



## Polutogramas dos sólidos e Turbidez no Córrego Vicente Pires – Distrito Federal

Página | 2109

## Polutographs of solids and Turbidity at Vicente Pires Stream – Federal District

Maria Elisa Leite Costa<sup>(1)</sup>; Sérgio Koide<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5477-4349>, Doutoranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH, Universidade de Brasília; Brasil (mariaelisaleitecosta@hotmail.com);

<sup>(2)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0424-5748>, Professor do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasil (skoide@umb.br)

Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

Recebido em: 08 de dezembro de 2020; Aceito em: 22 de março de 2021; publicado em 31 de 05 de 2021. Copyright© Autor, 2021.

**RESUMO:** Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a qualidade das águas da bacia do Vicente Pires, afluente do Lago Paranoá, com o uso de polutogramas e hidrogramas, por meio de eventos de onda de cheia e de seca dos sólidos dissolvidos (SD), suspensos (SS) e totais (ST) e da turbidez. O monitoramento ocorreu no exutório do Córrego VP com a medição de nível da água, para determinação da vazão, simultaneamente a coleta de amostras de águas para análise das concentrações dos poluentes. Foram analisados 5 eventos, de 2018 a 2019, com vazões de 0,88 m<sup>3</sup>/s até 72,17 m<sup>3</sup>/s, concentrações de SD de 13 a 4.445 mg/L, SS de 0 a 5.164 mg/L, e ST de 24 a 7.583 mg/L e turbidez de 6,2 a 9.522 NTU. Percebe-se, quanto aos polutogramas, que as concentrações dos sólidos e da turbidez no Córrego VP estão relacionadas com a vazão, sendo os eventos de cheia os de maiores concentrações. Portanto, este fato é relacionado com o escoamento superficial, que geram grandes vazões, lavando as superfícies dos solos, e carreando o que está depositado, como aterros das grandes obras ocorridas na bacia de drenagem. Além da poluição difusa, as grandes vazões advindas do escoamento superficial atingem o córrego causando as erosões nas margens, agravando ainda mais o problema de transporte de sedimentos. De fato, para a garantia da manutenção do Córrego VP é necessário o controle do aporte de sedimentos advindo da poluição difusa, sendo necessário a adoção de medidas compensatórias na drenagem urbana desde a sua construção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluição difusa, Escoamento superficial, Monitoramento.

**ABSTRACT:** This research aims to evaluate the water quality of the Vicente Pires basin, a tributary of the Paranoá Lake, with the use of polutographs and hydrographs, through flood and dry events of dissolved (DS), suspended (SS) and total solids (TS) and turbidity. The monitoring happened in the VP Stream outfall with water level measurement, to determine the flow, simultaneously collecting water samples for analysis of pollutant concentrations. Five events were analyzed, from 2018 to 2019, with flow from 0.88 m<sup>3</sup>/s to 72.17 m<sup>3</sup>/s, DS concentrations from 13 to 4,445 mg/L, SS from 0 to 5,164 mg / L, and TS from 24 to 7,583 mg/L and turbidity from 6.2 to 9,522 NTU. It is clear from the polutographs that the concentration of solids and turbidity in the VP Stream are related to the flow, with flood events being those with the highest concentrations. Therefore, this fact is related to runoff, which generates large flows, washing off the soil surfaces, and carrying what is deposited, such as landfills of major works that occurred in the drainage basin. In addition to diffuse pollution, large flows from surface runoff reach the stream causing erosion on the banks, further aggravating the sediment transport problem. In fact, in order to guarantee the maintenance of the VP Stream, it is necessary to control the sediment input from diffuse pollution, requiring the adoption of compensatory measures in urban drainage since its construction.

**KEYWORDS:** Diffuse Pollution, Monitoring, Runoff.

## INTRODUÇÃO

Em Brasília se observa o esgotamento da atual capacidade instalada de abastecimento público de água, evidenciado entre 2016 e 2017, quando o Distrito Federal – DF vivenciou uma crise hídrica com a adesão do racionamento de água. Neste período, o Lago Paranoá foi utilizado emergencialmente como manancial para abastecimento público (LIMA et al., 2018).

O Riacho Fundo é o principal afluente do Lago Paranoá em questão de descarga de sedimentos (MENEZES, 2010; AGUIAR, 2015; NUNES, 2016; AQUINO et al., 2018). Esse fato implica numa perda de qualidade do corpo hídrico receptor em função da poluição difusa (COSTA, 2013), ocasionada pela urbanização irregular neste braço (CASTRO et al., 2019) em Regiões Administrativas – RAs como Vicente Pires – VP e Arniqueira (CARVALHO et al., 2020; COSTA e KOIDE, 2020; PINHO et al., 2020).

Merten e Poletto (2006), Lopes (2010) e Távora (2017) atribuem a deterioração dos corpos d'água ao avanço da urbanização que, devido a remoção da vegetação e sua substituição por áreas impermeáveis, provoca um aumento no escoamento superficial, alterando o comportamento hidrológico da bacia com uma elevação das vazões a jusante. Portanto, há a lavagem da superfície do solo, o que gera o arraste de poluentes comuns em áreas urbanas (TUCCI e MARQUES, 2000), como nutrientes (TSUJI, 2018), metais pesados (DIAS, 2017) e óleos e graxas (DE PAULA, 2019).

Consciente disso, o governo do Distrito Federal vem incentivando e implementando desde 2009, com a resolução 09 da Adasa, o uso medidas compensatórias de drenagem urbana, inclusive com lagoas de retenção para amortecimento de vazões e poluentes do escoamento superficial. Porém, na fase de execução das obras em geral, inclusive das lagoas, nas quais há muita movimentação de terra, deve-se adotar medidas para que os sedimentos não sejam carregados pela chuva para corpos hídricos.

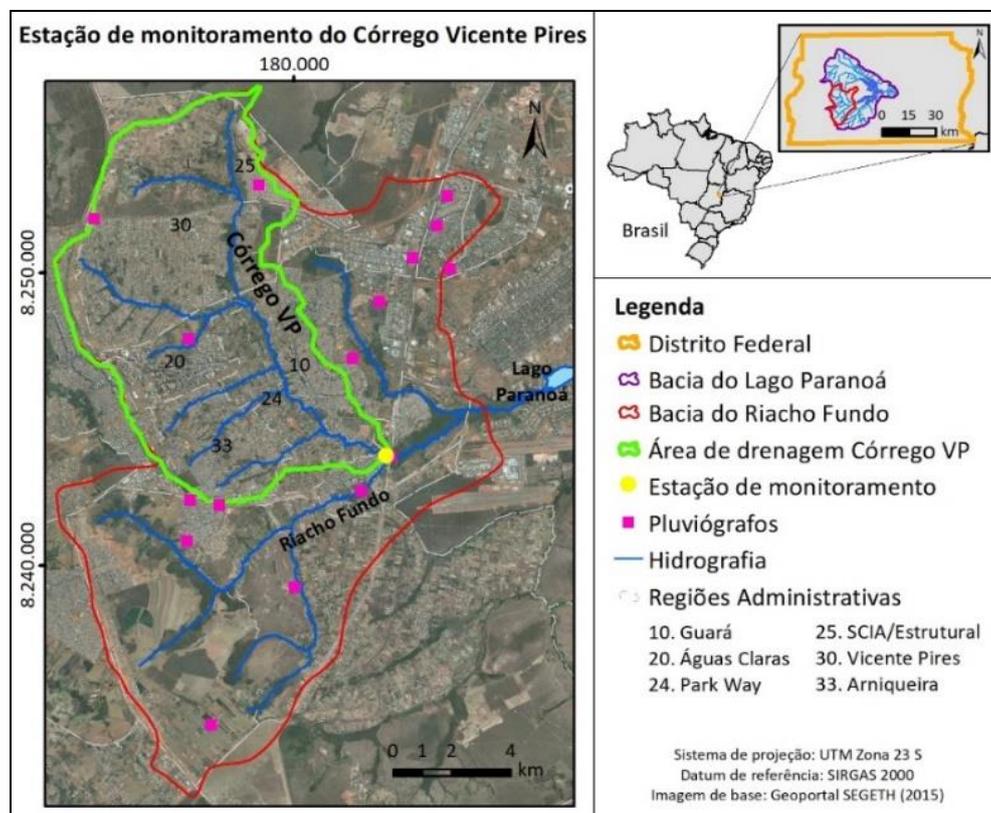
O Lago Paranoá, no DF, encontra-se abaixo de uma mancha urbana significativa, que ainda está em desenvolvimento. Portanto, a fim de promover a manutenção da qualidade do lago, e evitar o assoreamento, é necessário controlar a poluição difusa. Dessa maneira, o trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade das águas do Córrego Vicente Pires com o uso de polutogramas e hidrogramas, por meio do monitoramento de eventos de onda de cheia e eventos de seca, sendo realizada a análise de sedimentos e da turbidez das amostras de água coletadas.

## PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Foi desenvolvido o monitoramento hidrológico e de qualidade de água de um importante corpo hídrico do Distrito Federal, o Córrego Vicente Pires, durante eventos de cheias e de seca. Este córrego faz parte de uma bacia hidrográfica em desenvolvimento, ou seja, ainda está em processo de urbanização e desagua no Riacho Fundo. Página | 2111

### Área de estudo

A região do Distrito Federal está localizada no Centro-Oeste brasileiro, sendo o clima do DF identificado como o tropical de savana, com as precipitações concentradas nos meses de outubro a abril e média anual variando entre 1.200 e 1.700 mm (STRAUCH et al., 2012). O Latossolo Vermelho é o tipo de solo predominante na área de estudo e possui capacidade moderada de infiltração e elevada porosidade, favorecendo a recarga de aquíferos (ADASA, 2018).



**Figura 1. Localização da estação de monitoramento do Córrego VP e sua área de contribuição.**

A estação Vicente Pires Montante Riacho Fundo (60477900) está localizada no exutório do corpo hídrico de mesmo nome (Figura 1), que possui 12 km de extensão, engloba uma área de drenagem de 90km<sup>2</sup>, onde cerca de 52,5% é ocupada por áreas construídas, como residências, prédios comerciais e vias, e abriga 6 RAs do DF, com uma população estimada em 350.000 habitantes.

A região é bastante heterogênea e abrange também áreas que até recentemente eram rurais, compostas por chácaras que foram parceladas irregularmente, transformando-se em condomínios residenciais nas RAs Vicente Pires e Arniqueira. Estas ocupações irregulares afetam o bem-estar da população (GAMA e ALMEIDA, 2020), incluindo a qualidade da água do Córrego VP devido a indisponibilidade de sistemas como rede coletora de esgoto e de drenagem urbana.

A RA do VP foi ocupada sem planejamento e infraestrutura urbana de esgotamento sanitário, ocorrendo a regularização do local somente em 2015, inclusive com a realização de obras que só tem previsão de finalização em 2021. O sistema de drenagem urbana previsto para a região, além de bocas de lobos e condutos, adota as lagoas de retenção como forma de melhorar a sustentabilidade dos corpos hídricos receptores. Já a RA de Arniqueira além de não possuir a infraestrutura urbana, ainda está em fase de regularização, não tendo previsão ainda do início da execução das obras.

### **Monitoramento hidrológico e de qualidade da água**

Para este artigo foram analisados 5 eventos, ocorridos de 2018 a 2019 (19/02/18, 04/03/2018, 01/08/18, 18/02/19, 01/06/19), nos quais as vazões foram representadas por meio de hidrogramas e as concentrações por polutogramas, além de ter sido conduzida uma análise estatística univariada para cada parâmetro em cada evento.

A poluição difusa caracteriza-se pela difícil determinação, visto que suas magnitudes dependem, principalmente, de fatores meteorológicos (precipitação) e dos tipos (e manejo) de uso e ocupação do solo (poluentes acumulados e transportados) (PORTO, 1995; PIMENTEL, 2009; CAMPANA e BERNARDES, 2010; MARTINS, 2017; RIGHETTO et al., 2017; FERREIRA et al., 2018; TSUJI et al., 2019). A aquisição de dados em eventos de cheia de bacias urbanas é de difícil alcance também

pela dificuldade em estar presente na estação de monitoramento no momento da passagem da onda de cheia. Porém, é durante a ocorrência de eventos de cheia que ocorre a maior parte do transporte de sedimentos (de 70% a 90%) e poluentes são transportados ao longo da bacia (PAVANELLI e PAGLIARANI, 2002; CARVALHO, 2008). Lima (2004) recomenda que o monitoramento de qualidade da água de rios seja realizado por meio de coletas mensais de amostras durante a seca e em cada evento de cheia durante a estação chuvosa, o que demanda uma estrutura e financiamento robusto. Página | 2113

Para a elaboração dos polutogramas e hidrogramas no Córrego VP foi necessário a determinação das concentrações dos poluentes e da vazão. Visando o cálculo da vazão, realizou-se o monitoramento do nível do rio. Para isso foi instalado um linígrafo de pressão, modelo WL15 da Global Waters, ao lado das régua linimétricas. Com o auxílio da curva-chave do rio, foi determinado a vazão transportada no rio no momento da coleta de cada amostra de água.

A fim de realizar a análise da qualidade da água, foram coletadas amostras de água do Córrego VP com o uso do amostrador automático acoplado a um detector de nível. Foram coletados entre 700 e 900 mL de amostra a cada 10 minutos, durante os eventos de cheia, e a cada 1 hora, durante os eventos de seca. Em seguida as amostras foram analisadas no Laboratório de Saneamento Ambiental – LSA da Universidade de Brasília – UnB.

Foram selecionados os parâmetros referentes aos sedimentos devido ao assoreamento que vem ocorrendo no Lago Paranoá. Portanto, neste trabalho foram determinadas as concentrações dos sólidos suspensos – SS, dissolvidos – SD e totais – ST e a turbidez, utilizando os métodos recomendados pelo *Standard Methods* (APHA et al., 2017), conforme Tabela 1.

**Tabela 1 - Métodos utilizados nas análises dos parâmetros de sedimentos.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Método</b>
Sólidos Suspensos	Gravimétrico
Sólidos Dissolvidos	Gravimétrico
Sólidos Totais	Gravimétrico
Turbidez	Nefelométrico

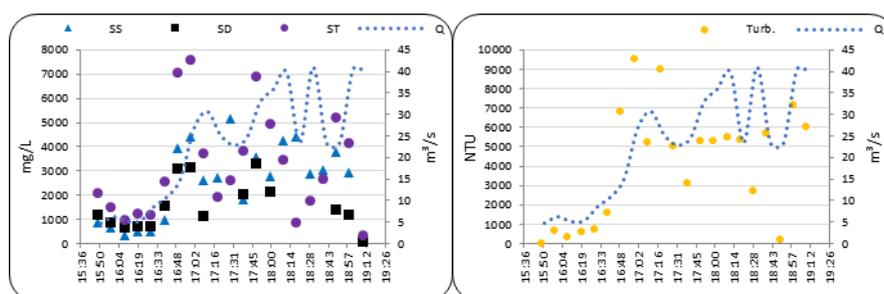
Utiliza-se os polutogramas para representar as relações temporais das concentrações dos parâmetros de qualidade da água, pois possibilitam verificar a variação das concentrações dos poluentes no escoamento gerado ao longo do evento

hidrológico, sendo usualmente plotados junto com os hidrogramas para, assim, visualizar também a variação das vazões (BAPTISTA et al., 2005; PRODANOFF, 2005; MINELLA et al., 2011; AGUIAR et al., 2018; HENZ et al., 2019). Esses gráficos estão associados a um determinado evento pluviométrico e constituem uma informação útil para o gerenciamento da drenagem urbana, a fim de dimensionar com mais eficiência as estruturas de controle de poluição, como as medidas compensatórias que visam à infiltração, à recarga, o controle na fonte e o armazenamento temporário da água drenada (VASCONCELOS et al., 2016), nas quais se incluem as lagoas de detenção, valas e trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis e bioretensões (MELO et al., 2016; ZANANDREA e SILVEIRA, 2018; FILENI et al., 2019; MACEDO et al., 2019; SILVA e SILVA, 2019; BEZERRA et al., 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O evento do dia 19/02/18 apresentou vazões entre 4,69 e 40,94 m<sup>3</sup>/s (Figura 2 e Tabela 2), consideradas altas quando comparadas aos eventos de seca, com um evento de precipitação de duração de 2 horas, o que possibilitou a coleta de 20 amostras de água do Córrego Vicente Pires nas quais foram analisados os sólidos presentes e a turbidez. Nesse evento, o volume médio medido entre os pluviógrafos na bacia foi de 14,33 mm, com uma intensidade máxima de 24 mm/h e somente 1 dia anterior sem chuva, o que indica que o solo não estava seco.

Como pode ser observado nos polutogramas da Figura 2 e na Tabela 2, os valores das concentrações de ST, SD e SS foram altos, com médias de 3.231,05, 1.574,81 e 2.588,13 mg/L para cada um dos parâmetros de sólidos respectivamente. A turbidez obteve média de 4.298,75 NTU, porém observou-se valores de até 9.522 NTU.



**Figura 2. Hidrograma e Polutograma de Sólidos e Turbidez do evento 19/02/18 na Bacia do VP.**

**Tabela 2. Resumo dos Parâmetros Estatísticos para o evento que ocorreu dia 19/02/18.**

	<b>Turbidez</b>	<b>ST</b>	<b>SD</b>	<b>SS</b>	<b>Q</b>
Média	4.289,75	3.231,05	1.574,81	2.588,13	23,09
Erro padrão	644,73	486,72	274,52	352,20	2,76
Mediana	5.262,50	2.670,00	1.314,67	2.830,67	23,36
Desvio padrão	2.883,31	2.176,70	1.027,16	1.575,08	12,65
Variância	8.313.477,14	4.738.022,47	1.055.047,79	2.480.886,86	160,10
Mínimo	223,00	353,00	80,33	272,67	4,69
Máximo	9.522,00	7.583,00	3.295,67	5.164,00	40,94

Na Figura 2, nota-se que o pico do polutograma ocorre antes do pico do hidrograma para os ST, SS e SD, porém é um evento complexo por possuir mais de um pico de vazão. Percebe-se, por exemplo, que após o primeiro pico as concentrações dos sólidos aumentam, inclusive de SS, o que pode ser causado pela erosão das margens devido as grandes vazões. No início do evento, quando as vazões são mais baixas, os SD prevalecem sobre os SS, porém com o aumento da vazão ao longo do evento, as concentrações de SS são maiores do que de SD.

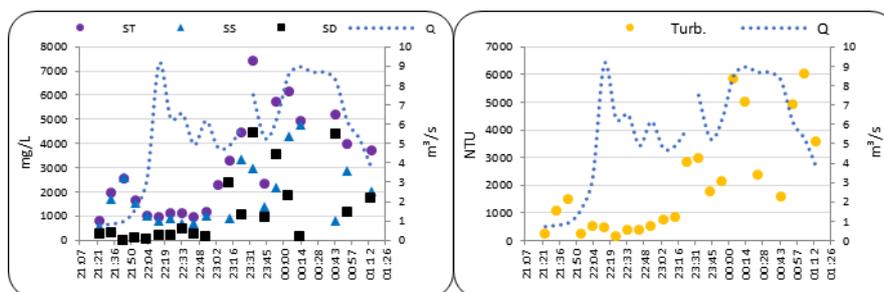
O pico do polutograma da turbidez na Figura 2 é imediatamente antes do primeiro pico do hidrograma, e se mantém mais baixo que o máximo, 9.522 NTU, ao longo do evento. Como a turbidez indica o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água (VON SPERLING, 2005), este parâmetro está relacionado com os SS, o que é comprovado com o coeficiente de correlação de 0,5.

Gomes (2014) analisou os polutogramas de vários eventos para a bacia urbana de Mirassol, em Natal – RN, para diversos poluentes. A autora comparou os polutogramas com hietogramas, e identificou que as maiores concentrações de SS foram no início dos eventos de precipitação, identificando depressões nos polutogramas, atribuído a variabilidade da chuva. Ao analisar os polutogramas e hidrogramas do córrego VP no evento do dia 19/02/2018, é feita observação compatível aos resultados de Gomes, visto que os valores mais altos de concentração de sólidos e de turbidez ocorrem no início da onda de cheia, que indica a chegada dos primeiros volumes precipitados na área de contribuição.

O evento do dia 04/03/18 foi o que apresentou menor vazão média entre os eventos monitorados, de 5,60 m<sup>3</sup>/s, com um desvio padrão de 2,59. As medições variaram de 0,93 a 9,14m<sup>3</sup>/s (Figura 3 e Tabela 3), o evento de precipitação apresentou

uma intensidade média de 14,39 mm/h e foram coletadas 24 amostras de água do Córrego VP.

Apesar das vazões baixas, os valores das concentrações de sólidos são altos quando comparados com o período sem chuvas, com médias de 3.107,50 mg/L, 1.202,75 mg/L e 1.946,03 mg/L, para ST, SD e SS, respectivamente. Já o valor de turbidez teve média de 2.014,92 NTU, variando do mínimo de 159 até o máximo de 6.051 NTU. A turbidez é o parâmetro utilizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para condições de qualidade da água, e para a Classe 2, correspondente a do Córrego Vicente Pires, todos os valores medidos em eventos de cheia estão acima do estabelecido, que é de 100 NTU (BRASIL, 2005). Portanto, pode-se inferir que as águas do escoamento superficial descarregadas no córrego não atendem aos padrões de lançamento de efluentes.



**Figura 3. Hidrograma e Polutograma de Sólidos e Turbidez do evento 04/03/18 na Bacia do VP.**

**Tabela 3. Resumo dos Parâmetros Estatísticos para o evento que ocorreu dia 04/03/18.**

	Turbidez	ST	SD	SS	Q
Média	2.014,92	3.107,50	1.202,75	1.946,03	5,60
Erro padrão	377,73	432,29	309,34	278,91	0,52
Mediana	1.538,50	2.444,00	439,33	1.563,33	6,14
Desvio padrão	1.850,49	2.027,60	1.417,56	1.278,11	2,59
Variância	3.424.326,86	4.111.169,21	2.009.484,31	1.633.559,80	6,71
Mínimo	159,00	819,00	0,00	588,00	0,74
Máximo	6.051,00	7.433,00	4.445,00	4.758,67	9,14

Os polutogramas do evento do dia 04/03/2018, apesar de apresentarem um aumento de concentrações no início da onda de cheia, observada no hidrograma, têm seus picos após o primeiro pico de vazão. Nesse evento, as maiores concentrações de sólidos e a maior turbidez ocorrem mais tardiamente, possivelmente ligados ao segundo

pico de vazão. Tal observação pode ser resultado da variação das características da precipitação, tanto de intensidade quanto espacial.

Em relação ao evento de cheia do dia 19/02/2018, a vazão média no evento do dia 04/03/2018 é 75% menor, porém os valores médios de concentração de sólidos são próximos nos dois eventos, indicando que a presença acentuada de sólidos nas águas do córrego é observada até nos eventos de menor magnitude. Porém, os eventos de maiores vazões transportam proporcionalmente maiores cargas de SS, SD e ST e contribuem significativamente para o assoreamento do lago Paranoá. Página | 2117

O evento do dia 18/02/2019 foi o que apresentou a maior vazão dentre os eventos monitorados. Foi possível a coleta de 9 amostras de água e definição das concentrações de sólidos e turbidez em cada uma nesse evento, que é considerado extremo, tendo em vista as vazões produzidas.

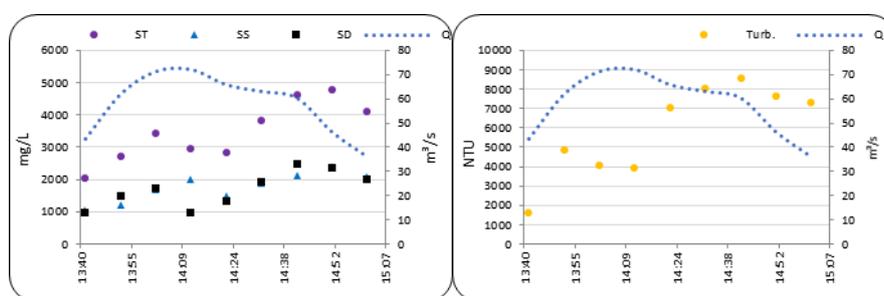
Neste evento, todas as vazões medidas foram altas, variando de 36,09 m<sup>3</sup>/s a 72,17 m<sup>3</sup>/s (Figura 4 e Tabela 4). O volume médio entre os pluviógrafos na bacia foi de 12 mm, com uma intensidade máxima de 11,7 mm/h, ambos valores não tão altos, tendo em vista que corresponderam a um evento com tempo de retorno – TR menor que 1 ano, pela curva IDF de Brasília (ADASA, 2018). Porém, devido à grande variabilidade espacial das precipitações, pode ter ocorrido uma chuva mais significativa dentro dos 90 km<sup>2</sup> que nenhum dos pluviógrafos instalados tenham registrados.

Na Figura 4 está o polutograma do evento. Percebe-se que os sólidos estão bem divididos entre SS e SD, não havendo uma sobreposição significativa de nenhum deles, o que implica que houve um equilíbrio entre o arraste e a diluição dos poluentes. Nota-se também que o pico dos sólidos ocorreu após o pico do hidrograma, podendo-se afirmar que as altas vazões provocaram uma maior produção de sólidos, seja pela erosão das margens ou pela lavagem das áreas impermeáveis.

Os valores das concentrações dos SS variaram de 1.066 a 2.407 mg/L, com média de 1.777,50 mg/L, os SD de 972,50 a 2.407,50 mg/L, com a média ligeiramente menor dos que os SS, 1.698,72 mg/L, e os ST de 2.051,00 a 4.788,00 mg/L, com média de 3.476,22 mg/L. Esses valores são considerados altos, tendo em vista que Salgado (2013), que investigou concentrações de sólidos no curso de água urbano Córrego Botafogo – GO, obteve valores máximos de ST de até 2.527 mg/L, próximos às médias encontradas no Córrego VP, em bacia que possui características de uso e ocupação predominantemente urbano, semelhante ao da Bacia do Vicente Pires. Já os valores

máximos de concentração de ST observados no córrego estudado superaram consideravelmente os máximos observados pela autora.

A turbidez do evento também foi avaliada e possui um comportamento semelhante ao dos SS, com uma correlação de 0,68. Teve o valor mínimo medido de 1.636 NTU e máximo de 8.586 NTU, apresentando o maior desvio padrão entre os poluentes mensurados, de 2.350,69 (Figura 4 e Tabela 4). Os nove valores de turbidez podem ser observados ao longo do polutograma, no qual também se percebe que o pico da turbidez ocorre depois do pico do hidrograma.



**Figura 4. Hidrograma e Polutograma de Sólidos e Turbidez do evento 18/02/19 na Bacia do VP.**

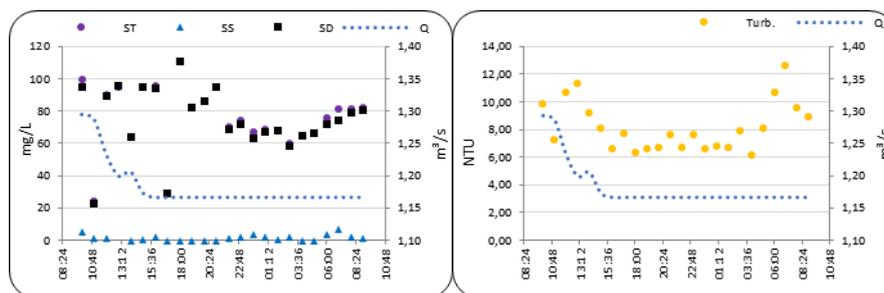
**Tabela 4. Resumo dos Parâmetros Estatísticos para o evento que ocorreu dia 18/02/19.**

	Turbidez	ST	SD	SS	Q
Média	5.904,00	3.476,22	1.698,72	1.777,50	57,90
Erro padrão	783,56	307,97	184,02	148,66	4,27
Mediana	7.053,00	3.421,00	1.738,50	1.904,50	62,05
Desvio padrão	2.350,69	923,91	552,06	445,98	12,82
Variância	5.525.744,25	853.607,44	304.764,82	198.896,13	164,38
Mínimo	1.636,00	2.051,00	972,50	1.066,00	36,09
Máximo	8.586,00	4.788,00	2.478,00	2.407,50	72,17

O evento do dia 18/02/2019, ao ser comparado aos outros eventos de cheia monitorados, apresentou valores máximos de concentrações de ST, SD e SS um pouco reduzidos, o que pode ser resultado das vazões extremamente altas e a ação de diluição que elas causam. No entanto, as concentrações médias desses parâmetros não ficaram muito distantes das médias dos outros eventos. Dessa forma, pelas vazões muito elevadas, com média de 2,5 a 10 vezes maior do que as médias dos outros eventos, conclui-se que o evento do dia 18/02/2019 foi responsável pelo transporte de carga de poluição bastante considerável no Córrego VP.

Os principais impactos da produção de sedimentos foram listados por Merten e Poletto (2006), sendo eles: o assoreamento das seções de rios, o aumento da ocorrência de enchentes devido à entupimentos das tubulações, a redução da capacidade de escoamento de condutos e o transporte de poluentes agregados aos sedimentos, que contaminam as águas pluviais. Impactos desses tipos já foram identificados na bacia do Córrego VP e no corpo receptor final, como é percebido com o problema de assoreamento no braço do Riacho Fundo estudado por Dias (2013), que analisou a área alagada (*wetland*) desde a foz até o seu exutório no Lago Paranoá e constatou que 84,07% da área alagada foi perdida, a partir de análises de fotos de 1973 – 2011, devido ao acúmulo de sedimentos.

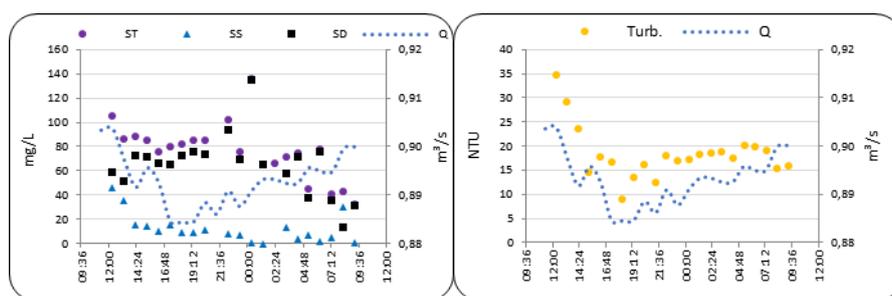
O DF passa por um período sem chuvas de junho a setembro. Assim, foram separados 2 eventos a fim de caracterizar o Córrego VP nesse período, um em cada ano do monitoramento, 2018 e 2019 (Figura 5, Tabela 5, Figura 6 e Tabela 6). As vazões são menores do que os eventos de chuva, tendo como valor máximo 1,29 m<sup>3</sup>/s e valor mínimo 0,88 m<sup>3</sup>/s, ou seja, com desvio padrões bem baixos.



**Figura 5. Hidrograma e Polutograma de Sólidos e Turbidez do evento 01/08/18 na Bacia do VP.**

**Tabela 5. Resumo dos Parâmetros Estatísticos para o evento que ocorreu dia 01/08/18.**

	Turbidez	ST	SD	SS	Q
Média	8,18	75,83	74,37	1,55	1,18
Erro padrão	0,37	4,32	4,31	0,39	0,01
Mediana	7,65	76,00	72,00	1,00	1,17
Desvio padrão	1,79	20,71	20,68	1,84	0,04
Variância	3,20	428,79	427,82	3,40	0,00
Mínimo	6,20	24,00	22,50	0,00	1,17
Máximo	12,60	111,00	111,00	6,50	1,29



**Figura 6. Hidrograma e Polutograma de Sólidos e Turbidez do evento 01/06/19 na Bacia do VP.**

**Tabela 6. Resumo dos Parâmetros Estatísticos para o evento que ocorreu dia 01/06/19.**

	Turbidez	ST	SD	SS	Q
Média	23,24	81,82	66,48	16,10	0,89
Erro padrão	5,02	7,39	5,63	4,74	0,00
Mediana	17,70	79,00	69,00	9,00	0,89
Desvio padrão	24,08	34,68	25,80	21,71	0,01
Variância	579,76	1202,73	665,76	471,19	0,00
Mínimo	8,87	32,00	13,00	0,00	0,88
Máximo	131,00	198,00	135,00	96,00	0,90

Os valores constantes de vazão implicaram em valores baixos de concentração de sólidos quando comparados com os eventos com chuva, isso se deve ao fato de não haver a poluição difusa, advinda do escoamento superficial, tampouco vazões com velocidades altas que poderiam causar erosões nas margens. As concentrações dos sólidos máximas foram de 198 mg/L para ST, 135 mg/L para SD e 96 mg/L para SS, que são menores que as concentrações mínimas dos eventos de chuva analisados. Cabe destacar a pouca quantidade de SS, que implicou em valores de turbidez médio de 23,24 NTU, o que atende a resolução CONAMA para Classe 2.

É importante ressaltar a diferença entre os valores das concentrações dos sólidos na época de estiagem e em eventos de cheia, também observada por Salgado (2013) e Vieira (2008) em corpos hídricos em Goiânia e Belo Horizonte, respectivamente. Salgado (2013), no curso de água urbano Córrego Botafogo – GO, obteve no período de estiagem o valor máximo para os sólidos totais de 950 mg/L, com média de 290,5 mg/L, enquanto nos eventos chuvosos monitorados observou valores de até 2.527 mg/L. Bonumá et al.(2008) analisaram a carga difusa de ST na bacia do Lageado Grande – RS, onde as atividades agrícolas e de mineração são predominantes, e encontraram valor médio de concentração de 1.500 mg/L a jusante do ponto de mineração, ou seja, menor

do que o valor encontrado no Córrego VP, que ficou entre 3.107,50 e 3.476,22 mg/L nos eventos de cheia. Paz et al. (2004) realizaram o monitoramento da qualidade da água de uma bacia urbana e outra rural por meio de amostragens em tempo seco e durante eventos chuvosos, sendo que os SS apresentaram faixas de concentrações na bacia urbana de 223 mg/L a 1.358 mg/L e em área rural, de 112 mg/L a 346 mg/L. Os autores afirmam que a amostragem na bacia urbana apresentou maiores valores de concentração do que na bacia rural devido aos processos de erosão na calha do córrego monitorado, situação que pode ter ocorrido de forma similar no Córrego VP influenciando em parte as concentrações de SS observadas nele, que foram superiores.

Infere-se, portanto, que alguma atividade erosiva está acontecendo no VP em função da alta descarga sólida, pois os valores de concentração de sólidos superam os encontrados em áreas com presença de atividades mineradoras (BONUMÁ et al., 2008) e urbanas (SALGADO, 2013). Os sedimentos estariam sendo gerados pela intensa movimentação de terra (recortes, escavações e aterros) das obras de infraestrutura urbana na RA Vicente Pires (Figura 7). Além disso, as lagoas construídas têm características de reservatórios de detenção, ou seja, até auxiliam na retenção de sedimentos, mas não têm grande eficiência, sendo a função principal o amortecimento na vazão de pico afluente ao córrego. As obras objetivam a sustentabilidade ambiental futura do corpo hídrico receptor, que está sendo deteriorado pela construção delas, o que é contraditório. Portanto, deve-se pensar em medidas mitigadoras durante a fase de execução das obras, a fim de que os sedimentos não sejam carregados pelo escoamento superficial e tenham o Córrego VP como destino.



**Figura 7. Obras de uma bacia de detenção no VP.**

## CONCLUSÃO

Quanto às concentrações dos poluentes, percebe-se que quanto maior a vazão do córrego, maiores as concentrações dos sólidos e a turbidez no Córrego VP, o que remete aos eventos de cheia durante a estação chuvosa do DF. As altas vazões estão relacionadas com o escoamento superficial, que lava as superfícies dos solos, carreando o que está nelas depositados, como aterros das grandes obras que ocorrem na bacia de drenagem. Página | 2122

Além dos impactos provocados pela poluição difusa, as grandes vazões advindas do escoamento superficial atingem o córrego causando as erosões nas margens, agravando ainda mais o problema de transporte de sedimentos. De fato, para a garantia da manutenção do Córrego VP é necessário o controle do aporte de sedimentos advindo da poluição difusa, sendo necessário a adoção de medidas compensatórias na drenagem urbana inclusive na fase de implantação.

Sobre os polutogramas, nota-se que na estação de seca os sólidos dissolvidos predominam sobre os sólidos suspensos. Enquanto isso, nos eventos da estação de cheia do Córrego, as concentrações dos SS são algumas vezes maiores que dos SD, provavelmente devido à grande velocidade das águas do escoamento superficial, que não permite a deposição dos sedimentos.

As águas do escoamento superficial descarregadas no córrego não atendem aos padrões de lançamento de efluentes para Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005, tendo em vista que descarregam poluentes em quantidade maiores do que o estabelecido para classe quanto a turbidez. Este fato exige que medidas sejam implantadas ao sistema de drenagem para que reduzam as cargas de poluição que atingem o Córrego Vicente Pires.

O monitoramento hidrológico e de qualidade da água mostrou-se útil para as melhorias ambientais ao Córrego Vicente Pires, e conseqüentemente ao Lago Paranoá. Pois, por meio de inovações tecnológicas disponíveis nos equipamentos existentes, como os medidores de velocidade acústicos, amostradores automáticos e registradores de níveis que permitem a aquisição de dados mesmo na ausência de um observador, pode-se identificar a poluição difusa como grande contribuinte de poluição ao córrego.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a continuação do monitoramento do córrego, tendo em vista que a região ainda passa pelo processo de urbanização, ainda não

estando consolidada. Aliada a isso, deve-se fazer o uso da modelagem hidrológica e de qualidade de água da Bacia do Córrego VP a fim que de se possa otimizar a implementação de estruturas de drenagem urbana sustentáveis, sendo assim possível o controle da poluição difusa.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, ANA, FAP-DF, FINEP, FINATEC e FUNAPE pelo suporte ao projeto de pesquisa a que este trabalho está associado; e à ADASA e à CAESB pelo apoio nas atividades de campo.

## REFERÊNCIAS

1. ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal*. Brasília-DF: ADASA, 2018.
2. AGUIAR, M.R.F. *Análise da Descarga Sólida em Suspensão na Bacia do Córrego Riacho Fundo, Brasília - DF*. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2015.
3. AGUIAR, C.; TSUJI, T.M.; CARVALHO, D.J.; COSTA, M.E.L; KOIDE, S. Análise Dos Polutogramas Para Um Evento Chuvoso Numa Galeria De Drenagem Pluvial. In: *Anais do XII Encontro Nacional de Águas Urbanas*, Maceió-AL: ABRHidro, 2018.
4. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2017.
5. AQUINO, I.; ROIG, H.; OLIVEIRA, E.; GARNIER, J.; GUIMARÃES, E.; KOIDE, S. Variação temporal da descarga sólida em suspensão e identificação de minerais a partir de aperfeiçoamento de método de amostragem automática no Córrego Riacho Fundo, Brasília, Distrito Federal. *Geologia USP: Série Científica*, São Paulo-SP, v. 18, n. 2, p. 171-185, 2018. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-140500>
6. BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. 1 ed. Porto Alegre-RS: ABRH, 2005.
7. BEZERRA, M.C., OLIVEIRA, A., COSTA, M.E.L., KOIDE, S. Simulação de técnicas de infraestrutura verde de drenagem urbana para captação do

- escoamento superficial. *Revista Tecnologia e Sociedade*, Curitiba-PR, v. 16, n. 40, p. 1-16, 2020. <http://dx.doi.org/10.3895/rts.v16n40.9430>
8. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. *Resolução nº 357* - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília-DF: MMA, 2005.
9. CAMPANA, N.A.; BERNARDES, R.S. Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF. *REGA*, v. 7, n. 2, p. 53-65, 2010. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v7n2.p53-65>
10. CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia prática*. 2 ed. Rio de Janeiro-RJ: Interciência, 2008.
11. CARVALHO, D.J.; SILVA, D.L.O.; COSTA, M.E.L.; KOIDE, S. Análise da qualidade da água pela CME na bacia do Riacho Fundo – DF. In: *Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas*, Porto Alegre-RS: ABRHidro, 2020.
12. CASTRO, K.B.; ROIG, H.L.; NEUMANN, M.R.B.; ROSSI, M.S.; SERAPHIM, A.P.; JÚNIOR, W.J.R.; DA COSTA, A.B.; HÖFER, R. New perspectives in land use mapping based on urban morphology: A case study of the Federal District, Brazil. *Land Use Policy*, v. 87, 104032, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104032>
13. COSTA, M.E.L. *Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do Lago Paranoá*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013.
14. COSTA, M.E.L., KOIDE, S. Análise das concentrações dos poluentes num evento de cheia na bacia do Vicente Pires-DF. In: *Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas*, Porto Alegre-RS: ABRHidro, 2020.
15. DE PAULA, A.C.V. *Estudo experimental e modelagem da lagoa de retenção do Guará – DF: comportamento no amortecimento de cheias e na alteração da qualidade da água*. Dissertação (Mestrado Em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2019.
16. DIAS, R.C. *Papel da Wetland do Riacho Fundo no Controle da Eutrofização do Lago Paranoá, Brasília - Distrito Federal*. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013.
17. DIAS, D. F. *Processos Geoquímicos na Interface Sedimento-Água no Braço Riacho Fundo do Lago Paranoá – DF*. 2017. 88p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – Distrito Federal.
18. FILENI, F., COSTA, M.E.L.; ALVES, C.M.A. The application of LIDs in Savanna region for mitigation of flooded areas. *RBRH*, Porto Alegre-RS, v. 24, e40, p. 1-12, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180177>
19. GAMA, J.A.S.; ALMEIDA, R.S. Salubridade ambiental do bairro Poeira, Marechal Deodoro/AL, Brasil. *Diversitas Journal*, Santana do Ipanema-AL, v. 5, n. 2, p.1029-1041, abr./jun. 2020.

20. GOMES, K.M.F. *Modelagem Da Poluição Difusa Em Uma Bacia De Drenagem Urbana*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2014.
21. HENZ, S.K.F.; COSTA, M.E.L.; DE PAULA, A.C.V.; KOIDE, S. Monitoramento da qualidade da água em uma bacia de retenção no distrito federal. In: *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* (ISSN 2318-0358), Foz do Iguaçu-PR: ABRHidro, 2019. Página | 2125
22. LIMA, J.E.F.; FONSECA, S.A.; BROSTEL, R.C.; CÉZAR, M.C.M. Avaliação da disponibilidade hídrica no Distrito Federal (Capítulo 3). In: LIMA, J.E.F. et al. (Orgs.) *Gestão da crise hídrica 2016-2018: experiências do Distrito Federal*. Brasília-DF: Adasa, Caesb, Seagri, Emater, 2018.
23. LIMA, J.B.M. *Estudo de Redes de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais o Caso da Bacia do Rio Descoberto*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2004.
24. LOPES, G.R. *Estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos na bacia do córrego do Capão Comprido, DF*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2010.
25. MACEDO, M.B.; DO LAGO, C.A.F.; MENDIONDO, E.M.; GIACOMONI, M.H. Bioretention performance under different rainfall regimes in subtropical conditions: A case study in São Carlos, Brazil. *J. Environ. Manag.*, v. 248, 109266, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109266>
26. MARTINS, R.G. *Modelagem da Carga de Poluição Difusa em Escala de Bacia Com Valores de Concentração Média Por Evento A Partir de Dados de uma rede de Monitoramento Local*. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2017.
27. MELO, T.A.T.; COUTINHO, A.P.; SANTOS, J.B.F.; CABRAL, J.J.S.P.; ANTONINO, A.C.D.; LASSABATERE, L. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, Porto Alegre-RS, v. 16, n. 3, p. 53-72, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300092>
28. MENEZES, P.H.J. *Avaliação do efeito das ações antrópicas no Processo de escoamento superficial e Assoreamento na bacia do Lago Paranoá*. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2010.
29. MERTEN, G.H.; POLETO, C. Rede de Monitoramento e coleta de Amostras. In: POLETO, C. E MERTEN, G.H (Orgs.). *Qualidade dos sedimentos*. 1 ed. Porto Alegre: ABRH, 2006.
30. MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; MAGNAGO, P.F. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*,

- Campina Grande-PB, v.15, n. 12, p. 1306- 1313, 2011.  
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001200013>
31. NUNES, G. Aplicação Do Modelo Swat No Estudo Hidrológico E De Qualidade Da Água Da Bacia Do Lago Paranoá – DF. *Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos* Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 148pg. 2016.
32. PAVANELLI, D., PAGLIARANI, A. Monitoring water flow, turbidity and suspended sediment load, from Apennine catchment basin, Italy. *Biosystems Engineering*, v. 83, n. 4, p. 463-468, 2002.  
<https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0126>
33. PIMENTEL, I.M.C. *Avaliação quali-quantitativa das águas do riacho Reginaldo e seus efluentes*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2009.
34. PINHO, G.S.; COSTA, M.E.L.; KOIDE, S. Análise das concentrações de sólidos transportados pelo córrego Vicente Pires - DF. In: *Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas*, Porto Alegre-RS: ABRHidro, 2020.
35. PORTO, M. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. *Drenagem urbana*. Porto Alegre-RS: Editora da UFRGS/ABRH, p. 387-428, 1995.
36. PRODANOFF, J.H.A. *Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2005.
37. RIGHETTO, A.M.; GOMES, K.M.; FREITAS, F.R.S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro-RJ, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017162357>
38. SALGADO, A.A. *Caracterização Da Influência De Cargas Poluidoras Difusas Na Qualidade Da Água No Córrego Botafogo, Goiânia, Goiás*. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2013.
39. SILVA, C.; SILVA, G. Cumulative effect of the disconnection of impervious areas within residential lots on runoff generation and temporal patterns in a small urban area. *J. Environ. Manag.*, v. 253, 109719, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109719>
40. STRAUCH, M.; BERNHOFER, C.; KOIDE, S.; VOLK, M.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. Using Precipitation Data Ensemble for Uncertainty Analysis in SWAT Streamflow Simulation. *Journal of Hydrology*, v. 414-415, p. 413-424, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.014>
41. TSUJI, T.M. *Monitoramento E Modelagem Das Águas De Drenagem Pluvial No Núcleo Urbano Da Bacia Do Ribeirão Riacho Fundo, Brasília – DF*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2018.

42. TSUJI, T.M.; COSTA, M.E.L.; KOIDE, S. Diffuse pollution monitoring and modelling of small urban watershed in Brazil Cerrado. *Water Science And Technology*, v. 79, n. 10, p. 1912-1921, 2019.  
<https://doi.org/10.2166/wst.2019.190>
43. TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L.M. (Orgs.). *Avaliação e controle de drenagem urbana*. Porto Alegre-RS: Ed. Universidade, UFRGS, 2000. Página | 2127
44. VIEIRA, P.D. *Avaliação das condições de qualidade da água em tempo seco e durante eventos de chuvas em uma microbacia urbanizada no município de Belo Horizonte*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2008.
45. VASCONCELOS, A.F.; MIGUEZ, M.G.;VAZQUEZ, E.G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro-RJ, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2016.  
<https://doi.org/10.1590/s1413-41522016146469>
46. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Vol. 1. Belo Horizonte-MG: DESA-UFGM, 2005.
47. ZANANDREA, F.; SILVEIRA, A.L.L. Effects of LID Implementation on Hydrological Processes in an Urban Catchment under Consolidation in Brazil. *J. Environ. Eng.*, v. 144, n. 9, 04018072, 2018.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001417](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001417)