



COMPARAÇÃO DE VALORES DO PARÂMETRO CURVE NUMBER (CN) OBTIDOS A PARTIR DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBSERVADA E METODOLOGIA INDIRETA NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE - MG

Julio Fracarolli Canholi¹; Natália da Silva²; Ana Paula Fernandes Viana Furtado³

RESUMO

Uma das metodologias mais aceitas e utilizadas para transformação chuva-vazão corresponde à desenvolvida pelo *Natural Resources Conservation Service* (NCRS). Nela, o parâmetro *Curve Number* (CN) representa as propriedades de infiltração da superfície, sendo categorizado por tipo de cobertura da terra de acordo com o grupo hidrológico do solo e condições anteriores de umidade, variando de 0 a 100, sendo tão maior quanto mais impermeável a área. O valor de CN é utilizado no cálculo da precipitação efetiva, correspondente à parcela da chuva convertida em escoamento superficial, impactando diretamente nas vazões resultantes das simulações. Nesse sentido, torna-se importante desenvolver e avaliar metodologias de cálculo do CN com vistas à melhoria da precisão das vazões simuladas. Atualmente o município de Belo Horizonte possui uma metodologia de cálculo do CN baseado no Zoneamento Municipal. Para verificação da confiabilidade de tal método foram confrontados os valores de CN obtidos de 14 eventos de chuva entre 2019 e 2021 na bacia do Córrego Capão, afluente do Córrego Vilarinho, ponto importante de inundações no município, com o valor de CN ponderado obtido através da metodologia adotada pela Prefeitura de Belo Horizonte (PBH). Os resultados indicaram um valor de CN médio para eventos observados de 84, enquanto através do método indireto o CN resultante foi de 87. Das análises realizadas considera-se que a metodologia atual confere resultados bastante condizentes com a realidade na região de estudo.

Palavras-Chave – Transformação Chuva-vazão; Número da Curva; Método SCS.

ABSTRACT

One of the most accepted and used rainfall-runoff methodology is the one developed by Natural Resources Conservation Service (NRCS). In this methodology, the Curve Number parameter represents the surface infiltration properties, being categorized by land cover, hydrological soil group and antecedent soil moisture, varying from 0 to 100, being as big as the most impermeable the area is. The CN's value is used to calculate the effective precipitation, which corresponds to the portion of the rain that is converted in runoff. In that regard, becomes important to develop and evaluate CN estimation methods to improve the accuracy of the resulting flows. The municipality of Belo Horizonte currently uses a method to calculate CN which is based on urban zoning. To evaluate the reliability of this method this paper confronted CN values obtained from 14 rainfall events between 2019 and 2021 in Capão Creek basin, a tributary of Vilarinho Stream, known as an important area subject to flooding, to the weighted value obtained by municipal zoning's method. The results indicated a mean value of observed events that corresponds to 84, while the indirect

1) HIDROSTUDIO ENGENHARIA, Rua Cardoso de Almeida, 167, cj 101. (11) 3670-1763. julio@hidrostudio.com.br

2) HIDROSTUDIO ENGENHARIA, Nataliasilva@hidrostudio.com.br

3) Prefeitura de Belo Horizonte, anapaula.fvf@pbh.gov.br



method resulted 87. The analysis indicated that the current methodology produces values that are consistent with reality in the study area.

Keywords – Rainfall-runoff Transformation; Curve Number; SCS Method.

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de vazões de cheia para estudos hidráulicos de dimensionamento de estruturas e amortecimento de cheias em pequenas bacias urbanas comumente se dá por meio do desenvolvimento de modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão. Um dos métodos mais utilizados e amplamente aceitos para pequenas bacias urbanas foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), atual *Natural Resources Conservation Service* (NCRS), na década de 1980.

Neste modelo, a retenção de parte da chuva na bacia e a infiltração são os principais fatores que determinam a quantidade de chuva que se converte em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva (PE). A estimativa da PE considera o tipo hidrológico do solo, sua condição antecedente e seu uso, incluindo representados pelo parâmetro *Curve Number* (CN), que varia de 0 a 100. Quanto maior o CN, maior a parcela da precipitação que escoar. Com o total precipitado em cada intervalo, calcula-se a chuva excedente, que se torna escoamento superficial direto. O CN é uma estimativa média das condições citadas, e seu cálculo não leva em conta a intensidade e duração do evento (USDA, 1986).

Segundo Cunha *et al.* (2015) apesar da praticidade e ampla aceitação da metodologia, algumas estimativas do parâmetro CN podem resultar em vazões superestimadas em relação à escala das bacias e a observação de enchentes locais. Assim, torna-se importante desenvolver e avaliar metodologias de cálculo do CN com vistas à melhoria da precisão dos valores das vazões resultantes. Nesse sentido, para orientação de projetos de drenagem alguns municípios têm desenvolvido manuais que incluem metodologias de determinação do CN. A Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), através da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), possui um documento denominado “Procedimentos para Elaboração e Apresentação de Projetos de Infraestrutura” publicada inicialmente no ano de 2003, que contempla os valores do parâmetro CN a serem adotados por grupo hidrológico do solo e categorias do Zoneamento Municipal, instituídas pela Lei N°7.166, de 27 de agosto de 1996. Com a revogação da referida lei, após a aprovação do novo Plano Diretor de Belo Horizonte (Lei N°11.181/2019, de 8 de agosto de 2019), encontra-se em fase de desenvolvimento a atualização do documento.



Considerando-se o exposto e com vistas à avaliação da aplicabilidade da metodologia vigente em Belo Horizonte para estimativa do CN, foram levantados eventos de chuva para análise do escoamento superficial na área através dos dados de monitoramento, posteriormente confrontados com valores calculados conforme instrução técnica da SUDECAP (2003).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

De maneira geral, para a determinação do CN, foram obtidos dados de monitoramento na área de interesse a partir dos quais calculou-se volumes precipitados e escoados (*runoff*) e posteriormente o parâmetro de interesse, CN. Na sequência, os valores observados foram confrontados com a metodologia atualmente adotada nas instruções técnicas do município.

2.1. Obtenção de Dados de Monitoramento

Inicialmente foram selecionados eventos de chuva intensa na bacia do Córrego Capão, afluente do Córrego Vilarinho, no posto de monitoramento Estação 1, localizado na região de Venda Nova, no município de Belo Horizonte. A área de drenagem nesse ponto é de 4,64 km². No local da estação, caracterizado por uma travessia sob a Av. Padre Pedro Pinto, existe também a medição dos níveis d'água no emboque da estrutura hidráulica. Os eventos selecionados para avaliação do escoamento superficial a montante da estação de monitoramento correspondem aos anos de 2019, 2020 e 2021, ocorreram durante o período úmido e possuem alturas de precipitação superiores a 20 mm (Tabela 1), de acordo com as limitações do método (USDA, 1986).

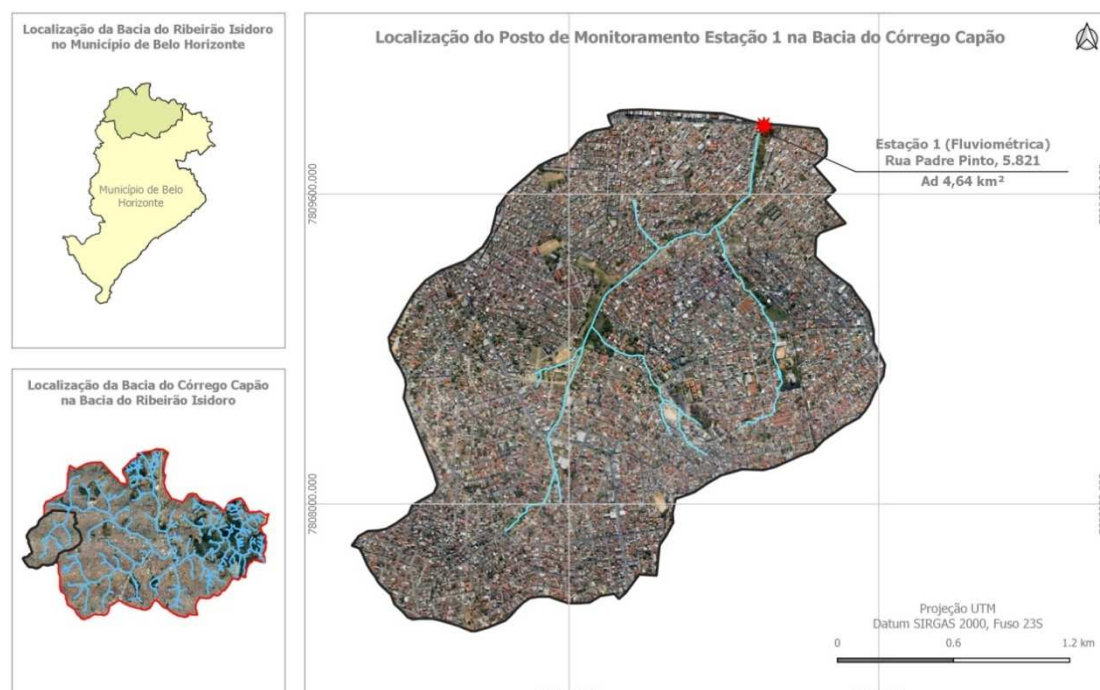


Figura 1 – Localização do Posto de Monitoramento utilizado (Estação 1)

Tabela 1 – Eventos de Chuva Utilizados.

Evento	Data	Chuva P (mm)
1	17/02/2019	47,60
2	26/02/2019	34,80
3	01/03/2019	41,40
4	02/03/2019	30,40
5	10/03/2019	23,80
6	01/01/2020	117,00
7	03/01/2020	41,00
8	09/01/2020	42,00
9	25/01/2020	50,60
10	06/02/2020	49,00
11	21/03/2020	133,80
12	02/01/2021	44,60
13	03/02/2021	164,00
14	13/02/2021	23,60

2.2. Cálculo do Parâmetro CN através da Relação entre Total Precipitado e Escoado

A precipitação efetiva, ou precipitação excedente, corresponde à parcela da chuva convertida em escoamento superficial. No método SCS a estimativa desse valor é obtida relacionando-se a

precipitação ao valor de CN. Nesse sentido, para determinação dos valores de CN a partir de dados de chuva observados utilizou-se a relação descrita, conforme Equação 1.

$$PE = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50,8\right)^2}{\left(P - \frac{20320}{CN} - 203,2\right)} \quad (1)$$

Onde PE é a precipitação excedente (mm), P é a precipitação (mm) e CN é o parâmetro *Curve Number*.

A Figura 2 apresenta a relação gráfica entre os totais precipitados e escoados para CNs variando de 40 a 100.

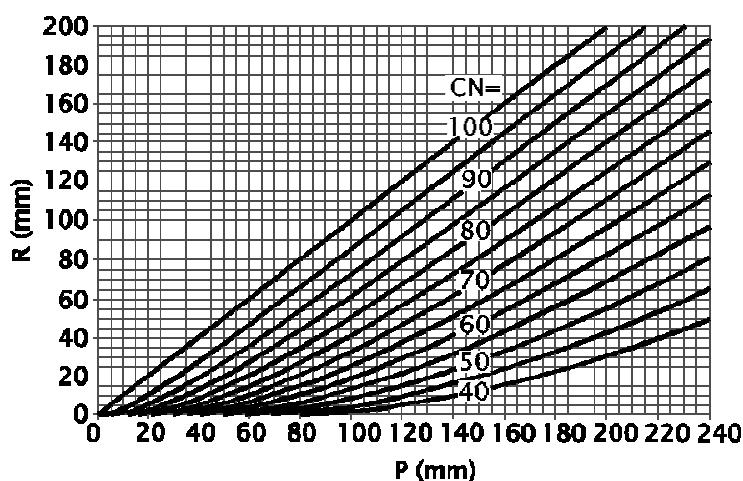


Figura 2 – Correlação entre CN, Total Precipitado P (mm) e Escoado R (mm) Canholi (2015)

A partir dos dados de monitoramento foram calculados os volumes precipitados sobre a bacia para cada evento de chuva. Considerou-se precipitação homogênea sobre a área, que possui 4,64 km².

O volume escoado (*runoff*) foi obtido a partir do cálculo das vazões de acordo com os níveis observados no ponto de medição da Estação 1 para cada intervalo de 10 minutos, e em seguida integralizado para o evento. A seção onde é realizado o monitoramento dos níveis corresponde a um bueiro sob a Rua Padre Pinto e possui geometria ovóide, conforme Figura 3.

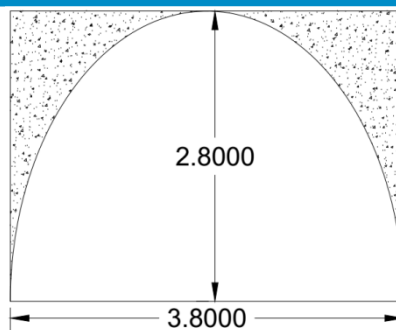


Figura 3 – Seção do Bueiro sob a Rua Padre Pinto

A declividade da galeria é de 1,42%, superior à declividade crítica (0,55%). A mesma apresenta controle hidráulico de entrada. A Figura 4, a seguir, apresenta a curva de descarga da estrutura utilizada para a conversão dos níveis observados em vazões.

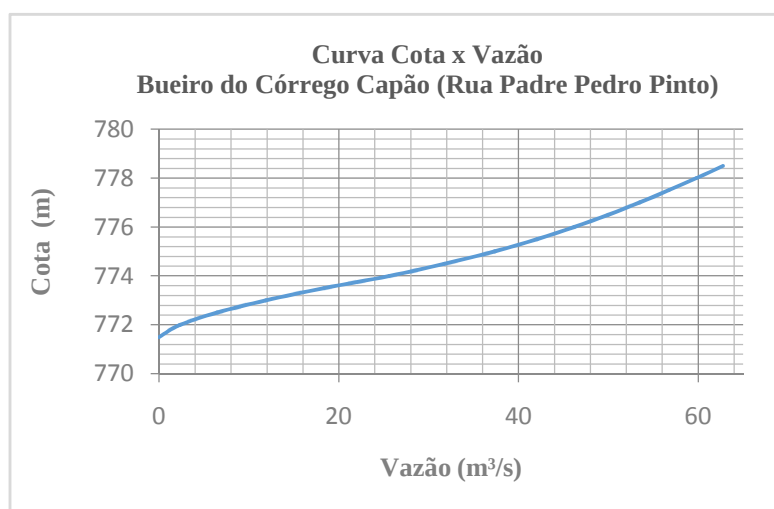


Figura 4 – Curva Cota x Vazão do Bueiro a Montante da Estação 1

O critério de parada para o cálculo do *runoff* foi o retorno do nível d’água para as condições iniciais do evento (N.A inicial), desconsiderando o escoamento de base.

2.3. Estimativa do CN através da Metodologia Utilizada no Município de Belo Horizonte

O método apresentado pela SUDECAP (2003) calcula o CN com base no Zoneamento Municipal. Uma estimativa que vem sendo utilizada para adequação às categorias do novo zoneamento da legislação de 2019, é apresentada na tabela a seguir.

Tabela 2 – Valores de CN conforme Zoneamento Municipal.

Código da Zona (1996)	Código da Zona (2019)	Descrição da Zona (2019)	Grupo Hidrológico		Adotado	IMP (%)
			B	D		
ZPAM	PA-1*	Zona de Preservação Ambiental 1	55-73	77-86	64	5
ZP-1	PA-1	Zona de Preservação Ambiental 1	60-75	80-87	68	30
ZP-2	PA-2	Zona de Preservação Ambiental 2	72	82	72	70
ZP-3	PA-3	Zona de Preservação Ambiental 3	78	85	78	70
ZAR-1	OM-1	Zona de Ocupação Moderada 1 e 2	86	88	86	80
	OM-2					
ZAR-2	OM-3	Zona de Ocupação Moderada 3 e 4	87	89	87	80
	OM-4					
ZA	-	-	88	90	88	80
ZAP	OP-1	Zona de Ocupação Preferencial 1, 2 e 3	88	90	88	80
	OP-2					
	OP-3					
ZHIP	-	-	92	94	92	80
ZCBA	-	-	92	94	92	80
ZCBH	-	-	92	94	92	80
ZCVN	-	-	92	94	92	80
ZEIS	ZEIS-1	Zona Especial de Interesse Social 1 e 2	85	90	85	70
	ZEIS-2					
	AEIS-1	Área Especial de Interesse Social 1 e 2				
	AEIS-2					
ZE	AGEUCS	Área de Grandes Equip. de Uso Coletivo	60-90	80-94	75	30-80

* ZPAM pode ser associada à PA-1 nos casos de áreas públicas sem construções. Para terrenos particulares deve ser observado o disposto na Lei N°11.181/2019.

Fonte: Adaptado de SUDECAP (2003)

Para estimativa do CN de acordo com as categorias do Zoneamento Municipal foram consideradas as características de uso e ocupação do solo na bacia (Figura 5) e realizada classificação das áreas da bacia de acordo com as categorias de zoneamento (Figura 6). Posteriormente efetuou-se cálculo do CN ponderado de acordo com a área ocupada por cada categoria avaliada.

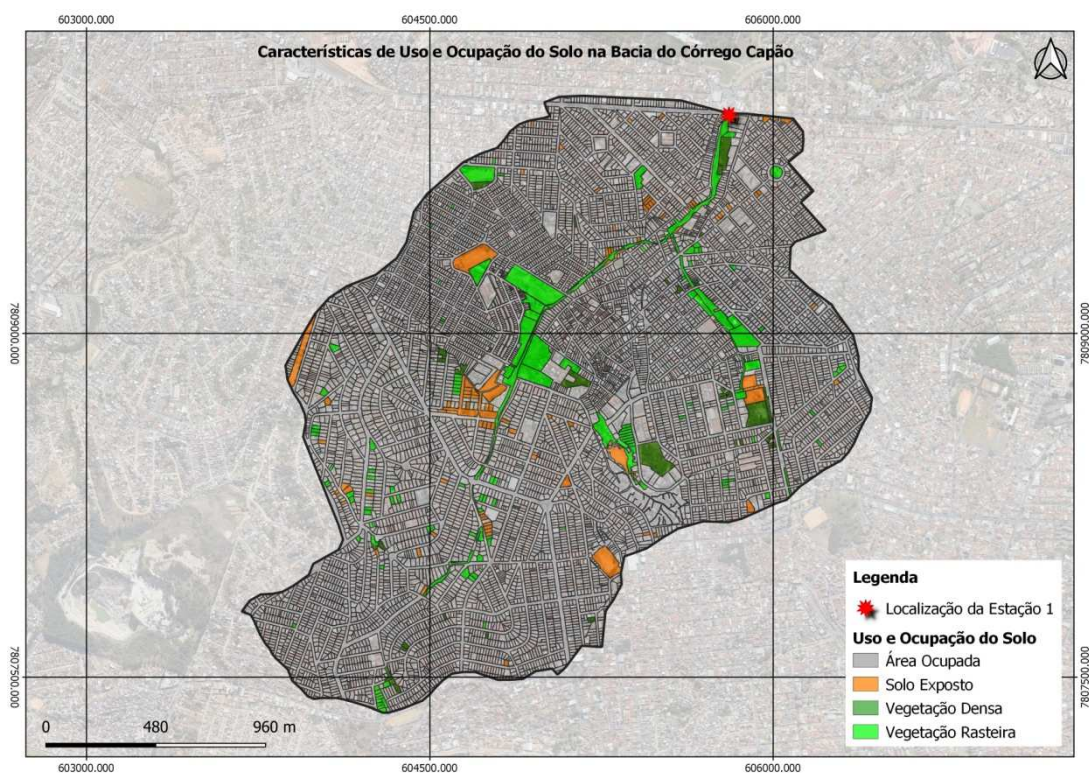


Figura 5 – Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Córrego Capão

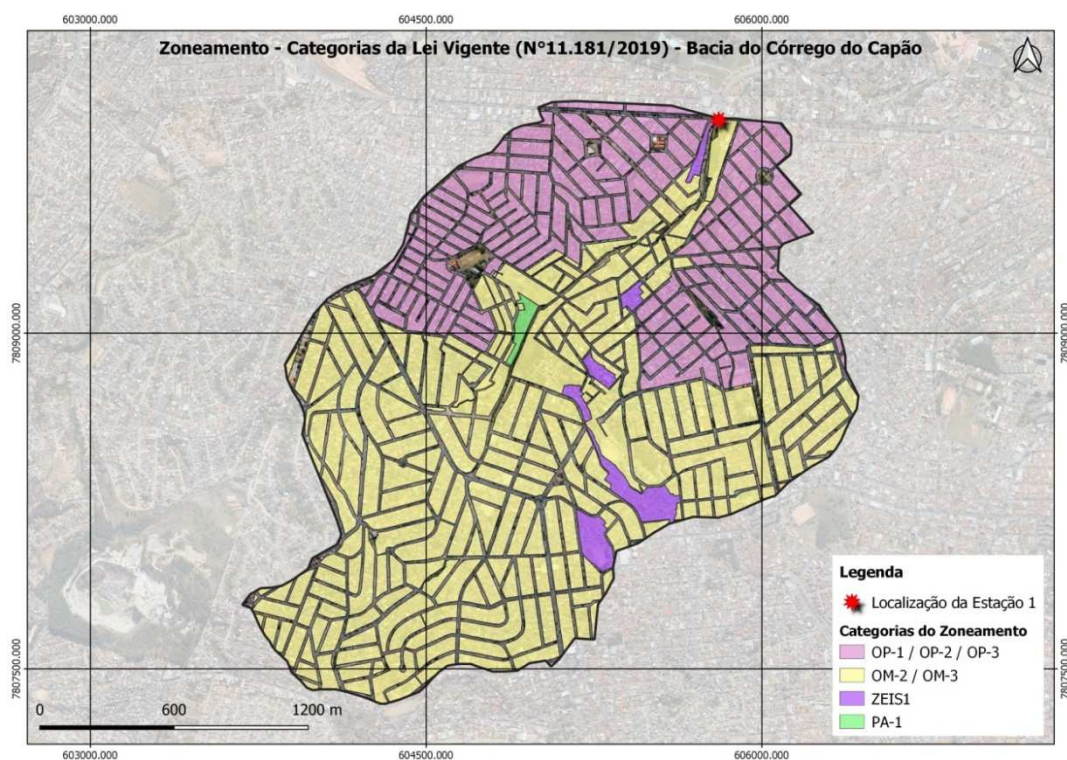


Figura 6 – Zoneamento na Bacia do Córrego Capão

3. RESULTADOS

A estimativa dos valores de CN efetuada para os 14 eventos de chuva avaliados resultou nos dados apresentados na Tabela 3 e na Figura 7, a seguir.

Tabela 3 – Resultados das Estimativas de CN para os Eventos de Chuva Analisados.

Evento	Data	Chuva P (mm)	Volume Precipitado (m³)	Volume Escoado (m³)	Chuva Efetiva R (mm)	CN
1	17/02/2019	47,6	220.864	85.195	18,36	85
2	26/02/2019	34,8	161.472	36.461	7,86	83
3	01/03/2019	41,4	192.096	80.598	17,37	88
4	02/03/2019	30,4	141.056	31.923	6,88	85
5	10/03/2019	23,8	110.432	16.784	3,62	85
6	01/01/2020	117,0	542.880	262.912	56,66	76
7	03/01/2020	41,0	190.240	84.940	18,31	89
8	09/01/2020	42,0	194.880	52.531	11,32	82
9	25/01/2020	50,6	234.784	81.202	17,50	83
10	06/02/2020	49,0	227.360	95.032	20,48	86
11	21/03/2020	133,8	620.832	336.429	72,51	77
12	02/01/2021	44,6	206.944	93.917	20,24	88
13	03/02/2021	164	760.960	372.407	80,26	70
14	13/02/2021	23,6	109.504	42.965	9,26	92

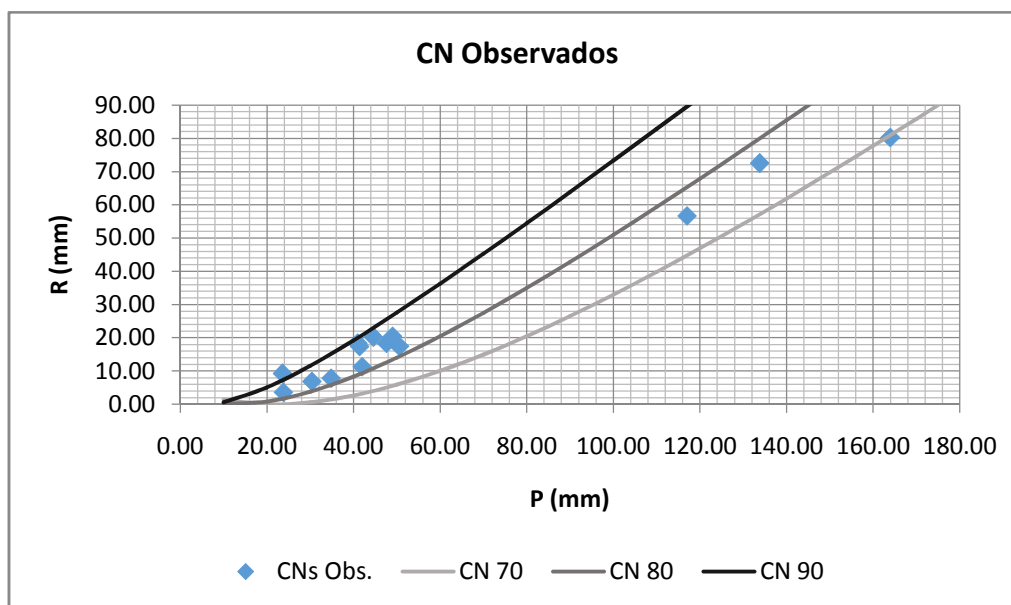


Figura 7 – Dispersão dos Resultados

Os valores obtidos variam entre 70 e 92, com valor médio de CN 84, condizente com as características de uma bacia urbanizada. Esse valor está compatível aos resultados de Rosa et al.

(2021), que estimaram CN considerando a ocupação atual de cada lote em Belo Horizonte, encontrando valores para essa bacia que variaram de 72 a 88.

O cálculo ponderado do CN através do método atualmente adotado pelo procedimento da SUDECAP (2003) é apresentado na Tabela 4 e indica valor de 87, valor bastante próximo aos valores observados na Estação 1.

Tabela 4 – Resultado do CN para Área afluente à Estação 1 pela Metodologia do Zoneamento Municipal.

Bacia	Área (km ²)	ZAP			ZPAM			ZAR-2			ZEIS			CN Ponderado
		Área (km ²)	%	CN	Área (km ²)	%	CN	Área (km ²)	%	CN	Área (km ²)	%	CN	
Córrego Capão	4,6	1,39	30,2	88	0,02	0,33	64	3,13	67,93	87	0,11	2,30	85	87

4. CONCLUSÕES

A análise aqui realizada confrontou o valor médio de CN resultante do estudo de 14 eventos de chuva entre 2019 e 2021 na bacia do Córrego Capão, com o CN calculado através da metodologia estabelecida pela SUDECAP (2003), adaptada à legislação municipal de 2019. Os resultados indicam que o valor médio obtido por dados observados, correspondente a um CN de 84, assemelha-se ao oriundo da metodologia indireta da SUDECAP (2003), que resultou em CN 87.

Dessa forma, com base nas análises realizadas, observou-se que a metodologia da PBH forneceu estimativas de valores de CN condizentes com a realidade para a bacia do Córrego Capão. Em andamento aos estudos aqui apresentados, recomenda-se a determinação da curva-chave no bueiro sob a Av. Padre Pedro Pinto, por meio de campanhas hidrométricas de forma a aumentar a precisão dos cálculos. Recomenda-se, ainda, a atualização de valores de CN a serem utilizados em estudos e projetos em Belo Horizonte, considerando a expansão urbana prevista na legislação atual.

REFERÊNCIAS

- CANHOLI, A. P. (2015). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. Oficina de Textos, São Paulo, 302 p.
- CUNHA, S.F.; et.al. (2015). “Avaliação da Acurácia dos Métodos do SCS para Cálculo da Precipitação Efetiva e Hidrogramas de Cheia”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.20, n. 4, pp. 837-848.
- ROSA, D. W. B. et al. (2021). *Relatório sobre o mapeamento dos valores de CN e coeficiente de escoamento superficial nos cenários atual e futuro*.
- SUDECAP (2003). *Procedimento para Apresentação e de Projetos de Infraestrutura*.
- USDA (1986). *Urban Hydrology for small watersheds*. NRCS. Technical Release 55.