

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DA TAXA DE INFILTRAÇÃO POR GRUPOS DE EVENTOS EM UMA BIORRETENÇÃO

*José Artur Teixeira Brasil¹; Vladimir Caramori Borges de Souza²; Lorena Braga Quintella Jucá³
& Adriana Torres Medeiros⁴*

RESUMO – Biorretenção é uma ferramenta que utiliza a tecnologia Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID- *Low Impact Development*), apresentando-se como alternativa para o manejo das águas das pluviais, reduzindo a vazão de pico e aumentando a recarga de águas subterrâneas. O presente artigo propõe agrupar eventos críticos de precipitação captados por uma biorretenção localizada no Centro de Tecnologia - UFAL com o método k-means, a partir dos seguintes parâmetros: nível máximo atingido, lâmina precipitada, intensidade da precipitação e tempo em que o nível permaneceu positivo no decorrer do evento. Além disso, realizou-se a análise das taxas de infiltração por grupos de eventos. Assim, observou-se que os eventos analisados se agruparam em quatro grupos e que a taxa de infiltração repetiu o mesmo comportamento dentro dos grupos de estudo, portanto, se identificado o grupo ao qual o evento pertence, é possível utilizar a faixa obtida de taxa de infiltração inicial e final como parâmetros em futuras modelagens.

ABSTRACT– Biorretention is a tool that uses the Low Impact Development (LID) technology, presenting itself as an alternative to rainwater management, reducing peak discharge and increasing the groundwater recharge. This article proposes to group critical precipitation events captured from a biorretention device located in the Federal University of Alagoas with the k-means method using the following parameters: highest level achieved, amount of rainfall, rainfall intensity and the timeframe in which the level remained positive during the event. Besides that, infiltration rates were analyzed by groups of events. Thus, it was observed that the analyzed events were grouped into four groups and that the infiltration rate demonstrated the same behavior inside the groups, therefore identifying the group to which the event belongs it is possible to use the range in between the initial and final infiltration rates as parameters in future modeling.

Palavras-Chave – Biorretenção; Infiltração; Agrupamento

¹) Graduando em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, CEP 57072-900, Maceió- AL, arturtbr@gmail.com

²) Docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS/CTEC/UFAL), Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, CEP 57072-900, Maceió- AL, vcaramori@yahoo.com

³) Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas(UFAL), Av Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, CEP 57072-900, Maceió-AL, lorenajuca@gmail.com

⁴) Graduanda em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, CEP 57072-900, Maceió- AL, adriana.medeiros@ctec.ufal.br

INTRODUÇÃO

Segundo Canholi (2014), biorretenção são dispositivos que apresentam funções no controle do volume do escoamento e da vazão de pico do hidrograma. Dentre essas técnicas, também podem-se elencar: as superfícies de infiltração, as valetas de infiltração, as lagoas de infiltração, as bacias de percolação, os pavimentos porosos e os poços de infiltração. Nessa abordagem, as biorretenções ou os jardins de chuvas são instrumentos que utilizam o conteúdo de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID- *Low Impact Development*), que remaneja as águas pluviais para o solo de modo a restabelecer um comportamento semelhante ao natural, proporcional a redução da vazão de pico e a recarga de águas subterrâneas (Davis et al 2009).

O dispositivo de biorretenção monitorado se encontra no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, e conta como área de contribuição dois telhados onde a água é direcionada por meio de calhas para um vertedor de entrada e contribuição de uma área verde nos arredores do dispositivo. A área de contribuição total é de 377,8 m² destes 169,4 m² são impermeáveis e 208,4 m² são permeáveis, logo o solo tem 44,8% da área impermeável. O dispositivo possui dimensões de 4m x 1m, onde, possui algumas camadas como mostra a Figura 1. A primeira camada possui uma mistura de húmus com terra preta, onde foram plantados *Philodendron imbe*, popularmente conhecidos como Imbé. A segunda camada possui britas separadas das demais camadas por mantas geotêxteis, que impedem a entrada de partículas finas das laterais e demais camadas e acelere assim o processo de compactação. A última camada é uma camada de areia utilizada para filtrar a água que penetra no solo natural.



Figura 1- Caracterização da biorretenção

Projetos e estudos têm sido desenvolvidos no campo da modelagem de sistemas de drenagem urbana. O software SWMM, desenvolvido pela Agência Americana de Proteção Ambiental, faz uma previsão de caráter quantitativo e qualitativo do escoamento superficial gerado por chuvas torrenciais

que incidem sobre uma determinada área, que pode ou não conter estruturas de controle (USEPA, 2019); o HEC-HMS, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, foi criado para simular processos de precipitação-escoamento de sistemas de bacias dendríticas (USACE, 2000); Palhegyi (2010) estudou a duração do escoamento superficial como parâmetro-base para a modelagem e o dimensionamento de um dispositivo de biorretenção.

Nas análises, assume-se que os eventos chuvosos são independentes entre si quando o período de estiagem entre sucessivos períodos de chuva é longo o suficiente comparados com a escala investigada (Neugebauer, 2003). Entretanto, em um dispositivo de biorretenção, para a garantia de independência entre eventos, deve-se também considerar o nível dentro do dispositivo, já que, mesmo com o cessar da precipitação e a recessão do nível à zero, ainda pode conter água no solo.

Com relação à análise conjunta de eventos, a clusterização é uma técnica de agrupamento aplicável a grandes volumes de dados. Segundo Bataineh *et al.* (2011) tal método é considerado uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento de modelos, revelando relações não visíveis entre os dados.

Este estudo busca fornecer subsídios para a utilização de dispositivos de biorretenção como instrumentos de amortecimento das vazões de pico em espaços urbanos. Espera-se que, conhecendo-se o comportamento desses dispositivos no tocante a parâmetros como a taxa de infiltração, seja possível instalar dispositivos como estes de acordo com as necessidades do local de modo que a biorretenção se comporte de maneira previsível, permitindo o planejamento do seu uso para os diferentes espaços urbanos em escalas maiores do que as utilizadas neste estudo. Assim, o principal objetivo deste estudo é estabelecer parâmetros representativos do funcionamento de um dispositivo de biorretenção em eventos críticos, de maneira a possibilitar futura modelagem, visando, com base num experimento, expandir para uma bacia hidrográfica.

METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido a partir da separação dos eventos críticos de precipitação recebidos pela biorretenção, seguida pelo agrupamento desses eventos de acordo com critérios pré-estabelecidos e, por fim, da análise da taxa de infiltração para cada grupo de eventos.

Dados

A biorretenção foi monitorada dentre o período de 2015 e 2018, entretanto, os dados utilizados foram somente os que possuíam conjuntamente os dados de nível dentro da biorretenção, vazão de entrada e lâmina precipitada. Desse modo, houve uma redução do período utilizado, pois só existem dados de lâmina precipitada a partir de 2016 e ainda ocorreram eventos de falhas nos sensores, que por períodos específicos uma das variáveis não foi monitorada, sendo assim esses períodos desconsiderados na análise.

Separação dos eventos

Então, para garantir que um evento não possui relação com o outro, foi estabelecido como parâmetro que ao fim da precipitação e conseqüentemente o nível da biorretenção chegar a zero, são necessárias pelo menos duas horas sem que o nível volte a ser positivo para que o dispositivo esvazie e assim um evento não interfira no outro.

Para retratar eventos relevantes para a biorretenção, os eventos cujo o nível não ultrapassa 30cm foram eliminados da análise. Com relação aos demais níveis, se faz necessária a correção de, em média, 18cm de altura, já que o sensor de nível se encontra a esta cota abaixo da biorretenção.

Ao final da separação e considerações, chegou-se ao número de 41 eventos para aplicação da técnica de agrupamento.

Agrupamento dos eventos

Todos os eventos foram submetidos a um agrupamento por meio da técnica não supervisionada k-means utilizando-se da distância euclidiana entre os centroides. De acordo com Aristidis (2011), o algoritmo de k-means requer um número preciso de clusters, já que o centroide dos clusters iniciais são mutáveis, podendo ser possível resultar num agrupamento instável de dados. Para definição da quantidade de grupos foi utilizado um o *Elbow Method* e um dendrograma. Assim, de acordo com Thorndike (1953) o *elbow method* aplica distorções como critério de resultado para os clusters. A método consiste em entre diferentes números de clusters K, deve ser escolhido um número k em que $k \in K$, de tal forma que $k + 1$ não retorna uma melhora muito significativa nos dados. Dados n objetos em k clusters, são denotados os objetos x_1, x_2, \dots, x_n e os centróides dos clusters $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$. A qualidade do modelo é mensurada pela distorção J dos clusters, calculada por:

$$J(c, \mu) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (\min_{j=1}^k (x_i - \mu_j)^2) \quad (1)$$

Entretanto k pode ser subjetivamente determinado com a ajuda de um gráfico de distorção, como ilustrado na Figura 2. Para os eventos da biorretenção, há uma tendência a estabilização a partir de 4 grupos, sendo este o número de clusters escolhidos.

Para a utilização do agrupamento, quatro parâmetros de cada evento foram selecionados: nível máximo atingido pelo evento, lâmina precipitada durante o evento, intensidade da precipitação e tempo em que o nível permaneceu positivo.

Segundo Bain (2016), o método de agrupamento k-means é o método mais simples e comum de clusterização. O k-means tem a habilidade de agrupar grande número de dados relativamente rápido e com um tempo computacional eficiente. Segundo Argawal e Procopiuc (1998), o método k-means que utiliza a distância euclidiana tem o objetivo de minimizar a soma das distâncias do

centroide mais próximo e também minimizar a distância máxima de cada ponto para o seu centro mais próximo.

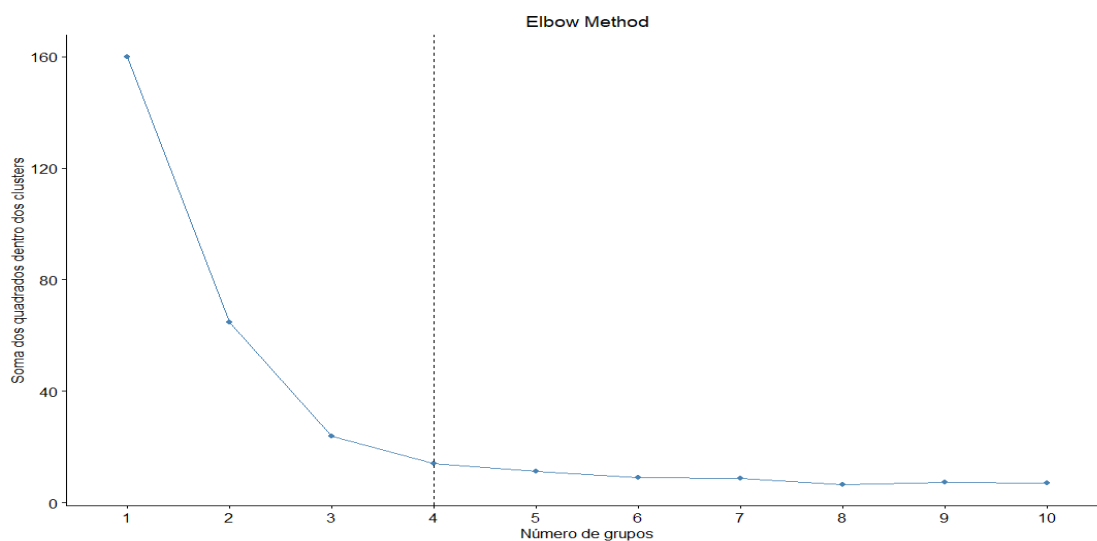


Figura 2 – Gráfico de distorção.

Análise da taxa de infiltração

Para cada evento, foi selecionada a recessão final do nível, onde não havia mais entrada de água, ou seja, quando o nível começava a baixar até chegar a zero e consequentemente o evento se encerrava. Com este trecho de recessão, se subtrairmos o nível do ponto i pelo ponto $i + 1$ teremos o quanto de água infiltrou, e, sabendo do tempo decorrido entre esta infiltração temos a taxa de infiltração naquele momento. Se realizarmos esse procedimento para todos os pontos da recessão obtemos uma curva de infiltração.

O procedimento para esta análise teve que eliminar os eventos em que houve precipitação significativa durante o período de recessão, pois para realizar este procedimento contabilizando a entrada, se faz necessário a realização de um balanço hídrico. Dessa maneira, nem todos os eventos permitiram a análise da taxa de infiltração, mas todos os grupos possuíam pelo menos três eventos em que a curva de infiltração foi analisada.

Segundo Tucci (2009), se a intensidade de um evento é menor ou igual a capacidade de infiltração do solo, então toda a água precipitada é infiltrada, sendo a taxa de infiltração máxima para essas condições. Caso a intensidade do evento seja maior que a capacidade de infiltração do solo, então a taxa de infiltração decresce com o tempo devido ao umedecimento do solo e, atinge um valor mínimo e estável, produzindo assim escoamento na superfície do terreno.

Um exemplo de curva de infiltração gerada para um evento pode ser visto na Figura 3. Nesta figura, os pontos representam a taxa de infiltração daquele instante, entretanto é possível observar variação dos pontos. Esta variação se deve tanto a frequência dos dados, pois são obtidos em minutos, quanto a erros numéricos do sensor, portanto, para expressar o comportamento da curva foi realizado uma média móvel de 10 elementos e adicionado aos pontos uma regressão polinomial local. De acordo com Cleveland (1979), assim como a regressão linear, a regressão polinomial local é desenhada com propriedades particulares, tais quais a curva tende a ser suavizada localmente, minimiza a variância residual ou os erros de previsão.

Com a curva de infiltração, importantes parâmetros são conhecidos tais quais a capacidade de infiltração quando o solo está seco e capacidade de infiltração quando em condição de saturação, sendo respectivamente a taxa de infiltração no começo e no fim da curva de infiltração. A partir da análise da taxa de infiltração, espera-se identificar padrões dentro dos grupos que permitam estimar a taxa de infiltração a partir de determinada configuração de evento, contribuindo, assim para, através do conhecimento de parâmetros básicos como tempo de duração do evento, lâmina precipitada e nível máximo, estimar a taxa de infiltração, e, com isso fornecer parâmetros em escala real para o processo de dimensionamento de biorretenção quanto na sua modelagem em escalas maiores

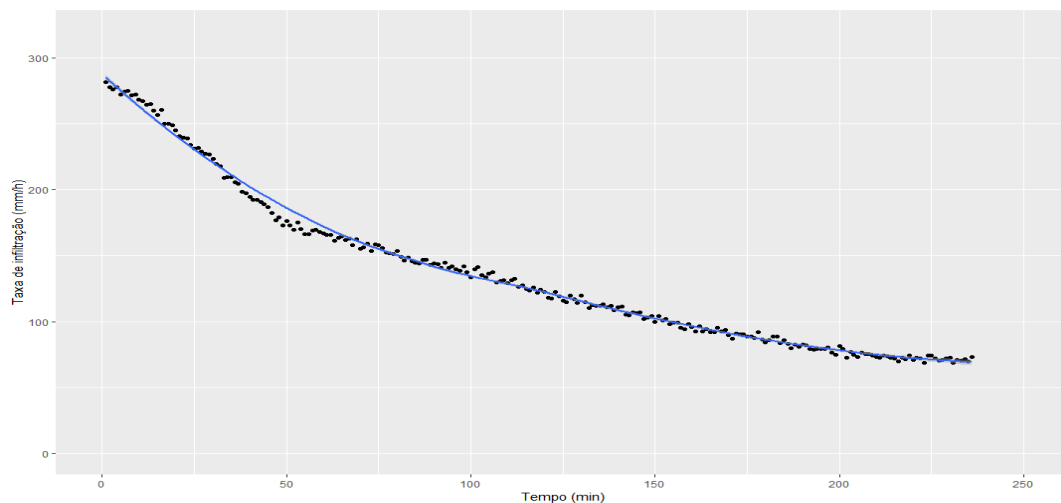


Figura 3 – Curva de infiltração de um evento

RESULTADOS

Ao realizar o agrupamento por k-means um dendrograma foi gerado, como segue a Figura 4, para reconhecer se o número de grupos escolhido abrangia uma altura onde os grupos fossem significativos. Através do dendrograma é possível visualizar que quatro grupos foram suficientes para separar os eventos.

Para verificar o comportamento dos eventos dentro dos grupos, alguns parâmetros utilizados para o agrupamento foram analisados conjuntamente como nas Figuras 5 e 6. É possível observar que

os grupos 1 e 2 são os que possuem mais similaridade entre si, enquanto os grupos 3 e 4 estão bem definidos. Ao analisar as figuras em conjunto verifica-se que o grupo 1 possui um nível máximo abaixo de 0,50m, um tempo em que o nível foi positivo de 1 até 10 horas e uma lâmina precipitada de até 20 mm, enquanto que o grupo 2, apesar de também possuir nível máximo também próximo de 0,50m, possui uma duração do nível positivo maior que o grupo 1, variando de 7 até 18 horas de duração e uma lâmina precipitada entre 20 e 40mm. Já a caracterização do grupo 3 temos durações de nível positivo similares ao grupo 2, entretanto o nível máximo varia de 0,6m até 1,10m e a lâmina precipitada entre 25 e 50mm. O grupo 4 é formado por eventos de longa duração de nível positivo, nível máximo acima de 1m e lâmina precipitada acima de 125mm.

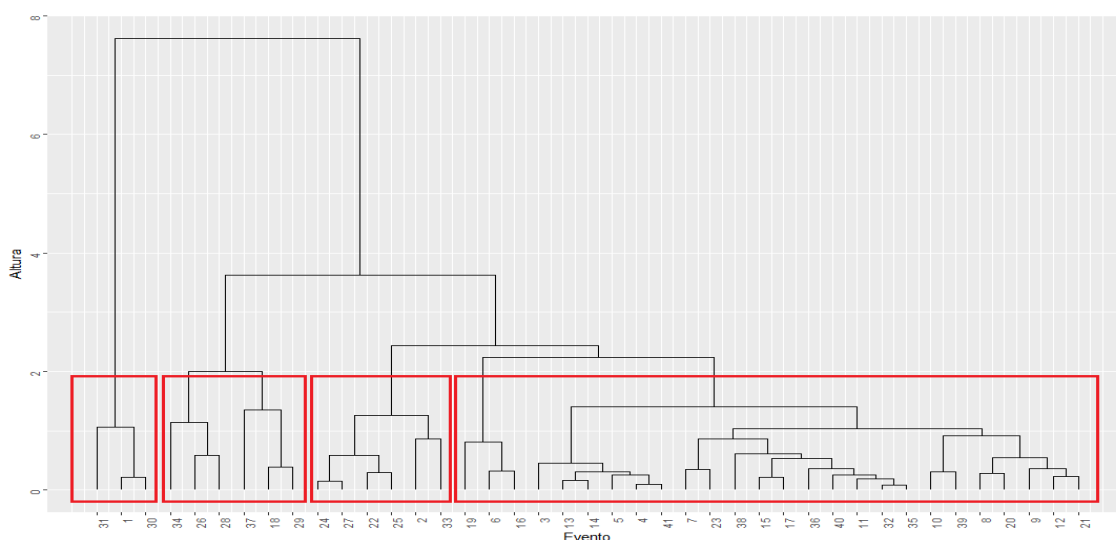
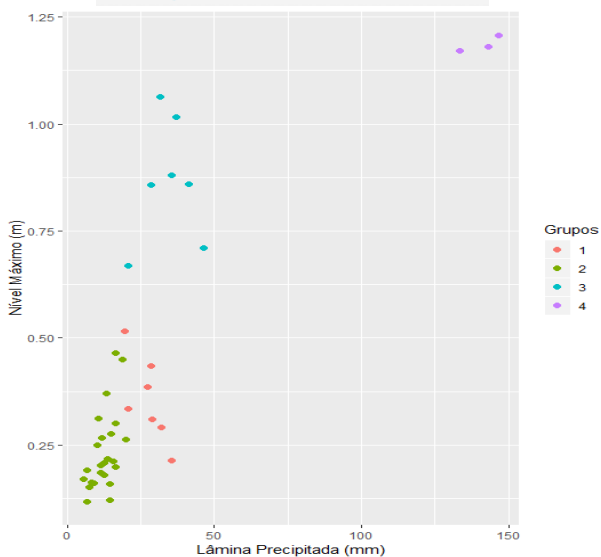
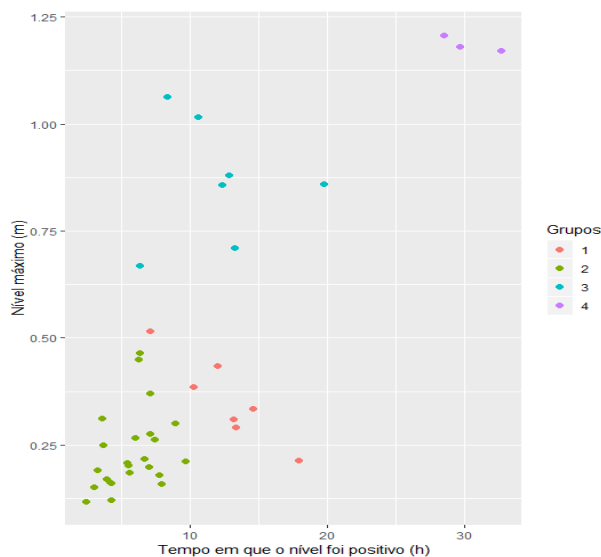


Figura 4 – Dendrograma separando os grupos

Esta caracterização é importante para a análise dos fenômenos de infiltração da biorretenção, pois se o comportamento for similar entre os grupos, definindo o nível máximo do evento, tempo de duração e lâmina precipitada será possível saber a qual grupo o evento pertence e conseqüentemente um comportamento esperado de infiltração.



Figuras 5 e 6 – Comparação de parâmetros utilizados no agrupamento

Com relação infiltração foram separadas as curvas equivalentes a cada grupo de evento como mostra a Figura 7. Nesta figura é possível observar que o grupo que melhor se adequou com relação a taxa de infiltração foi o grupo 3, que tem como características um nível máximo de evento alto, duração média de nível positivo e lâmina precipitada entre 25 e 50mm.

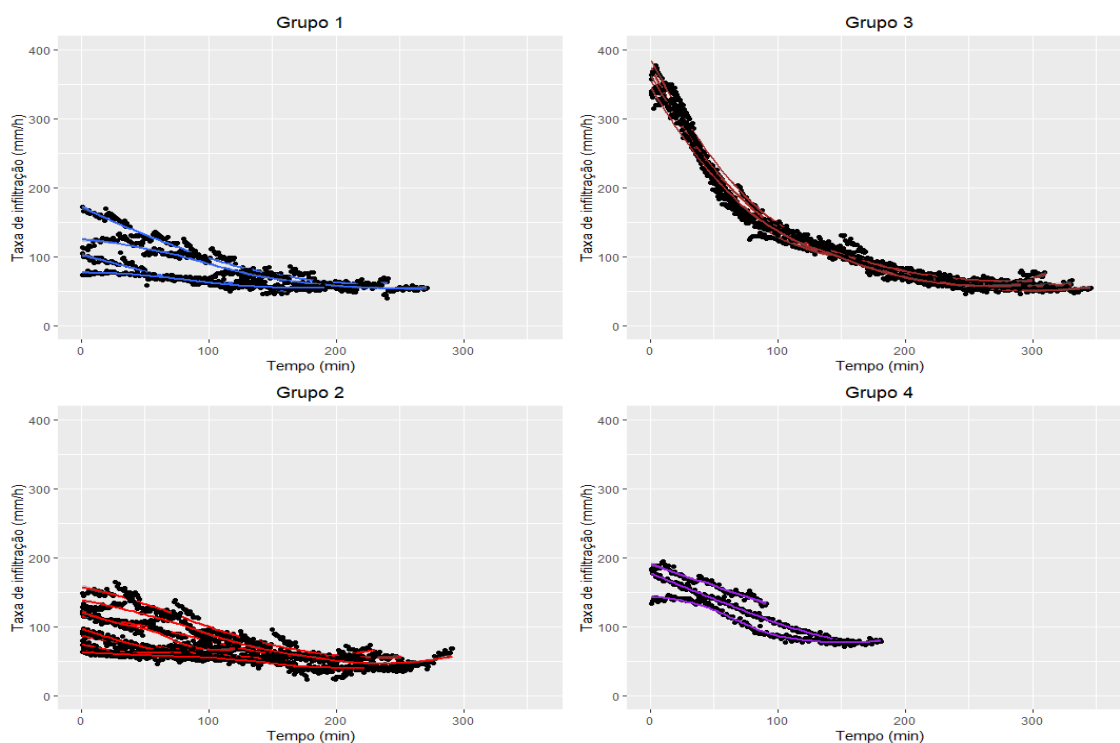


Figura 7 – Taxa de infiltração para os eventos agrupados

Para este grupo fica claro a tendência de taxa de infiltração inicial entre 350 e 380 mm/h e taxa de infiltração final entre 60 e 80mm/h e sua recessão com duração de aproximadamente 350 minutos. Com relação ao grupo 1 a taxa de infiltração inicial variou entre 70 e 180 mm/h com convergência

para a taxa de infiltração final de 60 mm/h, com duração da recessão variando de 220 até 260 minutos. Com relação a taxa de infiltração do grupo 2 é possível observar que a taxa de infiltração inicial varia entre 60 e 150 mm/h, enquanto que a taxa de infiltração final tem um alcance de 50 a 70 mm/h com duração entre 200 e 300 minutos. Já o grupo 4, caracterizado por eventos de longa duração, nível máximo e lâmina precipitada alta obteve uma taxa de infiltração inicial entre 150 e 200 mm/h e uma taxa de infiltração final de aproximadamente 70mm/h, com duração de 100 a 200 minutos de recessão. Em resumo, podem-se ver os resultados para cada grupo no Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo dos resultados do agrupamento com taxas de infiltração inicial e final

Grupo	Nível máximo (cm)	Lâmina precipitada (mm)	Tempo em que o nível foi positivo (h)	Taxa de infiltração inicial (mm/h)	Taxa de infiltração final (mm/h)	Tempo de recessão (min)
1	20 - 45	20-35	7- 18	70-180	60	220-260
2	20 - 50	5-18	3 - 10	60-150	50-70	200-300
3	65-110	20-47	6-20	350-380	60-80	350
4	115-120	130-150	28-32	150-200	70	100-200

CONCLUSÃO

Com o trabalho, pode-se observar que as curvas de infiltração possuem comportamento similar dentro de um grupo e distinto em grupos diferentes. Com relação aos grupos 1 e 2, observa-se que, para os parâmetros utilizados para o agrupamento, ambos os grupos são similares, o que se repetiu ao analisar a taxa de infiltração. Contudo, o grupo 4, que possui os maiores valores de tempo em que o nível foi positivo, de nível máximo e de lâmina precipitada, apresentou uma taxa de infiltração inicial inferior ao grupo 3. Isso pode ter ocorrido pois como se trata da taxa de infiltração na recessão do evento e o tempo do evento é superior aos outros grupos, as camadas mais inferiores do solo se saturaram, dificultando a infiltração da água e diminuindo assim sua taxa. Para analisar com mais assertividade este grupo se faz necessário o monitoramento de um maior número de eventos similares. Já a curva de infiltração no grupo 3 possui um começo e fim bem definidos e podem ser utilizadas como parâmetros representativos para modelagens futuras, já que este grupo possui um número considerável de eventos e provocam níveis máximos significativos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos CNPq e a FAPEAL por auxiliar financeiramente a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ARGAWAL, P. K.; PROCOPIUC, C. M. (1998). *Exact and Approximation Algorithms for Clustering*. Proc. Ninth Ann. ACM-SIAM Symp. Discrete Algorithms, pp. 658-667p.
- ARISTIDIS, L.; NIKOS, V.; JACOB, J. V. (2011) *The global k-means Clustering algorithm* IAS technical report series, IAS-UVA-01-02.
- BAIN, K. K.; FIRLI, I. TRI, S. (2016) *Genetic Algorithm For Optimized Initial Centers K-Means Clustering In SMEs*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT) 90 p
- BATAINEH, K. M., NAJI, M., & SAQER, M. (2011). “A Comparison Study between Various Fuzzy Clustering Algorithms”. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5(4), 335–343.
- CANHOLI, A. P. (2014) *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 327 p.
- CLEVELAND, W. S. (1979). *Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots*. J. Amer. Statist. Assoc. 74(368): 829–836p.
- DAVIS, A. P., HUNT, W. F., TRAVER, R. G., & CLAR, M. (2009). *Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs*. *Journal of Environmental Engineering*, 135(3), 109–117.
- NEUGEBAUER, H. J.; SIMMER, C. (2003). *Dynamics of multiscale earth systems*. Springer. 345 p.
- PALHEGYI, G. E. (2010). “*Modeling and Sizing Bioretention Using Flow Duration Control*”. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), 417–425.
- THORNDIKE, R. L. (1953). *Psychometrika* 18 ed: 267 p. <https://doi.org/10.1007/BF02289263>
- TUCCI, C. E. M. (2009) *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: ABRH. 944 p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2019). *Storm Water Management Model (SWMM)*. <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (2000). “*Technical Reference Manual*”. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*, p.2.