson Francisco da Silva - Cohab 16 (Figura 2), por apresentar erosões urbanas potencialmente originadas por acúmulo de escoamento superficial. A área estudada está localizada entre as coordenadas UTM de longitude: 693423.71 E e 692911.79 E; e, entre as coordenadas de latitude 7530913.08 S e 7531789.50 S (Figura 1).

Figura 1 - Localização da feição erosiva do Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva no município de Bauru no interior do Estado de São Paulo - Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO

A área de contribuição foi traçada a partir de um arquivo georreferenciado do município de Bauru, o qual dispunha de um conjunto de curvas de nível e identificação dos canais de drenagem. Com o auxílio do software AutoCad, delimitou-se as sub-bacias presentes no Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva, levando em consideração os divisores de água existentes.

As feições erosivas em formação, observadas na visita de campo, ocorrem principalmente à margem esquerda da feição erosiva principal, indicando a influência direta da urbanização. A área que contribui para a formação do fluxo concentrado que provoca o

desenvolvimento dessas feições foi considerada, portanto, somente a parcela do lado esquerdo da feição principal (Figura 2).

Figura 2 - Área de contribuição.



Fonte: Elaborado pelos autores.

5. CARACTERIZAÇÃO DO ENTORNO DA FEIÇÃO EROSIVA

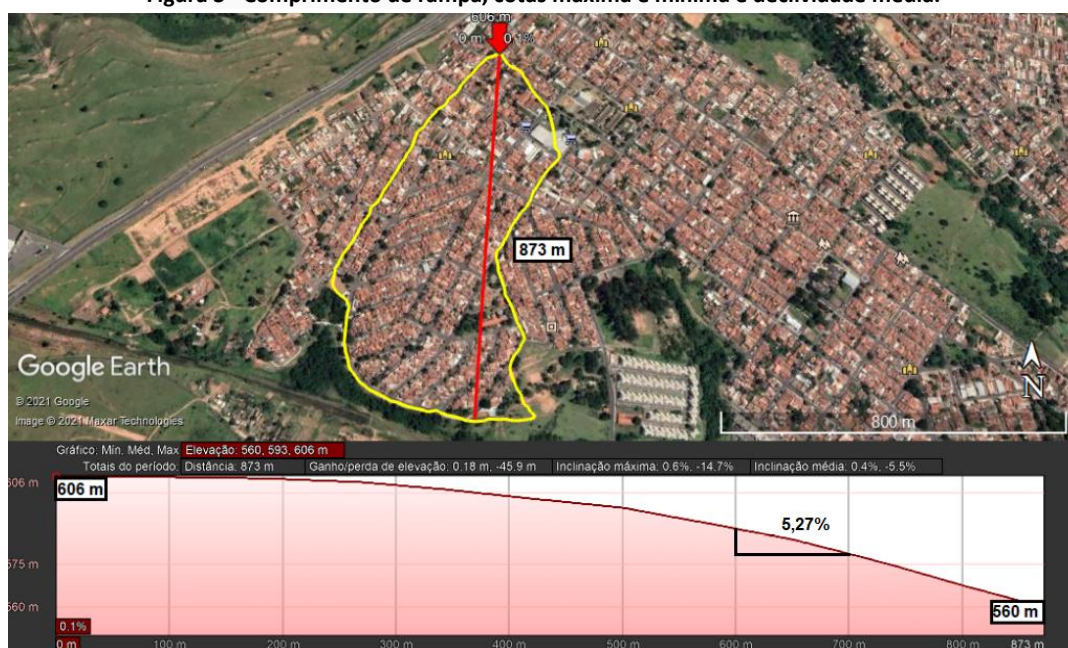
Para o cálculo do escoamento superficial é importante a determinação das áreas impermeabilizadas efetivas, ou áreas impermeáveis diretamente conectadas (AIDC), que são aquelas que despejam água pluvial diretamente na rede de drenagem, sem que existam perdas entre o ponto, a superfície e a saída da bacia (PORTO, 1995). As AIDC são áreas que contribuem efetivamente com o escoamento superficial direto, não passando por áreas permeáveis, nem tendo oportunidade de infiltrar no solo ao longo do trajeto. A partir da área de contribuição delimitada no *Google Earth*, analisaram-se visualmente as áreas permeáveis (canteiros, jardins, praças e campos de futebol) e as impermeáveis (ruas, telhados e calçadas). E com as ferramentas do *software* chegou-se aos quantitativos das áreas. Posteriormente foram feitas pesquisas de campo para confirmar as informações obtidas com o software. Foi realizada uma visita em abril de 2021, coincidindo com o final do período chuvoso.

A ocorrência de chuvas críticas, em longos comprimentos de rampa e declives acentuados, potencializa a enxurrada, e a tensão cisalhante adquire energia suficiente para remover o resíduo ou, mesmo sem removê-lo, promover o aumento da erosão em sulcos (BARBOSA *et al.*, 2012). Portanto, é importante a determinação do comprimento de rampa e declividade média da área a ser estudada para a compreensão do comportamento do escoamento superficial, ambos foram obtidos utilizando-se ferramentas do *software Google*

Earth (Figura 3). O comprimento de rampa da área de contribuição é, portanto, de 873 m e a declividade média, 5,27%.

O tipo de solo é outro fator determinante no surgimento e agravamento de feições erosivas. Com base nos estudos realizados por Carvalho (2012), o solo de Bauru apresenta areia média fina pouco argilosa e coloração marrom escuro. O ensaio granulométrico conjunto do solo de Bauru, apresentou uma média de 0,3% de areia grossa, 41,7% de areia média, 38,2% de areia fina, ou seja, 80,2% de areia, 5,8% de silte e 14% de argila, caracterizando-o como solo arenoso (CARVALHO, 2012). Sendo um solo arenoso, apresenta alta suscetibilidade ao surgimento de erosões, pois essas formações apresentam descontinuidades litológicas (SALOMÃO, 1994) e coesão nula entre as partículas de areias.

Figura 3 - Comprimento de rampa, cotas máxima e mínima e declividade média.



Fonte: Elaborado pelos autores. Adaptado de Google Earth.

A erosão principal presente no Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva foi caracterizada pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT, 2002), a pedido da prefeitura municipal, como possuindo 120 m de comprimento, profundidade média de 6 m, largura de 10 m e volume aproximado de 8.000 m³. A área de contribuição na vertente esquerda apresenta-se densamente urbanizada, com ruas asfaltadas e rede de drenagem implantada. A erosão é de meia encosta, paralela às curvas de nível, não sofrendo contribuição da vertente direita que não é ocupada, onde está localizada a rede ferroviária (IPT, 2002).

De acordo com o relatório do Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT, 2002), o processo erosivo ocorreu em virtude da concentração de águas superficiais e da insuficiência da rede de drenagem implantada no conjunto habitacional. Existiam processos remontantes na cabeceira, devido ao rompimento de tubo da rede de drenagem e na lateral esquerda, devido às surgências d'água ao longo da erosão, provocando descalçamento do pé do talude. Além disso, foi identificada a presença de solo de alteração de rocha no fundo da boçoroca, mostrando

elementos da rocha são, indicando aumento da resistência com a profundidade e, portanto, maior tendência de alargamento que aprofundamento no desenvolvimento da feição.

A fim de estabilizar a boçoroca, a prefeitura construiu, em 1995, um camalhão ao longo da Rua Sebastião J. Sampaio, desviando a água para jusante. Segundo o relatório, a obra estabilizaria a porção da feição principal próxima à cabeceira, mas poderia originar novos ramos a jusante (IPT, 2002). De acordo com o Relatório de Diagnóstico Ambiental e dos Recursos Hídricos do Município de Bauru/SP (SHS, 2008), em 1999 a prefeitura realizou o aterro da erosão.

Na última visita ao local, parte da rede de drenagem se encontrava destruída, podendo se encontrar tubos ao longo da feição principal (Figura 4). Sem uma rede de drenagem adequada, o escoamento superficial na região continua elevado, ocasionando o desenvolvimento de feições erosivas, majoritariamente à esquerda da erosão principal, próxima a Rua Sebastião J. Sampaio. As feições adjacentes estão em expansão podendo, no futuro, se unir à feição principal e, como previsto no relatório, transformarem-se em braços da erosão principal. Com o intuito de melhor entender o espaço estudado, foi elaborado um croqui (Figura 5), no qual estão numerados de 1 a 6 os locais mais importantes para a pesquisa, incluindo a região da cabeceira e as principais feições em desenvolvimento.

Figura 4 – Tubos provenientes da rede de drenagem danificada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5 - Croqui da feição erosiva em estudo.

Periódico Técnico e Científico
Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 9, número 24, 2021



Fonte: Elaborado pelos autores.

O local 1 caracteriza a região de cabeceira da feição principal, onde moradores relataram existir uma nascente, a qual foi aterrada e rearborizada. No local, além do aterro, foi construída uma estrutura de contenção em pedra rachão e concreto, com uma passarela acima (Figura 6 e Figura 7). Na Figura 7 pode se observar entrada da água pela passagem abaixo da passarela, vista do lado montante da contenção.

Figura 6 – Região da cabeceira da feição (local 1), vista de cima da passarela. Notar a rearborização ao fundo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7 – Contenção e passarela de concreto e pedra rachão, na região da cabeceira. Notar a abertura para passagem de água por baixo da passarela e rearborização ao fundo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O local 2 indica uma das maiores e mais visíveis feições erosivas em formação na margem esquerda da feição principal. Devido à localização e comprimento, pode se caracterizar essa feição como a formação de um braço da feição principal (Figura 8). As dimensões desse braço sugerem que seja o local que apresenta maior acúmulo de escoamento superficial, ao

longo da margem esquerda estudada. No entorno do braço em desenvolvimento observaram-se, também, depósitos indevidos de resíduos de construção civil, além de lixo doméstico.

No local 3 observou-se vestígios de feiçõs, pois é possível notar deslocamento de solo no local. Moradores do bairro citaram que várias feiçõs em desenvolvimento foram aterradas pela prefeitura como ação remediadora, mas que novas feiçõs surgiram ao longo do tempo. Nos locais 4, 5 e 6 (Figuras 9, 10 e 11, respectivamente), foi possível observar outras feiçõs erosivas em desenvolvimento, entretanto de menores dimensões se comparadas a feiçõs presente no local 2. Nesses locais, também foi observada a presença de lixo e resíduos de construção.

Figura 8 – Feiçõs erosiva em desenvolvimento (local 2). Notar lixo lançado na erosão e grandes dimensões.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 9 – Feiçõs erosiva em desenvolvimento (local 4). Notar lixo lançado na erosão.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 10 – Feiçõs erosiva em desenvolvimento próxima à calçada (local 5).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11 - Feiçõs erosiva em desenvolvimento próxima à calçada (local 6).



Fonte: Elaborado pelos autores.

6. CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Existe uma variedade de métodos utilizados para se estimar o valor do escoamento superficial em uma região, como por exemplo: medidas diretas, processos comparativos, métodos analíticos e fórmulas empíricas. Dentre os métodos levantados, optou-se por utilizar o método racional, que embora seja simplificado, é bastante prático e acarreta valores

satisfatórios para vazão de pico em pequenas bacias, como o caso estudado (Equação 1). No presente estudo foi feita uma analogia entre a área de contribuição da feição erosiva e uma sub-bacia, para possibilitar a aplicação do método.

$$Q = C \cdot i \cdot A \cdot 0,275 \quad (1)$$

Sendo: A a área de contribuição (Km^2); C o coeficiente de *runoff* (0,0 - 1,0); i a intensidade da chuva de projeto (mm/hora); e, Q a vazão de pico (m^3/s). Através de ferramentas do software AutoCad, obteve-se facilmente o valor aproximado de $0,20 \text{ km}^2$ para a área de contribuição (A) estudada. Entretanto, os parâmetros " i " e " C " necessitam de uma análise mais profunda.

Para se determinar a intensidade de chuva de projeto (i) recorreu-se às "Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo", no qual obteve-se a equação de intensidade, duração e frequência (IDF) (Equação 2) para o município de Bauru.

$$i_{t,T} = 35,4487 * (t + 20)^{-0,8894} + 5,9664 * (t + 20)^{-0,7749} * [-0,4772 - 0,9010 \ln \ln(T/(T - 1))] \quad (2)$$

Em que: T é o tempo de retorno (anos); t , o tempo de concentração (min); e, i , a intensidade da chuva de projeto (mm/hora). Para chegar a um valor de intensidade de chuva de projeto, é necessário se determinar o tempo de concentração e o tempo de retorno. O primeiro deles, que leva em consideração, tanto características físicas quanto a ocupação da bacia, foi obtido pela equação proposta por Kirpich em 1940 (Equação 3), ideais para bacias pequenas de até $0,8 \text{ km}^2$ (COLLISCHONN, 2013), e aproximado para um múltiplo de 5 a fim de facilitar o uso da equação IDF. Como o valor estimado para a área de contribuição é menor que o limite proposto Kirpich, foi possível prosseguir com os cálculos.

$$t = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3)$$

Sendo H a diferença de cotas (m); L o comprimento do talvegue (km); e, t o tempo de concentração (min). O tempo de retorno (T) refere-se ao tempo que uma determinada precipitação máxima ocorreria novamente em uma região, variando conforme o nível de proteção desejado para a estrutura hidráulica (MIGUEZ, 2015). Para as obras de macrodrenagem recomenda-se utilizar um tempo de retorno de 100 anos, enquanto para estruturas de microdrenagem o sugerido é se considerar 25 anos (TOMAZ, 2012). No estudo apresentado adotou-se o tempo de retorno de 25 anos, por tratar-se de estrutura de microdrenagem.

O coeficiente de runoff representa o efeito da cobertura vegetal de uma bacia sobre o escoamento superficial, além da influência do tipo, uso e condições do solo. Dessa maneira, o coeficiente tenta traduzir o que realmente acontece na área de drenagem estudada, tendo em vista que nem toda vazão gerada pela chuva se transforma em escoamento superficial, principalmente devido à interceptação vegetal, infiltração no solo e retenções superficiais (MIGUEZ, 2015). Sendo assim, para o estudo de processos erosivos, especialmente quanto à concentração de fluxo, o coeficiente " C " se mostra como um parâmetro essencial na avaliação

da drenagem de uma região. Existem algumas metodologias utilizadas para se obter o valor para o coeficiente de *runoff*, sendo que na pesquisa apresentada optou-se pelo estudo de duas delas.

O primeiro método considera que o coeficiente “*C*” deve ser proporcional às áreas impermeáveis diretamente conectadas na área de contribuição (LEE e HEANEY,2003) demonstrado na Equação 4.

$$C = \frac{\text{Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas}}{\text{Área Total}} \quad (4)$$

Enquanto o segundo método (Equação 5) leva em consideração uma ponderação entre o tipo de superfície existente (permeável ou impermeável) na área de contribuição e o respectivo valor do coeficiente de *runoff*, além de conceitos provindos do método da curva número do SCS (Soil Conservation Service, 1975) (TUCCI, 2000).

$$C = \frac{C_p * A_p + C_i * A_i}{A_t} \quad (5)$$

Sendo *C_p* o coeficiente de escoamento superficial para área permeável; *C_i* o coeficiente de escoamento superficial para área impermeável; *A_p* a área da superfície permeável; *A_i* a área de superfície impermeável; *A_t* a área total da Bacia; e, *C* o coeficiente de *runoff* obtido pela média ponderada.

Para obtenção do coeficiente de áreas permeáveis *C_p* (Equação 6) é necessário entender melhor alguns conceitos envolvendo o método do SCS. O número da curva de *runoff* (*CN*) representa a combinação empírica de três fatores: grupo do solo, cobertura da superfície e condições antecedentes de umidade do solo (MCCUEN,1998). Essa metodologia reúne os solos em quatro grandes grupos (A, B, C e D), tendo em vista sua capacidade de infiltração e também a produção de escoamento (TUCCI, 2000). No estudo apresentado, caracterizou-se o solo de Bauru como pertencente ao grupo B, por ser pouco profundo e com baixo teor de argila. Em relação à cobertura da superfície, (TUCCI, 1993) reúne os valores de *CN* em função do tipo de bacia (rural ou urbana) e também do uso predominante do solo na região. Assim, por se tratar de uma sub-bacia urbana com habitações populares menores que 500 m², obteve-se um *CN* igual a 85. É importante salientar que o coeficiente de *runoff* também depende das condições antecedentes de umidade, no entanto devido aos empecilhos trazidos pela pandemia da COVID 19, não foi possível realizar esse estudo com o solo em questão. Conhecidos o tempo de concentração, intensidade da chuva, e o coeficiente *CN*, foi possível se obter o valor da precipitação total (*P*) (Equação 6), do potencial máximo de retenção (*S*) (Equação 7) e finalmente do coeficiente de áreas permeáveis (*C_p*) (Equação 8). Uma hipótese limitante desse método obriga o parâmetro “*P*” ser maior que 20% do parâmetro “*S*”, o que se evidenciou nos cálculos.

$$P = i * t \quad (6)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (7)$$

$$C_p = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S} \quad (8)$$

Sendo P a Precipitação total (mm); i a intensidade da chuva (mm/min); t o tempo de concentração (min); e, S o potencial máximo de retenção (mm).

Para o coeficiente das áreas impermeáveis (C_i) utilizou-se um valor tabelado igual a 0,95 por se tratar de uma região com predominância no uso de asfalto e cimento (TUCCI, 2000).

Os valores obtidos para o cálculo do escoamento superficial encontram-se organizados nas tabelas a seguir.

Tabela 1 - Cálculo do escoamento superficial pelo método das AIDC's (Método 1).

Tempo de retorno (T) (anos)	Tempo de concentração (t) (min)	Intensidade de chuvas (i) (mm/h)	Coeficiente de runoff (C)	Área total (km ²)	Vazão de pico (Q) (m ³ /s)
25	10	165	0,9239	0,2738	11,603

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2 - Cálculo do escoamento superficial pelo método da ponderação (Método 2).

Tempo de retorno (T) (anos)	Tempo de concentração (t) (min)	Intensidade de chuvas (i) (mm/h)	Potencial máximo de retenção (S) (mm)	(C_p)	(C_i)	Coeficiente de runoff (C)	Área total (km ²)	Vazão de pico (Q) (m ³ /s)
25	10	165	44,82	0,2	0,95	0,893	0,2738	11,210

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os métodos estudados resultaram em valores distintos para o coeficiente de *runoff* (C), sendo que pelo método das áreas impermeáveis diretamente conectadas (AIDC's) o valor obtido foi de 0,924 e pelo método da ponderação 0,893, indicando que a área de contribuição se enquadra em uma região com edificações muito densas, altamente impermeabilizada (WILKEN, 1978). Utilizando-se o mesmo tempo de concentração, tempo de retorno e área de contribuição para o método 1 e método 2, obteve-se para a vazão de pico valores iguais a 11,603 m³/s e 11,210 m³/s respectivamente, não havendo, portanto, uma discrepância significativa entre os resultados (aproximadamente 0,4 m³).

Após análise mais detalhada da área de estudo, verificou-se que dentre as áreas permeáveis existentes, destacam-se os terrenos que não estão ocupados atualmente e áreas com grandes gramados como a existente em torno da Escola Municipal de Educação Infantil Profa. Floripes Silveira de Souza. Além disso, a área de contribuição apresenta algumas áreas arborizadas, que influenciam no escoamento superficial, interceptando parte da água da chuva. A disposição das ruas na região também favorece a concentração de fluxo, pois o arruamento converge para a margem esquerda da feição erosiva, aonde vem se desenvolvendo os braços, de forma direta, sem que haja perda de energia por parte do escoamento superficial.

O acúmulo de resíduos sólidos na área adjacente à feição erosiva principal prejudica tanto a eficiência do sistema de drenagem, pois aumenta a probabilidade do entupimento de bocas de lobo, como interfere no bem-estar da população que reside na região.

Analisando-se a área de contribuição através do *Google Earth* também é possível perceber que a maioria das residências não possuem áreas permeáveis dentro de seus lotes, o que favorece o escoamento superficial na região. Intervenções como aumento do diâmetro e declividade das tubulações, correção das sarjetas e guias, verificação do estado e quantidade de bocas de lobo, podem ser feitas no sistema de drenagem já existente, entretanto são muito mais onerosas do que algumas técnicas compensatórias de drenagem que também podem contribuir de forma efetiva amenizando o impacto negativo trazido pelo fluxo superficial. Além disso as técnicas compensatórias de drenagem urbana também atribuem aos moradores a responsabilidade individual por parte do escoamento gerado devido a impermeabilização decorrente da construção de suas residências.

Levando em consideração as características levantadas da área de contribuição, como também os tipos de lotes existentes e a aceitação por parte da população, duas técnicas compensatórias se destacam: os microrreservatórios e as trincheiras de infiltração.

O princípio de funcionamento do microrreservatório baseia-se em receber a água provinda do lote (áreas impermeáveis em geral) e armazená-la até o instante da descarga na rede pública de drenagem, realizada através de dispositivos com orifícios e vertedores. Para um bom desempenho, deve ser instalado a 3m de qualquer edificação importante dentro do lote (SILVEIRA, 2007), devendo ser submetido constantemente à manutenção. Pode ser construído utilizando-se materiais como: concreto armado, fibrocimento ou alvenaria, sendo, portanto, uma técnica flexível. Além disso, os usufruintes podem se beneficiar com a possibilidade de reuso da água coletada para atividades domésticas como limpeza e irrigação de jardins, enquanto o fluido permanecer armazenado (O'LOUGHLIN,1995), sendo, portanto, uma boa alternativa.

A trincheira de infiltração é escavada no solo e preenchida com material granular com porosidade em torno de 35%, podendo ser descoberta ou estar coberta com grama ou algum revestimento permeável. As paredes e o topo são revestidos com um filtro geotêxtil impedindo assim a entrada de material fino na estrutura. As trincheiras têm função de abater descargas de pico e promover a recarga do aquífero e tratamento do escoamento pela infiltração no solo. Devem ser dispostas a montante do sistema pluvial convencional, ser longas, estreitas e profundas (SILVA, 2007). O grande diferencial dessa técnica é não precisar de grande área disponível para a sua instalação uma vez que a sua profundidade é o elemento mais significativo para a eficiência.

A aplicação, custo de implantação e manutenção, vida útil e a eficiência dessas técnicas são objeto de estudo de trabalhos em andamento. Essas análises estão sendo feitas por meio de um pré-dimensionamento das técnicas compensatórias que supostamente seriam implantadas no Núcleo Habitacional Edson Francisco da Silva e uma verificação do quanto de escoamento superficial elas seriam capazes de absorver.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de contribuição em estudo se encontra altamente impermeabilizada, tendo em vista a escassez de áreas que contribuem para a infiltração da água no solo e a grande utilização de materiais como asfalto e concreto. Os valores obtidos para o coeficiente de *runoff* (0,924 para o método 1 e 0,893 para o método 2) confirmam a alta impermeabilização da área, pois quanto mais próximos de “1”, menores as taxas de absorção de água pela superfície.

Os resultados obtidos para a declividade média, o comprimento de rampa e o coeficiente de *runoff* confirmam o baixo valor do tempo de concentração (10 minutos) para esse estudo.

Os lotes situados na área de contribuição não apresentam quantidades desejáveis de áreas permeáveis, e assim também favorecem a parcela de escoamento superficial que é conduzida para a margem esquerda da erosão principal, local onde há feições erosivas em formação.

Nesse sentido, ganha importância a busca por alternativas para se minimizar o caudal do escoamento superficial, que chega à margem esquerda da feição principal. Além da possibilidade de intervenção na rede de drenagem existente, pode se considerar a instalação de técnicas compensatórias de drenagem urbana, como a trincheira de infiltração e microrreservatórios, pela perspectiva de serem boas alternativas quanto à aplicabilidade, flexibilidade e boa probabilidade de aceitação por parte da população. Assim, a continuidade desse estudo será a avaliação da viabilidade de implantação das duas técnicas citadas: microrreservatório e trincheira de infiltração.

8. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA FILHO, G. S. DE. **Diagnóstico de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no município de Bauru, SP**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2000.
- ARISZ, H. & BURREL, B. C. **Urban drainage infrastructure planning and design considering climate change. Proceedings IEEE, EIC Climate Change Conference**, 1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/EICCCC.2006.277251>. 2006.
- AYRES, Q. C. *Soil Erosion and its Control*. McGraw-Hill, New York. 378 p. 1936.
- BARBOSA, F. T; BERTOL, I; WERNER, R. S; RAMOS, J. C; RAMOS, R. R. **Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções de semeadura direta**. 2012.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo, Cone editora. 1999.
- CARVALHO, P. R. O. **Estudo das resistências físicas e mecânicas no caso da incorporação dos resíduos da poda de árvore e de bambu no compósito tijolo**. Universidade Estadual Paulista – Bauru/SP, 2012
- COLLISCHONN, W. DONELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências ambientais**. 2013.
- FONTES; A. R. M.; BARBASSA, A. P. **Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 8, n.2, p. 137 – 142. 2003.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População nos Censos Demográficos, segundo as Grandes Regiões, as Unidades da Federação e a situação do domicílio - 1960/2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em 20/04/2021.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ-JACARÉ. **Erosões urbanas de Bauru**. 2002.
- JUNIOR, F M.; MAGNI, N. L. G. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. Convênio Departamento de Águas e Energia Elétrica e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Edição Revisada. São Paulo, 1999.

LEE, J. G.; HEANEY, J. P. Estimation of urban imperviousness and its impacts on stormwater systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2003.

MCCUEN, RICHARD H. **Hydrology analysis and design**, 2ª ed. Prentice Hall, New Jersey, ISBN 0-13-134958-9. 1998.

MIGUEZ, M. **Drenagem Urbana - Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. Grupo GEN, 2015.

MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 164p., 2004.

O'LOUGHLIN, G.; BEECHAM, S.; LEES, S.; ROSE, L.; NICHOLAS, D. **On-site stormwater detention system in Sydney**. *Water Science Technology*.v.32,n.1, p.169-175, 1995.

PORTO, R. La L. **Escoamento superficial direto**. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS. 1995.

ROCHA NETO, B. P; BLANCO, C. J. **Determinação de curva IDF para o município de Governador Newton Bello no estado do Maranhão**. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 3, p. 41, 2020.

SALOMÃO, F. X. de T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. 200f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - USP, São Paulo, 1994.

SCS. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Washington. U.S. Dept. Agr. (Technical Release. n. 55).1975.

SHS – CONSULTORIA E PROJETOS DE ENGENHARIA S/S LTDA. **Diagnóstico Ambiental e dos Recursos Hídricos do Município de Bauru - SP**. Relatório final. 2008.

SILVA, J. P. 2007. **Estudos preliminares para implantação de trincheiras de infiltração**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM – 154/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, DF, 155p.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. **Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte**. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.12, n.2, p.157-168, 2007.

TOMAZ, P. **Curso de Manejo de águas pluviais**. Método Racional. 2012.

TUCCI, C. E. M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 5 n.1 p61 -68, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH,952p. 1993.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo, Cetesb. 477p. 1978.