Resposta do escoamento superficial a diferentes precipitações na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande

Adriana Gindri Salbego[1]

[1] Universidade Federal do Pampa - Unipampa
Av. Tiarajú, 810 - Bairro Ibirapuitã – CEP: 97546-550 - Alegrete - RS, Brasil
adrisalbego@gmail.com

Abstract. The expansion of water resources to ensure the demand of agricultural production consists of a growing need. Water shortages in certain periods has been causing serious social, economic and environmental conflicts arising from irrigated agriculture, especially rice growing cultivation, which has high water demand. In situations where seasonal water shortages, an alternative is to ensure agricultural production is to expand the supply, by storing water in periods of normal rainfall. In this sense, the present study aimed to analyze the response of the different surface rainfall runoff, using the method of the Soil Conservation Service (SCS), based on estimates in the sub-basin of the Arroio Grande rainfall, as backing the implementation the temporary dams at the river-bed of water courses. In sub-basin of the Arroio Grande shows the need to expand the water supply considering that in certain periods drought occurs, due to the demand of irrigated agriculture. Therefore, it was considered the spatial variability of the physical characteristics of watersheds through the use of geoprocessing tools. The results allowed us to quantify the volume of runoff resulting from a rain event in the sub-basin, providing elements for the other phases of the study. Geotechnologies used, especially remote sensing and GIS, were key tools for the characterization of the study area.

Palavras-chave: temporary dams, geoprocessing, water scarcity.

1. Introdução

No Rio Grande do Sul, a escassez de água em determinados períodos vem provocando sérios conflitos sociais, econômicos e ambientais, decorrentes da agricultura irrigada, especialmente da cultura orizícola, que apresenta alta demanda hídrica. A ampliação das reservas hídricas para garantir a demanda da produção agrícola consiste em uma necessidade crescente.

Em situações onde ocorre escassez de água sazonal, uma alternativa para garantir a produção agrícola, consiste em ampliar a oferta, através do armazenamento de água em períodos com precipitações normais, com a implantação de barragens temporárias no álveo de cursos d'água Esta tecnologia vem sendo utilizada em diversos países há mais de meio século, como Japão, Estados Unidos, Austrália e França (OTA, 1991).

Entretanto, o planejamento de intervenções desta natureza requer, em um primeiro momento, uma análise das condições de escoamento superficial na bacia hidrográfica. Segundo Tucci (2002), um dos métodos mais simples e mais utilizados para estimar o volume de escoamento superficial resultante de um evento de chuva é o método desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS). Tassi (2006) comenta que este modelo tem sido utilizado para a determinação do volume de armazenamento em reservatórios de detenção, utilizados no controle de enchentes urbanas.

O modelo SCS (1964) determina o escoamento superficial a partir de uma equação empírica que requer como entrada a precipitação e um coeficiente relacionado às características da bacia, conhecido como *curva número* (CN). Esse coeficiente representa o escoamento superficial potencial das características do tipo e uso do solo na bacia (Sharma & Singh, 1992). Na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande observa-se a necessidade de ampliar a oferta hídrica tendo em vista que em determinados períodos ocorre déficit hídrico, decorrente da demanda da agricultura irrigada.

Neste sentido, o presente estudo apresenta uma metodologia para analisar a resposta do escoamento superficial a diferentes precipitações estimadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, como subsídio a implantação de barragens temporárias no álveo de cursos

d'água. Para tanto, foi considerado a variabilidade espacial das características físicas das microbacias, através da utilização das ferramentas de geoprocessamento.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A sub-bacia do Arroio Grande está inserida na Região Hidrográfica do Guaíba, especificamente na Bacia Vacacaí–Vacacaí Mirim (G060), entre as coordenadas UTM 226700 a 251800m E e, 6706000 a 6734000m N, Zona 22, abrangendo uma superfície territorial de 40.298,54 ha (Figura 1).

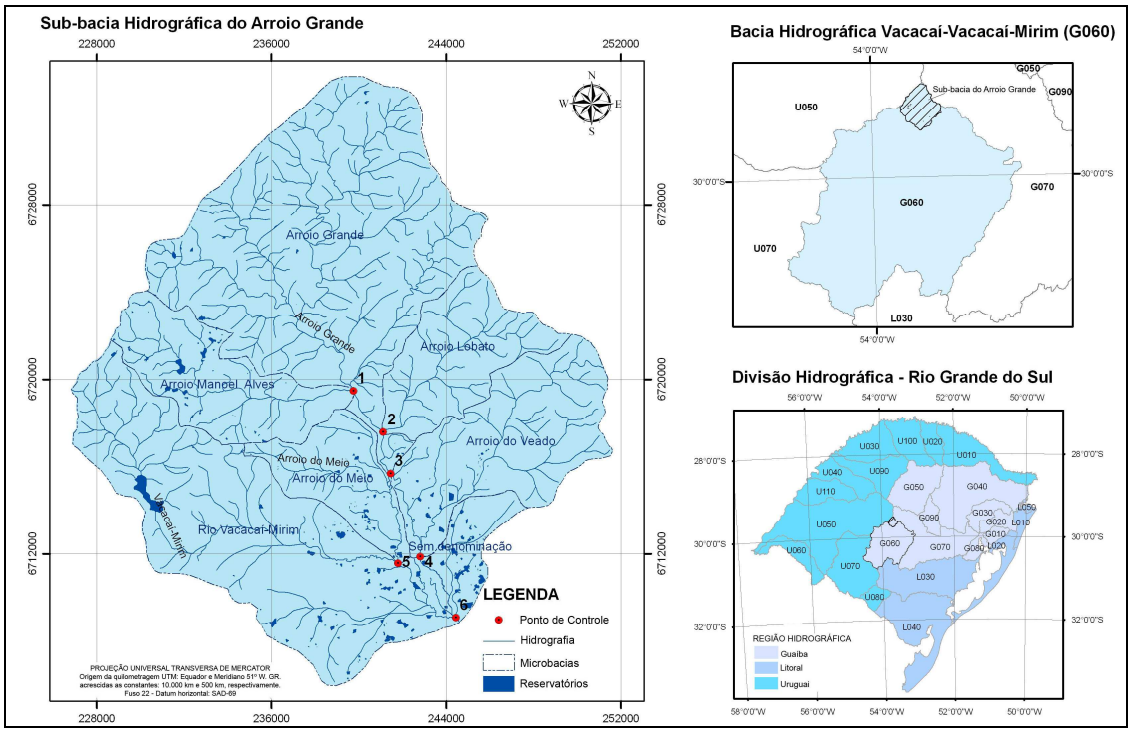

Figura 1 - Localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande no contexto estadual.

2.2 Metodologia

A metodologia utilizada para a determinação do escoamento superficial na sub-bacia constituiu-se dos seguintes procedimentos:

2.2.1 Elaboração dos mapas temáticos

Os mapas temáticos foram elaborados a partir de diferentes fontes de dados, permitindo assim a manipulação de dados espaciais. A partir das cartas topográficas da DSG – datadas de 1975, de nomenclatura SH.22-VC-IV-1/MI-2965/1 (Santa Maria) e SH.22-V-C-IV-2/MI-2965/2 (Camobi), projeção UTM, Datum Horizontal Córrego Alegre, zona 22, em escala 1:50.000, foram extraídos os planos de informação referentes ao limite da sub-bacia e hidrografia. Para a determinação do uso e ocupação da terra da sub-bacia do Arroio Grande foram selecionadas as bandas 3, 4 e 5 do satélite CBERS II, com resolução espacial de 20 metros, imageadas em 16/10/2006, disponibilizadas através do endereço eletrônico http://www.dgi.inpe.br. Posteriormente foi efetuada uma composição colorida RGB (5,4 e 3), uma vez que proporciona uma boa caracterização e diferenciação dos usos e coberturas da terra, facilitando a análise visual sobre a imagem para extração de informações. Com base nestas informações, foram definidas as classes de uso e ocupação da terra: floresta, campo, agricultura, área urbanizada, sombra e lâmina d'água. Para a identificação das classes, utilizou-se a supervisionada, que consiste na seleção de amostras de treinamento

representativas de cada classe de uso. Para a classificação automática utilizou-se o método de Máxima Verossimilhança. A determinação das classes de solos na área de estudo baseou-se na caracterização proposta por Streck et al. (2002).

2.2.2 Modelo hidrológico SCS

O escoamento superficial direto na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande foi determinado a partir do o método da Curva-Número (CN), do Serviço de Conservação de Solos (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). A equação de escoamento utilizada no método foi desenvolvida por Victor Mockus e outros por volta de 1947 (SCS, 1973). Foi concebida, sobretudo, para utilização em pequenas bacias, através de dados de bacias experimentais com vários tipos e uso do solo e técnicas de plantio. Como a equação foi desenvolvida a partir de dados de chuva diária, o método é adequado para estimativa do escoamento superficial direto para o período de 1 dia ou menos (TUCCI, 1998).

O escoamento superficial direto (*Q*) foi obtido através da seguinte equação:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad [1]$$

Onde:
Q: escoamento superficial (mm);
P: precipitação (mm);
S: armazenamento potencial máximo do solo (mm);
I_a: perdas iniciais incluindo por armazenamento na superfície, interceptação e infiltração até a saturação da camada inicial do solo (mm).

As perdas iniciais, representadas por I_a na equação 1, são bastante variáveis, mas geralmente podem ser relacionadas com o tipo de solo e a cobertura vegetal. A partir de um estudo envolvendo pequenas bacias hidrográficas dos EUA, I_a foi determinado como função do armazenamento potencial máximo do solo (S). A relação, apresentada na equação 2, remove a necessidade da estimativa de I_a para uso comum ou para locais sem a disponibilidade de dados.

$$I_a = 0{,}2 \cdot S \quad [2]$$

Desta forma, não existe precipitação em excesso até que a precipitação P seja maior que as perdas iniciais I_a=0,2.S. Depois de superado o valor de I_a, a vazão resultante *Q* é o resíduo da subtração entre a infiltração na bacia e a precipitação P. O volume máximo retido tende ao armazenamento potencial máximo S, conforme o tempo tende a infinito. Assim, tem-se:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2 \cdot S)^2}{P + 0{,}8 \cdot S} \quad [3]$$

Onde *S* (armazenamento potencial máximo do solo), pode ser determinado através da equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [4]$$

O parâmetro CN varia de 0 a 100. Esta escala retrata as condições de cobertura do solo e capacidade de infiltração e, escoamento superficial em função do tipo de solo, sendo tabeladas de acordo com esses parâmetros, variando desde uma cobertura muito permeável (limite inferior) até uma cobertura completamente impermeável (limite superior).

Com relação aos tipos de solo e condições de ocupação, o SCS distingue quatro grupos hidrológicos de solos, que variam desde areias com grande capacidade de infiltração a solos argilosos com capacidade de infiltração extremamente baixa. As características dos grupos do solo apresentadas pelo SCS, segundo Mockus apud Sartori et al. (2006), são apresentadas a seguir: Grupo A: solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme

quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias e cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados (Taxa Mínima de Infiltração: >7,62 mm/h); Grupo B: solos contendo moderada taxa de infiltração quando molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos, moderadamente bem drenados e com textura moderadamente fina e moderadamente grossa (Taxa Mínima de Infiltração: 3,81 a 7,62 mm/h); Grupo C: solos contendo baixa taxa de infiltração, consistindo principalmente com camadas que dificultam o movimento da água de camadas superiores para inferiores, com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração (Taxa Mínima de Infiltração: 1,27 a 3,81 mm/h); Grupo D: solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos (Taxa Mínima de Infiltração: <1,27 mm/h).

Para a obtenção do parâmetro CN foram utilizadas operações de cruzamento dos mapas temáticos relacionados ao tipo e uso e ocupação do solo, determinado assim a média ponderada por microbacia. O volume de escoamento superficial gerado pela precipitação total foi determinado através da expressão:

$$V_t = Q \cdot A \quad [5]$$

Em que: V_t: volume de escoamento superficial (m^3); Q: escoamento superficial (m); A: área da bacia (m^2).

O coeficiente de escoamento (C) da bacia foi definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente (Q) e o volume de água precipitado (P):

$$C = \frac{Q}{P} \quad . \quad [6]$$

O escoamento superficial na sub-bacia foi avaliado com base em diferentes precipitações estimadas ($P > I_a = 0{,}2*S$): 20, 30, 50 e 100 mm, sendo quantificadas por microbacia e PC.

2.2.3 Localização dos Pontos de Controle (PC)

Os PC foram posicionados de forma a permitir a análise das condições de escoamento superficial na sub-bacia, verificando o volume acumulado em determinada posição, como subsídio a implantação de barragens temporárias.

3. Resultados

3.1 Escoamento superficial

a) Grupo hidrológico dos solos

A ocorrência de classes de solos e respectivo grupo hidrológico são apresentados na Tabela 1, utilizadas como referência para a determinação do parâmetro CN (curva número).

Tabela 1 – Frequência de classe de solo e grupo hidrológico, por microbacia, na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (%).

MICROBACIA	CLASSE DE SOLO/ GRUPO HIDROLÓGICO			
	MTf-RLe1 / B	**PVd2 / B**	**SGe1 / D**	**APt2 / B**
Arroio Manoel Alves	65,99	32,66	1,35	−
Arroio Lobato	71,24	2,07	26,69	−
Arroio Grande	61,23	32,33	6,43	−
Arroio do Meio	−	67,99	32,01	−
Arroio do Veado	39,91	10,89	28,39	20,81
Rio Vacacaí-Mirim	5,87	94,13	−	−
Sem denominação	−	21,54	55,10	23,36

Em análise aos dados contidos na Tabela 1, observa-se que os solos presentes na sub-bacia pertencem aos grupos hidrológicos B e D, na proporção, 88,28% e 11,72%, respectivamente. No grupo B, estão os solos caracterizados por apresentar moderada taxa de infiltração, consistindo de solos profundos e bem drenados, incluindo a Associação Chernossolo Argilúvico Férrico – Neossolo Litólico Eutrófico (MTf – RLe1), Argissolo Vermelho Distrófico (PVd2) e, Alissolo Hipocrômico Argilúvico (APt2). Este grupo hidrológico caracteriza 100% dos solos da microbacia do Rio Vacacaí-Mirim e os seguintes percentuais das demais microbacias: Arroio Manoel Alves (98,65%), Arroio Grande (93,57%), Arroio Lobato (73,31%), Arroio do Veado (71,61%), Arroio do Meio (67,99%) e, em menor proporção, na microbacia Sem Denominação (44,90%).

Os solos que pertencem ao grupo hidrológico D (Planossolo Hidromórfico Eutrófico - SGe1), se caracterizam por apresentar alto potencial de escoamento, com uma baixa taxa de infiltração, predominam na microbacia Sem Denominação, em 55,10% da área, seguido pelas microbacias do Arroio do Meio, Arroio Veado e Arroio Lobato, com 32,01%, 28,39% e 26,69%, respectivamente. Em menor proporção, este grupo hidrológico está presente nas microbacias do Arroio Grande e Arroio Manoel Alves, com 6,43% e 1,35%, respectivamente. A Figura 2 apresenta a espacialização dos solos e respectivos grupos hidrológicos.

b) Uso do solo

A ocorrência de classes de uso do solo é apresentado na Tabela 2 e Figura 3.

Tabela 2 - Frequência de uso do solo na sub-bacia do Arroio Grande, por microbacia (%).

MICROBACIA HIDROGRÁFICA	USO DO SOLO				
	FLORESTA	AGRIC.	CAMPO	AREA URBANA	AGRIC. IRRIG.
Arroio Manoel Alves	78,32	7,87	13,59	−	0,22
Arroio Lobato	69,38	6,07	24,37	−	0,18
Arroio Grande	57,59	8,41	33,18	−	0,82
Arroio do Meio	44,20	15,17	13,82	−	26,81
Arroio do Veado	59,91	10,77	22,54	−	6,79
Rio Vacacaí-Mirim	42,56	16,83	16,55	15,50	8,57
Sem denominação	30,72	20,98	18,79	−	29,51

De acordo com a Tabela 2 e Figura 3, observa-se que o uso do solo predominante nas microbacias que compõem a sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande é floresta. Os demais usos variam em função da microbacia, sendo que a agricultura irrigada é mais expressiva nas microbacias Sem Denominação (29,51%) e do Arroio do Meio (26,81%), seguido pelas microbacias do Rio Vacacaí-Mirim (8,57%) e Arroio do Veado (6,79%). Em menor proporção, ocorre nas microbacias do Arroio Grande (0,82), Arroio Manoel Alves (0,22%) e Arroio Lobato (0,18%).

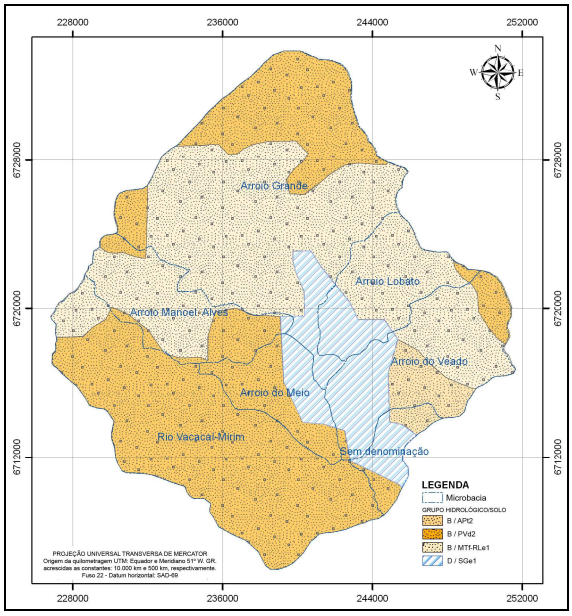

Figura 2 – Classes de solos e respectivo grupo hidrológico na sub-bacia do Arroio Grande.

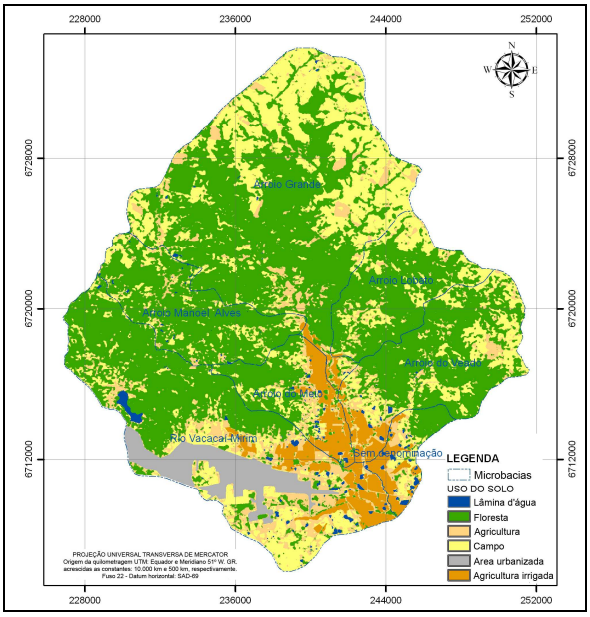

Figura 3 – Uso da terra na sub-bacia do Arroio Grande.

c) Parâmetros de escoamento superficial

A Tabela 3 apresenta a área de contribuição de cada microbacia, e os respectivos parâmetros referentes a: curva-número (CN) ponderado, armazenamento potencial máximo do solo (S) e, as perdas iniciais (I_a) - que representa o limite para iniciar o escoamento superficial na sub-bacia.

Tabela 3 – Parâmetros de escoamento superficial por microbacia, na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (%).

MICROBACIA	ÁREA (ha)	CN	S (mm)	Ia (mm)
Arroio Manoel Alves	3.679,65	76,04	80,02	16,00
Arroio Lobato	3.307,41	84,37	47,05	9,41
Arroio Grande	14.105,44	72,35	97,06	19,41
Arroio do Meio	2.367,04	86,45	39,81	7,96
Arroio do Veado	5.203,09	85,12	44,39	8,88
Rio Vacacaí-Mirim	10.482,68	77,12	75,38	15,08
Sem denominação	1.153,23	87,09	37,65	7,53

Considerando que o parâmetro CN varia de 0 a 100 (muito permeável a impermeável), verifica-se que a microbacia do Arroio Grande apresenta melhores condições de permeabilidade e menor escoamento superficial, apresentando CN 72,35. Em contraponto, a microbacia Sem Denominação é a que possui menor permeabilidade e maior escoamento superficial, com CN 87,09.

Quanto ao parâmetro relativo ao armazenamento potencial máximo do solo (S), verifica-se que varia de 97,06 mm na microbacia do Arroio Grande a 37,65 mm, na microbacia Sem Denominação.

Quanto as perdas iniciais (I_a), constata-se que grande parte do escoamento superficial é retido na microbacia do Arroio Grande (19,41 mm) e, a menor, na microbacia Sem

Denominação (7,53 mm), fatores estes influenciados pelas características conferidas às condições de permeabilidade, que dependem do tipo e uso do solo.

d) Microbacias contribuintes dos Pontes de Controle

As microbacias contribuintes consideradas para cada PC foram: PC1: microbacia 1; PC2: microbacia 2; PC3: microbacias 1, 2 e 3; PC4: microbacia 5 e 50% do volume de contribuição das microbacias 1, 2 e 3; PC5: microbacia 4 e 50% do volume de contribuição das microbacias 1, 2 e 3 e; PC6: localizado a jusante da sub-bacia, acumula todas as microbacias. Na Figura 1 é possível observar que a partir do PC 3, o escoamento do curso d'água principal (Arroio Grande) é dividido em dois trechos, devido a um desvio natural do curso d'água.

e) Volume de escoamento superficial

A Tabela 4.22 apresenta a resposta de escoamento superficial a diferentes precipitações estimadas ($P > I_a=0,2*S$): 20, 30, 50 e 100 mm, considerando as características das microbacias, sintetizadas na Tabela 3. O escoamento superficial (Q) e respectivo volume (Vt) foram quantificados em nível de microbacia (Tabela 4) e por PC (Tabela 5).

Tabela 4 - Escoamento superficial para diferentes precipitações estimadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por microbacia.

MICROBACIA	PRECIPITAÇÃO (mm)							
	20		30		50		100	
	Q (mm)	Vt (m^3)	Q (mm)	Vt (m^3)	Q (mm)	Vt (m^3)	Q (mm)	Vt (m^3)
Arroio Manoel Alves	0,19	6.994	2,08	76.671	10,14	372.996	43,02	1.582.857
Arroio Lobato	1,95	64.347	6,27	207.290	18,80	621.746	59,62	1.971.959
Arroio Grande	0,00	500	1,04	146.899	7,33	1.033.903	36,56	5.156.671
Arroio do Meio	2,80	66.170	7,85	185.898	21,59	511.108	64,25	1.520.838
Arroio do Veado	2,23	115.933	6,81	354.315	19,77	1.028.891	61,27	3.188.034
Rio Vacacaí-Mirim	0,30	31.658	2,47	258.571	11,06	1.159.183	44,99	4.716.294
Sem denominação	3,10	35.780	8,40	96.850	22,51	259.620	65,71	757.832

Observa-se que para precipitações na ordem de 20 mm, a microbacia do Arroio do Veado apresenta maior volume de escoamento superficial (115.933 m^3), devido às características da área de drenagem (microbacia). O menor volume escoado é observado na microbacia do Arroio Grande (500 m^3). Para precipitações de 30 mm, o maior volume escoado é observado na microbacia do Arroio do Veado (354.315 m^3) e o menor, na microbacia do Arroio Manoel Alves (76.671 m^3). A microbacia do Rio Vacacaí-Mirim apresenta o maior volume de escoamento para precipitações na ordem de 50 mm e, a microbacia do Arroio Grande, para precipitações de 100 mm.

A Tabela 5, a seguir, apresenta o escoamento superficial para precipitações estimadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por PC.

Tabela 5 - Escoamento superficial para precipitações estimadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle.

PC	PRECIPITAÇÃO (mm)							
	20		30		50		100	
	Q (mm)	Vt (m^3)	Q (mm)	Vt (m^3)	Q (mm)	Vt (m^3)	Q (mm)	Vt (m^3)
1	0,19	6.994	2,08	76.671	10,14	372.996	43,02	1.582.857
2	1,95	64.347	6,27	207.290	18,80	621.746	59,62	1.971.959
3	2,14	71.841	9,39	430.860	36,27	2.028.644	139,2	8.711.487
4	3,30	151.853	11,51	569.745	37,91	2.043.214	130,87	7.543.778
5	3,87	102.090	12,55	401.328	39,73	1.525.430	133,85	5.876.582
6	10,57	321.381	34,92	1.326.494	111,2	4.987.447	375,42	18.894.486

Observa-se que a resposta da sub-bacia hidrográfica a precipitações de 20 mm, equivale a 321.381 m³ de escoamento superficial. O menor volume é observado nas microbacias do Arroio Grande, Arroio Manoel Alves e Rio Vacacaí-Mirim, tendo em vista que apresentam perdas iniciais (I_a) próximas a 20 mm (Tabela 4). Para precipitações de 30 mm, 50 mm e 100 mm, o volume escoado equivale a 1.326.494 m³, 4.987.447 m³ e 18.894.486 m³, respectivamente. Na análise do escoamento superficial por PC, observa-se que para precipitações de 20 mm, 30 mm, 50 mm e 100 mm, o volume acumulado no PC 3, equivale a 22%, 32%, 40% e 46%, respectivamente, do total escoado. A jusante do PC 3, ocorre a divisão das águas em dois trechos. No PC 4, para precipitações de 20 mm, 30 mm, 50 mm e 100 mm, o volume acumulado, equivale a 47%, 43%, 41% e 40%, respectivamente. Para o PC 5, para precipitações de 20 mm, 30 mm, 50 mm e 100 mm, o volume acumulado, equivale a 32%, 30%, 31% e 31%, respectivamente. O PC 6, que representa o exutório da sub-bacia, acumula todo o escoamento, ou seja, as águas contribuintes aos PC 4 e 5, acrescido das microbacias Sem Denominação e Rio Vacacaí-Mirim.

4. Conclusões e recomendações

A metodologia adotada neste estudo atendeu aos objetivos propostos, permitindo quantificar o volume de escoamento superficial resultante de um evento de chuva na sub-bacia, fornecendo elementos para as demais fases de estudo para implantação das barragens temporárias. As geotecnologias utilizadas, em especial o sensoriamento remoto e SIG, foram ferramentas fundamentais para a caracterização da área de estudo. Dentre outras vantagens, destaca-se a redução significativa no tempo do levantamento dos dados espaciais, bem como a possibilidade de integração de dados provenientes de diversas fontes.

5. Referências Bibliográficas

OTA, J. J. Noções gerais sobre o uso de barragens infláveis. Revista Brasileira de Engenharia: Caderno de Recursos Hídricos, v.9, n.1, pp. 85-99, Rio de Janeiro, 1991.

SCS - Soil Conservation Service. A Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watersheds. Technical. Paper: SCS-TP-149. Revisado em abril de 1973.

SHARMA, K. D., SINGH, S. Runoff estimation using Landsat Thematic Mapper data and the SCS model. Hydrological Sciences. Journal des Sciences Hydrologiques, 37 (1-2): 39-52. 1992.

STRECK, E. V., et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS /ABRH,2002.