

AS VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL, COMO REPRESENTAÇÃO DE COMPONENTES *ORGÂNICOS*

ETIANNE MONTEIRO BRAGA¹, JÚLIA DE SÁ OLIVEIRA NASCIMENTO²

¹Engenheira civil, Mestre, Docente na área de hidrotecnia da UEA, Manaus-AM, embraga@uea.edu.br;

²Graduanda do curso de Engenharia Civil, UEA, Manaus-AM; jdson.eng22@uea.edu.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
De 06 a 09 de outubro de 2025

RESUMO: Este trabalho visa apresentar as variáveis presentes no cálculo de vazão de projeto, da equação do Método Racional, como elementos orgânicos para dimensionamento de sistemas de drenagem nas cidades. Estas variáveis devem ser consideradas como componentes técnico, ambiental e social a fim de contribuir para a reflexão sobre sua mensuração individual e, influência no cálculo da vazão. Os valores, para o coeficiente de escoamento de água pluvial como variável técnica, são analisados a partir da revisão de literatura; a equação IDF representa a variável ambiental, na determinação da intensidade de chuva, obtidos da revisão de literatura; e a variável área de drenagem, representa o elemento social, pois foi analisado as alterações das áreas permeáveis em lotes unifamiliares edificados (casas), com dados obtidos em dois cenários, para o período de 25 anos de ocupação. A cidade de Manaus é a área de estudo. Os resultados comprovam a ocorrência de urbanização em regiões de Manaus, com seus impactos, e destaca a importância da reflexão do projetista, quando da adoção dos valores para as variáveis da equação da vazão de projeto, principalmente em sistemas de drenagem urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem urbana; Taxa de permeabilização; Urbanização; Manaus.

THE VARIABLES OF THE RATIONAL METHOD EQUATION AS A REPRESENTATION OF ORGANIC COMPONENTS

ABSTRACT: This paper presents the variables used in the design flow calculation, using the *Racional* Method equation, as organic elements for sizing cities drainage systems. These variables should be considered as technical, environmental, and social components to contribute to reflection on their individual measurement and influence on flow calculation. The values for the urban runoff coefficient, as a technical variable, are analyzed based on a literature review; the IDF equation represents the environmental variable in determining rainfall intensity, obtained from the literature review; and the drainage area variable represents the social element, as changes in permeable areas on single-family built lots (houses) were analyzed, using data obtained in two scenarios over a 25-year period of occupation. The study area is the city of Manaus. The results demonstrate the occurrence of urbanization in regions of Manaus, with its impacts, and highlight the importance of thoughtful consideration by the designer when adopting values for the variables in the design flow equation, especially in urban drainage systems.

KEYWORDS: Urban drainage; Permeabilization rate; Urbanization; Manaus.

INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada transforma gradualmente as superfícies naturais em áreas com características impermeáveis, o que altera o balanço hidrológico, principalmente elevando o volume e a velocidade do escoamento de água superficial. Este processo pode ocorrer de forma organizada/planejada, envolvendo profissionais técnicos e a gestão pública, ou através da ocupação desordenada, quando ocorre uma expansão da cidade através de loteamentos clandestinos ou invasões, sem ordenamento e geralmente ocorrendo em ocupação de áreas de riscos. Observa-se que a

urbanização é ocasionada, principalmente, pelo crescimento econômico de uma localidade, com sua celeridade conduzida pela demanda deste contexto. O Brasil, atualmente, é um país essencialmente urbano (representando 87% da população brasileira, atualmente) e tendo 84,8% da população brasileira residente em casas (edificações unifamiliares), conforme o CENSO demográfico de 2022.

Em cidades amazônicas, como Manaus, onde as chuvas intensas são frequentes, os impactos da urbanização são semelhantes. Ainda neste contexto, o CENSO demográfico de 2022 revelou que a cidade de Manaus, capital do Amazonas, foi a segunda cidade brasileira com maior variação absoluta na população urbana, no período de 2010 e 2022. Observa-se que, em alguns pontos do sistema viário da cidade, a ocorrência de alagamentos tornou-se comum e frequente.

Como resposta a esse cenário, os instrumentos técnicos e legais, presentes no Plano Diretor Municipal, instituiu parâmetros urbanísticos, como por exemplo a taxa de permeabilidade, que estipula que cada imóvel mantenha, no mínimo, uma porcentagem de sua área total em superfície permeável. Essa ferramenta de gestão busca preservar a capacidade de infiltração do solo, amenizar picos de vazão do escoamento superficial e, serve como referência para dimensionamentos de sistemas de drenagem urbana.

Os especialistas técnicos, especificamente os engenheiros, dimensionam as infraestruturas de saneamento básico (abastecimento de água, tratamento de esgoto, drenagem pluvial e resíduos sólidos), para as cidades, baseados em estimativas de crescimento populacional. É importante prever uma capacidade de demanda futura, de tal forma que o empreendimento atenda a demanda por um período futuro distante, postergando investimentos para expandir os sistemas.

No caso dos sistemas de drenagem pluvial urbano, um dos componentes do saneamento básico, os engenheiros calculam a *vazão de projeto*, a fim de dimensionar este sistema. E há três componentes principais para sua mensuração: o coeficiente de escoamento superficial, a estimativa da intensidade de chuva da localidade e, a área impermeável a ser drenada. Desta maneira, estimar um volume de água pluvial a ser drenado, torna-se um desafio para o engenheiro quando a estimativa de crescimento populacional é imprevisível, quando ocorrem expansões das cidades por ocupações desordenadas, bem como quando se torna frequente a ocorrência de extremos máximos de intensidade de chuva. Prever o processo de urbanização, irá contribuir para uma adequada estimativa do valor da vazão de projeto em dimensionamentos de sistemas de drenagem urbano, e assim, evitar um colapso precoce do sistema projetado.

As equações hidráulicas são equações matemáticas que descrevem relações observadas entre variáveis. Geralmente, elas possuem dados numéricos coletados através de medições, com precisão e objetividade, uma vez que a finalidade visa a construção de infraestruturas. No entanto, há de se refletir sobre a conexão de suas características físicas/construtivas, com aquelas típicas do tema saneamento básico: os elementos naturais e sociais. Assim, ao garantir a saúde pública e a proteção ambiental, se induz a incluir as particularidades dos elementos antrópicos e da natureza, conforme o local que estão inseridos. Neste contexto, o engenheiro projetista precisa refletir e identificar estas particularidades ao projetar sistemas de drenagem urbano, tal qual faz o arquiteto ao refletir sobre o programa de necessidades de seu cliente.

Este estudo visa apresentar as variáveis presentes no cálculo de vazão de projeto, da equação do Método Racional, como componentes técnico, ambiental e social, para dimensionamento de sistemas de drenagem urbanos, a fim de contribuir para a reflexão sobre sua mensuração individual e, conseqüente influência no cálculo da vazão.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se três principais coletas de dados:

1. Revisão de literatura: para caracterizar o coeficiente de escoamento urbano no processo de urbanização; para descrever a intensidade de chuva, através do cálculo do índice pluviométrico IDF; e identificar a taxa de permeabilização municipal, parâmetro urbanístico presente no Plano Diretor de Manaus;

2. Imagem de satélite obtida em plataformas públicas e gratuitas de sensoriamento remoto (Google Earth e Google Maps), para uma rua de conjunto habitacional em Manaus.
3. Planta arquitetônica original dos lotes-padrão (8,0m×20,0m=160m²), fornecida pela construtora do empreendimento habitacional unifamiliar.

Revisão de literatura - Utilizada para caracterizar o coeficiente de escoamento urbano, considerada a variável técnica, a fim de descrever o processo de urbanização, em uma região da cidade de Manaus. Também se utilizou a literatura para caracterizar o índice pluviométrico como variável ambiental, considerando o cálculo do índice pluviométrico IDF a equação que melhor o caracteriza, para a cidade de Manaus. Foi identificada na Lei Municipal de Manaus n.º 1.838 de 2014, o valor da *taxa de permeabilização*, que é um parâmetro urbanístico diretamente relacionada com a geração de escoamento superficial pluvial, pois determinada área permeável mínima em lotes edificados.

Imagens de satélite e área de estudo – Foi delimitada uma rua de empreendimento habitacional unifamiliar (casa), na cidade de Manaus-AM, como área de estudo. Esta possui 34 lotes edificados por construtora. Esta área de estudo foi definida, a fim de analisar ações dos moradores (aspecto social) sobre a ocorrência da redução de área permeável, comparando os dados em dois cenários, no período de 25 anos de ocupação:

- i. O cenário 1*, inicial, dados que caracterizam antes da ocupação dos imóveis por moradores. Os dados dos 34 lotes edificados são iguais e foram entregues aos proprietários, pela construtora, em conformidades legais da obra, especialmente quanto ao parâmetro urbanístico *taxa de permeabilização*. O ano da entrega dos imóveis ocorreu no ano de 1999.
- ii. O cenário 2*, após ocupação, envolveu análise visual da imagem de satélite, obtida de forma gratuita, da área de estudo. A partir desta imagem, foi realizada a classificação visual da cobertura do solo, e utilizando o software gratuito Google Earth foi mensurado as áreas impermeáveis dos lotes. A imagem utilizada é do ano de 2024.

Análise em Ambiente digital GIS para os dados do Cenário 2:

- i. Classificação da Cobertura do Solo* - Definição de duas classes: permeável (solo, vegetação e, áreas não construídas) e impermeável (edificações, calçadas e pavimentos); Emprego de técnicas de classificação supervisionada em software SIG para delimitar polígonos de cada classe, em cada lote edificado.
- ii. Quantificação de Áreas* - Cálculo, em metros quadrados, das áreas permeáveis e impermeáveis a fim de gerar dados para o Cenário 2, obtidos após a classificação da cobertura do solo.

Aplicação do Método Racional – a vazão de projeto, para cada cenário, foi calculada pela equação do Método Racional (DAEE, 1999):

$$Q = C \cdot i \cdot A / 3,6 \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo Q, vazão em litros por segundo (L/s); C, coeficiente de escoamento adimensional; i, intensidade de chuva em milímetros por hora (mm/h); e A área em hectares (ha).

Foi realizada a Tabulação dos valores da área de cada lote, nos dois cenários, possibilitando análise comparativa do impacto da impermeabilização no sistema de drenagem urbana.

Os resultados foram analisados após o cálculo da vazão de projeto, para os cenários 01 e 02 com os respectivos coeficientes de escoamento superficial, e sobre a variação percentual na taxa de permeabilidade nos lotes edificados. Os resultados obtidos de pesquisas da literatura também foram analisados para a reflexão das variáveis *coeficiente de escoamento* e *intensidade de chuva* como elementos orgânicos.

superfícies impermeáveis) para cenário 02, após ocupação. As vazões dos dois cenários são: $Q_{c1} = 13,40$ L/s e $Q_{c2} = 20,70$ L/s. Isto representa acréscimo de 55% na vazão de projeto, no período de 25 anos, decorrente do aumento de área impermeável promovido pelos proprietários/moradores nos lotes.

CONCLUSÃO

O valor do coeficiente de escoamento superficial é obtido a partir de métodos empíricos, assim, foi considerado uma *variável técnica*, pois seu valor é baseado a partir de experiências acumuladas. O engenheiro deve identificar a característica do uso solo e calcular seguindo um método consolidado, como por exemplo o método CN pelo NRCS em Oliveira & Braga (op.cit).

O valor da intensidade de chuva tem as séries históricas de dados pluviométricos como base, assim, foi considerado como uma *variável ambiental*. Deve ser feita a seguinte reflexão, que esta série histórica está sendo alterada decorrente das mudanças climáticas globais, e estão gerando valores extremos aos dados antigos. Considerando a ocorrência frequente destes valores extremos, para o futuro, as variações dos dados da série histórica deverão ser modificadas consideravelmente. O engenheiro deve identificar a ocorrência de uma intensidade de chuva histórica, que tenha causado danos urbanos, e severos alagamentos, na cidade da área de estudo. A prática de comparação, entre esta intensidade de chuva extrema com o valor calculado, tal qual realizado por Monteiro & Braga (op.cit), irá contribuir para o profissional refletir no contexto ambiental atualizado e, sustentar o valor da intensidade de chuva utilizada em seus cálculos.

A alteração para 0,0% da taxa de permeabilidade, em 85% dos lotes edificados, evidencia o descumprimento da legislação municipal. Esta realidade compromete a capacidade de infiltração de água no solo e ocasiona um aumento no escoamento de água superficial. Ou seja, foi observado o aumento de 55% do valor da vazão inicial, utilizada na fase de projeto. Analisando a realidade física atual, houve 55% de aumento do volume de água no sistema de drenagem existente, na rua estudada. Assim, considerar a área de drenagem como uma *variável social* é importante para evitar colapso precoce do sistema de drenagem projetado.

A adoção adequada de valores para as variáveis da equação de vazão de projeto irá exigir do engenheiro projetista bom senso, a fim de quantificar a realidade técnica, ambiental e social de forma adequada. Destacando que se sub dimensionado, o sistema de drenagem irá promover alagamentos, e se super dimensionado irá encarecer a obra para implantação.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de iniciação científica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e às pessoas envolvidas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Atlas Nacional de Precipitações Intensas. Brasília: ANA, 2018.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método Racional: DP-H03. São Paulo: DAEE, 1999.
- MONTEIRO, M. e BRAGA, E.M. ANÁLISE DA EQUAÇÃO IDF DE MANAUS. In: V SEMINÁRIO INTERNACIONAL EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA, Manaus, 2018.
- OLIVEIRA, M.F. e BRAGA, E.M. ESTUDO DO COEFICIENTE DE RUN-OFF NO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO, TRECHO LOCALIZADO NO BAIRRO DE FLORES, MUNICÍPIO DE MANAUS. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, Maceió, 2018.
- TUCCI, C.E.M. Hidrologia Ciência e Aplicação, 4ª Ed., Ed. ABRH, Porto Alegre, 2012.