

**IX-046 - PREVISÃO DO AUMENTO DO VOLUME DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL DIRETO DEVIDO A URBANIZAÇÃO DO CAMPUS AVANÇADO
DE POÇOS DE CALDAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS:
ESTUDO DE CASO 1 – MÉTODO RACIONAL**

Carlos Eduardo Domingues da Mata⁽¹⁾

Aluno de Graduação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Gabriel do Lago Lopes

Aluno de Graduação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Marcel de Freitas Santos

Aluno de Graduação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Maurício Dias Purcino

Aluno de Graduação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Alexandre Silveira

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento
pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Endereço⁽¹⁾: Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999. Cidade Universitária
Poços de Caldas/MG - CEP: 37715-400. carlitosff7@hotmail.com.

RESUMO

O processo de urbanização consiste no crescimento do setor urbano de uma determinada região até alcançar uma estrutura de cidade. Algumas das principais alterações decorrentes da urbanização são: desmatamento, movimentação de terra, escavações, aterros, uso do solo, impermeabilização, dentre outros que acabam por modificar a paisagem natural. Reconhecendo os impactos da urbanização, há uma preocupação com a ocupação do *campus* avançado da Universidade Federal de Alfenas localizado em Poços de Caldas, Minas Gerais. O presente trabalho por objetivo avaliar e quantificar o aumento do escoamento superficial devido à expansão futura do *campus* da Unifal-MG em Poços de Caldas - MG. Os resultados obtidos mostram que pode haver um aumento no Coeficiente de Escoamento Superficial (C) de 8% considerando o cenário atual de urbanização, para 32% em um cenário de futuro.

PALAVRAS-CHAVE: Método racional, hidrologia, gestão de águas urbanas.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização de uma determinada região pode acarretar diversas alterações no meio como o desmatamento, movimentação de terra, escavações, aterros, uso do solo, impermeabilização, dentre outros que acabam por modificar a paisagem natural. A expansão das áreas urbanas, causadoras dos problemas anteriormente citados, provoca impactos no ciclo hidrológico principalmente nos processos de escoamento superficial e de infiltração do solo.

A urbanização interfere de tal forma que pode aumentar o volume e alterar a duração do escoamento superficial. Esses fatores são determinantes na causa de inundações e enchentes, uma das principais preocupações em áreas muito urbanizadas. É necessário planejar efetivamente o impacto da urbanização sobre o escoamento para se evitar tais problemas.

Reconhecendo os impactos da urbanização, há uma preocupação com a ocupação do *campus* avançado da Universidade Federal de Alfenas localizado em Poços de Caldas, Minas Gerais no sentido de prever o efeito da

impermeabilização crescente dessa área que vem sendo ocupada. Preocupação esta justificada com o propósito de fazer uma ocupação da área considerando a gestão da água como parte integrante do projeto de expansão.

O presente trabalho é resultado de conclusão do curso do Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia e tem por objetivo avaliar e quantificar o aumento do escoamento superficial devido à expansão futura do *campus* da Unifal-MG em Poços de Caldas - MG. Para alcançar este objetivo deverá ser quantificado o escoamento superficial direto na área do *campus*, utilizando o método racional, a fim de simular o aumento da vazão de pico e do volume de escoamento cenário para dois cenários futuros de ocupação da área.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Poços de Caldas está localizada na região do Sul de Minas Gerais e está a cerca de poucos quilômetros da divisa com o estado de São Paulo, como mostra a Figura 1. Poços de Caldas está a 270 km da capital paulista e a 466 km de Belo Horizonte.



Figura 1 - Localização de Poços de Caldas em relação ao território nacional.

O estudo foi feito no campus da Universidade da Federal de Alfenas na cidade de Poços de Caldas, que se encontra nas coordenadas UTM (338635.6333 W; 7589854.2991 S). O campus está localizado na Rodovia José Aurélio Vilela na BR-267, no Km 533, a oeste do centro da cidade, conforme mostra a Figura 2, a localização do campus no município.

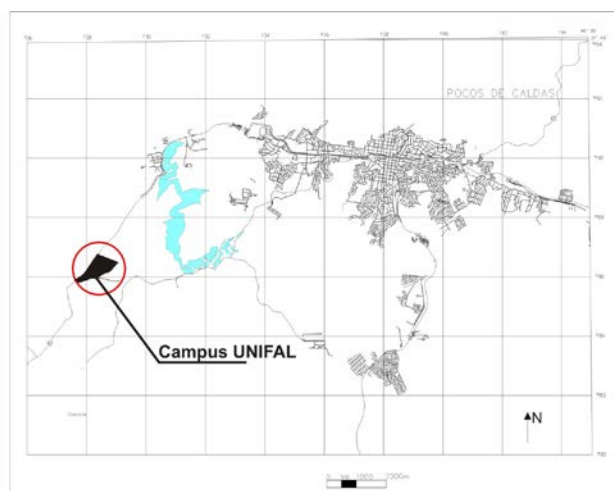


Figura 2 - Localização do campus na cidade de Poços de Caldas.

O campus está inserido nas bacias do Ribeirão Irara e do Córrego das Amoras que são microbacias do Ribeirão das Antas, uma importante bacia hidrográfica do município de Poços de Caldas. A Figura 3 apresenta a bacia do Ribeirão Irara com informações topográficas e hidrográficas. O estudo do escoamento superficial foi desenvolvido na área do campus que está inserida na microbacia do Ribeirão Irara, área de 41,7 ha, mas a área total do campus é de 55,7 ha.

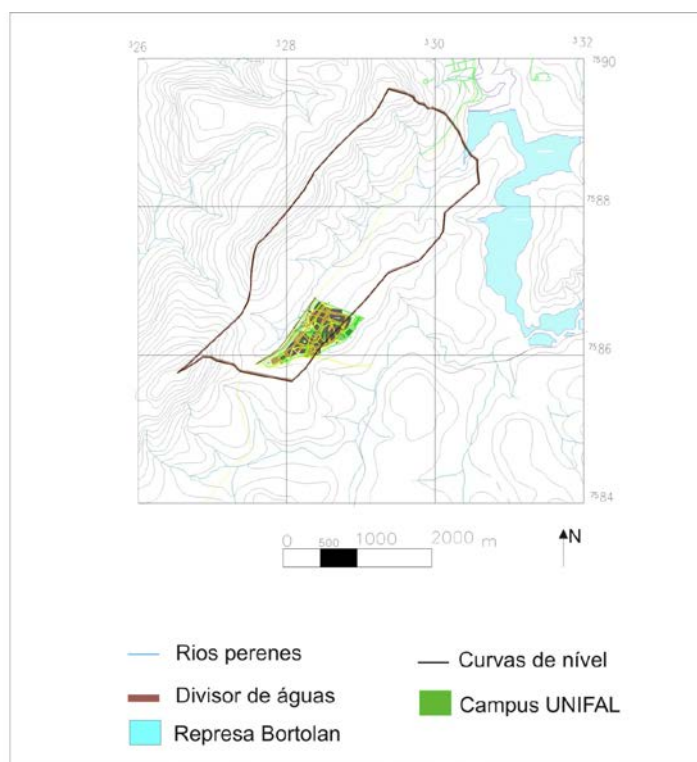


Figura 3 - Localização do campus na Bacia do Ribeirão Irara

O campus Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas oferta vagas para cursos de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Engenharia Ambiental, Engenharia de Minas e Engenharia Química. O planejamento para a implantação do campus está representado na Figura 4.

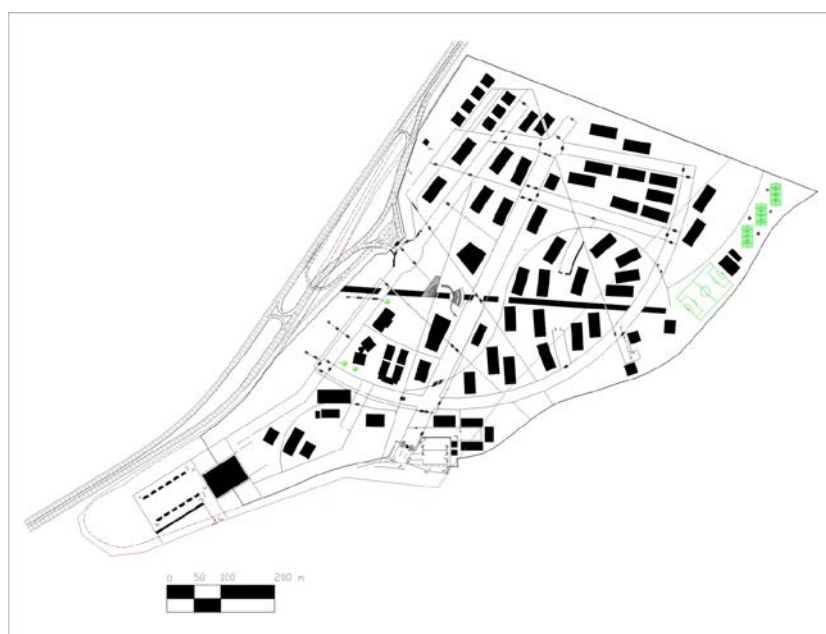


Figura 4 - Projeto de Ocupação do Campus Poços de Caldas.

A área de estudo apresenta basicamente vegetação de campos naturais e florestas densas naturais. Os chamados campos naturais ou campos de altitude são classificados como herbáceas. São caracterizados por gramíneas e arbustos baixos e se distribuem ao longo dos principais cursos d'água. As florestas, devido à altitude, são constituídas de pinheiros que formam pequenos agrupamentos. Ao norte e a leste as serras de São Domingos e do Selado, respectivamente, são cobertas por essas florestas.

O clima de Poços de Caldas é classificado como mesotérmico (C), que é definido através de médias anuais de temperatura e precipitação. O clima da região pode ser dividido em dois climas, o Cwa e o Cwb, que são conhecidos como clima tropical de altitude. Na maior parte do território o clima Cwb, clima mesotérmico de inverno seco, que apresenta verões chuvosos e brandos, que atingem a temperatura média de 22 °C. O mês mais seco é o de julho e também é o mês mais frio onde as temperaturas médias chegam a 16,7 °C, mas o tempo seco se estende desde maio a setembro. O índice pluviométrico dessa classificação ocorre entre 1300 mm e 1700 mm. A região oeste de Poços apresenta o clima Cwa, mesotérmico de inverno seco, com verão quente e chuvoso. No verão a temperatura média atinge os 22°C podendo ultrapassá-la; já no inverno a média é inferior a 18°C. O tempo seco se estende de abril até o início de setembro. O índice pluviométrico ocorre entre 1100 mm e 1700 mm.(MORAES, 2007)

Poços de Caldas é formada por um maciço alcalino, que foi originado por uma atividade vulcânica no período cretáceo superior terciário. Esse maciço se divide em três unidades morfológicas que pertencem a superfície do Alto Rio Pardo, Planalto de São Pedro de Caldas e Planalto de Poços de Caldas. O Planalto de Poços de Caldas é delimitado por um anel de cristas de 300 a 500 metros acima do planalto que tem uma altitude média de 1300m. No centro desse anel desenvolve um relevo de morros ondulados de vertentes suaves, que podem ter desníveis de até 150m, essa característica se estende até as bordas das cristas. A área que esse anel circunda é de aproximadamente 800 km². A bacia do Ribeirão Irara apresenta o divisor de águas na crista, mais a oeste da cidade, assim ela apresenta uma porção com grande declividade e outra com uma declividade mais suave.

Na porção mineira em que Poços está situada ocorrem os Cambissolos háplicos distróficos, Argilossolos vermelhos amarelos distróficos e Latossolos vermelhos distróficos. O solo do campus da Unifal em Poços de Caldas – MG se classifica com predominância franca arenosa e pouco profunda, tipo de solo que favorece a infiltração, ou seja, no método de determinação de precipitação efetiva SCS (Soil Conservation Service) o tipo de solo que mais se encaixa é o tipo B. (MORAES, 2007)

A bacia analisada neste estudo é a bacia do Ribeirão Irara, localizada no município de Poços de Caldas – MG. Sua nascente tem coordenadas 327647W,7586082S UTM e exutório nas coordenadas 330490W, 7588675S UTM. O Coeficiente de Compacidade é de 1,384, o Fator de Conformação é de 0,261, e a densidade de drenagem é 1,574 km/km². O relevo da bacia é caracterizado pela sua declividade média do talvegue principal e possui valor de 20,89 m/Km. A curva hipsométrica da bacia é apresentada na Figura 5.

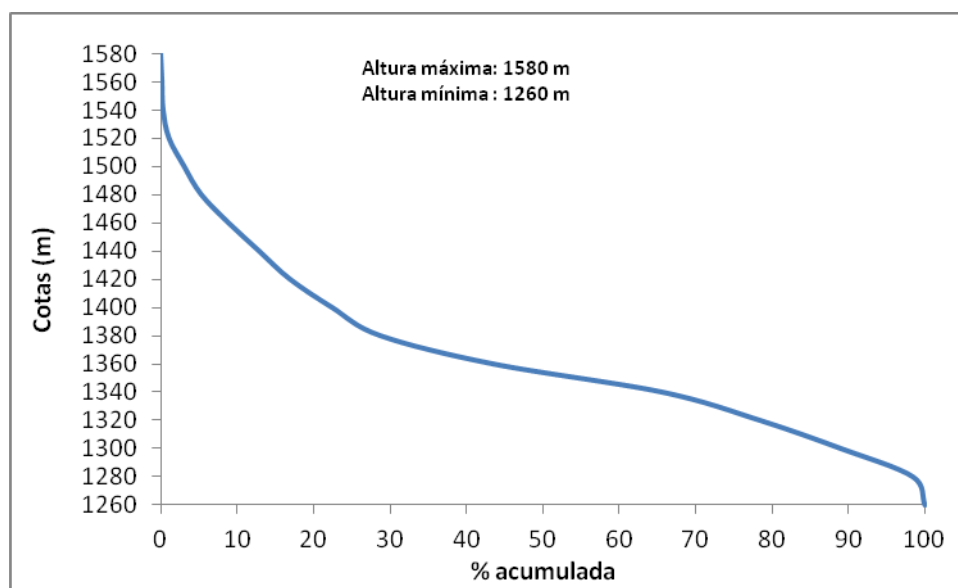


Figura 9 - Curva Hipsométrica da Bacia do Ribeirão Irara.

METODOLOGIA

O Método Racional foi empregado para a quantificação do escoamento superficial. Os parâmetros K, a, b, c da Equação de intensidade-duração-frequência (IDF) foram obtidos no programa computacional livre PLÚVIO 2.1, que foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, disponível em <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Para obtenção dos parâmetros citados, foram inseridos dados de longitude e latitude da cidade de Poços de Caldas no programa computacional PLUVIO 2.1, que automaticamente realiza uma busca em seu banco de dados, disponibilizando assim os valores de K, a, b e c.

Para o cálculo do tempo de concentração foi utilizada a equação de Kirpich e o tempo de duração da chuva foi igualado ao tempo de concentração da bacia.

Foram simulados 3 cenários distintos referentes a 3 períodos de retornos T_1 , T_2 e T_3 de 5, 10 e 50 anos respectivamente, totalizando 9 cenários para simulação. Uma estimativa da ocupação atual em relação ao terreno total foi realizada para se obter uma aproximação do valor do coeficiente de escoamento superficial, C, atual, do futuro próximo (10 anos) e do futuro distante (50 anos) com o auxílio dos Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Valores do coeficiente C (Wilken, 1978).

Áreas	C
Edificações muito densas: Áreas centrais, densamente Construídas de uma cidade com ruas e calçadas Pavimentadas.	0,70-0,95
Edificações não muito densas: Área adjacente ao centro, de menor densidade de habitantes, porém com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60-0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Áreas Residenciais com construções cerradas e ruas pavimentadas.	0,50-0,60
Edificações com muitas superfícies livres: Áreas residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25-0,50
Subúrbios com alguma edificação: Áreas De arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção.	0,10-0,25
Matas, parques e campo de esportes: Áreas rurais, verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados e campos de esportes sem pavimentação.	0,05-0,20

Tabela 2 Valores do coeficiente de escoamento propostos pelo Colorado Highway Department.

Características da bacia	C
Superfícies impermeáveis	0,90-0,95
Terreno estéril montanhoso	0,80-0,90
Terreno estéril ondulado	0,60-0,80
Terreno estéril plano	0,50-0,70
Prados, campinas, terreno ondulado	0,40-0,65
Matas decíduas, folhagem caduca	0,35-0,60
Matas coníferas, folhagem permanente	0,25-0,50
Pomares	0,15-0,40
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15-0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10-0,30

Foi realizada uma média ponderada com relação à área para estimativa do valor médio de C. Este procedimento foi realizado para estimativa do C (atual) e também foi estimada a ocupação futura a partir dos dados do projeto de implantação do Campus. A vazão de pico foi estimada pelo método racional considerando a ocupação atual e futura, para períodos de retorno de 5, 10 e 50 anos. Finalmente foram calculados os volumes do escoamento superficial direto, para a situação atual e futura, para período de retorno de 5, 10 e 50 anos e os resultados foram comparados.

Para a definição dos cenários foi simulada a ocupação do *campus*. Utilizou-se ferramentas computacionais de programas de desenho assistido por computador, para determinar a área ocupada (A_a) e a área total da universidade (A_t). A área total ocupada, representa a zona impermeável, ou seja, os prédios construídos e os

arruamentos. A área total da universidade é soma da zona impermeável com a zona que permite a infiltração da água. Com esta estimativa realizada foi determinado o coeficiente de escoamento superficial para cada cenário.

RESULTADOS

Os cenários obtidos para simulação do aumento da vazão de pico e do volume escoado superficialmente são apresentados nas Figuras 10, 11 e 12. Estimou-se que o coeficiente de escoamento superficial (C) da ocupação atual possui o valor de $C_1=0,08$, do futuro próximo de $C_2=0,19$ e do futuro avançado de $C_3=0,32$.

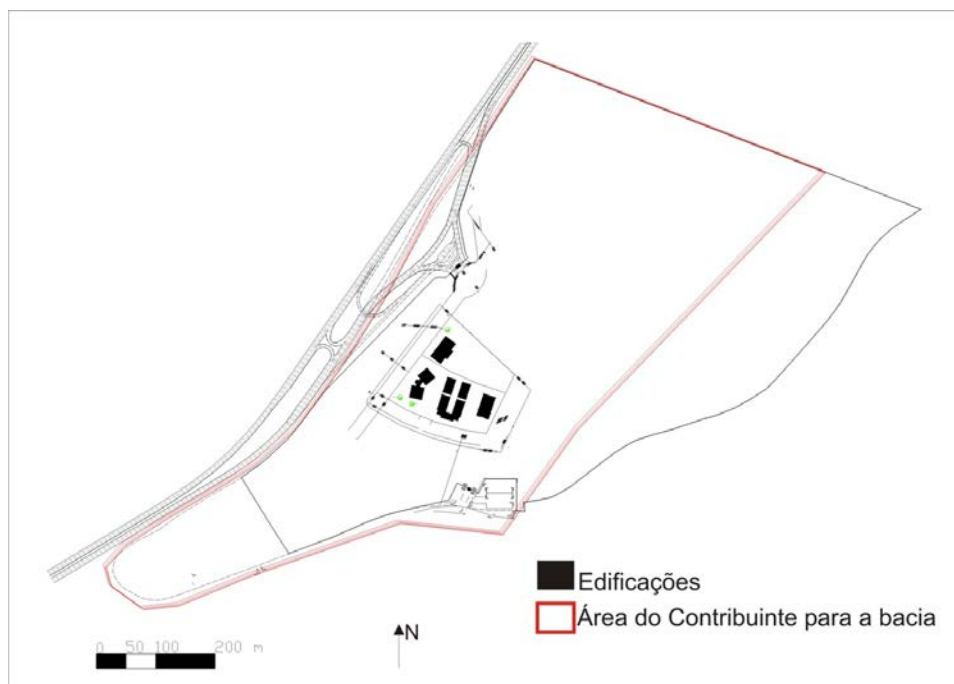


Figura 10 - Ocupação atual do campus.

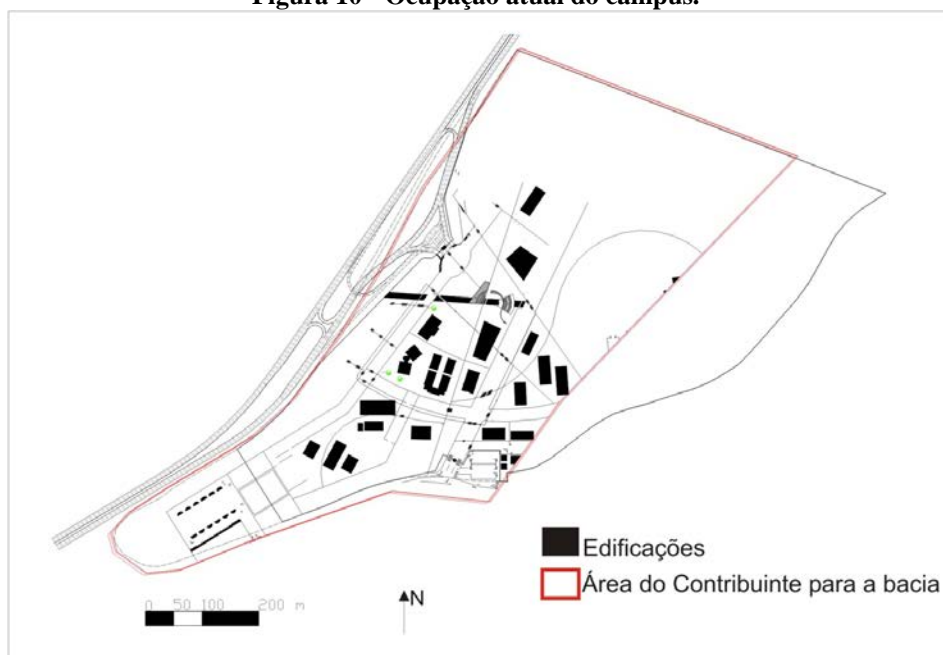


Figura 11 - Ocupação do futuro próximo do campus (10 anos)

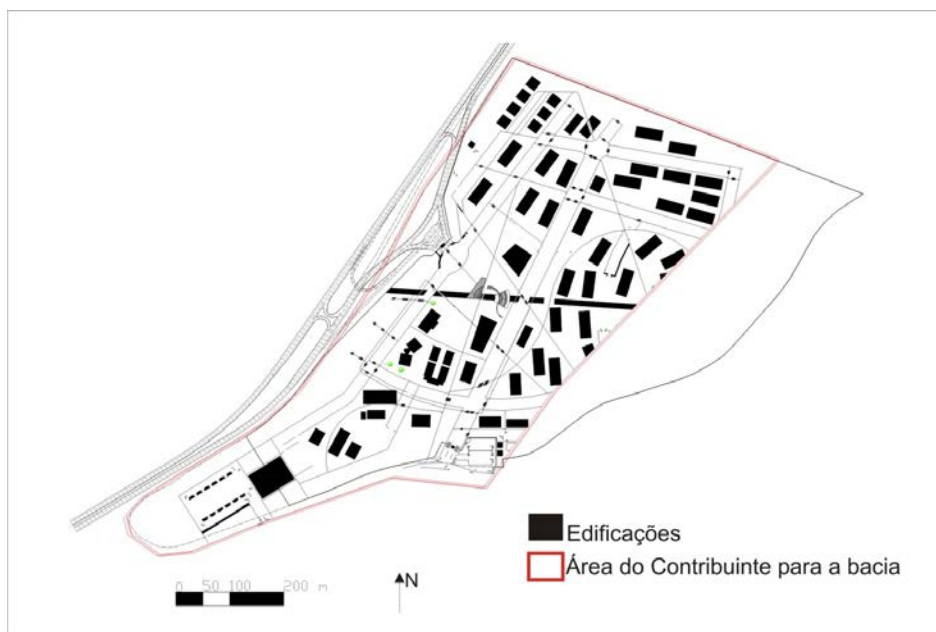


Figura 12 - Ocupação do futuro avançado do campus (50 anos).

Os parâmetros K, a, b e c obtidos foram os seguintes: K=1012,588; a=0,200; b=10,372; c=0,797. Deste modo a equação IDF obtida é apresentada na Equação 1

$$i = \frac{1012,588 \cdot T^{0,2}}{(t_c + 10,372)^{0,797}} \quad (1)$$

A distância estipulada (L) que a água escoada irá percorrer na área do *campus* até a seção de deságue, é de aproximadamente 1,044 km. A diferença de nível (H) é de 55m. Substituindo as variáveis L e H encontradas na Equação de Kirpich, resultou-se em um tempo de concentração (t_c) igual à aproximadamente 13 minutos.

Para simulação dos cenários, com o objetivo de fornecer 3 diferentes intensidades máximas média de precipitação (I), utilizou-se os seguintes valores de tempo de retorno (T): T₁=5 anos, T₂=10 anos, T₃=50 anos. Sendo assim, utilizando a equação IDF para os valores de T₁, T₂ e T₃ de cada cenário, obteve-se os seguintes valores de intensidade de precipitação I.

1º cenário: I₁=113 mm/h;

2º cenário: I₂=130 mm/h;

3º cenário: I₃=180 mm/h.

A área total do *campus* obtida foi de 55,7 ha. Porém a área que contribui para o escoamento superficial do *campus* (A_c) é de 41,7 ha, área do *campus* inserida na bacia do Ribeirão Irara. A vazão máxima do escoamento superficial obtida com os dados A_c, I₁, I₂, I₃ e C₁, C₂ e C₃, calculou-se por fim a vazão máxima de escoamento superficial no *campus* (Q) para cada cenário, através da Equação (3) do método racional representado no Tabela 3:

Tabela 3 - Cálculo das vazões de pico para os nove cenários estipulados.

Tempo de retorno (anos)	Coeficiente de escoamento superficial (C)		
	C ₁ (atual)	C ₂ (f. próximo)	C ₃ (f. avançado)
T ₁	Q ₁ = 1,05 m³/s	Q ₁ = 2,49 m³/s	Q ₁ = 4,20 m³/s
T ₂	Q ₂ = 1,21 m³/s	Q ₂ = 2,86 m³/s	Q ₂ = 4,82 m³/s
T ₃	Q ₃ = 1,66 m³/s	Q ₃ = 3,95 m³/s	Q ₃ = 6,66 m³/s

A Figura 13 mostra como se comportaria o escoamento superficial com o aumento ou diminuição da impermeabilização do *campus*, para os cenários estudados.

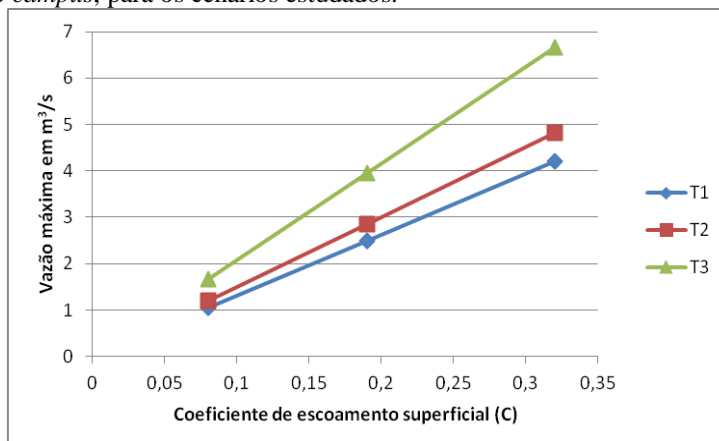


Figura 13 - Vazão de pico(Q) em função do coeficiente de escoamento Superficial (C), para os tempos de retorno(T) de 5, 10 e 50 anos.

Observa-se que a diferença da vazão máxima entre os diferentes períodos de retorno aumenta com o aumento do coeficiente de escoamento superficial. Observa-se que com o aumento da urbanização, de C1 para C4, para cada período de retorno, a vazão máxima aumentou 300%.

Considerando os coeficientes de escoamento superficial C1, C2 e C3, foram simulados os volumes de escoamento superficial para a chuva de projeto (tempo de duração da chuva de 13 minutos) para os períodos de retorno T1, T2 e T3. A Tabela 4 apresenta os valores e a Figura 14 mostra estes resultados graficamente.

Tabela 4 - Valores dos volumes escoados para cada cenário estipulado.

Tempo de retorno (anos)	Volumes Escoados Superficialmente (m³)		
	C ₁ (atual)	C ₂ (f. próximo)	C ₃ (f. avançado)
5	819	1946	3277
10	941	2235	3764
50	1298	3084	5193

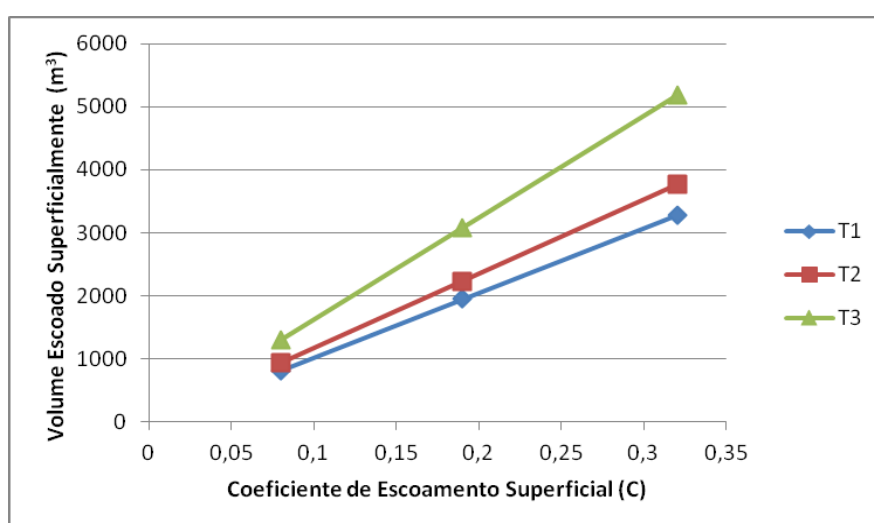


Figura 14 – Volume escoado superficialmente em função do coeficiente de escoamento Superficial (C), para os tempos de retorno(T) de 5, 10 e 50 anos.

Observa-se na Figura 14 que a diferença do volume escoado superficialmente e os diferentes períodos de retorno aumenta com o aumento do coeficiente de escoamento superficial. Observa-se ainda que com o aumento da urbanização, de C1 para C4, para cada período de retorno, a vazão máxima aumentou 300%.

CONCLUSÕES

A simulação da ocupação do *Campus* Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas permitiu determinar o coeficiente de escoamento superficial para os cenários futuros. O coeficiente de escoamento superficial para a situação atual resultou em 0,08 e para os cenários de futuro próximo e futuro distante em 0,19 e 0,32 respectivamente. Com este trabalho foi possível estimar o aumento da vazão de pico e do volume escoado superficialmente, provocados pela urbanização futura da área, da ordem de 300%, função direta do aumento do coeficiente superficial.

O resultado deste trabalho pode contribuir para a elaboração do plano de expansão da área em estudo, permitindo que seja considerada a gestão da água como parte integrante da ocupação da área.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPEMIG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde, Fundação Nacional da Saúde. Manual de saneamento, engenharia de saúde pública, orientações técnicas. 3ª Ed. Brasília, 2006, pg. 166-167.
2. FILHO, C. L. M. Introdução a Geologia de Engenharia. 3ª Ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2008, pg. 156.
3. GPRH-Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. Softwares. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>
4. MORAES, F. T. Zoneamento geoambiental do Planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir da análise fisiográfica e pedoestratigráfica. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro: 2007. Acessível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/>
5. PAIVA, J. B. D., DIAS DE PAIVA, E. M. C. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas, ABRH-UFSM, Porto Alegre, Ed. Universitária.
6. PINTO, Nelson L. de Sousa, HOLTZ, Antonio Carlos Tatit, MARTINS, José Augusto, GOMIDI, Francisco Luiz Sibut. Hidrologia Básica, Editora Blucher, 1976.
7. RIGHETTO, A. M. Manejo de águas pluviais urbanas. 5ª Edital do PROSAB: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.
8. TUCCI, Carlos E. M. (org.), et. al, Coleção ABRH – Vol. 4 Hidrologia: Ciência e Aplicação – 4ª Edição. Editora UFRS, Edusp, 2004.
9. VILLELA, S. M.; MATTOS A. Hidrologia aplicada. São Paulo: Mc Graw-vill do Brasil, 1975.