



## **Avaliação do Escoamento Superficial e Infiltração em Bacia de Captação Urbana em Caxias do Sul, RS**

**Jean Carlo Peçanha<sup>1</sup>, Marcio Vicente Duarte Adami<sup>1</sup>,  
Patrícia Buffon<sup>1</sup>, Rossano Belladona<sup>2</sup>, Tiago De Vargas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> SAMAE Caxias do Sul (jean\_pecanha@yahoo.com.br); <sup>1</sup> SAMAE Caxias do Sul (mvdami@samaecaxias.com.br); <sup>1</sup> SAMAE Caxias do Sul (pbuffon@samaecaxias.com.br); <sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS) Porto Alegre (rbelladona101@gmail.com); <sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS) Porto Alegre (tiago.devargas@ufrgs.br)

### **Resumo**

Os problemas ambientais urbanos estão fortemente vinculados a falta de planejamento. A substituição da cobertura natural por atividades antrópicas reduz o armazenamento de água no solo, aumentando o escoamento superficial. Este estudo estimar os volumes do escoamento superficial e de infiltração gerados devido a alteração do uso do solo em um novo parque público de aproximadamente 15 hectares, localizado em bacia de captação urbana em Caxias do Sul, RS, com base em 4 anos distintos: 1955, 2011, 2018 e projeção para 2039. O uso foi vetorizado com base em imagens aéreas e de satélite em 7 classes: açude, campo, edificações, mata, pavimentação, estrada de terra e solo exposto. Para a projeção de 2039 considerou-se o parque com toda a vegetação arbórea em estágio adulto. A transformação chuva-vazão foi realizada através do método de Clark e as perdas por infiltração através do método SCS. A cobertura vegetal influencia o armazenamento de água na bacia de captação. Para o hidrograma proposto, a alteração de apenas 5,35 ha do uso e ocupação do solo representa uma redução de 2,18 mm de infiltração e um acréscimo de 55 L/s no escoamento superficial. Observou-se que com o amadurecimento do parque há uma melhora nas condições de infiltração quando comparado com a fase de início. Entretanto, esta melhora não compensa as perdas devido à remoção da cobertura de mata pré-existente.

Palavras-chave: Escoamento superficial. Infiltração. Bacia de Captação.

Área Temática: Recursos Hídricos.

## **Runoff and Infiltration Assessment in an Urban Catchment in Caxias do Sul, Southern Brazil**

### **Abstract**

*Urban environmental problems are tightly connected to the lack of planning. Natural coverage removal to open space to different anthropogenic activities leads to soil water storage reduction, increasing runoff. The present study estimates the runoff volume and infiltration rate due to land use alteration in a new public park of about 15 hectares, located in an urban catchment in Caxias do Sul, Southern Brazil, based on 4 distinct years: 1955, 2011, 2018 and 2039 projection. Land use of digitalized on airborne and satellite images in 7 different classes: pond, field, building, forest, pavement, gravel road and bare soil. For the 2039 projection, it was considered the park with adult trees coverage. Clark's method for rainfall-runoff transformation was used and infiltration losses were analyzed using the SCS method. Vegetated coverage influences water storage in the studied area. For the considered hydrograph, the alteration of just 5,35 ha over the land use represents a reduction of 2,18 mm in infiltration and an increase of 55 L/s in runoff. The 2039 projection modelling, when the park gets more mature, showed an improvement in infiltration when compared to its installation phase. Nonetheless, such improvement does not make up to the losses obtained due to the original coverage removal.*

*Key words: Runoff. Infiltration. Catchment.*

*Theme Area: Water Resources*



## 1 Introdução

A falta de planejamento do desenvolvimento urbano acarreta diversos problemas ambientais. Com o constante crescimento demográfico e a exploração da água, os recursos naturais têm se deteriorado. A ocupação e uso do solo descontrolados acarretam a excessiva impermeabilização do solo devido a construção de edificações e vias, a remoção da vegetação e ao lançamento de efluentes domésticos e industriais. Estes problemas intensificam o escoamento superficial, diminuem a infiltração de água no solo, elevando os picos de cheia que conduz às enchentes; causam a degradação do ambiente natural; e potencializam a perda de solo. A disponibilidade da água que pode virar escoamento superficial ou infiltrar no solo é oriunda das precipitações. Se a intensidade de uma precipitação que atinge o solo for menor que a capacidade de infiltração do solo, toda a água pode infiltrar provocando a redução da capacidade de infiltração. No caso de a intensidade da precipitação ser maior, uma parcela infiltra e outra vira escoamento superficial.

Pinto (1976) descreve que o escoamento superficial considera o movimento da água da chuva que, quando incidida em um solo saturado ou impermeável, escoar pela superfície formando córregos, rios, lagos, ribeirões ou reservatórios de acumulação. Garcez (1988) acrescenta que a água do escoamento superficial em condições naturais, vai pouco a pouco confluindo para canais formados através da sua própria força de erosão sobre o solo, que com o tempo vão estabelecendo os caminhos preferenciais para o escoamento através da declividade da região. No que refere à infiltração, Tucci (2013) explica que se trata de um processo que depende de fatores como tipo de solo, quantidade de água e ar contida no seu interior, estado da superfície e principalmente da disponibilidade de água para infiltrar. Nestas condições o solo tende a saturação de todo o perfil, onde a superfície é o primeiro nível a saturar. Após este aporte ser cessado, uma situação inversa ocorre, de modo que os menores teores de umidade ficam próximo da superfície e os maiores nas camadas mais profundas.

Além das técnicas consagradas da hidrologia, uma ferramenta importante para os estudos do meio físico é o geoprocessamento que, segundo Rubert (2011), pode ser entendido como a ligação técnica e conceitual das ferramentas para captura, armazenamento, processamento de dados e a apresentação de informações espaciais georreferenciadas, onde são empregadas técnicas computacionais e matemáticas para tratar estas informações. Pontes (2015) relaciona a hidrologia e as modelagens geoespaciais, pois elas representam processos físicos naturais através de equações matemáticas. A transformação de chuva em escoamento, evapotranspiração, armazenamento de água no solo e nos aquíferos, e a propagação de ondas de cheia, são alguns exemplos de fenômenos na análise hidrológica ao longo da bacia hidrográfica, que é obtida através de softwares de modelagem. Para a análise hidrológica, o conhecimento do tipo de solo presente na região será necessário para seu enquadramento em um grupo hidrológico, de forma que este também deve ser levado em consideração para a determinação do coeficiente CN. Segundo Tucci (2013) o valor do CN varia numa escala de 1 a 100 e retrata as condições de cobertura e tipo de solo, de forma que o limite superior representa um solo com condições muito impermeável, e o limite inferior a condição de muito permeável.

O presente estudo busca estimar os volumes do escoamento superficial e de infiltração gerados em função da alteração do uso do solo em uma área pública localizada sobre bacia de captação em Caxias do Sul, RS. Para avaliar as modificações sobre esta área utilizou-se softwares de geoprocessamento e de modelagem hidrológica com base em 4 anos distintos: 1955, 2011, 2018 e projeção para 2039, em um parque com área de aproximadamente 15 hectares.

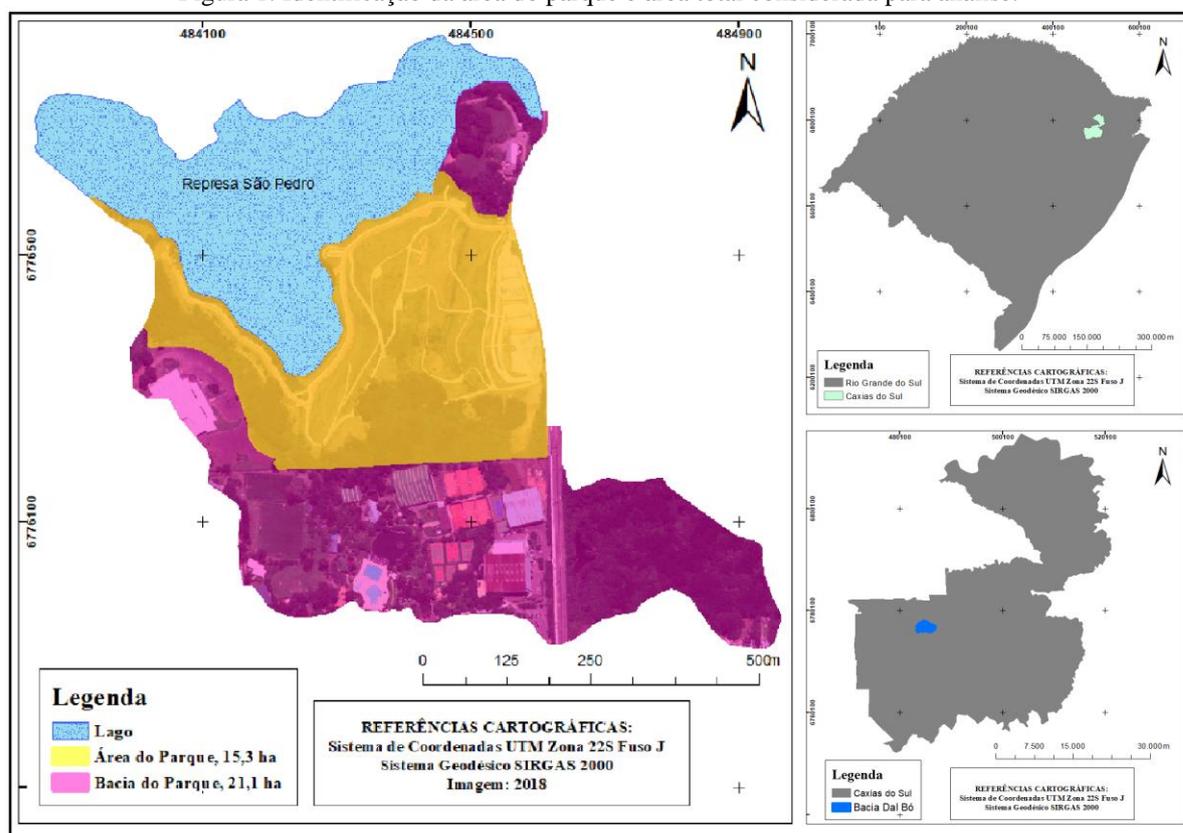


## 2 Metodologia

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo, que atualmente é utilizada como parque público, está localizada dentro da bacia de captação do Dal Bó em Caxias do Sul, RS, formada por uma sequência de 3 barragens: São Paulo, São Pedro e São Miguel, respectivamente. Esta bacia estende-se por 642 ha, porém a área de estudo possui somente 15,3 ha (2,38% da área). Devido a sua geomorfologia, porções externas de montante foram consideradas, pois verificou-se que a área do parque recebe contribuições externas de escoamento superficial. Assim, à área inicial foi acrescido 21,1 ha, totalizando 36,4 ha. A Figura 1 apresenta a área do parque e área total considerada neste estudo.

Figura 1. Identificação da área do parque e área total considerada para análise.



### 2.2 Uso do Solo

A identificação do uso do solo para os anos de 1955, 2011 foi realizada com base nas imagens aéreas disponibilizadas através dos mapas públicos de Caxias do Sul (CAXIAS DO SUL, 2019) e para 2018 utilizou-se imagem de satélite (GOOGLE EARTH, 2019). Elas foram vetorizadas em 7 classes (açude, campo, edificações, mata, pavimentação, estrada de terra e solo exposto) com o auxílio do software de geoprocessamento ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016), momento em que foi necessário subdividir a microbacia de estudo em cinco.

Para o ano de 2039, foi realizado um levantamento quantitativo das espécies plantadas no parque, considerado uma projeção do ano de 2018 com o estágio adulto da vegetação plantada. A Tabela 1 descreve os anos e as características da área, podendo ser observada nas Figuras 2 e 3.



Tabela 1. Ano considerado com suas respectivas características da época.

Ano	Características
1955	Registro aerofotogramétrico mais antigo; menor intervenção antrópica; o campo constituía quase a totalidade do uso e ocupação do solo da área.
2011	Registro imediatamente anterior da criação do parque; caracterizado por grande concentração de árvores do tipo exótica <i>Pinus</i> .  Registro imediatamente posterior da criação do parque; representa a condição atual do local onde foi realizado o corte da grande maioria dos indivíduos de <i>Pinus</i> para a criação do parque; realizado obras civis como estacionamento e área de caminhada que receberam blocos intertravados; a maior cobertura vegetal neste cenário é representada pelo plantio de grama e plantio de mudas de árvores nativas.
2018	
2039	Cenário considerado como projeção futura do parque, considerando o estágio adulto da vegetação nativa que foi inserida na área.

Figura 2. Registros mais antigo da área. Ano de 1955 (A). Ano de 2011 (B), representando o período imediatamente anterior às obras para o início do parque.

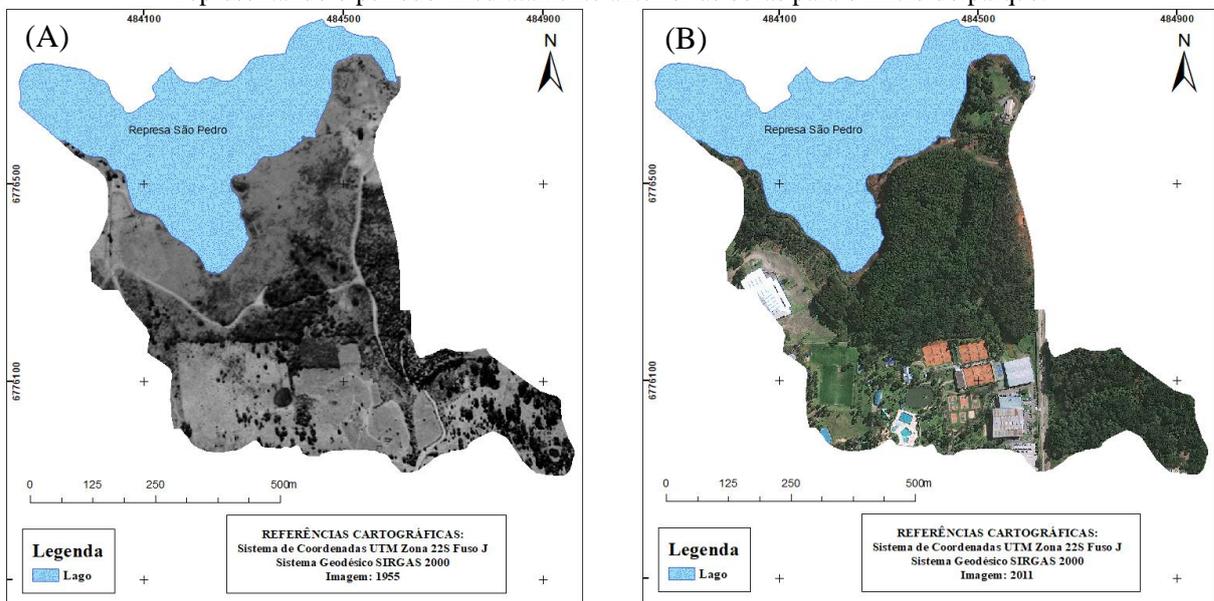
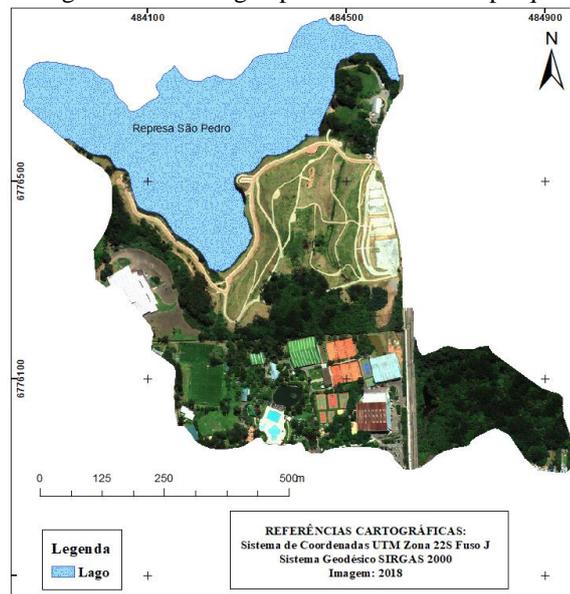


Figura 3. Registro da área logo após a conclusão do parque em 2018.





### 2.3 Divisão da Área em Microbacias

Como na área não há um talvegue definido, optou-se por subdividi-la em 5 microbacias para poder considerar o lago da represa São Pedro como exutório comum. Esta subdivisão foi realizada através da análise de curvas altimétricas espaçadas em 0,5 m. Assim também foi possível a geração do modelo digital de elevação (MDE) através do interpolador *topo to raster* do ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016).

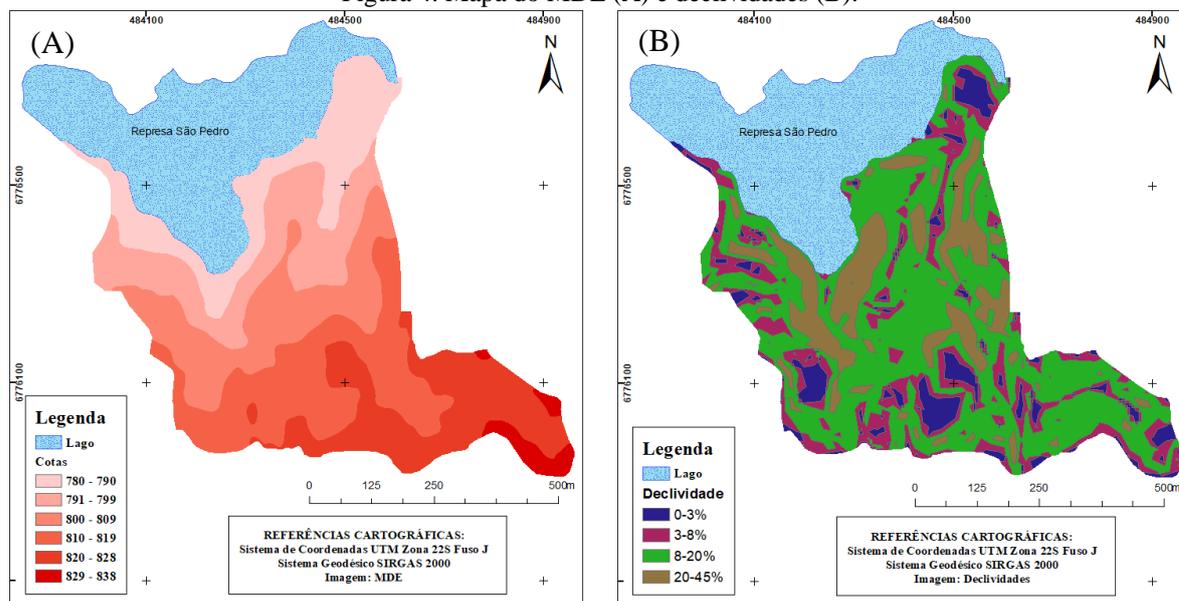
Através do MDE pôde ser gerado um novo arquivo para a classificação das declividades da área. Foi utilizada a ferramenta *slope* do ArcGIS 10.5 (ESRI, 2016) para tal classificação, onde os intervalos das classes foram definidos segundo EMBRAPA (1979), apresentada na Tabela 2.3. A Figura 4 (A) e (B) apresenta o mapa do MDE e de declividades, e a Figura 5 apresenta as microbacias com seus respectivos talvegues.

Tabela 2.3. Classificação das declividades.

Declividade (%)	Relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave-ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte-ondulado
45 – 75	Montanhoso
>75	Forte-montanhoso

Fonte: (EMBRAPA, 1979).

Figura 4. Mapa do MDE (A) e declividades (B).

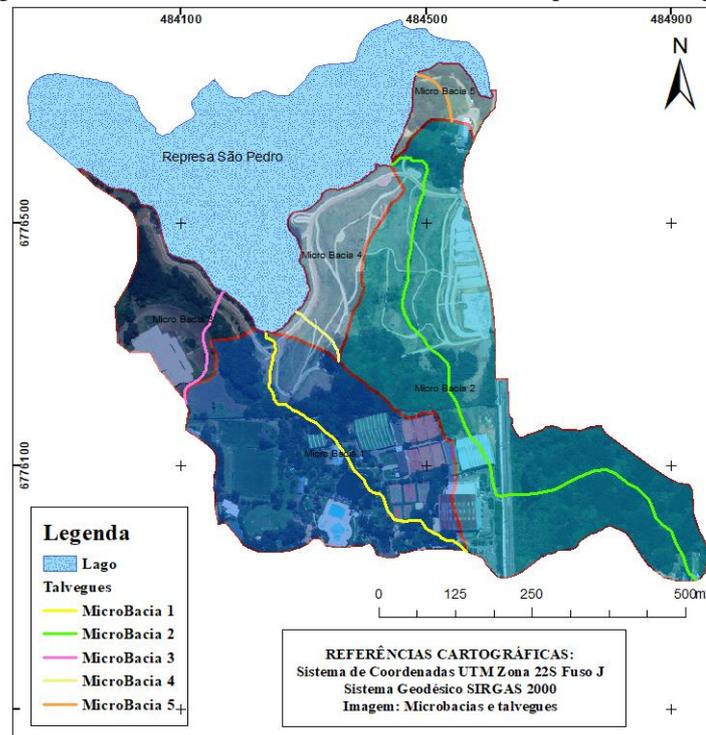


### 2.4 Tipos de Solo

Para a identificação dos tipos de solo existentes na área de estudo, utilizou-se o levantamento pedológico de EMBRAPA (2007) com a verificação em campo através de tradagem. Constatou-se a presença de Cambissolo que pertence ao grupo hidrológico D, onde contém argilas expansivas, sendo pouco profundos e com baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.



Figura 5. Divisão da área total em 5 microbacias e respectivos talvegues.



## 2.5 Método de Transformação de Clark para Chuva-Vazão

O método de Clark não é inteiramente sintético e é formado por duas partes. Primeiramente o método faz a divisão da bacia em subáreas e posteriormente a translação destas para que todas contribuam na vazão. Na segunda parte, o método consiste na simulação de um reservatório linear para amortecimento da contribuição devido a diminuição da lâmina da água quando cessada a precipitação (PORTO et al., 1999). As subáreas são delimitadas através de linhas conhecidas como isócronas, estas linhas são formadas por pontos da bacia que tem o mesmo tempo de translação até o exutório, que são delimitadas através das curvas de altimetria e da taxa de infiltração do solo do local. Assim, este método exige que se conheça o tempo de concentração e o coeficiente de armazenamento de cada microbacia, neste caso utilizou-se 60% do tempo de concentração, conforme sugerido por Missiaggia (2018).

Segundo (SILVEIRA, 2005), a fórmula de Kirpich apresenta boa resposta para o tempo de concentração para bacias rurais menores que 0,45 km<sup>2</sup>, podendo esta ser ainda subdividida em outras microbacias. Tal fórmula é expressa por:

$$T_c = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

Onde:

Tc = Tempo de concentração (h);

L = Comprimento do talvegue principal (km);

S = Declividade do trecho (m/m).

## 2.6 Método de Perda (SCS)

O método do SCS é um método de distribuição temporal e foi adaptado para o solo do estado de São Paulo, podendo ser aplicado à solos de outros estados (HOEPFNER, 2007). Este método assume que após o evento da precipitação, o escoamento superficial potencial pode ser estabelecido através da diferença da precipitação com as perdas iniciais que decorrem da



saturação de água no solo. As perdas iniciais consideradas neste modelo são através das perdas por interceptação; armazenamento em depressões; evapotranspiração e quantidade do teor de umidade antecedente no solo; e a formação de escoamento à superfície do terreno.

Os parâmetros básicos para este método consistem na obtenção das variáveis de abstração inicial, número do CN ponderado, e percentual de áreas impermeáveis em cada microbacia. Segundo Tucci (2013), a abstração inicial pode ser obtida por:

$$Ia = 0,2 \times S$$

Onde:

Ia = Abstração inicial (mm);

S = Volume armazenado.

O valor de S pode ser obtido através de:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Segundo Tucci (2013) o valor do CN varia numa escala de 1 a 100 e retrata as condições de cobertura e tipo de solo, de forma que o limite superior representa um solo com condições muito impermeável, e o limite inferior uma condição de muito permeável. A Tabela 3 traz o valor do CN ponderado obtido para cada microbacia através da vetorização.

Tabela 3. Valores de CN ponderado obtidos em função da vetorização para cada microbacia.

Ano	Microbacia 1	Microbacia 2	Microbacia 3	Microbacia 4	Microbacia 5
1955	82	76	83	78	75
2011	80	73	80	70	75
2018	81	78	82	81	75
2039	81	77	82	78	75

Fonte: Adaptado de Tucci (2013).

## 2.7 Dados de Precipitação

Para a entrada da precipitação no HEC-HMS 4.2.1 (USACE, 2016) optou-se por inserção de valores de hora em hora com duração de 1 dia, sendo que para cada hora foi incrementado um valor de precipitação para melhor comparação entre os hidrogramas e histogramas gerados pelo software para os diferentes cenários que foram configurados para a observação de 30 em 30 minutos. A Tabela 4 mostra o período e os valores da precipitação em milímetros que foi utilizado como entrada no software.

Tabela 4. Tempo e precipitações considerados para a transformação de chuva em vazão.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
00:00	2	08:00	8	16:00	2
01:00	2	09:00	8	17:00	0
02:00	2	10:00	5	18:00	0
03:00	5	11:00	5	19:00	0
04:00	5	12:00	3	20:00	0
05:00	5	13:00	2	21:00	0
06:00	10	14:00	1	22:00	0
07:00	10	15:00	3	23:00	0



### 3 Resultados e Discussão

Devido às condições de uso do solo que podem ser observadas na Figura 1 e Figura 2, verifica-se que houve grande alteração na área de estudo onde, as microbacias 2 e 4 foram as que mais tiveram intervenção, ocasionando drástica alteração do uso do solo. Nestas microbacias foi suprimida grande área de mata, tornando-as uma área de campo de gramíneas com pavimentação para caminhada e estacionamento de veículos. Dessa forma, os resultados são discutidos apenas para estas duas microbacias. Este tipo de modificação pode conduzir ao aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração de água no solo, desta forma potencializando as inundações urbanas, incrementando o aporte de sedimento nas linhas d'água e prejudicando as obras de drenagem. A Tabela 5 sintetiza os resultados obtidos através do HEC-HMS mostrando a diferença de escoamento superficial e infiltração, onde observa-se que no ano de 2011 ambas microbacias apresentaram a maior infiltração com 4,24 e 4,82 mm, respectivamente. Como o esperado, o menor escoamento superficial ocorreu neste mesmo período com 180 L/s e 30 L/s, respectivamente.

A Tabela 5 também evidencia que no ano de 2018, após a conclusão do parque, as microbacias 2 e 4 apresentaram as menores infiltrações com 3,35 e 3,53 mm, com a maior geração de escoamento superficial de 220 L/s e 45 L/s, respectivamente.

Tabela 5. Síntese dos resultados obtidos através da modelagem hidrológica no HEC-HMS.

Microbacia	Ano	Pico do escoamento (L/s)	Pico da infiltração (mm)
2	1955	200,00	3,99
	2011	180,00	4,24
	2018	220,00	3,35
	2039	210,00	3,80
4	1955	40,00	3,94
	2011	30,00	4,82
	2018	45,00	3,53
	2039	40,00	3,92

O estudo permitiu verificar que no ano de 2011 86,4% do total da área da microbacia 4 apresentava cobertura vegetal e que, para o hidrograma proposto, o escoamento superficial somente era gerado após a 6ª hora. Para o ano de 2018, momento em que a áreas apresentava a maior cobertura de pavimento, o escoamento superficial iniciou a partir da 4ª hora, o que demonstra que há uma antecipação na geração do escoamento superficial, proporcionando uma menor permanência da água das chuvas na bacia do Dal Bó. Como pode ser observado na Tabela 5, entretanto, para os anos de 1955 e para a projeção de 2039 houve a menor diferença entre os picos do hidrograma, sendo que para a microbacia 4 não houve alteração, permanecendo em 40 L/s.

Os resultados evidenciam a influência que a cobertura vegetal exerce sobre a bacia de captação do Dal Bó. A alteração de apenas 5,35 ha do uso e ocupação do solo representa em redução de 2,18 mm de água infiltrada na bacia e um acréscimo de 55 L/s no escoamento superficial. A modelagem hidrológica também evidenciou que com o amadurecimento do parque, ou seja, com as árvores que foram plantadas no seu estágio adulto, há uma melhora nas condições de infiltração quando comparado com a fase de início. Entretanto, esta melhora não compensa as perdas devido à remoção da cobertura de mata existente anteriormente a implantação do parque, em 2011.



#### 4 Referências

- CAXIAS DO SUL, 2019 - Diretoria de Informações Geospaciais. Disponível em <geopublico.caxias.rs.gov.br>. Acesso em 24 Ago. 2019.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sumula da X reunião técnica de levantamento de solos. SNLCS. Série Miscelânea, 1979.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento semidetalhado de solos: Região da Serra Gaúcha – Estado Rio Grande do Sul, Escala 1:50.000. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007.
- ESRI 2016. ArcGIS Desktop: Release 10.5. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. Hidrologia. 2.ed. São Paulo: E. Blücher, 1988. 291 p.
- GOOGLE 2019. Desktop: Goolge Earth Pro 2019. Disponível em: <kh.google.com>. Acesso em 26Ago. 2019.
- HOEPFNER, A. C. (2007). Estudo Comparativo Entre Vazões De Pico Estimadas Pelo Método Racional E Pelo Método Do SCS Para a Bacia Hidrográfica Do Rio Bom Retiro Em Joinville-Sc. 57. Acesso em <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/124392>>. Acesso em Set. 2019
- MISSIAGGIA, F.B. Uso dos Modelos HEC-HMS e HEC-RAS Para Quantificar o Aumento do Escoamento Superficial Pela Urbanização Em Uma Microbacia Hidrografica. Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2018.
- PINTO, Nelson L. de Sousa. Hidrologia básica. São Paulo: E. Blücher, 1976. 278 p.
- PONTES, P., Collischonn, W., FAN, F., Paiva, R., & Buarque, D. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em <<https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p888-904>>. Acesso em Set. 2019.
- PORTO, R. L. L., Silvana, R. M., & Marcellini, S. (1999). Escola Politécnica da USP Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD 307- Hidrologia Aplicada Escoamento Superficial, Análise do Hidrograma, Hidrograma Unitário.
- RUBERT, A. vieira. (2011). Curso básico de geoprocessamento em arcgis desktop. Agência Nacional De Águas, 31.
- SILVEIRA, A. (2005). Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em <<https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p5-29>>. Acesso em Ago. 2019.
- TUCCI, C. E. M. (2013). Hidrologia, ciência e aplicação (4 ed.; UFRGS, Ed.). Porto Alegre: ABRH.
- USACE. User's Manual. HMS-Hydrologic Modeling System, Hydrologic Engineering Center. 2016b. 614 p.