



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

## EFEITOS DA MUDANÇA DO USO DA TERRA SOBRE A VAZÃO MÁXIMA NO CÓRREGO MATILDE-CUÊ, MARECHAL CÂNDIDO RONDON, PARANÁ

*EFFECTS OF LAND USE CHANGE ON PEAK DISCHARGE IN MATILDE-CUÊ STREAM,  
MARECHAL CÂNDIDO RONDON, PARANÁ STATE, BRAZIL*

(Recebido em 23-11-2018; Aceito em: 02-05-2019)

**Oscar Vicente Quinonez Fernandez**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná *campus* de Marechal Cândido Rondon

oscar.fernandez@unioeste.br

### Resumo

O objetivo do trabalho é estudar a variação temporal da vazão máxima no córrego Matilde-cuê que drena a área urbana de Marechal Cândido Rondon, Oeste do Paraná. O método empregado é o Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS), um modelo hidrológico de transformação de chuvas em vazões. As vazões máximas foram simuladas para condições normais de umidade (NII) em dois cenários temporais: ano de 1950, caracterizado pela floresta nativa ainda intacta na bacia e ano de 2013, marcado pela retirada total da floresta nativa e predomínio da agricultura e urbanização. As vazões foram estimadas para diversos tempo de duração da chuva e tempo de retorno da precipitação de 2, 5, 10 e 20 anos. A área de drenagem da bacia é de 6,165 km<sup>2</sup> e em 2013, a área urbanizada alcançou 64,3%, áreas agrícolas 24,5%, pastagens 2,2% e a vegetação 9%. Os resultados mostram expressivo aumento da vazão máxima entre 1950 e 2013: as vazões máximas para precipitações com Tr=2 anos aumentou 103% e para Tr=20 anos o incremento foi de 66,8%. As precipitações curtas e frequentes geraram maior aumento porcentual da vazão máxima do que chuvas prolongadas e infrequentes, causando reiteradas enchentes e alagamentos, que podem ser agravadas pela crescente urbanização da bacia.

**Palavras-chave:** Urbanização; Enchente; Simulação de vazão; Desmatamento.

### Abstract

*The objective of this work is to study the temporal variation of peak discharge in the Matilde-cuê stream that drains the urban area of Marechal Cândido Rondon, Western of Paraná state, Brazil. The method used is the Ven Te Chow - Soil Conservation Service (SCS), a hydrological model for transforming rains into discharge. The peaks discharges were simulated for two temporal scenarios: 1950 characterized by native forest still intact and 2013, marked by the total withdrawal of native forest and predominance of agriculture and urbanization. The discharges were estimated for several rain*

*duration times ( $T_r$ ) and rainfall return time of 2, 5, 10 and 20 years. The drainage area of the basin is 6,165 km<sup>2</sup> and in 2013, the urbanized area reached 64.3%, agricultural areas 24.5%, pastures 2.2% and vegetation 9%. The results show a significant increase in the peak discharge in the two analyzed periods: discharges rates for  $T_r = 2$  years increased by 103% and for  $T_r = 20$  years increased by 66.8%. The short and frequent precipitations generated a greater percentage increase of the discharge rate than prolonged and infrequent rains, causing repeated pluvial flooding events, which may be aggravated by the increasing urbanization in the watershed.*

**Keywords:** Urbanization; Flood; Discharge simulation; Deforestation.

## Introdução

A ocupação antrópica, ocasiona a redução de florestas e campos naturais e o aumento de áreas cultivadas e urbanizadas. Essas alterações, afetam diretamente os cursos hídricos e a estrutura do solo. Sem a vegetação, o solo perde capacidade de infiltração gerando maior volume de escoamento superficial.

A região Oeste do estado do Paraná sofreu uma intensa ocupação antrópica desde a década de 1950, principalmente com a implantação e expansão das atividades agropecuárias. Como consequência, a floresta original foi removida drasticamente, até mesmo nas margens de rios e córregos, gerando uma alteração nas condições hidrológicas nas bacias hidrográficas.

A colonização do extremo Oeste do Paraná começou na primeira metade do século XX com a *Compañia de Maderas del Alto Paraná*, empresa formada por ingleses residentes em Buenos Aires e visava a exploração de erva mate e madeira (FOWERAKER, 1982). As terras pertencentes a esta companhia, foram adquiridas pela imobiliária gaúcha Industrial Madeireira e Colonizadora Rio Paraná S.A. (MARIPÁ) em 1946 (WACHOWICZ, 1987). A venda das terras para colonizadores catarinenses e gaúchos começou em 1949, permitindo a ocupação sistemática da região a partir de 1951 (NIEDERAUER, 1955; SILVA *et al.*, 1988 *apud* GÜTHS, 2000).

O município de Marechal Cândido Rondon localizado no extremo oeste do Paraná, apresentou uma crescente e contínua urbanização nas últimas décadas (FERRARI, 2009; JOHANN e LINDINO, 2018). O crescimento urbano gerou uma ocupação desordenada, avançando do interflúvio em direção as redes de drenagem (PFLUCK, 2009).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho é vislumbrar a resposta hidrológica de uma bacia da região às mudanças do uso da terra, tendo como referência a vazão máxima. O estudo é realizado na bacia do córrego Matilde-cuê, umas das bacias que drenam a área urbana de Marechal Cândido Rondon (PR) em dois recortes temporais: ano de 1950 (período de pré-colonização com a floresta original ainda intacta) e o ano de 2013 (período com predomínio de áreas urbanizadas e agrícolas). O método hidrológico empregado é o Ven Te Chow- Soil Conservation Service (SCS). O método SCS,

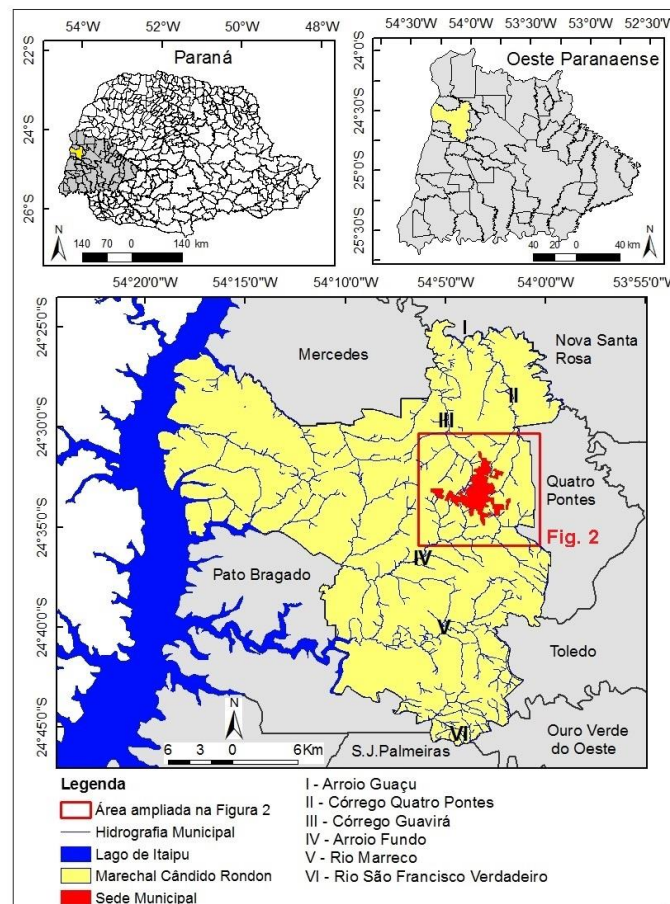
desenvolvido em 1950, simula a transformação da chuva em vazão, se baseia na teoria do hidrograma unitário e seu uso é indicado em bacias com área variando de 3 a 250 km<sup>2</sup> (RAMOS *et al.*, 1999). O método, amplamente utilizado no Brasil, permite simular a chuva crítica ou a vazão de projeto e são empregados na previsão de enchentes e no planejamento de obras hidráulicas em bacias que não possuam estações fluviométricos (FENDRICH, 2008).

## Materiais e método

### Área de estudo

O município de Marechal Cândido Rondon está situado na região Oeste do Paraná nos domínios da bacia hidrográfica do Paraná III que abarca 8.389 km<sup>2</sup> e inclui os cursos fluviais que desembocam na margem esquerda do reservatório da Hidrelétrica Binacional de Itaipu (Figura 01) (SEMA, 2013). A área do município é de 748 km<sup>2</sup>, a população estimada para 2018 é de 52.379 habitantes e a economia é baseada nas atividades agrícola (soja e milho) e pecuária (suínos e produção de leite) (IBGE, 2018).

**Figura 01:** Localização do município de Marechal Cândido Rondon, na região Oeste do estado do Paraná.



Fonte: Calzavara (2015).

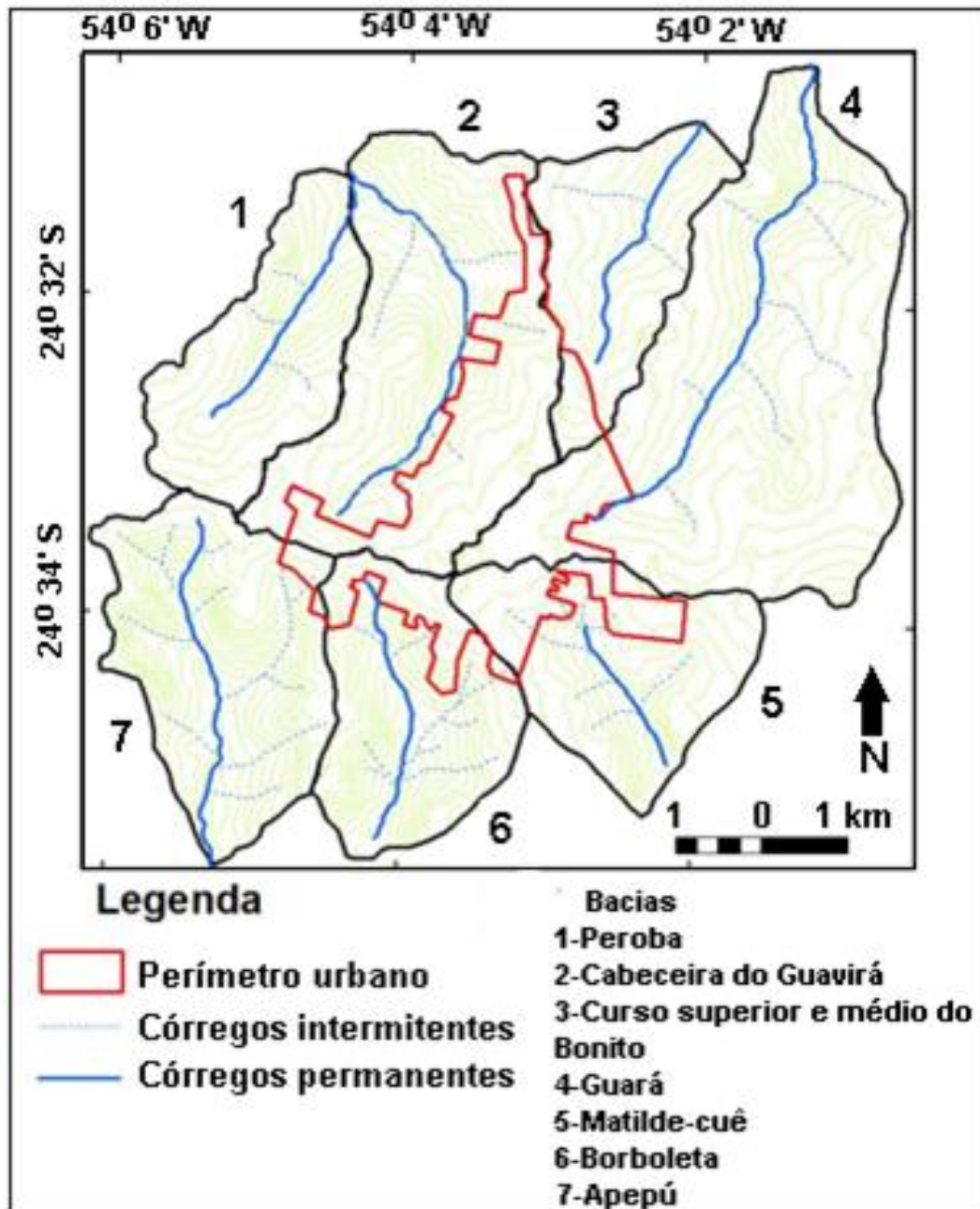
O clima no município de Marechal Cândido Rondon, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cfa, clima subtropical mesotérmico, subtropical úmido (IAPAR, 1994), a altitude média é de 420 m e o relevo é constituído por 15% de áreas planas, 45% de áreas com suave ondulação, 30% ondulado e 10% com forte ondulado (MORESCO, 2007).

A vegetação original da região é a Floresta Estacional Semidecidual Submontana. A peroba (gênero *Aspidosperma*) e o ipê (gênero *Tabebuia*) são as espécies mais características, dominando um dossel elevado (30-40 m) e denso. Ao longo dos cursos fluviais onde predominam solos hidromórficos, se desenvolvia a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, menos desenvolvida que a Submontana (RODERJAN et al., 2002).

A sede do município de Marechal Cândido Rondon encontra-se localizada no divisor de águas das bacias hidrográficas dos Arroios Guaçu (ao Norte da cidade) e Fundo (ao Sul) (Figura 02). Os córregos Guavirá, Bonito e Guará pertencem à bacia do Arroio Guaçu, enquanto que os córregos Matilde-cuê, Borboleta e Apepu são afluentes do Arroio Fundo.

Dentre as bacias supracitadas, a Matilde-cuê foi escolhida para avaliar os efeitos da mudança do uso da terra sobre a resposta hidrológica da bacia. Este córrego se destaca dentre as bacias citadas pela expressiva declividade do talvegue, forma da bacia mais arredondada (valor de Kc mais próximo de 1), possui alto porcentagem de urbanização e apresenta baixo tempo de concentração da vazão (Tabela 01). A combinação destas características morfométricas e a alta porcentagem de urbanização, tornam a bacia do Matilde-cuê propensa à fortes enchentes. Em 03 de janeiro de 2014, uma intensa precipitação gerou uma enchente repentina (cabeça d'água) que surpreendeu 10 adolescentes no canal fluvial. Um deles não conseguiu fugir a tempo, se refugiou numa das margens íngremes e foi salvo graças a intervenção do Corpo de Bombeiros (Figura 03) (JORNAL MARECHAL NEWS, 2014).

**Figura 02:** Identificação das bacias hidrográficas que drenam a sede urbana de Marechal Cândido Rondon: 1-Peroba, 2-Cabeceira do córrego Guavirá, 3-Trecho superior e médio do Bonito, 4-Guará, 5-Matilde-cuê, 6-Borboleta e 7-Apepu.



Fonte: Fruet (2016).



**Tabela 01:** Características morfométricas, hidrológicas e porcentagem de urbanização das bacias que drenam a área urbana de Marechal Cândido Rondon.

Bacias	A (km <sup>2</sup> )	L (km)	Ab (m)	A alt (m)	S (m/m)	Kc	Ai (%)	Tc* (horas)
Peroba	5,54	3,547	102	72	0,020	1,32	8,30	1,25
Guavirá	11,09	3,935	102	66	0,017	1,32	45,68	1,42
Bonito	5,01	3,017	75	61	0,020	1,40	41,85	1,13
Guará	16,23	6,480	107	81	0,013	1,42	17,67	2,15
<b>Matilde-cuê</b>	<b>6,165</b>	<b>2,216</b>	<b>100</b>	<b>65</b>	<b>0,029</b>	<b>1,20</b>	<b>64,3</b>	<b>0,83</b>
Borboleta	6,14	3,266	140	122	0,037	1,15	33,94	0,98
Apepu	7,95	4,521	163	153	0,034	1,25	12,45	1,25

**Fontes:** Fruet (2016); \*Tc calculado pela equação Ven Te Chow ( $Tc=0,160.L^{0,64}S^{-0,32}$ ) (SILVEIRA, 2005).

**A**-Área; **L**-Comprimento do talvegue; **Ab**-Amplitude altimétrica da bacia; **Aalt**-Amplitude altimétrica do talvegue; **S**-Declividade do talvegue; **Kc**-Índice de compacidade de Gravelius (adimensional); **Ai**-Área impermeabilizada total (urbanização); **Tc**-Tempo de concentração da bacia.

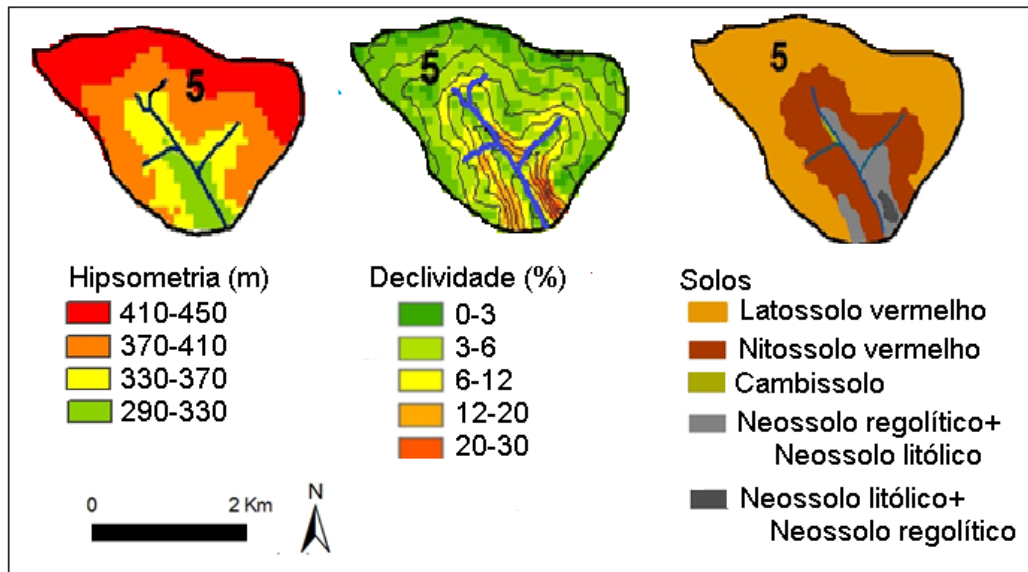
**Figura 03:** Registros fotográficos do resgate do banhista isolado pela enchente repentina no córrego Matilde-cuê em janeiro de 2014.



**Fonte:** Jornal Marechal News (on line).

Na bacia do Matilde-cuê são encontrados os seguintes tipos de solos: Latossolo Vermelho, Nitossolo Vermelho, Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico e Cambissolo Flúvico (BADE *et al.*, 2014) (Figura 04). Os Latossolos ocupam a maior parte da área da bacia, associados aos setores de alta e média vertente em altitudes superiores a 370 m e declividade inferior a 6 %. Os Nitossolos estão presentes na média baixa vertente em altitudes variando de 290 a 370 m e declividades entre 3 e 12 %. Os Neossolos e Cambissolos situam-se em setores de média-baixa vertente e fundo de vale em altitudes inferiores a 330 m e declividades superiores a 6 %.

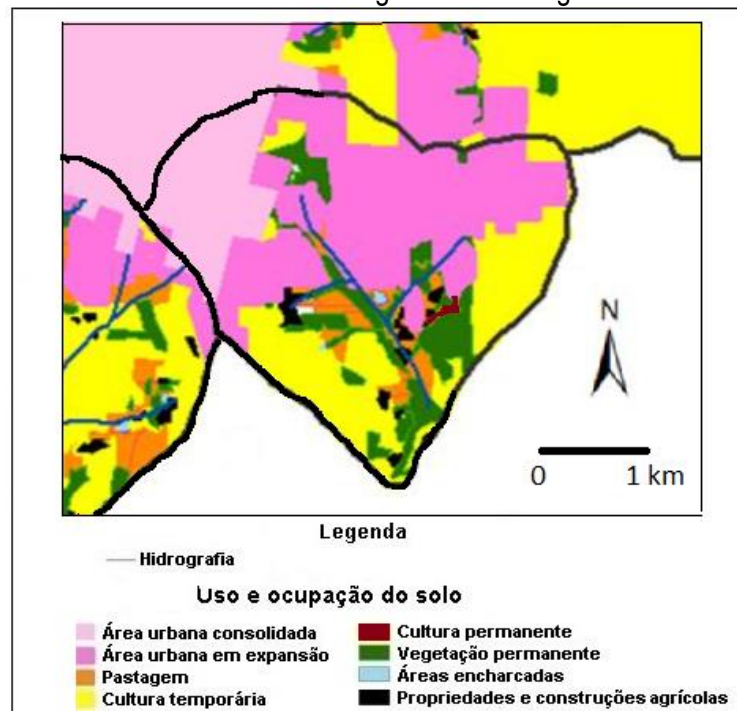
**Figura 04:** Hipsometria, declividade e tipos de solos na bacia do córrego Matilde-cuê.



**Fonte:** Calzavara (2015).

O mapa de uso da terra na bacia em 2013, elaborado por Fruet (2016) (Figura 05) mostra que as áreas urbanizadas se concentram na parte norte e centro da bacia, associadas às áreas topograficamente mais altas e planas. As culturas permanentes e temporárias situam-se no setor sul e leste da bacia, onde predominam Latossolos e Nitossolos e, as pastagens e a vegetação remanescente são encontradas em terrenos declivosos e solos rasos, ao longo do fundo de vale (Figura 4). Cabe ressaltar que em 1950, a região ainda estava ocupada pela mata original.

Figura 05: Uso da terra na bacia hidrográfica do córrego Matilde-cuê em 2013.



Fonte: Fruet (2016).

#### *Cálculo dos parâmetros de entrada da modelagem hidrológica Ven Te Chow-SCS*

A obtenção dos parâmetros necessários à aplicação da metodologia de Ven Te Chow-SCS na bacia do córrego Matilde-cuê, segue a sequência descrita por Wilken (1971) e adotada por Nunes e Fiori (2007), Jabur (2010), Bianchi *et al.* (2012) e Veneziani (2014).

A vazão máxima pelo método de ven te Chow ( $Q_{\max}$ , em  $m^3/s$ ) é estimada aplicando a equação (1):

$$Q_{\max} = \frac{A.Y.Z.X}{3,6} \dots (1)$$

Na qual A é a área da bacia ( $km^2$ ), Y é o fator climático, Z é o fator de redução de tempo de pico da vazão e, X é o fator de deflúvio.

Os valores de A e Y são constantes para cada seção de referência, neste caso o exutório da bacia. A área da bacia do Matilde-cuê até o exutório é de  $6,165 km^2$  (FRUET, 2016) e o valor de Y é igual a 1 devido a adoção da curva IDF correspondente à região (ver equação 3).

Os valores de Z são obtidos a partir de uma tabela disponível na literatura (Tabela 2) na qual são relacionados os quocientes da duração da chuva (td) e o tempo de pico da vazão (T) com os valores de Z. Para tanto, é necessário calcular inicialmente o tempo de pico da vazão (T) adotando a equação (2) (WILKEN, 1978).



$$T = 0,005055 \left( \frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \dots (2)$$

Em que:

T = tempo de pico da vazão (horas);

L = comprimento do curso d'água, medido da nascente mais afastada até o exutório (m);

I = declividade média do curso d'água (%).

O valor calculado de T para o exutório do Matilde-cuê é de 0,50 horas (30 min.). Os valores de L e I utilizados na equação (2) foram: 2216 m e 2,9 % respectivamente. Assim, os valores de Z para cada relação td/T podem obtidos na Tabela 02.

**Tabela 02:** Relação entre os valores de td/T e os fatores de redução de pico Z.

td/T	Z	td/T	Z	td/T	Z	td/T	Z	td/T	Z	td/T	Z	td/T	Z
0,0	0,0	0,3	0,2	0,6	0,4	0,9	0,6	1,2	0,7	1,4	0,8	0,7	0,9
5	4	6	9	4	7	2	1	0	4	8	6	6	4
0,1	0,0	0,3	0,3	0,6	0,4	0,9	0,6	1,2	0,7	1,5	0,8	0,7	0,9
0	8	8	0	6	8	4	2	2	5	0	6	8	4
0,1	0,1	0,4	0,3	0,6	0,4	0,9	0,6	1,2	0,7	1,5	0,8	1,8	0,9
2	0	0	2	8	9	6	3	4	6	2	7	0	5
0,1	0,1	0,4	0,3	0,7	0,5	0,9	0,6	1,2	0,7	1,5	0,8	1,8	0,9
4	2	2	3	0	0	8	4	6	7	4	8	2	5
0,1	0,1	0,4	0,3	0,7	0,5	1,0	0,6	1,2	0,7	1,5	0,8	1,8	0,9
6	4	4	4	2	1	0	5	8	8	6	8	4	6
0,1	0,1	0,4	0,3	0,7	0,5	1,0	0,6	1,3	0,7	1,5	0,8	1,8	0,9
8	6	6	6	4	2	2	6	0	9	8	9	6	6
0,2	0,1	0,4	0,3	0,7	0,5	1,0	0,6	1,3	0,8	1,6	0,9	1,8	0,9
0	8	8	8	6	4	4	7	2	0	0	0	8	7
0,2	0,1	0,5	0,3	0,7	0,5	1,0	0,6	1,3	0,8	1,6	0,9	1,9	0,9
2	9	0	9	8	5	6	8	4	1	2	0	0	7
0,2	0,2	0,5	0,4	0,8	0,5	1,0	0,6	1,3	0,8	1,6	0,9	1,9	0,9
4	0	2	0	0	6	8	9	6	2	4	1	2	8
0,2	0,2	0,5	0,4	0,8	0,5	1,1	0,7	1,3	0,8	1,6	0,9	1,9	0,9
6	2	4	1	2	6	0	0	8	2	6	1	4	8
0,2	0,2	0,5	0,4	0,8	0,5	1,1	0,7	1,4	0,8	1,6	0,9	1,9	0,9

8	4	6	2	4	7	2	1	0	2	8	2	6	9
0,3	0,2	0,5	0,4	0,8	0,5	1,1	0,7	1,4	0,8	1,7	0,9	1,9	1
0	5	8	4	6	8	4	2	2	3	0	2	8	
0,3	0,2	0,6	0,4	0,8	0,5	1,1	0,7	1,4	0,8	1,7	0,9	2,0	1
2	6	0	5	8	9	6	3	4	4	2	3	0	
0,3	0,2	0,6	0,4	0,9	0,6	1,1	0,7	1,4	0,8	1,7	0,9		
4	8	2	6	0	0	8	4	6	5	4	3		

Fonte: Wilken (1971)

Para obter, a última variável da equação (1), isto é o coeficiente de deflúvio (X) para cada tempo de retorno da precipitação (Tr) e diversos tds, (duração da chuva) é necessário calcular inicialmente a intensidade da chuva (I, mm/h) (Equação 3), a precipitação total (P, mm) (Equação 4) e finalmente a chuva efetiva (Pe, mm) (Equação 5).

A intensidade da precipitação (I, mm/h) é calculada pela equação regional de intensidade da chuva estimada para a cidade de Cascavel, multiplicada pelo fator de correção (1,2) correspondente as coordenadas geográficas de Marechal Cândido Rondon (FENDRICH, 2011).

$$I = \frac{1710,8 \cdot Tr^{0,151}}{(td + 16)^{0,865}} \times 1,2 \dots \dots (3)$$

Onde td é a duração da chuva (min.) e Tr é o tempo de retorno (anos). Foram calculados valores da intensidade de precipitação (I) para tds de 12, 18, 24, 30, 36; 48, 60, 75, 90, 120, 150 e 180 minutos e, para Tr os períodos 2, 5, 10, 15 e 20 anos.

A chuva total acumulada (P) foi estimada pelo produto entre a intensidade da chuva (I, mm/h) e td (horas) (Equação 4).

$$P = I \cdot td \dots \dots (4)$$

A precipitação efetiva (Pe, mm) foi calculada pela equação (5).

$$Pe = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50,8\right)^2}{P + \frac{20320}{CN} - 203,2} \dots \dots (5)$$

Onde P é a chuva total acumulada (mm) e CN é o Número da Curva de Escoamento Superficial estimado a partir das condições de ocupação, tipo e umidade antecedente dos solos. O CN constitui um valor adimensional, que varia de 0 a 100, sendo zero o extremo de maior infiltração e 100 o extremo de maior escoamento.

Para determinar o CN médio da bacia, é necessário inicialmente realizar a classificação hidrológica dos solos da bacia. No presente trabalho, esta classificação foi feita empregando a condutividade hidráulica dos solos. Para tanto, foram adotados os dados coletados por Magalhães (2013) nos horizontes de Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Distroférico próximo a cidade de Marechal Cândido Rondon. O valor médio ponderado da condutividade hidráulica obtido para o Latossolo foi igual a 2,67 mm/h e para o Nitossolo igual a 0,57 mm/h. Aplicando estes resultados nos intervalos de classificação hidrológica dos solos propostos por Barreto e Souza Filho (2003 *apud* MENDES FILHO *et al.*, 2007), os Latossolos foram classificados no Grupo hidrológico C e os Nitossolos, Cambissolos, Gelissolos e Neossolos foram agrupados no Grupo D.

Após classificar os solos, aplica-se a equação (6) para obter o CN médio da bacia do Matilde-cuê para o período pré-colonização e o ano de 2013.

$$CN_{\text{médio}} = \frac{A_x.CN_x + A_y.CN_y + A_z.CN_z + \dots}{A_t} \dots (6)$$

Em que:

A (1, 2,... n) = área (km<sup>2</sup>) correspondente a cada tipo de uso da terra e a respectiva classe de solo. No período de pré-colonização, a bacia era ocupada pela floresta original em condições pristinas. Para os cálculos referentes ao ano de 2013, foi adotado o mapa de uso da terra de Fruet (2016) (Figura 5);

CN (1, 2,... n) = valor tabelado do CN para cada tipo de solo, obtido na Tabela 3;

A<sub>t</sub> = área da bacia hidrográfica (6,165 km<sup>2</sup>).

Com a aplicação da equação (6), foram calculados os valores de CN médio para a bacia do Matilde-cuê para os cenários de 1950 e 2013 (Tabelas 04 e 05).

**Tabela 03:** Valores de CN em função de cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II de umidade do solo).

Tipo de uso do solo / tratamento / condições hidrológicas		Grupo hidrológico			
		A	B	C	D
Uso residencial:					
Tamanho médio do lote	% Impermeável				
Até 500 m <sup>2</sup>	65	77	85	90	92
1000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
1500 m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
-pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
-com cascalho		76	85	89	91
-de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques jardins:					
Boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto:					
Plantio em linha reta		77	86	91	94
Culturas em fileira:					
Linha reta	Condições ruins	72	81	88	91
	Boas	67	78	85	89
Curva de nível	Condições ruins	70	79	84	88
	Boas	65	75	82	86
Cultura de grãos:					
Linha reta	Condições ruins	65	76	84	88
	Boas	63	75	83	87
Curva de nível	Condições ruins	63	74	82	85
	Boas	61	73	81	84
Pasto					
	Condições ruins	68	79	86	89
	Médias	49	69	79	84
	Boas	39	61	74	80
Curva de nível	Condições ruins	47	67	81	88
	Médias	25	59	75	83
	Boas	6	35	70	79
Campos	Condições boas	30	58	71	78
Florestas	Condições ruins	45	66	77	83
	Boas	36	60	73	79
	Médias	25	55	70	77

Fonte: Porto (1995).

**Tabela 04:** Valor do CN médio ponderado para o córrego Matilde-cuê (condição de umidade antecedente N II) para o cenário de 1950.

Uso da terra	Classes do solo	Área (km <sup>2</sup> )	CN tabela	Área x CN
Vegetação (Floresta original)	C	4,191	73	305,943
	D	1,974	79	155,946
<b>Total</b>		<b>6,165</b>		<b>461,889</b>
<b>CN médio ponderado= 74,92</b>				
<b>Fonte:</b> O autor (2018)				

**Tabela 05:** Valor do CN médio ponderado para o córrego Matilde-cuê (condição de umidade antecedente N II) para o cenário de 2013.

Uso da terra	Classes do solo	Área (km <sup>2</sup> )	CN tabela	Área x CN
Área urbana consolidada	C	1,30	90	117
	D	0,06	92	5,52
Área urbana em expansão	C	1,605	83	133,215
	D	0,97	87	84,39
Cultura temporária	C	1,136	82	93,152
	D	0,367	86	31,562
Pastagens	D	0,136	84	11,424
Sede de propriedades rurais	D	0,03	86	2,58
Vegetação	C	0,15	73	10,95
	D	0,411	79	34,839
<b>Total</b>		<b>6,165</b>		<b>524,632</b>
<b>CN médio ponderado= 85,10</b>				
<b>Fonte:</b> O autor (2018)				

Após a obtenção da chuva efetiva (Pe) para os cenários de pré-colonização e o ano de 2013, foram calculados os valores do coeficiente deflúvio (X) para cada td, mediante a equação (7).

$$X = Pe / td \dots\dots(7)$$

Finalmente, tendo sido calculado o fator de redução de tempo de pico da vazão (Z) e o fator de deflúvio (X) e, tendo como valores constantes a área da bacia (A) e fator climático (Y), é possível estimar a vazão máxima no exutório da bacia para diversos tds e Trs aplicando na equação (1).

## Resultados e Discussões

As estimativas da vazão máxima no exutório do córrego Matilde-cuê pelo método Ven Te Chow (SCS) para o cenário de 1950 (período de pré-colonização) e ano de 2013 para diversos tds e Trs, são mostradas nas Tabelas 06 e 07.



**Tabela 06:** Vazões máximas ( $Q_{max}$ ,  $m^3/s$ ) simuladas para o exutório do córrego Matilde-cuê no período da pré-colonização (1950).

td (min.)	td (h)	Período de retorno $T_r$ (anos)				
		2	5	10	15	20
12	0,20	2,13	4,27	6,59	8,27	9,64
18	0,30	6,04	9,94	13,85	16,59	18,75
24	0,40	9,55	14,66	19,66	23,10	25,79
30	0,50	12,24	18,14	23,80	27,67	30,69
36	0,60	14,50	21,02	27,22	31,42	34,69
48	0,80	17,75	25,06	31,92	36,54	40,12
60	1,00	<b>19,05</b>	<b>26,47</b>	<b>33,39</b>	<b>38,03</b>	<b>41,60</b>
75	1,25	17,95	24,63	30,81	34,94	38,11
90	1,50	16,83	22,89	28,48	32,20	35,06
120	2,00	14,86	19,98	24,67	27,78	30,17
150	2,50	13,28	17,73	21,78	24,47	26,32
180	3,00	12,02	15,96	19,54	21,90	23,71

**Fonte:** O autor (2018)

**Tabela 07:** Vazões máximas ( $Q_{max}$ ,  $m^3/s$ ) simuladas para o exutório do córrego Matilde-cuê em 2013.

td (min.)	td (h)	Período de retorno $T_r$ (anos)				
		2	5	10	15	20
12	0,20	12,42	17,62	22,52	25,82	28,38
18	0,30	20,85	28,26	35,07	39,60	43,07
24	0,40	26,86	35,62	43,58	48,83	52,85
30	0,50	30,78	40,28	48,86	54,49	58,79
36	0,60	33,94	44,02	53,08	59,02	63,54
48	0,80	38,02	48,77	58,36	64,62	69,37
60	1,00	<b>38,67</b>	<b>49,24</b>	<b>58,64</b>	<b>64,76</b>	<b>69,40</b>
75	1,25	34,85	44,11	52,32	57,66	61,70
90	1,50	31,69	39,93	47,23	51,97	55,55
120	2,00	26,85	33,64	39,63	43,51	46,45
150	2,50	23,36	29,16	34,26	37,56	40,06
180	3,00	20,73	25,80	30,26	33,15	35,32

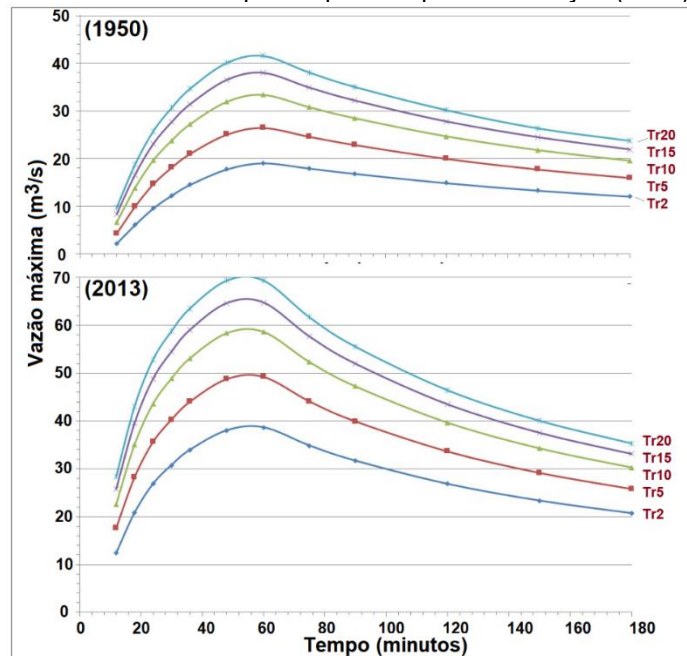
**Fonte:** O autor (2018)

Com a ocupação sistemática da região a partir de 1950 e a conseguinte remoção gradual da floresta nativa, o mapeamento do uso da terra em 2013 na bacia registra o predomínio das ocupações urbanas e agrícolas (Ver Figura 5). Esta alteração no uso da terra se reflete no valor de CN médio ponderado que aumentou de 74,92 em 1950 para 85,10 em 2013. Tal incremento do CN influencia decisivamente no incremento da vazão máxima nos cenários temporais analisados.

Os hidrogramas da Figura 6, construídos com base nos dados das tabelas 6 e 7, ilustram os picos das vazões em torno de 60 minutos para cada tempo de retorno da precipitação. Como constatada na figura 6, a mudança do uso da terra na bacia do Matilde-cuê (floresta nativa intacta para

agricultura/urbanização) reduziu a infiltração e elevou o escoamento superficial, provocando substancial incremento da vazão máxima.

**Figura 06:** Hidrogramas de vazões máximas simuladas no córrego Matilde-cuê para diferentes Trs na Condição N II de umidade do solo para o período pré-colonização (1950) e o ano de 2013.



Fonte: O autor (2018)

As vazões simuladas mostram que a taxa de aumento da vazão máxima não é linear entre as Trs no período analisado. Como exemplo, a vazão simulada para Tr=2 anos elevou-se de 19,05 para 38,67 m³/s (aumento de 103%) e vazões estimadas para Tr de 20 anos elevou-se de 41,60 para 69,40 m³/s (aumento de 66,8 %). Deste modo, a taxa de aumento da vazão é maior quanto menor for o tempo de retorno da precipitação. Esta tendência é mostrada de maneira mais detalhada na tabela 08, na qual é listado o aumento porcentual das vazões estimadas em 1950 e 2013. Estes dados denotam que chuvas mais frequentes e mais curtas podem desempenhar um papel crucial num cenário com urbanização crescente como a bacia do Matilde-cuê, em comparação com as precipitações incomuns e prolongadas. Esta relação encontrada entre Tr das precipitações e incremento da vazão máxima, também foi verificada por Veneziani (2014) na bacia do córrego Três Pontes, localizada na área leste da cidade de São Paulo, SP.

**Tabela 08:** Aumento porcentual das vazões máximas entre o período de pré-colonização (1950) e o ano de 2013.

td (min.)	td (h)	Período de retorno Tr (anos)				
		2	5	10	15	20
12	0,20	483,1	312,6	241,7	212,2	194,4
18	0,30	245,2	184,3	153,2	138,7	129,7
24	0,40	181,3	143,0	121,7	111,4	104,9
30	0,50	151,5	122,1	105,3	96,9	91,6
36	0,60	134,1	109,4	95,0	87,8	83,2
48	0,80	114,2	94,6	82,8	76,8	72,9
60	1,00	103,0	86,0	75,6	70,3	66,8
75	1,25	94,2	79,1	69,8	65,0	61,9
90	1,50	88,3	74,4	65,8	61,4	58,4
120	2,00	80,7	68,4	60,6	56,6	54,0
150	2,50	75,9	64,5	57,3	53,5	52,2
180	3,00	72,5	61,7	54,9	51,4	49,0

**Fonte:** O autor (2018)

### Considerações Finais

A simulação das vazões máximas obtida na bacia do córrego Matilde-cuê pelo método de Ven Te Chow nos proporciona a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica às mudanças do uso da terra registradas entre 1950 e 2013. Neste período, as simulações mostram um expressivo incremento das vazões máximas decorrente da mudança no uso do solo, que passou de uma bacia coberta totalmente pela floresta nativa em 1950 para remoção quase total desta floresta e a implantação de ocupações agrícolas e urbanas em 2013.

Neste quadro de alteração do uso da terra, as chuvas mais frequentes e curtas geraram maiores aumentos percentuais da vazão máxima do que precipitações raras e prolongadas. Isto significa que problemas causados por enchentes repentinas e alagamentos estão se tornando mais frequentes, e podem ser majorados pela crescente urbanização da bacia.

### Referências

- BADE, M.R.; ROCHA, A.S.; CUNHA, J.E. *Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do córrego Matilde cuê, Marechal Cândido Rondon – PR*. Revista Geografar, v. 9, n. 2, p. 62-83, 2014.
- BIANCHI, R.C.; RIZZI, N.E.; GUIMARÃES, R.Z.; SCHECHI, R.G. *Estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do Rio Canguiri através do método de Ven Te Chow*. Revista Ra'e Ga, v. 25, p. 164-185, 2012.
- CALZAVARA, S.F. *Uso e cobertura do solo e escoamento superficial nas bacias hidrográficas urbanas de Marechal Cândido Rondon-PR*. 2015. 141f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, campus de Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste). 2015 (Inédito).
- FENDRICH, R. *Canais de drenagem em pequenas bacias hidrográficas*. Curitiba: Ed. Vicentina. 2008.

- FENDRICH, R. *Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná*. 3ª edição. Curitiba, Ed. Vitória. 2011.
- FERRARI, W.J. *A expansão territorial urbana de Marechal Cândido Rondon-PR: a produção da cidade a partir do campo*. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências Humanas, Universidade Federal da Grande Dourados, MS. 2009.
- FLOWERAKER, J. *A luta pela terra: a economia política da fronteira pioneira no Brasil em 1930 aos dias atuais*. Rio de Janeiro, Ed. Zahar. 1982.
- FRUET, J.G.W. *Fragilidade ambiental: subsídios para a gestão de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon, PR*. 2016. 126f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, campus de Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2016.
- GÜTHS, L.D. *Zona Bonita nos caminhos da colonização da fronteira*. In: Marcos A. Lopes (Ed.) *Espaços da Memória. Fronteiras*. Edunioste, Cascavel (PR). 2000, p. 135-160.
- IAPAR (Fundação Instituto Agrônomo do Paraná) *Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná*, Londrina: IAPAR, 1994. 49p.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *População*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/pr/marechal-candido-rondon/panorama>>. Acesso em outubro de 2018.
- JABUR, A.S. *Estudo hidrológico da bacia hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco, PR*. 2010. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2010.
- JOHANN, C.C.; LINDINO, T.C. *Expansão territorial urbana na cidade de Marechal Cândido Rondon - PR e seus impactos*. Revista Sustentare, v. 2, p. 83-102. 2018.
- JORNAL MARECHAL NEWS (on line). Marechal Cândido Rondon (PR), 3 de jan. 2014.
- MAACK, R. *Geografia Física do Paraná*. 4ª Ed., Ponta Grossa: Editora UEPG, 526 p., 2012.
- MAGALHÃES, V.L. *Gênese e evolução de sistemas pedológicos em unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon-PR*. 2013. 123f. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá. 2013.
- MENDES FILHO, W.M.; VENDRAME, I.F.; de CARVALHO R.G. *Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos-SP*. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Florianópolis, 21-26 abril 2007. Anais. INPE, p. 3453-3460.
- MINEROPAR (Minerais do Paraná S.A.) *O Grupo Serra Geral no estado do Paraná*. Curitiba: Mineropar, 2013. 2 v.
- MORESCO, M.D. *Estudo de paisagem no município de Marechal Cândido Rondon - PR*. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 2007.
- NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B. *Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral*. Geociências (Unesp, São Paulo): 21: 15-32. 2002.
- NUNES, F.G.; FIORI, A.P. *A utilização do método de ven te Chow –Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Atuba*. Revista Eletronica Geografar, v. 2, n. 2: 139-155. 2007.
- PFLUCK, L.D. *Riscos ambientais: enxurradas e desabamentos na cidade de Marechal Cândido Rondon-PR, 1980 a 2007*. 2009. 274 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009.
- PORTO, R.L.L. *Escoamento superficial direto*. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, Vol. 5, p.107-162. 1995.
- RAMOS, C.L.; BARROS, M.T.L.; PALOS, J.C.F. *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. Prefeitura do município de São Paulo – Fundação do Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH), São Paulo. 1999.

- RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACH, G.G. *As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil*. Ciência e Ambiente, 24 (1): 1-16 2002.
- SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. *Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná*. Revista Brasileira de Geomorfologia, 7 (2): 3-12. 2006.
- SEMA (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) *Bacias Hidrográficas do Paraná, uma Série Histórica*. Curitiba: Governo do Estado do Paraná. 140 p. 2013.
- SILVEIRA, A.L.L. *Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, p. 5-23, 2005.
- VENEZIANI, Y. *A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica e hidráulica na bacia do Córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e de vulnerabilidade a inundações*. 2014. 468f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), Universidade de São Paulo. 2014.
- WACHOWICZ, R. *Obrageros, mensus e colonos: história do oeste do Paraná*. Curitiba, ed. Vicentina. 1987.
- WILKEN, P.S. *Águas pluviais: contribuição ao estudo dos métodos de dimensionamento de estruturas hidráulicas para o esgotamento de águas pluviais*. 1ª edição. São Paulo, Edição do autor. 1971.
- WILKEN, P.S. *Engenharia de Drenagem Superficial*. São Paulo. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), 478 p. 1978.

(Recebido em 23-11-2018; Aceito em: 02-05-2019)