

CIEA

Congresso Internacional de Engenharia Ambiental
&

10ª REA

Reunião de Estudos Ambientais

ANAIS

Artigos Completos

- VOLUME 2 -

**Bacias Hidrográficas e
Gestão de Recursos Naturais**



Organizadores

Cristiano Poletto

Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves

Guilherme Fernandes Marques

José Gilberto Dalfré Filho

**ANAIS do Congresso Internacional de
Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de
Estudos Ambientais
Artigos Completos**

- VOLUME 2 -

**Bacias Hidrográficas e
Gestão de Recursos Naturais**



Gráfica & Editora

Toledo – PR

2020

Copyright © 2020, by Editora GFM.

Direitos Reservados em 2020 por **Editora GFM.**

Editoração: Cristiano Poletto

Organização Geral da Obra: Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho

Diagramação: Juliane Fagotti

Revisão Geral: Espaço Histórico e Ambiental

Capa: Eventos Consulting Design Informática

CIP-Brasil. Catalogação na Fonte

Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores)

ANAIS do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais – Artigos Completos – Volume 2 – Bacias Hidrográficas e Gestão de Recursos Naturais / Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores) – Porto Alegre, RS: Editora GFM, 2020.

609p.: il.;

ISBN 978-65-87570-07-5

CDU 502.3/.7

É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.



DINÂMICA E METODOLOGIAS DE COLETA DOS SEDIMENTOS DE SUPERFÍCIES IMPERMEÁVEIS

| ID 15881 |

Lucas Fuchs de Souza¹, Cristiano Poletto²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail:souza.lf@outlook.com.br; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail cristiano.poletto@ufrgs.br

| RESUMO |

A urbanização e impermeabilização de bacias hidrográficas juntamente com o crescente aumento da quantidade de poluentes gerados por atividades antropogênicas vem causando impactos ambientais nos corpos hídricos. Nesse sentido, os sedimentos urbanos são um dos principais focos de pesquisa voltados para entender o grau desse impacto, devido ao seu potencial de causar danos aos sistemas de drenagem, recursos hídricos e saúde humana. Para a compreensão desses impactos é necessário compreender como as partículas de sedimento são transportadas e depositadas no ambiente, sendo que o transporte das partículas ocorre basicamente pela ação do vento e da água. Com relação a deposição dos sedimentos, ela ocorre de acordo com o peso da partícula, ou seja, as partículas mais finas possuem capacidade de atingirem maiores distâncias quando incorporadas ao escoamento pluvial (fenômeno potencializado pela impermeabilização das bacias hidrográficas associadas ao sistema de esgotos pluviais, favorecendo o transporte dos poluentes até os corpos d'água) ou carregadas pela ação do vento.

Nesse contexto, a caracterização granulométrica se torna um dos parâmetros mais importantes para quantificação do potencial poluidor de sedimentos urbanos. De acordo com Andrade (2018), Hengren et al. (2006) e Ball et al. (1998) as concentrações de poluentes, como os metais, são mais altas nas menores faixas granulométricas de sedimentos. A identificação de poluentes por faixas granulométricas é de suma importância, pois dependendo do diâmetro de partícula em que o poluente se encontra associado ele pode ser incorporado ao escoamento e pode ter maior probabilidade de atingir os corpos da água, podendo ser depositado ou ficar em suspensão prejudicando as diferentes espécies aquáticas, ou pode ser carregado pelo vento, onde possui a capacidade de ingressar no sistema respiratório dos seres humanos e outras espécies, danificando assim sua saúde. Portanto, para a coleta de sedimentos de superfícies impermeáveis existem inúmeras estratégias de amostragem com diferentes eficiências, o que segundo Zafra Mejía et al. (2007) causa variações nas análises da distribuição granulométrica dos sedimentos. Nesse sentido, algumas das técnicas mais aplicadas para a coleta de sedimentos de superfícies impermeáveis são: varrição, aspiração a seco, aspiração a seco com varrição e aspiração a úmido.

Palavras-chave: Caracterização Granulométrica; Sedimentos Urbanos.



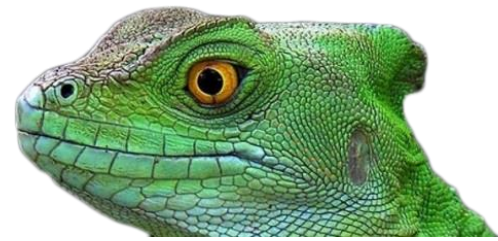
| INTRODUÇÃO |

A qualidade dos recursos hídricos vem sendo impactada devido a urbanização e impermeabilização de bacias hidrográficas. Cada vez mais o aumento das atividades antropogênicas está causando alterações nas características dessas bacias em razão da crescente quantidade de poluentes. Esses, por sua vez, encontram-se presentes em grandes quantidades nos ambientes urbanos, como partículas de vidro, de metais, de processos industriais e da construção civil, as quais interagem com o ambiente de forma diferente das partículas originadas naturalmente. Essas partículas encontram-se incorporadas nos sedimentos urbanos, os quais, tratando-se de superfícies impermeáveis, compõe um problema quando abarcados pelo escoamento e removidos dos pavimentos, seguindo pelas redes de micro e macrodrenagem (DOTTO, 2006) tendo como fim, muitas vezes, os corpos d'água.

As frações mais finas de sedimentos, quando incorporadas ao escoamento urbano, possuem a capacidade de permanecer em suspensão por mais tempo atingindo maiores distâncias. Nesse sentido, representam um grande risco a qualidade da água dos recursos hídricos, devido ao potencial de assoreamento e aumento de turbidez. Além disso, esses sedimentos possuem a capacidade de transportar outros poluentes, como metais pesados, devido a sua grande área superficial, que facilita a adsorção de contaminantes (HERNGREN et al., 2006). Conforme Andrade (2018), Herngren et al. (2006) e Ball et al. (1998) essas concentrações de metais são mais altas nas menores faixas granulométricas de sedimentos.

Dessa forma, essas parcelas de sedimentos ao alcançarem os cursos d'água podem causar prejuízos ao ambiente aquático, como afetar a qualidade d'água, dos sedimentos e das espécies que desse recurso sobrevivem. Costa e Hartz (2009) realizaram estudos com a espécie *Leporinus obtusidens* do Lago Guaíba, conhecida popularmente como piava, a qual se alimenta próximo ao fundo do lago de matéria vegetal, moluscos e sedimentos. Nesse trabalho foi constatado um maior acúmulo de Cádmio (Cd), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) em tecidos do peixe, entretanto essas concentrações não indicaram que o consumo dessa espécie representaria risco à saúde humana. Corroborando com Andrade (2019), o qual diz que esses elementos (Zn, Cu e Cd) são considerados poluentes de maior importância do Lago Guaíba em Porto Alegre, e encontram-se presentes em pneus e pastilhas de freio. Sendo assim, os efeitos sobre o ambiente e a saúde humana dependem da mobilidade e disponibilidade dos elementos.

Nesse sentido, pode-se dizer que a impermeabilização de bacias impacta os cursos da água devido ao decorrente aumento do escoamento superficial, que por sua vez aumenta a quantidade de sedimentos transportados até os cursos da água. Além do mais, os sedimentos não são considerados



somente um dos maiores poluentes da água, mas também são catalisadores, carreadores e fixadores de outros poluentes (CARVALHO et al., 2000), como os metais citados anteriormente. De acordo com Herngren et al. (2006) as fontes antropogênicas possuem maior contribuição para os menores tamanhos de sedimentos que as fontes naturais, nesse sentido, é visto que as frações mais finas de sedimento adsorvem uma maior quantidade de poluentes.

Sendo assim, tem-se como uma importante referência de avaliação ambiental a análise granulométrica, que torna possível a avaliação da magnitude da poluição dos sedimentos urbanos, podendo ser inferida através de parâmetros simples como D10, D50 e D90, que relacionam o volume de partículas com o seu diâmetro. Esses parâmetros podem inferir se os sedimentos possuem uma grande quantidade de partículas muito finas, as quais estão associadas a uma maior mobilidade e concentrações de poluentes. Outro ponto importante no estudo dos sedimentos é o conhecimento de sua dinâmica nos ambientes urbanos, uma vez que estão associados a riscos ambientais e a saúde humana. Entretanto, para isso deve-se compreender como esse poluente é produzido, quais são suas fontes, como é transportado e depositado no ambiente. No entanto, a relação entre esses mecanismos é altamente dinâmica, pois nem todos processos estão interligados entre si, o que dificulta a visão integrada do seu sistema.

Produção de Sedimentos

A produção de sedimentos em bacias está relacionada com o desenvolvimento urbano, aumentando na medida em que ele ocorre. (NELSON & BOOTH, 2002; PAIVA & COSTAS, 2003). Esse aumento na produção ocorre em virtude das construções, loteamento de áreas vegetadas (aumento de solos expostos), edificação de vias, entre outros. Nesse sentido, considerando o escoamento pluvial, pode-se dizer que os sedimentos são os mais importantes poluentes transportados pela água da chuva, pois quando atingem a rede de drenagem são responsáveis pela obstrução das canalizações, devido ao seu acúmulo, danificando o seu funcionamento. Por outro lado, os sedimentos que não ficam retidos nas redes de drenagem e seguem até o corpo hídrico são responsáveis pelo assoreamento do seu leito, gerando, conseqüentemente, problemas ao ambiente aquático. Nesse sentido, pode-se citar como as principais conseqüências do aumento na produção de sedimentos urbanos a obstrução das redes de drenagem, a redução da capacidade de escoamento pelos canais artificiais e naturais e o transporte de poluentes aderidos aos sedimentos (MARTÍNEZ, 2010). Por outro lado, quando cessa o desenvolvimento urbano e a bacia se encontra em uma situação de ocupação e impermeabilização quase que total, essa produção tende a decrescer (NELSON & BOOTH, 2002).



A produção de sedimentos também varia de acordo com as diferenças geográficas e climáticas de cada região, e com os diversos usos do solo em uma bacia. Nesse sentido, quando se analisa a produção de sedimentos em áreas com diferentes usos do solo em bacias, observa-se uma maior contribuição de ruas em florestas, vias de solo exposto, áreas de construção, áreas comerciais, superfícies pavimentadas e áreas residenciais, com maior influência na respectiva ordem (NELSON & BOOTH, 2002). A maior contribuição de áreas comerciais pode estar vinculada a própria atividade econômica, onde se tem uma maior circulação de pessoas, veículos e maior geração de resíduos. Com relação as superfícies pavimentadas possíveis contribuições que podem estar corroborando para valores de produção mais elevados seria o desgaste da própria via e dos veículos, como pneus e pastilhas de freio, e a emissões de partículas do escapamento e motor dos mesmos.

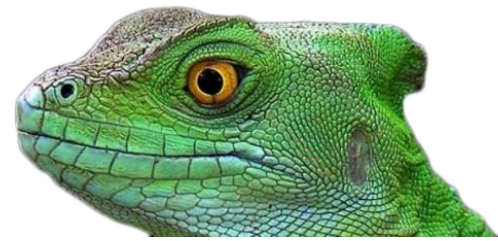
Fontes Potenciais de Sedimentos

Para Muthukaruppan et al. (2002), os dois principais motivos que influenciam na carga de poluentes nas diferentes áreas urbanas são os diferentes usos do solo e as condições socioeconômicas. Martínez, 2010 define como reflexo dessas condições o fluxo veicular, sistemas de drenagem, material de construção das ruas, densidade de árvores e taxa de acumulação de sedimentos (associado à taxa de limpeza das ruas).

Segundo Butler e Clark (1995) e pesquisas realizadas por Martínez (2010) as principais fontes de sedimentos são o material decorrente da superfície de estradas e suas obras, veículos, lavagem de áreas adjacentes (permeáveis e impermeáveis), áreas de construção civil, atividades comerciais e industriais, resíduos sólidos e de vegetação, esgoto, solo junto às estruturas de microdrenagem, telhados e deposição atmosférica. Essas fontes são comuns nas diversas áreas de uma cidade; entretanto, em função das condições climáticas predominantes (direção e intensidade dos ventos e a dinâmica atmosférica), grau de urbanização (percentual de áreas impermeáveis) e condições socioeconômicas pode ocorrer modificações nessas fontes (MARTÍNEZ, 2010).

Transporte de Sedimentos

Basicamente o transporte de sedimentos urbanos ocorre pela ação do vento e da água, quando ocorre pela ação da água costuma-se chamar de carreamento de sedimentos, o qual ocorre tanto devido a precipitação quanto ao escoamento, e quando ocorre pela ação do vento pode ser observado até mesmo no próprio fluxo de veículos, que gera um deslocamento de massas localizado sobre a pista e arredores. Segundo Martinez (2010), os sedimentos urbanos são transportados pela ação da



água, no entanto, há uma redistribuição local sobre as superfícies pavimentadas ocasionada pela ação do vento.

Dessa forma o aumento da impermeabilização juntamente com aumento da rede de drenagem proporciona um aumento no transporte de poluentes ao corpo receptor, tendo como consequência a deformação da calha fluvial, devido a necessidade de ajuste para comportar o volume escoado. Esses impactos no ambiente aquático, devido a impermeabilização de áreas da bacia, começam a ser notados quando a bacia ultrapassa aproximadamente 12% de áreas impermeabilizadas. Implicações severas ocorrem quando se ultrapassa os 30%, resultando no soterramento de comunidades bentônicas e podendo acarretar na destruição de habitats. (MARTÍNEZ, 2010)

Conhecer a carga de sedimentos propagada nos ambientes urbanos e transportada pelos rios é de suma importância para o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos de uma região, levando-se em consideração que os danos causados por eles dependem de sua natureza, que varia de acordo com os processos de erosão, transporte e deposição (DOTTO, 2006). As partículas de sedimentos que não são originárias de fontes naturais interagem de forma diferenciada com o ambiente, dessa forma, torna-se importante o conhecimento dos poluentes agregados aos sedimentos urbanos para se dar maior suporte as medidas de manejo, recuperação e gerenciamento de ambientes aquáticos.

Propagação de Sedimentos em Superfícies Impermeáveis

Os conceitos de acumulação e carreamento de sedimentos são, normalmente, utilizados para descrever os processos de propagação dos sedimentos em superfícies impermeáveis (DUNCAN, 2003). Sendo que os eventos típicos de precipitação são responsáveis pela remoção de apenas uma parte dos sedimentos acumulados na superfície (DOTTO, 2006).

Estudos realizados nos EUA indicam que a distribuição de sedimentos ao longo de uma rua é muito assimétrica, havendo mais de 80% dos sedimentos acumulados em uma faixa situada a 15cm do meio fio (BULTLER & CLARK, 1995). Deletic et al. (1997, 2000) destacam que a distribuição dos sedimentos não é uniforme e descrevem que 10% deles se localizam na superfície principal da rua (eixo) e 90% na sarjeta (definida como uma faixa de 50cm de largura a partir do meio fio). A distribuição da massa de sedimentos ocorre entre a superfície da rua e da calçada, considerando que a calçada possui uma taxa de deposição duas vezes superior à taxa que ocorre na superfície da rua.



Carreamento de Sedimentos em Superfícies Impermeáveis e Propagação na Rede de Drenagem

Carreamento é definido como processo em que o sedimento seco acumulado na superfície é removido pela ação da chuva e do escoamento, incorporando-se no escoamento superficial, sendo que esse processo depende também das características de cada região, como precipitação e área impermeabilizada (DOTTO, 2006).

Segundo Greenway et al. (2002), a carga e os tipos de poluentes carreados no escoamento pluvial diferem de acordo com o uso do solo, a intensidade e duração dos eventos de precipitação e o intervalo entre eventos. O uso do solo é considerado um indicativo para espécimes e concentrações de poluentes, e a intensidade e duração dos eventos de precipitação favorecem o arraste e transporte de poluentes aos corpos da água.

Com a remoção e carregamento dos poluentes pela precipitação e escoamento ocorre a poluição dessas águas, as quais seguem para os sistemas de drenagem onde podem ocorrer processos como a deposição dos sedimentos no leito da boca de lobo, suspensão dos sedimentos ou carreamento de sedimentos de acordo com a taxa de escoamento e peso da partícula (DELETIC ET AL., 2000). Essas águas pluviais poluídas quando comparadas aos esgotos domésticos podem possuir cargas de poluição consideravelmente maiores (DELETIC ET AL., 1997), o que pode estar associado a deposição de sedimentos no interior das canalizações, sem contar com a contribuição clandestina de esgotos nas redes de drenagem que, devido a baixos fluxos, não possuem força suficiente para arrastar esses sedimentos tornando o acúmulo ainda maior, com incrementos de carga orgânica. Nesse sentido, quando ocorre precipitações elevadas o suficiente esses sedimentos acumulados podem ser suspensos e carregados pelo escoamento até os corpos receptores, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, o que conseqüentemente prejudica os sistemas de tratamento de água e o abastecimento, além dos impactos ocasionados no ecossistema aquático.

Conforme a intensidade e duração dos eventos de precipitação pode ocorrer a desagregação ou dissolução do sedimento acumulado na superfície. Quando se considera pequenos eventos ocorre a desagregação principalmente da carga livre (parte do sedimento que não se encontra aderido à superfície), enquanto que quando se considera eventos maiores de precipitação pode ocorrer a desintegração da carga fixa também (parte do sedimento que se encontra aderido à superfície). De acordo com a capacidade de transporte do escoamento pode ocorrer a suspensão e remoção de parte dos sedimentos da superfície, ao cessar o escoamento ao longo da sarjeta e ocorrer a secagem da superfície o restante de sedimentos que permaneceu fixa-se a superfície transformando-se em carga



fixa. Dependendo do intervalo e intensidade da precipitação, pode ocorrer que parte da carga fixa seja removida e parte da carga livre seja agregada a superfície durante a sua secagem, resultando em uma carga fixa menor do que se esperaria em uma amostragem. Esse fenômeno pode explicar por que ocorre uma redução considerável da carga livre após eventos de precipitação, enquanto ocorre uma pequena variação da carga fixa (DOTTO, 2006).

No entanto, no estudo realizado por Dotto (2006) observou-se que quando ocorre eventos de baixa intensidade de precipitação nota-se um aumento da carga fixa, o que pode ser explicado pela desintegração da carga livre, sendo removido apenas uma pequena parte dessa fração de sedimento, enquanto que o restante agrega-se à superfície compondo a carga fixa. Dessa forma, constatou-se que eventos com intensidade inferior a 1.0 mm/h resultaram em um aumento da carga total da superfície e que durante os eventos de precipitação as cargas geralmente reduzem, no entanto não zeram, sendo que o percentual de redução varia de acordo com o evento de precipitação e escoamento gerado.

O intervalo entre eventos de precipitação também afetar a qualidade e a quantidade do escoamento pluvial devido a acumulação de contaminantes nas superfícies impermeáveis, sendo que quanto maior o intervalo entre eventos maior a quantidade acumulada de sedimentos na superfície, podendo acumular mais sedimentos que do é capaz de ser arrastado (MARTINEZ, 2010). A quantidade de sedimentos arrastada varia com a duração e intensidade de cada evento de precipitação, sendo que a concentração de sedimentos no início do escoamento é superior a concentração durante e ao fim do escoamento, sendo denominado essa concentração de carga de lavagem.

Acumulação de Sedimentos em Superfícies Impermeáveis

O processo de acumulação de sedimentos reflete toda uma diversidade de processos típicos de tempo seco que ocorrem entre intervalos de eventos de precipitação, que compreende os processos de deposição, erosão devido à ação do vento, limpeza das ruas e etc. Esses sistemas induzem a acumulação de sólidos na superfície e, também, de outros poluentes, os quais são carregados posteriormente nos eventos de precipitação. A acumulação de sedimentos pode ser quantificada através da coleta de sedimentos das superfícies, sob condições específicas de controle, ou através da estimativa indireta por modelagem ou análise estatística das concentrações presentes no escoamento. A medição direta no escoamento não é possível devido ao efeito integrado dos processos de acumulação e carreamento (DOTTO, 2006).



Conforme Deletic et al. (1997), a deposição de poeira, fluxo de veículos, vento e erosão de áreas não pavimentadas são os principais fatores que influenciam na acumulação dos sedimentos nas superfícies impermeáveis. Sendo que a carga fixa se encontra agregada à superfície asfáltica e possui uma tendência mais uniforme em diferentes locais, enquanto a carga livre tende ser mais suscetível à redistribuição e às influências do local em questão, como presença de obras, fluxo de veículos, vento, etc. (DOTTO, 2006).

Em estudos realizados por Zafra Mejía et al. (2007), onde foram coletados sedimentos de superfícies impermeáveis para análise de metais pesados, com intervalos de tempos secos de 2, 3, 5 e 6 dias, observou-se que havia um aumento na deposição de sedimentos à medida que aumentava os dias sem a ocorrência de precipitação. Muthukaruppan et al. (2002) verificaram que a acumulação de sedimentos ao longo de dias secos ocorre relativamente rápido após um evento de precipitação; entretanto, torna-se lento após alguns dias. Segundo Butler e Clark (1995) essa acumulação na superfície pode ser assumida como linear, caso não ocorra precipitação ou limpeza urbana. Martínez (2010) afirma que essa acumulação pode ser descrita como um processo de equilíbrio dinâmico, que atua entre a deposição e a remoção em um ponto e entre as áreas de contribuição ou não, sendo o processo característico de períodos secos e conduzido pelo vento natural e induzido pelo fluxo veicular.

O vento natural e o induzido pelo tráfego também são responsáveis por conduzirem a um aumento na acumulação de sedimentos mais finos. Como as partículas da carga livre são maiores que da carga fixa elas possuem maior suscetibilidade a se desintegrar em partículas menores, tornando a carga livre mais fina ao longo dos dias secos quando comparada a carga fixa. Quando considerado os eventos de precipitação, o que ocorre é a redução da quantidade de sedimentos da carga livre e alteração na distribuição granulométrica das partículas. Esses eventos normalmente também são responsáveis pela redução na quantidade de sedimentos da carga livre e aumento de sua granulometria, sendo também responsáveis pelo aumento na quantidade e na maior proporção de material fino na carga fixa, devido a dissolução das partículas mais finas presentes na carga livre, essas partículas ou seguem com escoamento para as redes de drenagem, ou se aderem à superfície compondo parte da carga fixa, justificando o aumento de material fino na carga fixa após ocorrência das chuvas (DOTTO, 2006).

De acordo com Vaze e Chiew (2002) os típicos eventos de precipitação removem uma pequena fração dos poluentes presentes nas superfícies, sendo a carga de sedimentos acumulada na superfície sempre superior àquela que poderia ser carregada por um evento de precipitação. Portanto, pode se considerar que após o cessamento do escoamento e secagem da superfície ainda se encontra presente um remanescente dos sedimentos, corroborando com a afirmação de Dotto (2006) de que



durante os eventos de precipitação as cargas geralmente reduzem, no entanto não zeram, sendo que o percentual de redução varia de acordo com o evento de precipitação e escoamento. Esses eventos, segundo Sartor e Boyd (1972) apud Martínez (2010) possuem a capacidade de transportar em suspensão apenas as partículas mais finas com D50 entre 80 e 100 μm .

Distribuição de tamanho de Partículas

A distribuição granulométrica é um parâmetro fundamental para caracterização de materiais heterogêneos, pois possibilitam auxiliar os estudos sobre agregação de partículas, transporte, dissolução e análise de fontes (MARTINEZ, 2010). Para Dotto (2006) a distribuição de tamanho de partículas é de fundamental importância para a melhor compreensão da distribuição de contaminantes associados as diferentes granulometrias. Isso torna viável a seleção e o projeto de componentes adequados para o pleno funcionamento dos sistemas de drenagem urbana, considerando que para isso se defini granulometrias que serão transportadas até o corpo receptor e que ficaram retidas nas bocas de lobo.

Sedimentos urbanos possuem distribuição granulométrica influenciada por diversos fatores, associados, basicamente, ao uso do solo. A granulometria clássica de sedimentos muito grosseiros, como cascalho, seixos e balastros, é efetuada realizando medições individuais de cada um dos elementos e contando-os. No caso de sedimentos mais finos, como areia, silte e argila, a análise classe necessita de uma separação mecânica. Nesse sentido, para fins de classificação da distribuição granulométrica, a separação de um material heterogêneo em quatro classes é mais comum. Os sedimentos geralmente são separados nas frações de cascalho ($>2\text{mm}$), areia ($0.063\text{mm} - 2\text{mm}$), silte ($2 - 63\mu\text{m}$) e argila ($<2\mu\text{m}$). Entretanto, essas quatro classes podem ser subdivididas, como apresenta a Tabela 1, sendo que quanto menor for a amplitude dessas classes, melhor será a descrição da variabilidade dimensional das partículas que constituem o sedimento (Martínez, 2010).

A partir dessa análise é possível gerar as curvas de distribuição granulométrica, das quais se obtêm os parâmetros D50, D10 e D90, por exemplo. Os parâmetros D10 e D90, estão relacionados aos diâmetros de corte da curva de distribuição acumulada em 10% e 90%, respectivamente, enquanto, o parâmetro D50 está relacionado à mediana da distribuição e corresponde ao diâmetro médio de partícula (Dm). A partir desses parâmetros é possível inferir se o sedimento analisado possui uma maior contribuição de sedimentos finos ou grosseiros.



Tabela 1: Classes para diferentes frações de partículas utilizadas para caracterização granulométrica

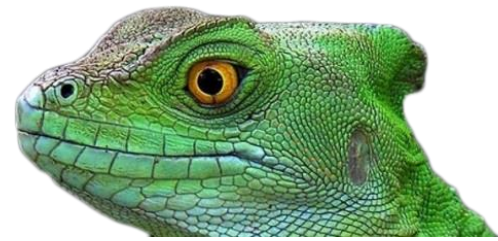
Fração	Classes (mm)
Areia	2 - 0.05
Muito Grossa	2 - 1
Grossa	1 - 0.5
Mediana	0.5 - 0.25
Fina	0.25 - 0.125
Muito Fina	0.125 - 0.063
Silte	0.063 - 0.002
Grosso	0.063 - 0.0156
Médio	0.0156 - 0.0078
Fino	0.0078 - 0.0039
Muito Fino	0.0039 - 0.002
Argila	<0.002

Adaptado de: Martínez (2010)

Por fim, para uma análise completa da distribuição granulométrica pode ser utilizado um analisador de partículas a laser, entretanto, para uma maior economia sugere-se realizar tal análise somente nas amostras da faixa granulométrica retida na peneira de fundo. Esse método é interessante por ser mais rápido, prático, preciso e amostrar uma maior gama de diâmetros finos que o método da pipetagem, por exemplo, tornando a análise mais minuciosa devido a uma melhor descrição da distribuição de partículas muito finas.

O peneiramento pode ser realizado tanto a seco quanto a úmido, no primeiro caso as partículas que são muito finas podem ficar aderidas as superfícies das partículas maiores, o que se constitui como um erro na distribuição do tamanho de partículas por esse método. Esse fenômeno também é responsável por interferir na distribuição dos poluentes e em sua correlação com os tamanhos de partículas, uma vez que os poluentes, como metais, possuem uma tendência de se aderirem as partículas mais finas, justificando a presença desses em granulometrias maiores do que as esperadas.

No peneiramento úmido parte dessas partículas mais finas são transportadas pelo fluxo de água, reduzindo assim as interferências e erros associados. Nesse sentido, no estudo realizado por Zafra Mejía et al. (2007), foi encontrada uma diferença entre o peneiramento a seco e a úmido, que



chegou a 14,6% para carga fixa e 10,1% para a livre, indicando que partículas finas, menores que 64 μ m, se encontram aglomeradas ou aderidas a partículas maiores.

Considerando as bacias hidrográficas, geralmente, considera-se que as partículas com diâmetro inferior a 2mm são transportadas como cargas suspensas em típicos cursos d'água urbanos. As partículas com diâmetro inferior a 63 μ m são consideradas como os sedimentos que se acumulam em lagos e que possuem uma capacidade de adsorção com contaminantes crescente na medida em que diminui o seu diâmetro, como no caso dos metais. (SUTHERLAND, 2003; HOROWITZ, 2001).

| METODOLOGIA DE COLETA DE SEDIMENTOS DE SUPERFÍCIES IMPERMEÁVEIS |

Para a coleta de sedimentos de superfícies impermeáveis existem inúmeras estratégias de amostragem com diferentes eficiências, o que segundo Zafra Mejía et al. (2007) causa variações nas análises da distribuição granulométrica dos sedimentos. No entanto, devido a necessidade de uma amostra grande o suficiente para as análises físicas e químicas, quando se pretende analisar os sedimentos de uma região, as formas de recolhimento de poeira de superfícies asfálticas são facilitadas com o emprego de amostras compostas. Segundo Suguio (1973), as amostras compostas constituem uma mistura de amostras de pontos definidos que formam uma única amostra simples, caracterizando-se como uma amostra econômica e fornecendo valores médios. Esse tipo de amostragem também corrobora com a representatividade da amostra quando os pontos de coleta das sub-amostras forem significantes e bem distribuídos, pois como não é possível amostrar uma via inteira devido a impraticabilidade o valor médio se torna interessante e economicamente viável. Dessa forma, algumas das técnicas mais aplicadas para a coleta de sedimentos de superfícies impermeáveis são: varrição, aspiração a seco, aspiração a seco com varrição e aspiração a úmido.

O procedimento de varrição consiste na utilização de um pincel, escova ou equipamento similar, que tenha como objetivo a varrição do local que se pretende amostrar, e de uma pá para a coleta do sedimento (CHARLESWORTH, 2003). Sendo que a utilização de um quadrado amostral com dimensões conhecidas é um ponto importante para obtenção de amostras, pois possibilita a comparação entre elas ou a obtenção de um valor médio por área amostrada, no caso de amostras compostas.

As técnicas de aspiração a seco, com ou sem varrição, e a úmido consistem em coletar os sedimentos da superfície asfáltica com o uso de um aspirador. Sendo que nos casos de aspiração a seco com a utilização da varrição pode-se obter uma maior remoção de finos comparado a técnica



sem o uso da varrição; entretanto, deve-se atentar para a intensidade da escovação que pode desagregar partículas da superfície asfáltica (DOTTO, 2006; GOMES, 2008). No caso da aspiração a úmido, a aplicação de um spray ou jato da água na superfície, ao mesmo tempo que se realiza a aspiração, proporciona uma maior eficiência na remoção de finos, comparado as estratégias descritas anteriormente, isso ocorre devido a pressão ocasionada pelo jato da água sobre a superfície asfáltica (SILVA et al., 2014).

| COMENTÁRIOS FINAIS |

Portanto, o conhecimento da carga e da natureza dos sedimentos urbanos, associada aos processos de erosão, transporte e deposição, ao longo da bacia é de suma importância para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos de uma região (DELETIC ET AL., 1997). Segundo Martínez (2010) a principal fonte de poluentes em áreas urbanas é o sedimento depositado nas superfícies impermeáveis, que através dos mecanismos de transporte atingem os corpos hídricos, causando a degradação de sua qualidade. Nas vias as cargas de poluentes geralmente encontradas são o óleo, os combustíveis, a poeira e a areia, sendo que a carga de poluentes nas vias normalmente é maior que as cargas encontradas em áreas comuns e residenciais (ZAFRA ET AL., 2007).

A impermeabilização de bacias se faz a partir da retirada da cobertura vegetal, a qual possui a capacidade de interceptar parte das águas pluviais, reduzindo assim a intensidade do escoamento superficial. Portanto, a remoção de vegetação para dar espaço a novas áreas impermeabilizadas causa o aumento do volume no escoamento, que por sua vez está associado ao aumento dos processos erosivos nos corpos hídricos e as enchentes. Nesse sentido a impermeabilização está associada a alterações no ciclo hidrológico, mudando as características locais do solo e vegetação (POLETO, 2007).

Durante o processo de urbanização, a condição de permeabilidade do solo é substituída por superfícies impermeáveis, como ruas, telhados, estacionamento e calçadas, os quais são responsáveis por reter a água, reduzir a infiltração no solo e aumentar o volume escoado superficialmente e em redes e canais, além de reduzir o fluxo de base. A impermeabilização de bacias tem como consequência a transformação de grande parte da chuva incidente em escoamento superficial. Essa condição tem como reflexo um menor tempo de concentração e uma maior vazão de pico nos hidrogramas (MARTINEZ, 2010).



Charlesworth et al. (2003) considera que as principais características que influenciam na presença de sedimentos urbanos nas superfícies são o fluxo veicular e o tempo de residência dos sedimentos sobre a superfície, sendo que o desconhecimento do histórico desse tempo cria uma margem de incerteza na comparação entre regiões. Conforme Martínez (2010), as partículas de sedimentos não estão isoladas no ambiente urbano e são governadas por fatores físicos (topografia, direção do vento, escoamento superficial) e por fatores microambientais (pH, estrutura química da superfície impermeável, potencial redox).

Nesse sentido tem-se a caracterização granulométrica como um importante parâmetro para se avaliar o potencial poluidor dos sedimentos presentes em uma região sobre os cursos d'água, sistemas de drenagem, saúde humana, etc. Como exemplo desses problemas pode-se citar o abastecimento humano, assoreamento de canais e reservatórios, obstrução de canais de drenagem e degradação de habitats aquáticos. Para isso se faz necessário a aplicação das técnicas de coleta de sedimentos, que segundo Martínez (2010) existe uma forte tendência em avaliar amostras coletadas nas ruas, devido ao fato de que esses locais de amostragem fornecem uma representatividade da atividade econômica predominante, facilidade no processo de amostragem e baixa probabilidade de alteração das propriedades químicas dos sedimentos.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS |

- ANDRADE, L. C. 2018. Impactos do Ambiente Urbano na Poluição dos Sedimentos do Lago Guaíba. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 116.
- ANDRADE, L. C. 2019. Da origem da poluição à recuperação das águas: pesquisa revela aspectos desconhecidos sobre o Guaíba. [Entrevista concedida a] Caue Fonseca. GaúchaZH.
- BALL, J. E.; JENKS, R.; AUBOURG, D. 1998. An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. *Science of The Total Environment*, v. 208, n. 2-3, p. 243-254.
- BENDATI, M. M. 2000. Avaliação da concentração de metais em moluscos no Lago Guaíba. *Ecos*, Porto Alegre, v. 17, p. 28-3.
- BUTLER, D.; CLARK, P. 1995. Sediment management in urban drainage catchments. Construction Reserch and Information Association, CIRIA Report 134. London.



- CARVALHO, N.O.; JÚNIOR, N.P.F; SANTOS, P.M.C; LIMA, J.E.F.W. 2000. Guia de Práticas Sedimentométrica. Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. Brasília.
- CHARLESWORTH, S. et al. 2000. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment International*, v. 29, n. 5, p. 563 – 573.
- CHARLESWORTH, S.M.; EVERETT, M.; McARTHUR, R.; ORDOÑEZ, A.; de MIGUEL, E. 2003. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment International*, n. 29, p. 563 - 573
- COSTA, S. C.; HARTZ, S. M. 2009. Evaluation of trace metals (cadmium, chromium, copper and zinc) in tissues of a commercially important fish (*Leporinus obtusidens*) from Guaíba Lake, Southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 52, n. 1, p. 241-250.
- DELETIC, A.; ASHLEY, R.; REST, D. 2000. Modelling input of line granular sediment into drainage systems via gully-pots. *Water Research*. v. 34, n. 15, p. 3836-3844.
- DELETIC, A.; MAKSIMOVIC, C.; IVETIC, M. 1997. Modelling of storm wash-off of suspended solids from impervious surfaces. *Journal of Hydraulic Research*. v. 35, n. 1, p. 99-118.
- DOTTO, C. B. S. 2006. Acumulação e Balanço de Sedimentos em Superfície Asfáltica em Área Urbana de Santa Maria - RS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 126.
- DUNCAN, H. 2003. Urban stormwater pollutant concentration and loads. Draft Australian Runoff Quality Guidelines. Australia.
- GOMES, A. P. 2008. Acumulação e Transporte de Sedimentos na Microdrenagem: Monitoramento e Modelagem. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 146.
- HOROWITZ, A.J.; ELRICK, K.A.; SMITH, J.J. 2001. Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins: Methodological considerations as applied to the NASQAN programme. *Hydrological Processes*. v. 15, p. 1107-1132.
- GREENWAY, M.; LE MUTH, N. E JENKINS, G. 2002. Monitoring spatial and temporal changes in stormwater quality through a series of treatment trains. A case study – Golden Pond, Brisbane, Australia. *Global Solutions for Urban Drainage*.
- HERNGREN, L.; GOONETILLEKE, A.; AYOKOC, G. A. 2006. Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. *Analytica Chimica Acta*, v. 571, n. 2, p. 270-278.
- MARTÍNEZ, L. L. G. 2010. Distribuição de Poluição Difusa por Sedimentos Urbanos em Áreas Impermeáveis em Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 90.
- MUTHUKARUPPAN, M.; CHIEW, F.H.S.; WONG, T. 2002. Size distribution and partitioning of urban pollutants. *Global Solutions for Urban Drainage*.
- NELSON, J; BOOTH, D.B. 2002. Sediment sources in an urbanizing, mixed land-use watershed. *Journal of Hydrology*. v.264, p 51-68.
- PAIVA, E.M.C.D; COSTAS, M.F.T. 2003. Produção de sedimento em bacia urbana. Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. São Paulo: ABRH, v.1, p. 423-432.
- POLETO, C. 2007. Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano. Porto Alegre. UFRGS.



- POLETO, C. et al. 2009. Urban sediment particle size and pollutants in Southern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, v. 9, n. 4, p. 317-327. ISSN 1439-0108 (impressão) 1614-7480 (on-line).
- POLETO, C.; MARTÍNEZ, L. L. G. 2011. Sedimentos Urbanos: Ambiente e Água. *HOLOS Environment*, v. 11, n. 1. ISSN 1519-8634 (on-line).
- POLETO, C.; MERTEN, G. Urban watershed studies in southern Brazil. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v. 1, n. 2, p. 70-78.
- SAN MIGUEL, G.; FOWLER, G. D.; SOLLARS, C. J. 2002. The leaching of inorganic species from activated carbons produced from waste tyre rubber. *Water Research*, v. 36, n. 8, p. 1939-1946.
- SARTOR, J.D.; BOYD, G.B. 1972. Water pollution aspects of street surface contaminants. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, Report No. EPA-R2-72/081.
- SHARLEY, D. J. et al. 2016. Detecting long-term temporal trends in sediment-bound trace metals from urbanised catchments. *Environmental Pollution*, Barking, v. 219, p. 705-713.
- SILVA, E. P. et al. 2014. Determinação de Metais Pesados em Sedimentos Urbanos por Fluorescência de Raios-X. *HOLOS Environment*, v. 14, n. 1. ISSN 1519-8634 (on-line).
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo: Edgar Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo.
- SUTHERLAND, R. 2003. Lead in grain size fractions of road-deposited sediment. *Environmental Pollution*, n. 121, p. 229-237.
- VAZE, J.; CHIEW, F.H.S. 2002. Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. *Urban Water*. v. 4, n. 4, p. 379-389.
- ZAFRA MEJÍA, C. A.; GONZÁLEZ, J. T.; TEJERO MONZÓN, J. I. 2007. Contaminación por escorrentía superficial urbana: metales pesados acumulados sobre la superficie de una vía. *Ingeniería e Investigación*, v. 27, n. 1.