

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA IDF DE TALBOT PARA O MUNICÍPIO DE PELOTAS, RS

*Hugo Alexandre Soares Guedes¹ ; Marlon Heitor Kunst Valentini² ; Samuel Lucas Schierholt³ &
Andréa Souza Castro⁴*

RESUMO – O presente estudo teve como objetivo determinar os parâmetros da IDF de Talbot utilizando simulação numérica, relacionando-os com os parâmetros da equação IDF do município de Pelotas, RS. Para tal foi utilizado o método de regressão não linear de Gauss-Newton. Os valores dos parâmetros da equação de Talbot, obtidos a partir da equação IDF de Pelotas, foram estimados para um período de retorno de 2, 4, 6, 8, 10 e 25 anos, e para um tempo de concentração de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 minutos. Os resultados obtidos foram comparados sob diferentes lances iniciais no início da simulação. De forma geral, houve convergência dos resultados sendo possível gerar a equação de Talbot para o município de Pelotas. Como recomendação, os parâmetros da IDF de Talbot estimados neste trabalho não devem ser aplicados no dimensionamento de estruturas de controle pluvial para tempos de retorno maiores que 25 anos e tempos de concentração menores que 5 minutos e maiores que 120 minutos. Os resultados deste trabalho podem permitir uma relação mais adequada para o dimensionamento de estruturas sustentáveis de drenagem urbana.

ABSTRACT– This study aimed to determine the parameters of the Talbot IDF using numerical simulation, relating them to the parameters of the IDF equation for Pelotas city, RS. For this purpose, the Gauss-Newton nonlinear regression method was used. The values of the parameters of the Talbot equation, obtained from the Pelotas IDF equation, were estimated for a return period of 2, 4, 6, 8, 10 and 25 years, and for a concentration time of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 and 120 minutes. The results were compared considering different initial conditions at the beginning of the simulation. In general, there was a convergence in the results and it is possible to generate the Talbot equation for Pelotas city. As a recommendation, the Talbot IDF parameters estimated in this work should not be applied in the dimensioning of rain control structures for a return time longer than 25 years and a time of concentration fewer than 5 minutes or longer than 120 minutes. Results may allow a more adequate relation for the demisioning of sustainable structures of urban drainage.

Palavras-Chave – Drenagem sustentável; Gauss-Newton; Simulação numérica.

1) Professor Adjunto, Centro de Engenharias/Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas, Tel. (53) 32841614, hugo.guedes@ufpel.edu.br

2) Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Pelotas, marlon.valentini@hotmail.com

3) Engenheiro Civil, samuelschierholt@gmail.com

4) Professora Adjunta, Centro de Engenharias/Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Pelotas, andreascastro@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, tornou-se recorrente deparar-se com situações de inundações e alagamentos de cidades e de suas periferias, as quais são frequentes nas mais diversas regiões do país. Com a cronicidade de tais problemas, busca-se, por parte da sociedade, soluções para minimizar seus impactos.

A generalização de situações de inundações e alagamentos por todo o país deve-se principalmente ao uso de conceitos e metodologias relacionadas com a Drenagem Tradicional ou “Abordagem Higienista”, como também é conhecida, que há anos vem sendo empregado nos dimensionamentos de estruturas de controle hidráulico, como sarjetas, bueiros e galerias (Baptista *et al.*, 2005). Todavia, essa ideologia não considera aspectos como o acúmulo de água nas zonas mais baixas, causando, conseqüentemente, inundações ou alagamentos. Além disso, a retificação dos corpos de água provoca uma falsa situação de segurança, permitindo a ocupação da população em áreas ribeirinhas. Ainda, a falta de planejamento, impermeabilização do solo, mau dimensionamento de estruturas de drenagem e crescimento urbano potencializam esse problema (Prefeitura de Londrina, 2009).

Em vista destes aspectos e da inviabilidade das atuais estruturas de drenagem empregadas, procuram-se meios ambientais e economicamente viáveis para a solução ou minimização dos impactos gerados por chuvas intensas de curta duração. Uma das principais formas de promover tais soluções é a criação de estruturas de retenção, retenção e infiltração de águas pluviais, conhecidos também, como dispositivos de controle pluvial na fonte (Silveira e Goldenfum, 2007).

Tais estruturas reduzem os picos de cheias, controlam as vazões de água pluvial, e ainda aliviam os sistemas de drenagem. De acordo com Back *et al.* (2012) para dimensionar correta e economicamente essas estruturas de controle pluvial, é essencial estimar valores de intensidade, duração e frequência das chuvas no local de estudo, assim como, analisar condições topográficas, solo, áreas impermeabilizadas e declividades.

A relação intensidade, duração e frequência é de grande importância no processo de transformação chuva-vazão e está diretamente ligada com a análise das séries históricas de precipitação. Atualmente, o método mais empregado na estimativa de intensidades máximas de chuva é a equação de Intensidade, Duração e Frequência (IDF) (Teixeira *et al.*, 2011). Segundo Rodrigues *et al.* (2008) gerar a curva IDF e estimar os seus parâmetros é de grande importância para o dimensionamento de projetos urbanos.

Um dos primeiros trabalhos que abordou a relação entre chuvas intensas e o dimensionamento de estruturas de controle pluvial na fonte, também conhecido como drenagem sustentável, foi escrito

por Azzout *et al.* (1994). Seu estudo obteve uma expressão matemática, a qual relaciona as alturas de lâmina d'água de entrada e saída com a IDF de Talbot. Essa equação deu origem a diversas outras expressões matemáticas para diferentes tipos de estruturas de retenção, retenção e infiltração de água.

No Brasil, o primeiro trabalho relacionando a equação IDF clássica com a IDF de Talbot foi escrito por Silveira e Goldenfum (2007), focando os seus estudos para o município de Porto Alegre, RS. Outros estudos, como os desenvolvidos por Ferreira (2015) e Zanatta (2015), utilizaram as expressões encontradas por Silveira e Goldenfum (2007), indicando a contribuição teórica e prática trazida por esses autores. Entretanto, no Brasil é a única fonte de consulta para futuros projetos de drenagem sustentável.

Em Pelotas, município localizado no sul do estado do Rio Grande do Sul, é comum, após uma precipitação intensa, as ruas ficarem completamente alagadas, em função da sua característica urbana, com áreas muito impermeabilizadas, e relevo estritamente plano (Zanatta, 2015). Além do mais, as estruturas de drenagem, como sarjetas, bueiros e sarjetas, não escoam o excesso de água da forma como deveriam. Uma das soluções possíveis seria implementar estruturas de controle pluvial na fonte. Entretanto, o dimensionamento dessas estruturas fica comprometido uma vez que não há uma IDF de Talbot previamente definida.

Sendo assim, o presente estudo tem por objetivo determinar os parâmetros da IDF de Talbot utilizando simulação numérica, relacionando-os com os parâmetros da equação IDF do município de Pelotas, RS.

2. METODOLOGIA

A aproximação dos parâmetros da IDF de Talbot (Equação 1) foi implementada através da metodologia numérica Gauss-Newton, através da linguagem de programação R versão 3.4 (2017), com auxílio do ambiente de programação R-Project © versão 1.0.143 (2017).

$$i_{Talbot} = \frac{a.(T_r)^b}{t+c} \quad (1)$$

Em que, i_{Talbot} é a intensidade de precipitação em (mm.h⁻¹); T_r é o período de retorno (anos); t é o tempo de duração de um evento (minutos) e; a , b e c são os parâmetros regionais da IDF de Talbot.

Os parâmetros a , b e c da IDF de Talbot foram correlacionados com os parâmetros k , m , d e n da IDF de Pelotas, estimada por Dorneles (2017) (Equação 2), de forma que as intensidades de precipitação fossem iguais em ambas as equações, conforme preconizado por Azzout *et al.* (1994).

$$i_{Pelotas} = \frac{k \cdot (T_r)^m}{(t+d)^n} = \frac{1100 \cdot (T_r)^{0,163}}{(t+16,47)^{0,766}} \quad (2)$$

No presente estudo, os parâmetros a e c da equação IDF de Talbot foram consideradas variáveis, e passíveis de serem estimados. Já o parâmetro b foi considerado constante e igual ao parâmetro m , da equação IDF de Pelotas, assim como foi estabelecido por Silveira e Goldenfum (2007). A função objetivo a ser minimizada foi a somatória dos erros quadrados (Equação 3). Como as equações IDF's estão em função tanto do tempo de concentração quanto do período de retorno, foi necessário utilizar uma função que englobasse todas as curvas IDF's para a aproximação dos parâmetros da IDF de Talbot. Sendo assim, empregou-se a soma dos erros dos quadrados das curvas IDF's para cada um dos seus respectivos tempos de retorno.

$$SQE = \sum_{i=1}^n (i_{Pelotas} - i_{Talbot})^2 \quad (3)$$

Em que, n é o número de observações; $i_{Pelotas}$ é a intensidade da precipitação da equação IDF de Pelotas (mm.h^{-1}); e i_{Talbot} é a intensidade da precipitação da equação IDF de Talbot (mm.h^{-1}).

Os lances iniciais foram feitos a partir de valores aleatórios e dos resultados encontrados pelas expressões matemáticas desenvolvidas por Silveira e Goldenfum (2007), utilizando simulações numéricas (Equação 4, Equação 5 e Equação 6) para o município de Porto Alegre. Dessa forma foi possível comparar o método de aproximação com diferentes valores iniciais.

$$a = 0,68 \cdot k \cdot \exp(0,06 \cdot n^{-0,26} \cdot d^{1,13}) \quad (4)$$

$$c = 1,32 \cdot n^{-2,28} \cdot d^{0,89} \quad (5)$$

$$b = m \quad (6)$$

Para a simulação, foram adotados os seguintes períodos de retorno: 2, 4, 6, 8, 10 e 25 anos; e os seguintes tempos de concentração: 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 minutos. Por simplificação e melhor entendimento, os resultados foram ordenados por tempo de retorno, e cada simulação foi implementada em função do tempo de concentração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 e na tabela 2 estão apresentados os resultados da simulação numérica utilizando lances iniciais aleatórios. Observa-se que houve convergência dos lances iniciais resultando nos mesmos valores finais, independente da presença do parâmetro b no processo. Isso evidencia que o método de Gauss-Newton utilizado segue uma convergência única e confirma que a igualdade do parâmetro b da equação de Talbot e do parâmetro m da equação IDF de Pelotas é verdadeira. Observa-se ainda, na tabela 2, que o uso do parâmetro b no lance inicial obtém uma convergência com menos iterações, passando de 12 (sem o parâmetro b) para 8.

Tabela 1 – Simulação numérica com lances iniciais aleatórios sem o uso do parâmetro b

SQE	Parâmetro a	Parâmetro c
749608,5	10,00	1,00
708187,7	1983,52	835,62
644662,8	399,45	48,79
634290,1	421,68	46,44
613502,5	466,92	42,76
572762,8	558,98	38,04
497856	742,85	33,62
375181,3	1093,32	30,82
207960,4	1708,92	29,7
51773,2	2631,86	29,45
398,1	3554,23	29,46
398,1	3554,24	29,46
398,1	3554,24	29,46
Erro residual padrão: 1,976		

Tabela 2 – Simulação numérica com lances iniciais aleatórios com o uso do parâmetro b

SQE	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
751960,2	10,00	0,100	1,00
366023,3	282,85	0,911	125,94
291701,4	755,84	0,435	43,81
193800,4	2020,09	0,081	24,33
36320,5	3521,33	0,244	33,20
856,9	3534,18	0,175	29,97
398,2	3554,90	0,163	29,48
398,1	3554,24	0,163	29,46
398,1	3554,24	0,163	29,46
Erro residual padrão: 1,985			

Ao usar as expressões de Silveira e Goldenfum (2007) para calcular os parâmetros a, b e c, e utilizá-los como lances iniciais, observou-se uma redução do número de iterações (total de 3) necessárias para convergência, tanto sem usar o parâmetro b (Tabela 3) quanto usando o parâmetro b na simulação (Tabela 4). Observa-se ainda nas tabelas 3 e 4 que os valores alcançados para os parâmetros foram os mesmos que os obtidos na simulação com lances aleatórios (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 3 – Simulação numérica com lances iniciais calculados a partir das expressões de Silveira e Goldenfum (2007) sem o uso do parâmetro b

SQE	Parâmetro a	Parâmetro c
915,7	3453,30	29,34
398,1	3553,93	29,46
398,1	3554,24	29,46
398,1	3554,24	29,46
Erro residual padrão: 1,976		

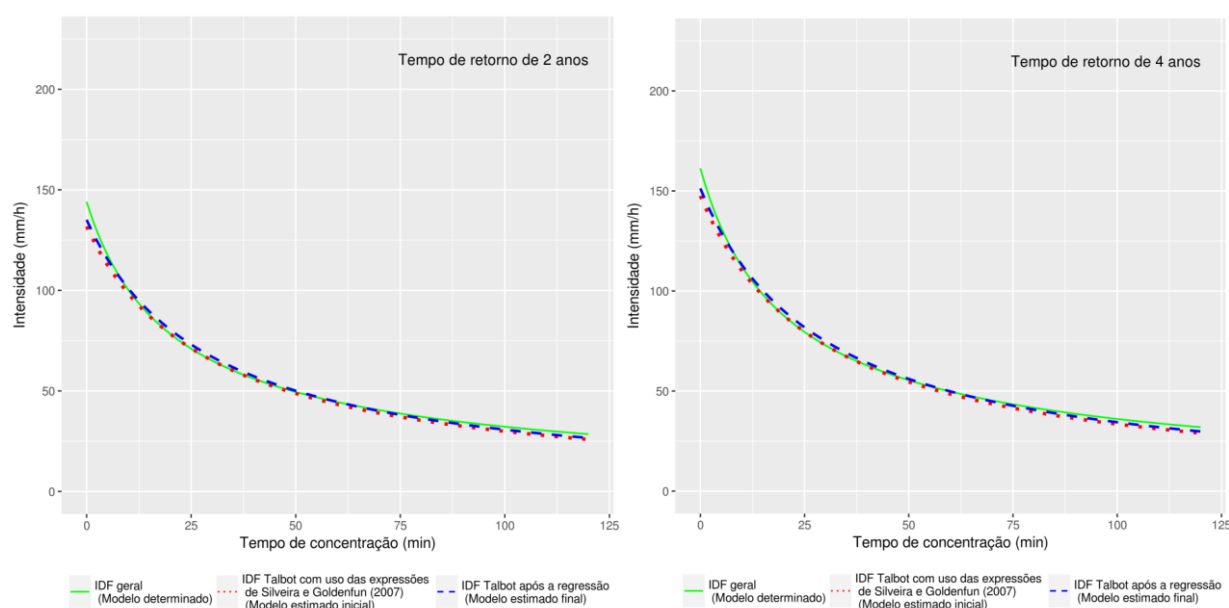
Tabela 4 – Simulação numérica com lances iniciais calculados a partir das expressões de Silveira e Goldenfum (2007) com o uso do parâmetro b

SQE	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
915,7	3453,30	0,163	29,34
398,1	3553,93	0,163	29,46
398,1	3554,24	0,163	29,46
398,1	3554,24	0,163	29,46
Erro residual padrão: 1,985			

A partir das simulações realizadas e dos resultados obtidos foi possível gerar a equação da IDF de Talbot para o município de Pelotas, conforme apresentada na equação (7):

$$i_{Talbot} = \frac{3554,2.(T_r)^{0,163}}{t+29,46} \quad (7)$$

Na figura 1 estão representadas graficamente as curvas IDF, geradas por Dorneles (2017) e de Talbot, para diferentes períodos de retorno. A linha verde contínua indica a curva IDF (modelo de dados determinados), gerada pela equação IDF de Pelotas; a linha vermelha pontilhada indica a curva IDF de Talbot (modelo de dados estimados iniciais), gerada a partir dos lances iniciais com o uso das expressões numéricas de Silveira e Goldenfum (2007); e a linha azul tracejada representa a curva IDF de Talbot (modelo de dados estimados finais), gerada pelos valores finais dos parâmetros convergidos.



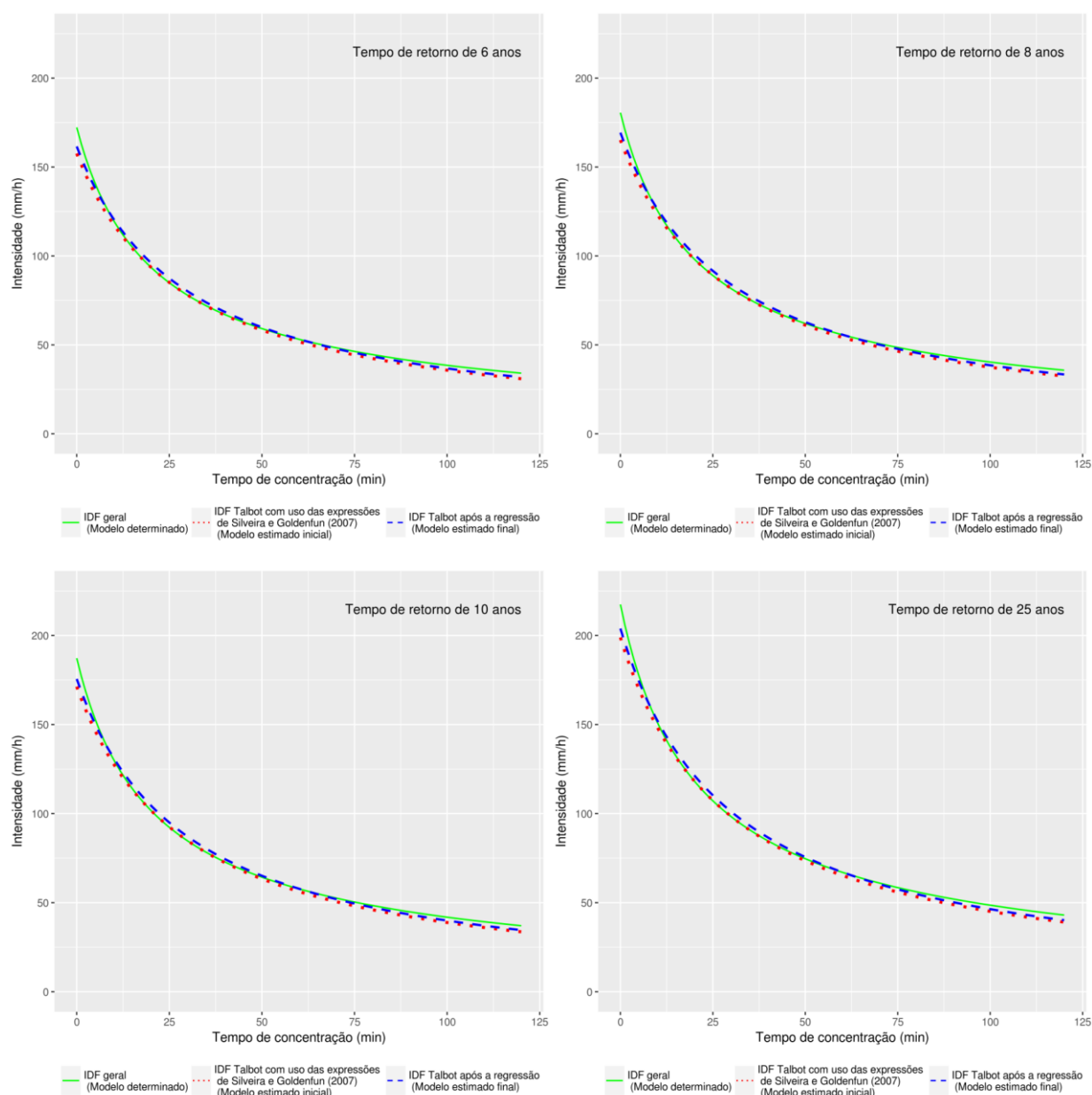


Figura 1 – Curvas IDF's geradas para diferentes períodos de retorno

Como é possível observar na figura 1, há quase uma proximidade integral das curvas IDF's para os diferentes tempos de retorno, revelando um ajuste satisfatório da simulação numérica pelo método de Gauss-Newton.

Realizou-se uma busca intensa de estudos na literatura técnica-científica que relacionasse a equação IDF tradicional com a IDF de Talbot, visando aumentar a discussão dos resultados encontrados neste estudo. Infelizmente não foram encontrados estudos, para quaisquer localidades, exceto o estudo desenvolvido por Silveira e Goldenfum (2007) para o município de Porto Alegre e utilizado como base no presente estudo.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que:

- i) houve convergência dos parâmetros estimados para o método de regressão não linear utilizado, para lances iniciais aleatórios e para lances iniciais com o uso das expressões de Silveira e Goldenfum (2007).
- ii) os parâmetros da IDF de Talbot estimados neste trabalho para a cidade de Pelotas, não devem ser aplicados no dimensionamento de estruturas de controle pluvial para tempos de retorno maiores que 25 anos e tempos de concentração menores que 5 minutos e maiores que 120 minutos.

REFERÊNCIAS

- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. (1994) *Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, realisation et entretien*. Technique et Documentation Lavoisier, 372p.
- BAPTISTA, M. B.; DE OLIVEIRA NASCIMENTO, N; BARRAUD, S (2005). *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. ABRH Porto Alegre-RS, 318p.
- BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. (2012) “*Relações entre precipitações intensas de diferentes durações da chuva diária em Santa Catarina*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 16 (4), pp. 391-398.
- DORNELES, V. R. (2017) *Análise de chuvas intensas com abordagem de dados pluviográficos e pluviométricos*. Dissertação (Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- FERREIRA, A. F. da S. P. (2015) *Avaliação e proposta de sistema de drenagem pluvial da superquadra 411/12: Um estudo de caso*. Monografia (Bacharel no Curso de Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Brasília, Brasília.
- PREFEITURA DE LONDRINA (2009). *Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)*. Relatório de Diagnóstico da Situação do Saneamento (2008/2009), 340p.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, T. S.; LOBATO, F. A. O. (2008) “*Equações de Intensidade – Duração – Frequência de Chuvas para as Localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará*”. Scientia Agraria 9 (4), pp. 511-519.

SILVEIRA, A. L. L. da; GOLDENFUM, J. A. (2007) “*Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 12 (2), pp. 157-168.

TEIXEIRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; ROSSKOFF, J. L. C. (2011) “*Intesity-Duratiom-Frequency Ratios Obtained from Annual Records And Partial Duration Records In The Locality Of Pelotas-RS, Brazil*”. Engenharia Agrícola 31 (4) pp. 687-694.

ZANATTA, V. (2015) *Drenagem urbana em área da região central de Pelotas-RS: pré-dimensionamento de estruturas sustentáveis*. Monografia (Bacharel no Curso de Engenharia Civil) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.