

## **SIMULAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EM BACIA HIDROGRÁFICA E OBTENÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA**

*Tarcisio Barcellos Bellinaso<sup>1</sup>; Demétrius Jung Gonzalez<sup>2</sup>; Leonir Terezinha Uhde<sup>3</sup>;  
Vania Elisabete Schneider<sup>4</sup>*

**Resumo** - Este trabalho tem como propósito realizar a simulação nas características físicas em uma pequena bacia hidrográfica rural pertinente ao tipo de uso ou cobertura e obter a vazão máxima nestas condições de simulação. A área estudada localizada próximo do município de Passo Fundo/RS, e foi utilizada a fórmula Racional para obtenção da vazão máxima. Foi verificado que a maior vazão ocorre quando se considera a bacia como toda sob o tipo de uso I (Culturas anuais em fileiras), seguida do tipo II (Pastagem cultivada) e menor vazão quando se considera a bacia toda sob o tipo de uso III (Florestas). Conclui-se que o mais influenciou na vazão máxima é o tipo de uso e cobertura do solo. O uso e a cobertura do solo influenciam na interceptação da chuva permitindo que a água permaneça na superfície do solo por mais tempo, pois, o uso e a cobertura podem ser considerados como um obstáculo que impede o rápido escoamento superficial e permite maior infiltração, além da influência das raízes da vegetação na estrutura do solo.

**Palavras-chave:** Simulação; Vazão máxima; Fórmula Racional.

## **SIMULATION IN THE PHYSICAL CHARACTERISTICS IN HYDROGRAPHIC BASIN AND OBTAINING MAXIMUM FLOW RATE**

**Abstract** - This work aims to carry out the simulation of the physical characteristics in a small rural watershed relevant to the type of use or coverage and obtain the maximum flow under these simulation conditions. The studied area is located near the municipality of Passo Fundo/RS and the Rational formula was used to obtain the maximum flow. It was found that the highest flow occurs when the basin is considered as a whole under type of use I (Annual row crops), followed by type II (Cultivated pasture) and the lowest flow when the basin is considered as a whole under type of use III (Forests). It is concluded that the most influential factor in maximum flow is the type of land use and cover. Soil use and cover influence the interception of rain, allowing water to remain on the soil surface for longer, as use and cover can be considered as an obstacle that prevents rapid surface runoff and allows greater infiltration, in addition to the influence of vegetation roots on the soil structure.

**Keywords:** Simulation; Maximum flow; Rational formula.

<sup>1</sup> Agesan/RS. Rua Félix da Cunha, nº 1009 - Sala: 302 - Moinhos de Vento - Porto Alegre/RS. [tarcisiobellinaso@gmail.com](mailto:tarcisiobellinaso@gmail.com)

<sup>2</sup> Agesan/RS. Rua Félix da Cunha, nº 1009 - Sala: 802 - Moinhos de Vento - Porto Alegre/RS. [diretoriageral@agesan-rs.com.br](mailto:diretoriageral@agesan-rs.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Unijuí. Rua do Comércio, nº 3000 - Ijuí/RS. [udhe@unijui.edu.br](mailto:udhe@unijui.edu.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Sergipe. Rua Cláudio Batista, s/nº - Cidade Nova - Aracaju/SE. [veschnei@ucs.br](mailto:veschnei@ucs.br)



## 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Este trabalho tem como propósito realizar a simulação nas características físicas em uma pequena bacia hidrográfica rural pertinente ao tipo de uso ou cobertura e obter a vazão máxima nestas condições de simulação. A área estudada localizada próximo do município de Passo Fundo/RS e foi utilizada a fórmula Racional para obtenção da vazão máxima.

Conforme descrito por Martins & Paiva (2001) os métodos de medição de vazão podem ser classificados em três categorias conforme a natureza da medida: de nível, não estrutural e estrutural. Entre os métodos enquadrados na categoria não estrutural encontram-se os métodos baseados no uso de molinetes, flutuadores, compostos químicos, acústica, etc. Os métodos estruturais fazem uso de estruturas de medição pré-calibradas, bastando-se determinar em geral uma medida de nível para obter-se a medida de vazão. Entre estas estruturas destacam-se os vertedores e os medidores Parshall.

Goldenfum (2001) nos diz que a definição das dimensões máximas de uma pequena bacia hidrográfica sempre apresenta algum grau de subjetividade. A variabilidade natural das características físicas das bacias, no que se refere a solos, vegetação e topografia, faz com que não exista um valor único aplicável a todas situações.

Conforme Ponce *apud* Goldenfum (2001), o limite superior de uma pequena bacia é normalmente definido em função de sua área ou de seu tempo de concentração, mas invariavelmente estes limites são de alguma forma arbitrária.

Torna-se necessário definir o que é uma pequena bacia tomando como base os processos envolvidos. Assim, uma bacia hidrográfica é considerada *pequena* se apresenta algumas ou todas das seguintes propriedades (Ponce, 1989):

- a precipitação pode ser considerada como uniformemente distribuída no espaço, sobre toda bacia;
- a precipitação pode ser considerada como uniformemente distribuída no tempo;
- a duração das tormentas geralmente excede o tempo de concentração da bacia;
- a geração de água e sedimentos se dá principalmente pelo escoamento nas vertentes;
- os processos de armazenamento e de fluxo concentrado na calha dos cursos d'água são pouco importantes.

## 2 - ÁREA ESTUDADA

### Características da bacia estudada

O estudo para obtenção da vazão máxima, realizando a simulação nas características físicas em uma pequena bacia hidrográfica rural utilizando a fórmula Racional, foi realizado em uma bacia com área de 0,55 km<sup>2</sup> ou 558.237,88 m<sup>2</sup>, localizada próxima do município de Passo Fundo/RS, cujas características topográficas e de rugosidade hidráulica da bacia são apresentadas na Tabela 1 e as características originais de uso e manejo, e tipos de solo são apresentados na Tabela 2.

Na Figura 1, é apresentada a localização da bacia no Estado do Rio Grande do Sul e na Figura 2 é apresentado o mapa da bacia com suas características originais dos tipos de uso ou cobertura e tipos de solo (Unidade de mapeamento).

Tabela 1 - Características topográficas e de rugosidade hidráulica ( $n$ ) da bacia estudada.

Ponto	Elevação (m)	Trecho	Distância (m)	$n$
A	30,5	A-B	244	-
B	35,0	B-C	549	-
C	41,0	B-D	762	-
D	58,0	D-F	61	0,2
E	42,0	C-E	76	0,2
F	61,0	-	-	-

Legenda:  $n \rightarrow$  Coeficiente de rugosidade hidráulica (adimensional).

Tabela 2 - Características originais de uso e manejo e tipos de solo da bacia hidrográfica estudada.

Uso	Tipo de uso ou cobertura	Condição hidrológica	Tipo de solo
I	Culturas anuais em fileiras	Boa prática de manejo	Latossolo Vermelho Distroférico Típico* - Unidade Santo Ângelo
II	Pastagem cultivada	Boa prática de manejo	Latossolo Vermelho Distroférico Típico (Arenoso)* - Unidade Passo Fundo
III	Florestas	Boa prática de manejo	Argissolo Vermelho Aluminico Abrupto* - Unidade Pituba

\*Classificação SIBCS

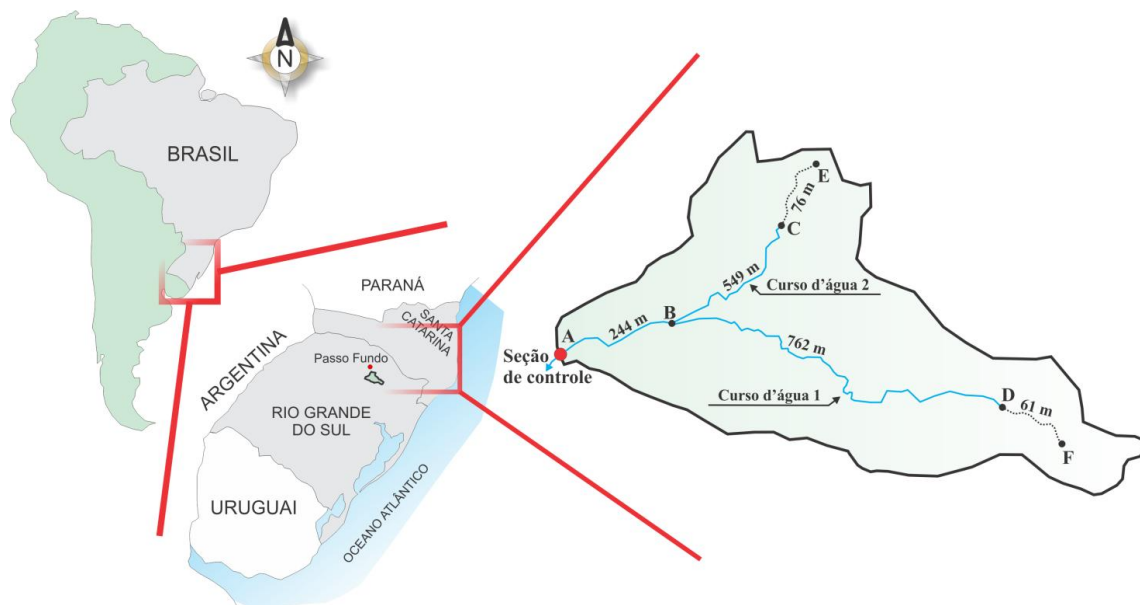


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica estuda próxima do município de Passo Fundo/RS.

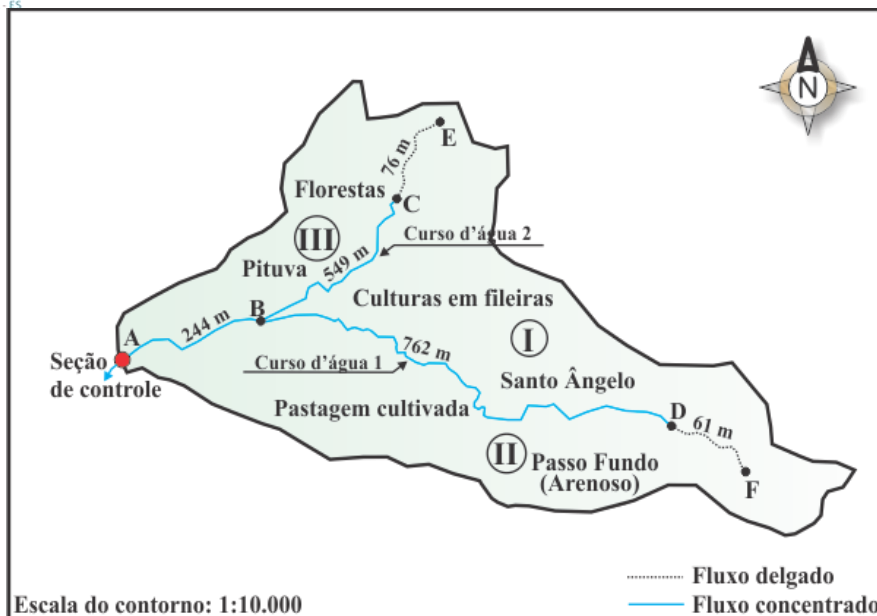


Figura 2 - Mapa da bacia hidrográfica estudada com suas características originais dos tipos de uso ou cobertura e tipos de solo (Unidade de mapeamento).

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Obtenção da vazão máxima

Existem diversos métodos para obtenção da vazão máxima em bacias hidrográficas, entre eles podemos citar: fórmula Racional ou método de Lloyd-Davies, método de Cook ou  $\Sigma w$  (Original - USA), método de Cook modificado, entre outros. Neste trabalho utilizaremos somente a fórmula Racional para obtenção da vazão máxima na bacia estudada.

#### 3.2 - Fórmula Racional

Conforme Tomaz (2013), o método Racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e utilizado nos Estados Unidos por Emil Kuichling em 1889 e estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio).

O nome Racional é para contrapor os métodos antigos que eram empíricos e não eram racionais. É usado para determinar a vazão máxima de uma determinada bacia hidrográfica, considerando uma seção de estudo ou de controle.

Na Inglaterra, Lloyd-Davies elaborou um método semelhante em 1850 e muitas vezes o método Racional é chamado de método de Lloyd-Davies. A equação (1) é apresentada a fórmula Racional:

$$q = \frac{C.i.A}{360} \quad (1)$$

Onde:

q - vazão máxima estimado, em m<sup>3</sup>/s;

C - coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de vazão (adimensional);

i - intensidade da chuva, em mm/h, para o período de retorno desejado e para uma dada duração; e;



A - área da bacia hidrográfica, em hectares (ha).

O coeficiente de escoamento superficial foi obtido pela equação (2):

$$C = \frac{A_I \cdot c_I + A_{II} \cdot c_{II} + A_{III} \cdot c_{III}}{A_t} \quad (2)$$

Onde:

C - é o coeficiente de escoamento superficial;

$A_I$  - é a área I da bacia estudada, em hectares;

$cc_I$  - é o coeficiente de escoamento superficial da área I da bacia estudada (adimensional);

$A_{II}$  - é a área II da bacia estudada, em hectares;

$cc_{II}$  - é o coeficiente de escoamento superficial da área II da bacia estudada (adimensional);

$A_{III}$  - é a área III da bacia estudada, em hectares;

$cc_{III}$  - é o coeficiente de escoamento superficial da área III da bacia estudada (adimensional);

$A_t$  - é a área total da bacia, em hectares.

### 3.3 - Tempo de concentração ( $t_c$ )

A obtenção da vazão máxima pela fórmula Racional é necessária à obtenção do tempo de concentração da bacia e posteriormente a obtenção da intensidade máxima da chuva ( $i$ ). Por isso, para obter o tempo de concentração da bacia estudada foi utilizada a equação proposta no trabalho de Huggins (1979):

$$t_c = \left(0,0195 \cdot Lc^{0,77} \cdot Sc^{-0,385}\right) + \left(\frac{6,557 \cdot n \cdot Lo}{3 \cdot \sqrt{So}}\right)^{0,467} \quad (3)$$

Onde:

$t_c$  - tempo de concentração da bacia hidrográfica, em minutos;

$Lc$  - distância máxima ou comprimento máximo a ser percorrido pelo fluxo concentrado ou canalizado, em metros;

$Sc$  - declividade da bacia em (m/m) ou a diferença em elevação da bacia para o fluxo concentrado ou canalizado;

$n$  - coeficiente de rugosidade hidráulica (adimensional);

$Lo$  - distância máxima ou comprimento máximo a ser percorrido pelo fluxo delgado ou laminar, em metros; e;

$So$  - declividade da bacia em (m/m) ou a diferença em elevação da bacia para o fluxo delgado ou laminar.

O primeiro termo da equação (3) é para o fluxo concentrado (canalizado) e o segundo termo é para o fluxo delgado (laminar). Existe uma distância limite para o fluxo delgado, isto é, após certa distância sobre o terreno sempre existe um canal mais definido e o fluxo deixa de ser delgado e passa a ser concentrado. Essa distância definida para manter o fluxo delgado é de 100 a 150 metros, no máximo. Isso quer dizer que se a distância no terreno para o fluxo delgado é de 300 metros, utiliza-se o valor máximo de 150 metros para o fluxo delgado e o fluxo em canal inicia aos 150 metros (Cogo, 2005).



### 3.4 - Intensidade máxima de chuva ( $i$ )

Para obtenção da intensidade máxima de chuva ( $i$ ), foi utilizada a equação proposta por Denardin & Freitas (1982) para cidade de Passo Fundo/RS, conforme é apresentado na equação (4).

$$i = \frac{670,74.T^{0,21}}{(t + 7,9)^{0,74}} \quad (4)$$

Onde:

$T$  ou  $Tr$  - é o período de retorno, em anos; e;

$t$  ou  $tc$  - é o tempo de concentração, em minutos.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Área da bacia estudada

Na Tabela 3 é apresentada a determinação da área da bacia hidrográfica obtida através das informações contidas na Figura 1:

- a) Escala de contorno: 1:10.000; b) Área do retângulo: 16 x 11 cm;
- c) Peso do retângulo: 1,362 g; e; d) Peso da bacia hidrográfica: 0,432 g.

Tabela 3 - Determinação da área da bacia hidrográfica estudada.

Condições	Peso (g)	Área (m <sup>2</sup> )	Área (hectares)	Área (acres)
A <sub>I</sub>	0,173	223.553,59	22,35	55,20
A <sub>II</sub>	0,167	215.800,29	21,58	53,30
A <sub>III</sub>	0,092	118.883,99	11,88	29,34
Total	0,432	558.237,88	55,82	137,87

### 4.2 - Tempo de concentração ( $tc$ ) da bacia estudada

Foram obtidos dois tempos de concentração da bacia estudada, conforme é apresentado na Figura 2 e Tabela 4:

- a) Curso d'água 1 (fluxo concentrado com 762 metros); e;
- b) Curso d'água 2 (fluxo concentrado com 549 metros).

Tabela 4 - Obtenção dos tempos de concentração da bacia hidrográfica estudada.

Cursos d'água	Extensão (m)	$L_c$ (m)	$Sc$	$n$	$Lo$ (m)	$So$	$tc$ (minutos)
1	762	1006	0,0273	0,2	61	0,049	25,37
2	549	793	0,0132	0,2	76	0,0131	31,75

Legenda:

$L_c$  - distância ou comprimento máximo a ser percorrido pelo fluxo canalizado ou concentrado, em metros;

$Sc$  - declividade da bacia em (m/m) ou a diferença em elevação da bacia para o fluxo canalizado;

$n$  - coeficiente de rugosidade hidráulica (adimensional);

$Lo$  - distância máxima ou comprimento máximo a ser percorrido pelo fluxo laminar, em metros;

$So$  - declividade da bacia em (m/m) ou a diferença em elevação da bacia para o fluxo laminar; e;

$tc$  - tempo de concentração da bacia hidrográfica, em minutos.





### 4.3 - Intensidade máxima de chuva ( $i$ )

Para obtenção da intensidade máxima de chuva ( $i$ ), foi utilizada a equação proposta por Denardin & Freitas (1982) para cidade de Passo Fundo/RS, devido ao fato que a bacia estudada possui características similares às bacias localizadas próximo ao município de Passo Fundo/RS, conforme é apresentado na equação 4.

Foi adotada uma probabilidade de ocorrência ( $P$ ) de 0,04, isto é, um período de retorno ( $T$  ou  $Tr$ ) de 25 anos e o tempo de concentração utilizado foi de 31,75 minutos, obtido pela Tabela 4.

O valor obtido através da equação 4 da intensidade máxima de chuva ( $i$ ) foi de 86,58 mm/h.

### 4.4 - Obtenção da vazão máxima

A Tabela 5 é apresentada a obtenção do coeficiente de escoamento superficial com características originais da bacia e a Tabela 6 são apresentadas a obtenção da vazão máxima com as características originais da bacia (Figura 2).

Tabela 5 - Obtenção do coeficiente de escoamento superficial da bacia com suas características originais.

$A_I$ (hectares)	$cc_I$	$A_{II}$ (hectares)	$cc_{II}$	$A_{III}$ (hectares)	$cc_{III}$	$A_t$ (hectares)	$C$
22,35	0,61	21,58	0,36	11,88	0,127	55,82	0,41

Tabela 6 - Obtenção da vazão máxima da bacia com suas características originais.

$C$ (adimensional)	$I$ (mm/h)	$A_t$ (hectares)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
0,41	86,58	55,82	5,50

A Tabela 7 é apresentada a obtenção do coeficiente de escoamento superficial sob o tipo de uso I e a Tabela 8 a obtenção da vazão máxima, considerando a característica da bacia como toda sob o tipo de uso I, isto é, culturas anuais em fileiras e mantendo-se os tipos de solo: Santo Ângelo/Passo Fundo/Pituba (Figura 3).

Tabela 7 - Obtenção do coeficiente de escoamento superficial da bacia sob o tipo de uso I.

$A_I$ (hectares)	$cc_I$	$A_{II}$ (hectares)	$cc_{II}$	$A_{III}$ (hectares)	$cc_{III}$	$A_t$ (hectares)	$C$
22,35	0,61	21,58	0,56	11,88	0,61	55,82	0,59

Tabela 8 - Obtenção da vazão máxima da bacia sob o tipo de uso I.

$C$ (adimensional)	$I$ (mm/h)	$A_t$ (hectares)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
0,59	86,58	55,82	7,92

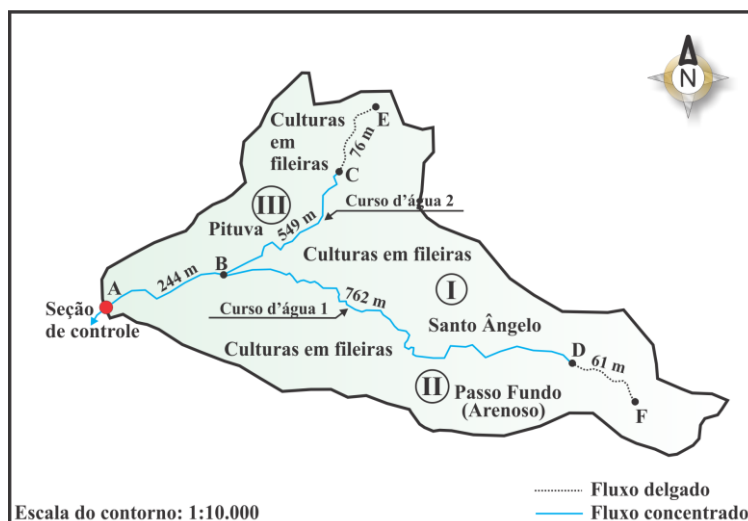


Figura 3 - Mapa da bacia sob o tipo de uso I (Culturas anuais em fileiras) e tipos de solo.

A Tabela 9 é apresentada a obtenção do coeficiente de escoamento superficial sob o tipo de uso II e a Tabela 10 a obtenção da vazão máxima, considerando a característica da bacia como toda sob o tipo de uso II, isto é, pastagem cultivada e mantendo-se os tipos de solo: Santo Ângelo/Passo Fundo/Pituva (Figura 4).

Tabela 9 - Obtenção do coeficiente de escoamento superficial da bacia sob o tipo de uso II.

$A_I$ (hectares)	$cc_I$	$A_{II}$ (hectares)	$cc_{II}$	$A_{III}$ (hectares)	$cc_{III}$	$A_t$ (hectares)	$C$
22,35	0,41	21,58	0,36	11,88	0,41	55,82	0,39

Tabela 10 - Obtenção da vazão máxima da bacia sob o tipo de uso II.

$C$ (adimensional)	$I$ (mm/h)	$A_t$ (hectares)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
0,39	86,58	55,82	5,23

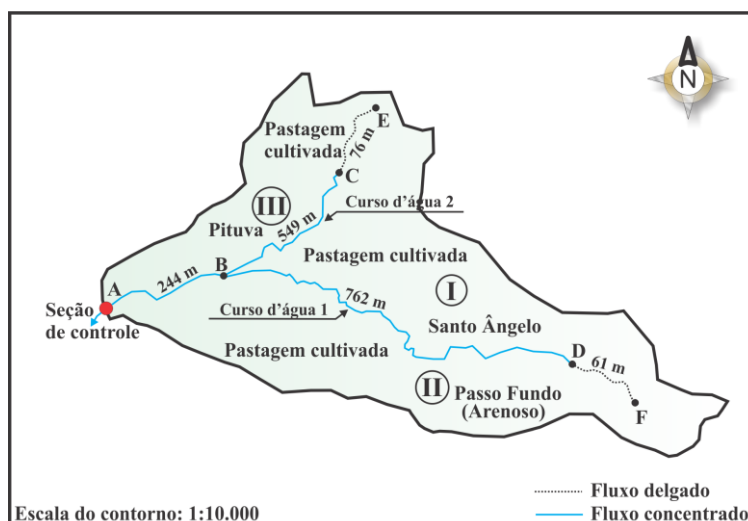


Figura 4 - Mapa da bacia sob o tipo de uso II (Pastagem cultivada) e tipos de solo.



A Tabela 11 é apresentada a obtenção do coeficiente de escoamento superficial sob o tipo de uso III e a Tabela 12 a obtenção da vazão máxima, considerando a característica da bacia, como toda sob o tipo de uso III, isto é, florestas e mantendo-se os tipos de solo: Santo Ângelo/Passo Fundo/Pituva (Figura 5).

Tabela 11 - Obtenção do coeficiente de escoamento superficial da bacia sob o tipo de uso III.

$A_I$ (hectares)	$cc_I$	$A_{II}$ (hectares)	$cc_{II}$	$A_{III}$ (hectares)	$cc_{III}$	$A_t$ (hectares)	$C$
22,35	0,127	21,58	0,10	11,88	0,127	55,82	0,12

Tabela 12 - Obtenção da vazão máxima da bacia sob o tipo de uso III.

$C$ (adimensional)	$I$ (mm/h)	$A$ (hectares)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
0,12	86,58	55,82	1,61

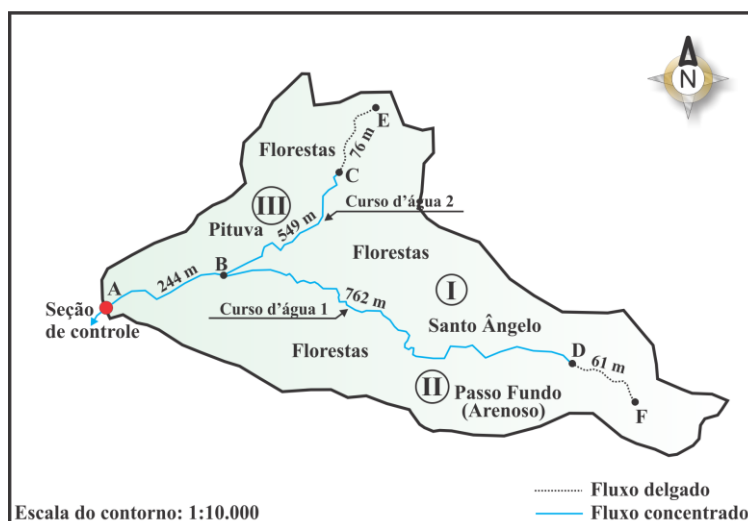


Figura 5 - Mapa da bacia sob o tipo de uso III (Florestas) e tipos de solo.

#### 4.5 - Discussão dos resultados

É verificado que a maior vazão ocorre quando se considera a bacia toda sob o tipo de uso I (Culturas anuais em fileiras) com 7,92 m<sup>3</sup>/s, seguida do tipo II (Pastagem cultivada) com 5,23 m<sup>3</sup>/s e menor vazão quando se considera a bacia toda sob o tipo de uso III (Florestas) com 1,61 m<sup>3</sup>/s. A Tabela 13 é apresentada a simulação das bacias para tipo de uso I, II e III, tipos de solo e os valores das vazões máximas.

Tabela 13 - Vazões máximas obtidas para tipo I, II e III para bacia em estudo.

Bacia	Tipo de uso ou cobertura	Tipo de solo	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
Uso I	Culturas anuais em fileiras	Latossolo Vermelho Distroférrico Típico* - Unidade Santo Ângelo	7,92
Uso II	Pastagem cultivada	Latossolo Vermelho Distroférrico Típico (Arenoso)* - Unidade Passo Fundo	5,23
Uso III	Florestas	Argissolo Vermelho Alumínico Abrúptico* - Unidade Pituva	1,61



Estas diferenças de vazões são explicadas com o coeficiente de escoamento superficial, pois, este coeficiente integra os efeitos de todos os processos físicos que ocorrem na bacia, isto é, varia com muitos fatores, tais como: o tipo de solo, cobertura vegetal, práticas de manejo e intensidade da chuva. Podemos verificar a influência da cobertura vegetal é significativa, pois, quanto maior a quantidade de obstáculos na superfície do solo, menor será o valor do coeficiente superficial obtido, pois, a cobertura vegetal vai influenciar na interceptação, evaporação, transpiração e infiltração, ou seja, nos componentes hidrológicos da bacia, mas, principalmente como obstáculo, isto para que a gota d'água da chuva não caia diretamente sobre o solo e ocorra o escoamento rapidamente, e ainda, permitir uma maior infiltração da água no solo, assim como, a influência das raízes da vegetação na estrutura do solo.

## 5 - CONCLUSÕES

Este trabalho tem como propósito realizar a simulação nas características físicas em uma pequena bacia hidrográfica rural pertinente ao tipo de uso ou cobertura e obter a vazão máxima nestas condições de simulação. A área estudada localizada próximo do município de Passo Fundo/RS e foi utilizada a fórmula Racional para obtenção da vazão máxima. Conclui-se que mais influenciou na vazão máxima é o tipo de uso e cobertura do solo. O uso e a cobertura do solo influenciam na interceptação da chuva permitindo que a água permaneça na superfície do solo por mais tempo, pois, o uso e a cobertura podem ser considerados um obstáculo que impede o rápido escoamento superficial e permite maior infiltração, além da influência das raízes na estrutura do solo.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COGO, N.P. (2005). *Hidrologia aplicada à conservação do solo*. Erosão e Conservação do Solo (AGR 03006). 2005. 13f. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- DENARDIN, J.E. & FREITAS, P.L. (1982). *Características fundamentais da chuva no Brasil*. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 17, n° 10, p. 1409-1416.
- GOLDENFUM, J.A. *Pequenas bacias hidrológicas: conceitos básicos*. In: *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Org. por Paiva, J.B.D. & Paiva, E.M.C., Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 1, p. 3-13.
- HUGGINS, L.F. (1979). *Small watershed hydrology*. Lafayette, Purdue University. Agricultural Engineering Department. Jan. 1979. 67f.
- MARTINS, E.S.P.R. & PAIVA, J.B.D. *Quantidade dos recursos hídricos*. In: *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Org. por Paiva, J.B.D. & Paiva, E.M.C., Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 19, p. 531-566.
- PONCE, V.M. *Engineering hidrology: principles and practice*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1989. 640p.
- TOMAZ, P. *Curso de manejo de águas pluviais*. Capítulo 2 - Método Racional. 2013. 15p.