

II-281 - ATUALIZAÇÃO DA CONSTANTE DA FÓRMULA QUE DETERMINA A VAZÃO DE ESGOTOS PELO MÉTODO DA ÁREA EDIFICADA NO SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO

Eugenio Eduardo Q. Macedo⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Veiga de Almeida. Pós Graduação Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) Chefe da Coordenação de Medição de Esgotos da CEDAE-RJ.

Endereço⁽¹⁾: Rua das Laranjeiras 457 ap 1604 – Laranjeiras – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22240-005 - Brasil - Tel: (21) 992907545 - e-mail: emacedo2807@gmail.com

RESUMO

Para a elaboração de projetos, operação e manutenção do sistema de esgotamento sanitário é fundamental o conhecimento real das vazões dos esgotos obtidas de forma segura e confiável. Porém, nem sempre é possível, ou existe tempo hábil para que esses dados sejam conseguidos por medição direta dos efluentes, além disso, mesmo que se obtenham os dados através de medição direta na rede coletora, nem sempre é possível afirmar que esses valores representam a vazão real de esgotamento da região, pois o escoamento pode estar mascarado por extravasamentos ou ligações irregulares.

No caso de dimensionamento da rede de esgotos, não é possível determinar as vazões para fim de plano. Por esta e outras razões, o Engenheiro Eugenio Silveira de Macedo, na década de 60 desenvolveu uma metodologia inédita associando a vazão de esgotos a Área Edificada onde é possível determinar não só a vazão atual, mas também a de saturação urbanística que é de suma importância para o dimensionamento da rede coletora.

Esta metodologia permite obter valores teóricos de vazões máximas, muito próximos das vazões obtidas através de medição direta na rede em condições de fluxo normal sem aporte de águas pluviais.

Macedo realizou medições diretas do fluxo de esgotos utilizando a rede coletora como um laboratório natural, em diversas bacias de esgotamento da região metropolitana do Rio de Janeiro, para estabelecer a expressão matemática utilizada no método. No entanto, com o decorrer das décadas a mudança natural de hábitos da população, que influenciam diretamente o comportamento no fluxo de esgotos na rede coletora, a verticalização com mudança de gabarito no plano diretor, tornou-se necessária a atualização da fórmula seguindo os mesmos critérios anteriormente utilizados para a determinação.

PALAVRAS-CHAVE: Macedo; Área Edificada; Vazão de Saturação Urbanística de Esgotos.

INTRODUÇÃO

Durante a década de 60, o Ilustre Engenheiro Eugenio Silveira de Macedo, já falecido, criou uma metodologia de cálculo de vazão de esgotamento sanitário revolucionária e completamente distinta da utilizada até então. Esta metodologia cuja precisão é incomparável dispensa a determinação da população contribuinte, tanto atual quanto futura, além do conhecimento do coeficiente de consumo per capita de água ou de geração de esgotos que nem sempre é condizente com a realidade além de tornar desnecessário também, computar os coeficientes de dia e hora de pico, também discutíveis.

A equação (1) elaborada por Macedo determina a vazão máxima de esgotos unicamente em função da área edificada contribuinte que deve ser multiplicada por uma constante, cuja expressão se segue.

$$Q_{(l/s)} = \text{Área Edificada} \times 232 \times 10^{-6} \quad \text{equação (1).}$$

A vazão é expressa em l/s, para uma área tipicamente residencial, onde a área edificada é expressa em m².

OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é atualizar a expressão criada por Macedo para cálculo de vazão de esgotos pelo Método da Área Edificada.

Não é objetivo deste trabalho, discutir detalhadamente o método uma vez que foi amplamente difundido no passado.

A fórmula para cálculo de vazão de esgotos no sistema separador absoluto pelo método da área edificada foi inicialmente publicada na PNB 567/75, hoje o método é indicado na NBR 9648 conforme a equação 1.

Como esta expressão está intimamente relacionada aos hábitos e a forma de ocupação da população, que naturalmente ao longo dos anos, sofreu alterações significativas, o presente trabalho objetiva avaliar, ratificando ou retificando a constante da fórmula do método, com base em medições diárias realizadas ao longo de aproximadamente oito anos em diversas bacias de esgotamento.

As características dos hidrogramas atuais, obtidos através das medições de esgotos realizadas, quando comparadas com os de décadas atrás permite demonstrar, que a mudança nos hábitos da população ao longo dos anos está influenciando os valores dos picos da vazão de esgotos, assim como as características dos hidrogramas.

A atualização dessa constante não só permitirá a determinação da vazão máxima atual de esgotos, como também a obtenção de valores das vazões no período da Saturação Urbanística, que é um dos pontos marcantes deste método de cálculo.

Outro objetivo do trabalho é analisar como as mudanças nos hábitos da população e na configuração das edificações, influenciam no funcionamento do sistema de esgotamento sanitário, alterando a hora e a duração dos picos diários dos esgotos, o volume total diário produzido e o horário das vazões mínimas.

EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA EMPREGADA

O estudo consiste em medir as vazões, preferencialmente, nas mesmas bacias utilizadas na década de 60, para avaliar o resultado da mudança dos costumes da população, que refletem diretamente nas características dos Hidrogramas.

O trabalho começou com a definição do bairro a ser levantado, depois se escolheu uma área amostral que fosse uma amostra representativa deste bairro, ou seja, que possuísse as mesmas características de tipo de imóveis em número de pavimentos, a mesma proporcionalidade de estabelecimentos comerciais, terrenos desocupados, etc. Procurou-se realizar os trabalhos nas mesmas bacias anteriormente medidas mesmo que na atualidade houvesse algumas pequenas alterações.

Após a definição da área amostral, fez-se uma vistoria na rede coletora de esgotos dessa área, buscando corrigir irregularidades nos coletores que impedissem o escoamento do fluxo normal dos esgotos e aportes indevidos.

Periodicamente essa área é vistoriada para avaliar se ocorreu alguma nova irregularidade e corrigi-la. Sendo descartadas as medições realizadas nesses dias com irregularidades.

Ao mesmo tempo, fez-se uma sondagem no subsolo para identificar o nível do lençol freático para verificar se há algum tipo de contribuição na rede por infiltrações, para as devidas correções nos cálculos. Em seguida, instalou-se em um poço de visita imediatamente à jusante da bacia, uma calha Palmer-Bowlus e um medidor de nível, que no caso está sendo utilizado um transdutor de Pressão.

A descarga da bacia a montante flui por essa calha permitindo a determinação das diversas lâminas a cada 4 minutos, conforme a variação nas contribuições de esgotos ao longo de cada dia de medição.

Ao longo dos trabalhos, vão sendo descartados os dados dos dias com irregularidades nas medições como falta d'água, ou os fins de semana e feriados cujos dados coletados resultam de um comportamento atípico da população devido à falta de uniformidade na utilização dos aparelhos sanitários.

Durante o período de medição, que deve ser no mínimo de 12 meses, é realizado um levantamento quantitativo da área total edificada analisando as plantas cadastrais de arquitetura de cada imóvel para determinar a área total edificada da bacia e também o número total de imóveis. É realizado também um levantamento censitário em todas as edificações da bacia, em busca do número exato da população contribuinte.

É importante saber que esta metodologia trabalhosa, é empregada apenas para a atualização da expressão criada por Macedo. Uma vez atualizada a expressão, pode ser utilizada diretamente para determinar a vazão de esgotos sem a necessidade de medições ou levantamentos prediais minuciosos.

RESULTADOS OBTIDOS PELOS LEVANTAMENTOS E MEDIÇÕES NA BACIA DE MEDIÇÃO

Ao longo dos anos em que estão sendo realizadas medições nas bacias amostrais, foi acumulada grande quantidade de dados que estão permitindo ajustar, à medida que o trabalho evolui, a constante da expressão matemática inicial da fórmula de determinação da vazão de esgotos pelo Método da Área Edificada.

Dados de vazão de esgotos foram coletados na rede coletora em quatro bacias amostrais pertencentes aos bairros: Laranjeiras na zona sul, tipicamente residencial sem praia, Copacabana na zona sul região de praia, Tijuca na zona norte distante da praia e predominantemente residencial, Ilha do Governador localizada na baía de Guanabara predominantemente residencial, na cidade do Rio de Janeiro.

As medições vêm demonstrando que as vazões máximas coletadas quando relacionadas com o somatório das Áreas Edificadas de cada uma dessas bacias, produz uma constante similar, como é esperado pelo método cujo resultado será apresentado e discutido mais adiante.

Os dados levantados nas bacias amostrais foram os seguintes:

Vazões de esgotos máximas, médias e mínimas, com seus devidos horários típicos, bem como o volume total médio dos esgotos produzidos diariamente. A população total da área amostral e por edificação, levantada de porta em porta, a quantificação do número total de economias, onde foi determinado o número médio de habitantes por economia. Foi também determinada, a área média por economia e a área edificada total da bacia. O coeficiente real de maré, ou seja, a relação entre a vazão máxima e a média diária e a taxa linear de contribuição, também foram determinados.

Na tabela 1, são apresentados os valores resultantes das medições e levantamentos na bacia de Copacabana.

Tabela 1: Dados levantados na bacia do bairro de Copacabana.

Vazão máxima média	55,9	l/s
Vazão mínima média	20,6	l/s
Média	36,5	l/s
Volume total médio	3.163,1	m ³
Economias	3.256,0	un
População	6.901	hab
Habitantes / Economia	2,1	hab
Contribuição per capita	458,3	l/hab.dia
Maré	1,5	-
Extensão de rua	2,0	km
Taxa de vazão máxima atual	28,0	l/s.km
Taxa de vazão máxima saturação	76,8	l/s.km
Área edificada atual	162.316	m ²
Taxa de contribuição por Área Edificada	0,000129	l/s.m ²

A seguir, para uma melhor compreensão, apresentamos alguns hidrogramas gerados na bacia de Copacabana.

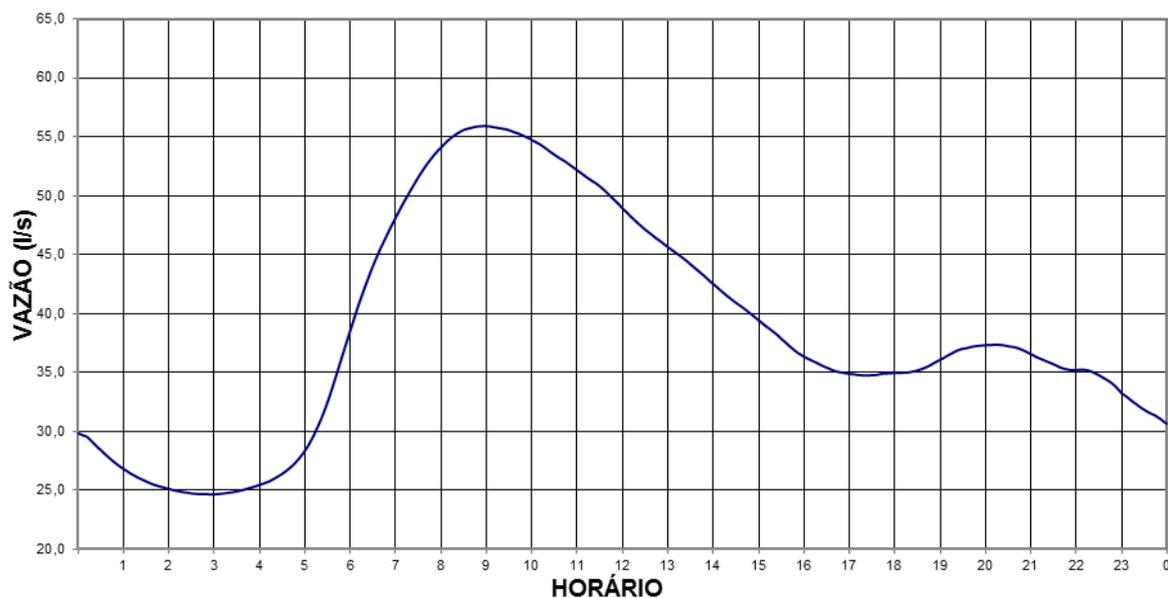


Figura 1: Hidrograma médio anual dos dias úteis do bairro de Copacabana, ano 2016.

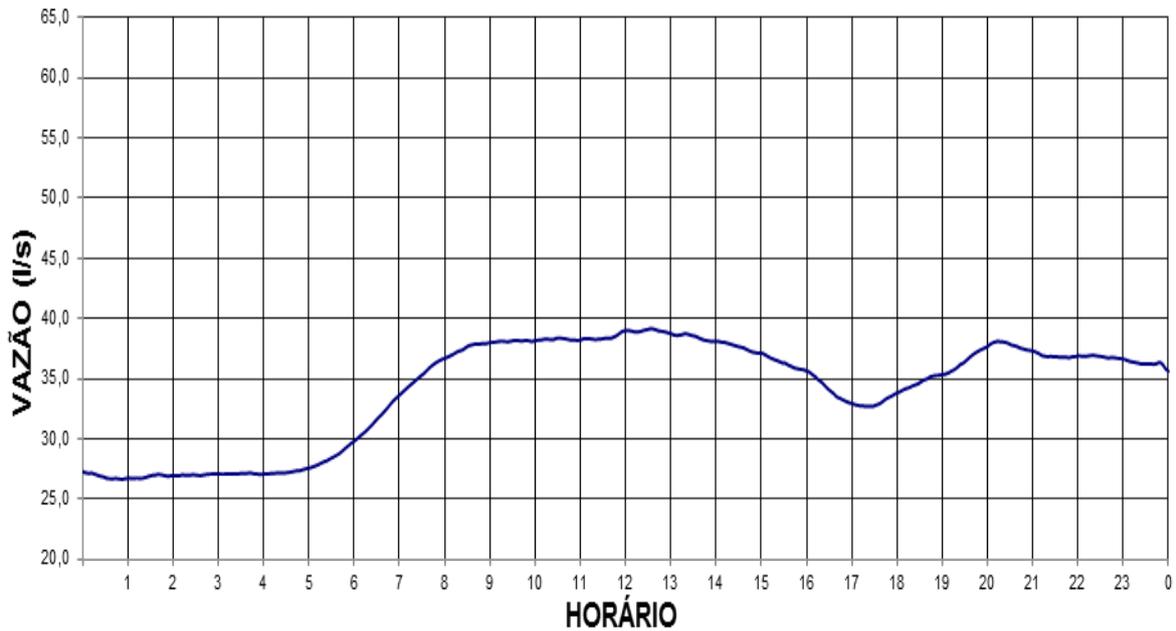


Figura 2: Hidrograma típico de sábado do bairro de Copacabana, ano 2016.

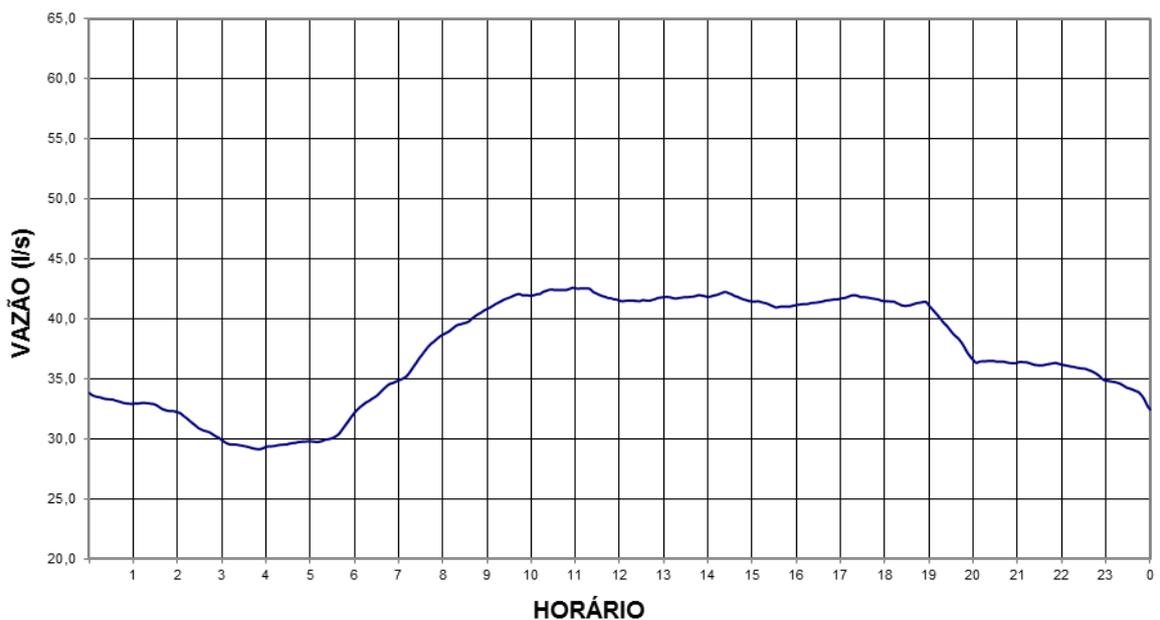


Figura 3: Hidrograma típico de domingo do bairro de Copacabana, ano 2016.

Foram aproveitadas ocasiões especiais para avaliar o comportamento do escoamento na rede coletora, como por exemplo, a Copa do Mundo de 2014 cujo hidrograma do dia do jogo do Brasil x Camarões é apresentado na figura 4.

A configuração do hidrogramas da figura 4, demonstra claramente como o critério de utilização dos aparelhos sanitários pela população altera de forma imperativa as características do hidrograma típico de escoamento na rede coletora conforme o momento do jogo, intervalo e interesse da população pela partida. Isso influencia os valores dos picos e mínimas vazões nos horários de ocorrência. Esta constatação serve para ilustrar como o comportamento e hábitos dos usuários influem diretamente na produção dos picos de escoamento nos coletores de esgotos e independe do volume de água fornecida.

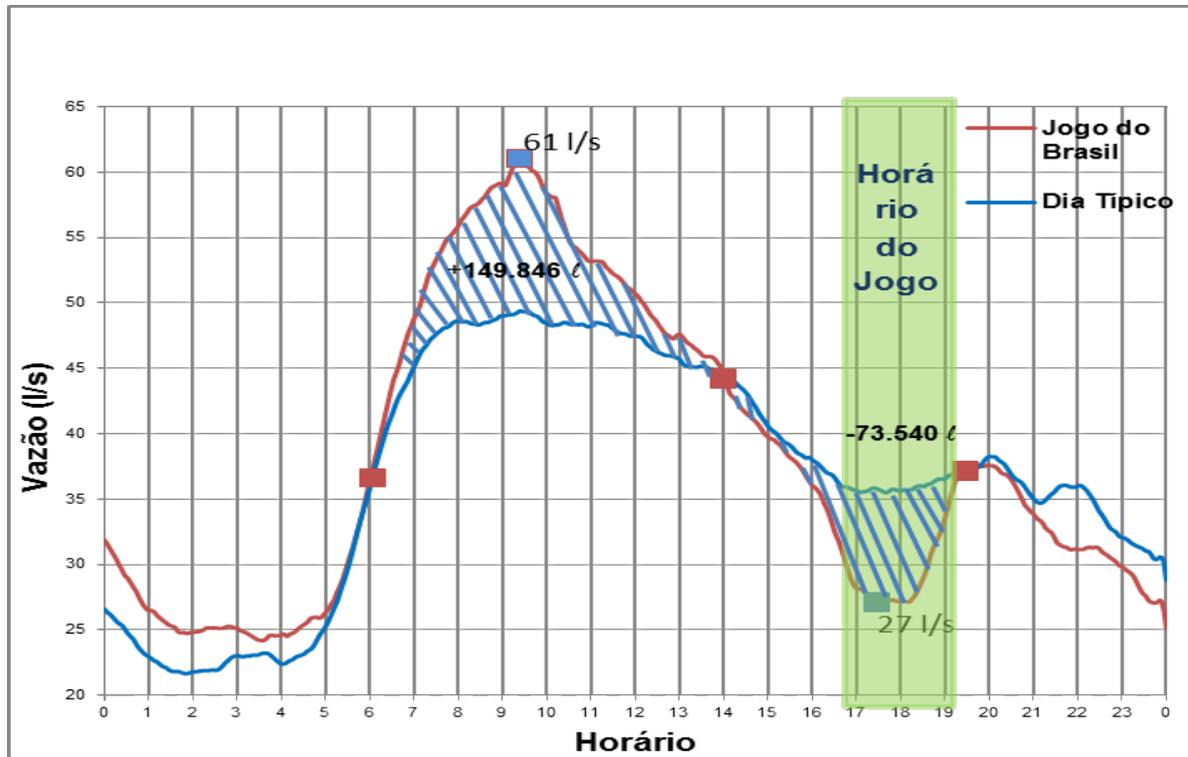


Figura 4: Hidrograma Jogo Brasil x Camarões na copa de 2014.

DISCURSÃO DOS RESULTADOS

Os dados levantados atualmente estão sendo comparados com os obtidos há cerca de cinco décadas, na maioria das bacias estudadas, permitindo assim, avaliar a evolução da característica do escoamento dos esgotos na Rede Coletora devido à mudança de comportamento e forma de ocupação urbanística da população.

Apesar das bacias medidas apresentarem novos dados inerentes à forma de ocupação urbanística e ao tipo de hábito dos seus usuários, não fogem, no entanto, ao padrão que estabelece a relação entre a área edificada e a vazão máxima de esgotos na Rede Coletora.

No hidrograma atual, os valores das vazões máximas diárias ocorrem no período de 8:00 às 13:00h enquanto no passado ocorriam no período de 8:00 às 10:00h. Essa mudança provocou um alargamento na duração dos horários de pico assim como uma proporcional redução do seu valor, levando ao pensamento de que há uma menor uniformidade de horários de utilização dos aparelhos sanitários, favorecendo com isso, um prolongando do alcance da vida útil da rede coletora em função das vazões máximas atuais.

A relação da população por economia tem variado de 2,12 a 2,50, assim como, a área média da economia de 100 a 108 m², aproximadamente. Neste caso há uma alteração considerável ao longo dos anos, pois no passado a média da população por economia era de 4,37 e a área média por economia era de 117 m².

A medição das vazões máximas diárias, em quatro bacias amostrais, ao longo de no mínimo 12 meses cada uma, está permitindo estabelecer uma atualização da constante da equação do Método, decorrente da relação

entre as médias das vazões máximas medidas em cada bacia amostral, pela área edificada correspondente, conforme gráfico abaixo:

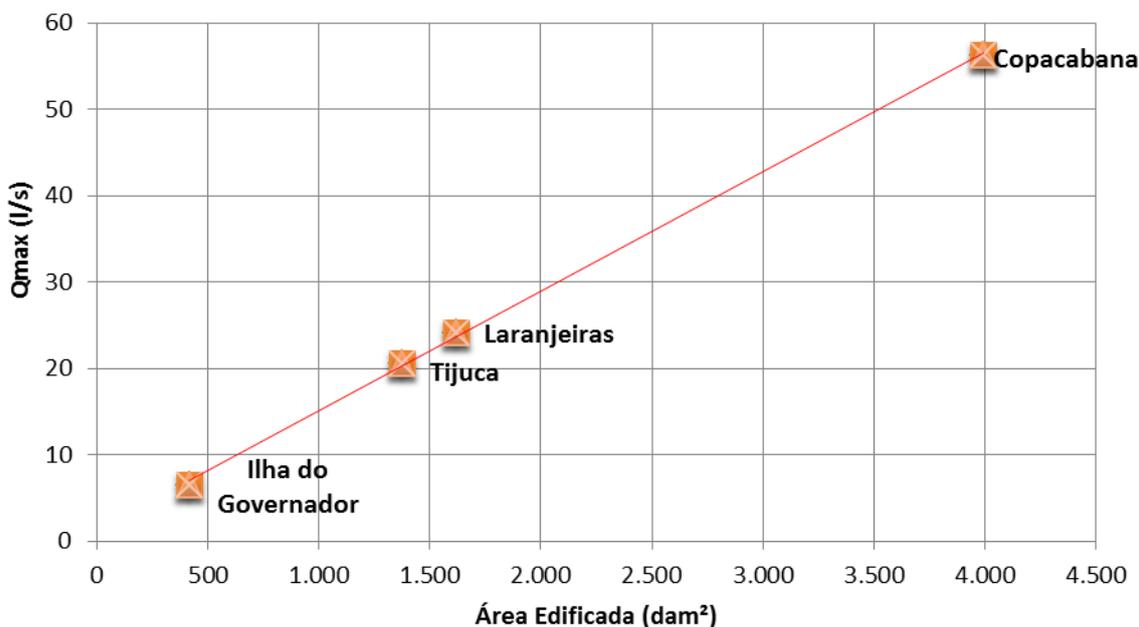


Figura 5: Coeficiente C da Equação atualizado resultante da medição nas quatro bacias amostrais

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O coeficiente angular, ou seja, a constante da fórmula original utilizado na equação (1), atualmente está tendendo ao valor de 148×10^{-6} , decorrente dos dados levantados nas quatro bacias medidas. Porém esse valor médio determinado ainda está sendo ajustado com novas bacias de estudo a serem agregadas.

O resultado da medição da vazão média das máximas medidas no período de um ano em cada bacia estudada quando comparado com o determinado analiticamente pela fórmula, já vem produzindo valores bastante aproximados, conforme pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2: Desvios determinados utilizando a expressão atualizada.

Bairro	Qmax Calculada (l/s)	Qmax Medido (l/s)	Desvio (%)
Laranjeiras	24,06	24,10	0,16
Ilha do Governador	6,21	6,46	4,04
Tijuca	20,41	20,56	0,73
Copacabana	59,22	56,30	-4,93

A equação (2) com a nova constante está apresentada abaixo.

$$Q_{(l/s)} = 148 \times 10^{-6} \times \text{Área Edificada}$$

equação (2).

Para definir o valor final da constante, novas bacias serão em breve agregadas ao estudo.

O estudo na bacia de Laranjeiras mostrou que embora a população tenha reduzido em mais de 20% ao longo dos anos a vazão de pico aumentou. Este fato comprova o preconizado no método de que quanto maior o número de peças sanitárias disponíveis na economia, maior será a possibilidade de uso simultâneo dessas mesmas peças, gerando picos maiores, ou seja, a vazão de pico não depende da quantidade de pessoas na economia e sim da capacidade de uso simultâneo das peças sanitárias desta mesma economia.

O Método da Área Edificada além de calcular com bastante precisão as vazões de esgotos, também permite determinar as vazões futuras quando ocorrer a Saturação Urbanística, bastando com isso determinar a área Edificada futura, com base no gabarito máximo permitido para a região, evitando com isso trabalhar com projeções de população que forçam uma previsão de vazão futura para datas bem inferiores à vida útil dos materiais empregados na construção das Redes Coletoras de Esgotos.

A atualização da constante da equação para a determinação da vazão de esgotos pelo Método da Área Edificada, desenvolvida no atual trabalho, assim como no passado, está sendo fundamental para o dimensionamento eficaz de projetos de sistemas de esgotos assim como, para a programação de planos de ação de operação e manutenção do sistema de esgotos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MACEDO, EUGENIO SILVEIRA DE, Cálculo do Escoamento na Rede Esgotos Sanitários do Sistema Separador Absoluto, 1960. I Congresso de Engenharia Sanitária, ABES.
2. MACEDO, EUGENIO SILVEIRA DE, Previsão Racional de Hidrogramas nos Esgotos Sanitários, 1973. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, ABES.
3. NETO, JOSÉ M. DE AZEVEDO, Manual de Hidráulica, 1970.
4. LEME, FRANCILIO PAES, Planejamento e projeto dos sistemas urbanos de esgotos sanitários, 1977. CETESB.
5. DELMÉE, GÉRARD J, Manual de Medição de Vazão, 2003.