

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA AO LONGO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE – GOIÁS

Analysis of the granulometric distribution along the Meia
Ponte River Basin – Goias

Ana Karolyna Nunes Amaral¹, Klebber Teodomiro Martins Formiga¹

¹ Universidade Federal de Goiás – UFGO, Goiânia, MG, Brasil. E-mails: ana.nunes.ufg@gmail.com, klebber.formiga@gmail.com

Como Citar: AMARAL, A. K. N., FORMIGA, K. T. M. Análise da distribuição granulométrica ao longo da bacia hidrográfica do rio meia ponte – Goiás. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 16, e5, 2019. <https://dx.doi.org/10.21168/regav16e5>

RESUMO: O rio é um dos principais meios de transporte de sedimentos, sendo estes provenientes de processos erosivos que ocorrem na superfície, causados pela ação de agentes dinâmicos externos como o vento, gravidade, gelo e como também por atividades antrópicas. A Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Go possui os principais afluentes que abastecem a cidade de Goiânia e região metropolitana, sendo de grande importância o conhecimento das características hidrossedimentológicas, principalmente quando se refere ao granulometria de sedimentos suspensos, sendo esta uma variável que não é dada a devida importância nos processos gestão e planejamento. Sendo assim o presente trabalho tem como o objetivo caracterizar a granulometria dos sedimentos suspensos em afluentes ao longo da bacia, como também comparar dois equipamentos de aferição granulométrica que utilizam a tecnologia de difração a laser: LISST-SL e MASTERSIZER 2000. As amostras foram coletadas com o amostrador Garrafa de *Van Dorn*, a partir do método pontual por integração. De acordo com os resultados, foi observado que a granulometria dos sedimentos suspensos diminuiu de montante a jusante em relação ao rio principal (Meia Ponte), apresentando ainda uma diminuição do diâmetro médio (D50) do período de estiagem para o chuvoso. Em relação a comparação dos granulômetros, obteve-se uma diferença 17% para a seção 2, e de 20% para a seção 3, em relação de um equipamento a outro.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte de Sedimentos; Granulometria; Difração a laser;

ABSTRACT: The rivers are one of the main means of transportation of sediments, being these coming from erosive processes that occur in the surface, caused by the action of external dynamic agents like wind, gravity, ice and as also by anthropic activities. The Meia Ponte-Go River Basin has the main tributaries that supply the city of Goiânia and metropolitan region, being of great importance the knowledge of the hydro - sedimentological characteristics, mainly when it refers to the granulometry of suspended sediments, being this a variable that is not given the due importance in the management and planning processes. The objective of this study was to characterize the granulometry of suspended sediments in tributaries along the basin, as well as to compare two particle size calibration equipment using laser diffraction technology: LISST-SL and MASTERSIZER 2000. The samples were collected with the Van Dorn Bottle sampler, from the point method by integration. According to the results, it was observed that the granulometry of the suspended sediments decreased downstream from the main river (Meia Ponte), with a decrease in the mean diameter (D50) from the dry season to the rainy season. In relation to the comparison of the granulometers, a difference was obtained 17% for section 2, and 20% for section 3, in relation from one equipment to another.

KEYWORDS: Sediment transport; Granulometry; Laser diffraction;

INTRODUÇÃO

Os rios são um dos principais meios de transporte de sedimentos, sendo estes provenientes de processos erosivos que ocorrem na superfície, causados pela atuação dos agentes dinâmicos externos, como o vento, a gravidade, o gelo e agentes biológicos. Os sedimentos transportados por estes, são

Recebido: 29/01/2019. Revisado: 29/04/2019. Aceito: 07/06/2019.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

encaminhados de suas cabeceiras, para áreas planas ocorrendo assim sua deposição, sendo que todos esses processos que envolvem o sedimento, são provenientes de fenômenos naturais que ocorrem através de tempos geológicos, sendo os responsáveis pela forma atual da superfície da terra (CARVALHO, 2008). Mas mesmo fazendo parte de um processo natural, esta pode ser intensificada pelas atividades antrópicas ocorridas no local, com as atividades agrícolas, construções civis, empreendimentos hídricos e mudança de uso do solo.

Granulometria é a área de estudo que determina as dimensões físicas das partículas de uma rocha ou de um outro sólido, que podem variar de tamanhos extremamente pequeno (partículas coloidais), até maiores como argila, silte, areia, cascalho, matacão e rochas. Esta é usualmente expressa em milímetro (mm) ou microns (μm). De acordo com Charlton (2008), as partículas que ficam em suspensão em rios são de granulometria reduzida, variando de argila a silte, onde permanecem em suspensão pelo fluxo turbulento e são transportados a jusante do canal.

Amorim et al. (2009) diz que conhecer a granulometria dos sedimentos transportados, é de grande importância para compreensão da hidrodinâmica de rios e lagos. E Lima et al. (2006) também aponta que o conhecimento sobre a distribuição granulométrica de sedimentos do leito de rios é fundamental para o uso de métodos indiretos de cálculo da descarga sólida total em uma seção transversal de determinado curso d'água, bem como para outros estudos hidrossedimentológicos.

Existem várias técnicas de análise granulométrica, podendo estas ser realizadas por peneiramento, quando temos solos granulares como as areias e pedregulhos, por sedimentação ou filtração, no caso de solos argilosos, ou por técnicas de difração a laser. Este último é muitas das vezes preferido, por conta da facilidade e rapidez na operação e na disponibilização dos resultados, mas tendo um custo mais elevado devido a obtenção do equipamento.

Um desses equipamentos que utilizam a tecnologia de difração a laser é a série LISST (*Laser In Situ Scattering and Transmissometry*), tendo como fabricantes a empresa *Sequoia Scientific, Inc.* Este realiza suas medições através do princípio de difração a laser, na qual se calcula a distribuição do tamanho de partículas sólidas a partir dos diagramas de difração de cada partícula, pressupondo que as partículas, ao interagirem com o feixe de luz, promovam um diagrama de luz intrínseco ao seu tamanho (BORTOLUZZI; POLETO, 2006).

Outra série de equipamentos que também realizam as análises granulométricas a partir da tecnologia de difração a laser, é a série de equipamentos MASTERSIZER (INSTRUMENTS, 2007), fabricado pela empresa *Malvern Panalytical*. Este realiza suas análises a partir do índice de refração, pela incidência de laser na amostra a partir de detectores óticos. Atualmente são os equipamentos mais utilizados nas análises granulométricas automáticas no mundo (MALVERN PANALYTICAL, 2000). A principal diferença entre estes dois equipamentos é que o primeiro realiza as análises *in situ*, não necessitando de coletar amostras.

As amostras quando coletadas tem como o objetivo representar toda a seção transversal, sendo as amostragens do tipo pontuais bastantes recomendadas nos casos onde não existe uma série histórica de dados do local. Segundo Carvalho (2008) existem vários métodos de escolha dos locais de coletas, variando de até uma única amostragem na superfície, como de uma série de coletas em verticais e profundidades distintas, a depender do tamanho do curso d'água. Deve-se considerar no momento da escolha dos locais de coleta, as características morfológicas do rio como também os tipos de equipamentos disponíveis.

Conforme Lima et al. (2006), a presença de sedimentos nos cursos d'água é consequência dos processos erosivos ocorridos nas suas bacias de drenagem, e essa elevada concentração de sedimentos nos rios pode comprometer ou restringir o uso da água, principalmente em projetos relacionados a barragens, hidrelétricas, hidrovias como outros, sendo estes usos bastante comuns no Brasil.

Sari et al. (2017) aponta que a concentração e a granulometria de sedimentos suspensos detêm influência direta na turbidez de recursos hídricos, indicando ainda que a relação de turbidez é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. Altos índices de turbidez podem contribuir com a deterioração da qualidade da água, uma vez que impede a penetração da luz na água interferindo nos processos de fotossíntese, que consequentemente reduz o oxigênio no local (SPERLING, 1996; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2009; GONÇALVES, 2009).

A Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRMP), é detentora dos principais mananciais responsáveis em abastecer hidricamente a Capital Goiânia e região metropolitana: rio Meia Ponte e ribeirão João Leite. Sendo de grande importância o conhecimento tanto qualitativo como quantitativo desses recursos hídricos, por conta da grande responsabilidade que esses detêm. É destacado ainda que existem poucos estudos, não só na região como em todo o país referente a granulometria de

sedimentos suspensos, sendo estes fundamentais para determinar os tipos de uso recomendados para o recurso hídrico em questão.

Trabalhos como o de Muggler et al. (1997), Konert e Vandenberghe (1997) e Sochan et al. (2012), mostram que os métodos de determinação granulométrica a laser apresentaram-se bem correlacionados como os métodos tradicionais, demonstrando ainda resultados mais detalhados, principalmente em classes de sedimentos mais finos. Porém a comparação entre equipamentos distintos que utilizam a tecnologia de difração a laser ainda se faz escassa. Diante disto, este trabalho tem como objetivo identificar a distribuição granulométrica ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte – Goiás (BHRMP), como também realizar a comparação dos resultados granulométricos a partir dos equipamentos LISST – SL e MASTERSIZER 2000 UM.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Para a realização deste estudo foram escolhidas seções de rios ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte que está inserida na bacia do Paranaíba, na Região Hidrográfica do Paraná, localizada no Estado de Goiás contida entre os meridianos 48° 46' 48" e 49° 44' 51" de longitude e os paralelos 16° 06' 38" e 18° 32' 15,3" de latitude. Esta área corresponde a 3,6% da área total do Estado (12.180 km²), tendo 38 municípios em seu território e concentrando 48% da população de Goiás (VEIGA et al., 2011). Os municípios mais populosos da bacia são, Goiânia, Aparecida de Goiânia, Anápolis, Senador Canedo e Itumbiara que juntos somam com 2.591.309 milhões de habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

O Rio Meia Ponte nasce na Serra dos Brandões, nas proximidades de Itauçu, em cotas de aproximadamente 1.000 m e percorre uma extensão de 415 km até desaguar no rio Paranaíba, no reservatório da UHE de São Simão, na cota 395 m, a jusante da cidade de Cachoeira Dourada. Os seus principais afluentes são os rios Inhumas, João Leite, Caldas, Ribeirão Formiga, Dourados e o Ribeirão Boa Vista do Rancho (BARBOSA, 2013).

Existem três principais obras hidráulicas presentes na bacia, a Usina Hidrelétrica do Rochedo, localizado no município de Piracanjuba, a Estação de Tratamento de Esgoto de Goiânia e a Barragem do Ribeirão João Leite, sendo estas utilizadas para o abastecimento e tratamento de água para a população, principalmente de Goiânia e região metropolitana. Esta é dividida em cinco sub-bacias segundo a Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado (2008), sendo elas (Figura 1):

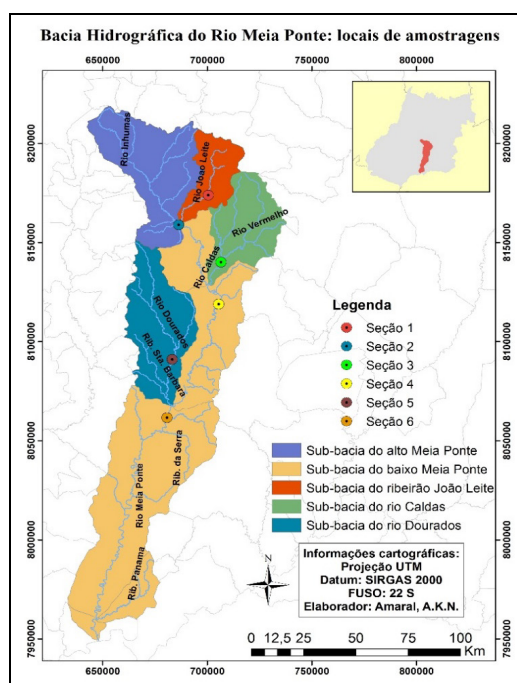


Figura 1 - Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do rio Meia Ponte. **Fonte:** SIEG (Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás); AAPC (Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado).

- Alto Meia Ponte, que engloba a região da nascente até a foz no ribeirão João Leite, com a área de aproximadamente 2022,45 km²;
- Ribeirão João Leite, que abrange sete municípios e é delimitada como Área de Proteção Ambiental, com área de aproximadamente de 764,74 km²;
- Rio Caldas, que abrange parte de nove municípios goianos, com área de aproximadamente 1288 km²;
- Rio Dourados, que também engloba nove municípios, com área de aproximadamente 1767,08 km²;
- Baixo Meia Ponte, que possui a maior área territorial, abrangendo quinze municípios, com área de aproximadamente de 6498,40 km².

Procedimentos Metodológicos

Inicialmente foi realizado um levantamento ao longo de toda a bacia para a escolha dos locais de amostragens, onde a partir disto e com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, foram selecionadas seis seções para a realização das amostragens, sendo três pontos no rio principal (Meia Ponte) e outros três nos afluentes ribeirão João Leite, rio Caldas e Dourados. Os pontos de amostragens foram escolhidos levando em consideração a relevância amostral e a acessibilidade do local, tendo pelo menos um ponto em cada sub-bacia, (figura 1). Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em duas etapas, a primeira no período de estiagem (julho/2018), e a segunda no período chuvoso (novembro/2018).

As coletas foram realizadas através do amostrador pontual garrafa de *Van Dorn*, tendo ele a forma de cilindro horizontal equipado com válvulas nas extremidades que são fechadas subitamente ao lançamento de um peso. As amostragens foram feitas em três pontos de cada seção, dois próximos a cada margem e outro no centro do canal, em cerca de 30% da profundidade do rio, pelo método conhecido como pontual por integração. A média dessas coletas tem como o objetivo representar toda a seção transversal, conforme indicado por Carvalho (2008), sendo este método recomendado pela facilidade de amostragem por conta da limitação de equipamentos e dados. As amostras logo depois de coletadas, eram armazenadas em garrafas de 1 litro e condicionada em um local adequado (caixa térmica).

As amostras coletadas foram analisadas pelo o granulômetro a laser MASTERSIZER 2000 MU, onde passaram por 30 segundos pelo ultrassom, com o objetivo de desagregar possíveis aglomerados de partículas de solos, por meio de uma sonda embutida no equipamento (SOCHAN et al., 2012). Este possui uma faixa de captação que varia de 0,1 a 1000 microns, e realiza suas análises a partir do índice de refração, pela incidência de laser na amostra a partir de detectores óticos, onde acredita-se que todas as partículas dispersam à luz em uma escala de ângulos específicos, onde as partículas grandes dispersam em ângulos pequenos e vice-versa, (figura 2a). Esta é a base fundamental da chamada *Full Mie Theory*, (MALVERN PANALYTICAL, 2000).

Foi utilizado para determinação granulométrica com o objetivo de comparação, o LISST SL, onde a partir do princípio de difração laser, consegue determinar o tamanho das partículas. Estas comparações foram realizadas *in situ* apenas nas seções 2 e 3, devido à dificuldade do transporte do equipamento. As aferições foram feitas em conjunto com as amostragens feitas pela Garrafa de *Van Dorn* e processadas no MASTERSIZER 2000 MU, para futuro correlacionamento dos dados. O LISST SL equipamento possui forma aerodinâmica que minimiza o arrasto do equipamento ao leito, e também “barbatanas” que orienta o equipamento para direção contrária ao fluxo de água. A água e os sedimentos que são bombeados pelo instrumento são direcionados ao sensor a laser de dispersão de luz, e logo as informações são transmitidas para a caixa de controle (*Topside Control Box* – TCB), para o seu imediato processamento (SEQUOIA, 2017).

A granulometria dos sedimentos é aferida a partir de 32 classes de tamanho logaritmicamente espaçadas (2– 380 µm), alcançando uma profundidade que varia de 0,15 à 30 metros, capta uma velocidade de até 8 m/s e uma temperatura de até 25° C (SEQUOIA, 2017). Este equipamento se destaca por determinar a concentração e a granulometria dos sedimentos em suspensão *in situ*, com uma maior rapidez que os métodos convencionais (figura 2b).



Figura 2 – a) Granulômetro a laser Mastersizer 2000 MU. b) Granulômetro a laser: LISST -SL.
Fonte: a) MALVERN PANALYTICAL (2000); b) SEQUOIA (2017).

Para medição da vazão, foi utilizado o *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), equipamento bastante empregado para a determinação da descarga líquida de rios, sendo seus métodos mais prático e rápido que os convencionais. Seu funcionamento parte do princípio de efeito *Doppler*, que consiste na emissão de ondas sonoras encontrada na faixa ultra-sônica, que são refletidas por meio de partículas em suspensão encontrada na água e no leito dos rios. (SIMPSON, 2001; CARVALHO, 2008; DORNELLES, 2009).

A classificação granulométrica escolhida para representar os resultados foi a ISO 14688-1: 2002, sendo esta classificação internacionalmente aceita, (quadro 1).

Quadro 1 – Classificação granulométrica conforme a ISO 14688-1: 2002.

Frações granulométricas	ISO 14688-1: 2002 (mm)	ISO 14688-1: 2002 (µm)
Areia grossa	2,0 – 0,63	2000 - 630
Areia média	0,63 -0,20	630 - 200
Areia fina	0,20 – 0,063	200 - 63
Silte	0,063 – 0,002	63- 2
Argila	< 0,002	2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variabilidade Longitudinal da granulometria da BHRMP

A figura 3 apresenta a distribuição granulométrica dos sedimentos suspensos nos rios amostrados ao longo da BHRMP para o período de estiagem.

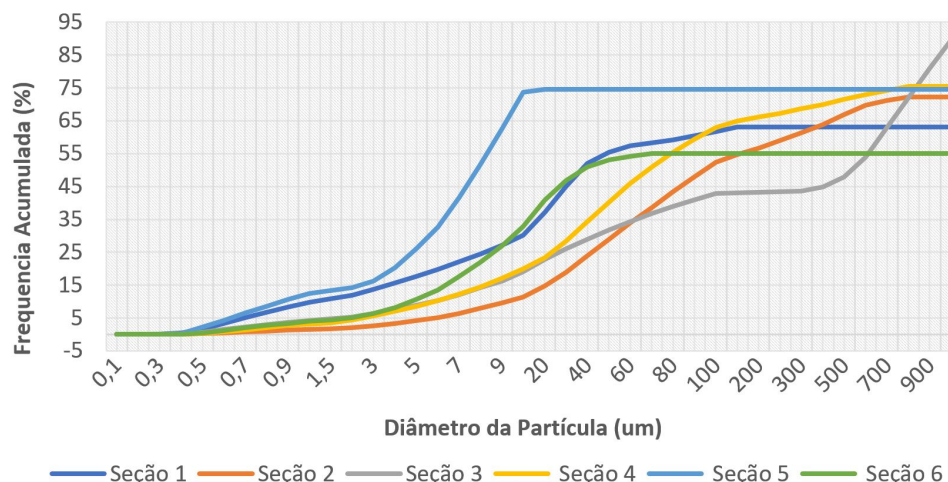


Figura 3 – Gráfico da distribuição acumulada da granulometria dos sedimentos suspensos aferidos pelo granulômetro Mastersizer 2000 UM, no período de estiagem.

Os diâmetros das partículas variaram de 0,4 a 1000 μm , sendo que 12,2% do material apresentou diâmetros menores que 2 μm (argila), 66,5% dos sedimentos tinham o diâmetro entre 2 e 63 μm (silte), 12,5% dos diâmetros variaram de 63 a 200 μm (areia fina), 5,6% de diâmetros variaram de 200 a 630 μm (areia média) e apenas 3,20% de sedimentos com diâmetros que variam de 630 a 1000 μm (areia Grossa).

É observado que a Seção 5, teve sua curva um pouco acima das demais, o que pode ser explicado pela composição granulométrica, que variou apenas entre argila e silte. A Seção 3 também teve no final da sua curva uma inclinação para cima, pode-se compreender que provavelmente nesta seção haviam mais sedimentos grosseiros, uma vez que o granulômetro (MASTERSIZER 2000 MU) possui capacidade de captação até a faixa de 1000 μm , não foi possível identificar estes.

Com base nas análises granulométricas realizadas para os rios da BHRMP foi obtido as porcentagens granulométricas ao longo da bacia, que podem ser observadas no quadro 2. As amostragens foram feitas no mês de julho período de seca na região.

Quadro 2 - Porcentagem das partículas amostradas para o período de estiagem.

Data Coleta	Local	Vazão (m^3/s)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Média (%)	Areia Grossa (%)	D50
16/07/18	Seção 1	2,23	13,07	77,56	9,4	---	---	21,29
13/07/18	Seção 2	8,26	2,36	51,81	29,65	13,49	2,53	56,27
13/07/18	Seção 3	6,06	6,40	54,00	14,16	12,35	13,08	42,72
16/07/18	Seção 4	21,55	4,77	70,63	19,83	2,735	2,03	31,88
20/07/18	Seção 5	6,77	41,28	58,72	---	---	---	4,64
20/07/18	Seção 6	30,54	5,31	86,37	2,48	5,13	0,7	16,59
							Média	28,9

É identificado com base nos dados obtidos que a granulometria predominante em quase todos rios amostrados variou de argila a areia fina, tendo o destaque na classe silte que representou cerca 66% do total. Conforme Charlton (2008), a carga de sedimentos em suspensão dos rios possui granulometria reduzida, que variam de argila a silte, e permanece em suspensão pelo fluxo turbulento e são transportados a jusante do canal.

Conforme a figura 3 e quadro 2 foi observado que na Seção 1 não houve a presença de sedimentos mais grossos como a areia média e areia grossa. O diâmetro mediano das partículas (D50) foi de 21,29 μm . Na Seção 2 é visto que mesmo a classe silte obtendo a maior porcentagem na amostra, a classe areia fina teve uma boa representatividade, 29,65%, contribuindo assim com que essa seção tenha o maior D50 entre as amostras, 56,27 μm .

Nas Seções 3 e 4 é observado também que todas as classes tiveram um percentual representado, porém a classe silte foi a mais expressiva. O D50 dessas seções foram de 42,72 μm e 31,88 μm . Na seção 5 a granulometria apresentou-se menor do que todas as seções, tendo representatividade apenas nas classes argila e silte, o D50 da seção foi baixo, 4,64 μm . A seção 6 foi a que teve mais sedimentos siltosos representados, 86,37%, tendo o diâmetro médio da seção de 16,59 μm .

A figura 4 apresenta a distribuição granulométrica dos sedimentos suspensos nas seções para o período de chuvas.

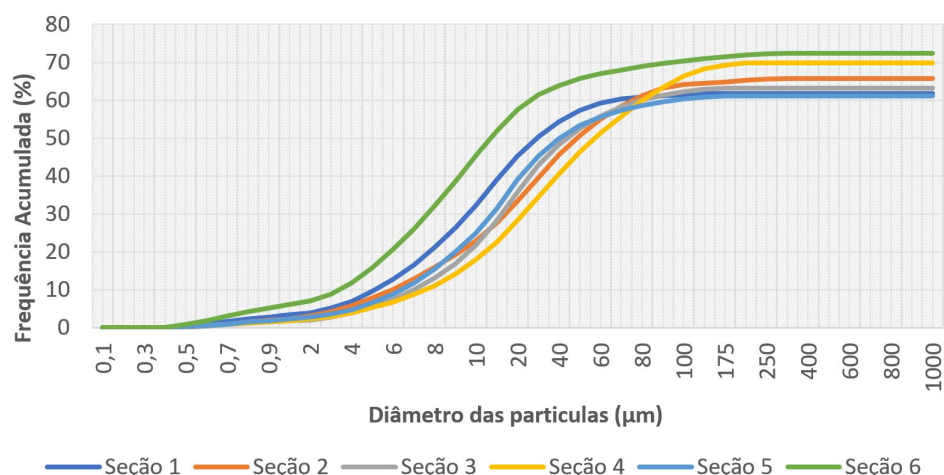


Figura 4 - Gráfico da distribuição acumulada da granulometria dos sedimentos suspensos aferidos pelo granulômetro Mastersizer 2000 UM no período de chuvas.

A partir da figura acima, observamos que a distribuição acumulada do diâmetro das partículas apresentou uma tendência semelhante de uma seção a outra, o que foi diferente da primeira amostragem. As partículas de diâmetro de até 2 µm (argila), representaram 4,41% do total das amostras, as de 2 – 63 µm (classe silte) seriam as mais representativas do total das amostras, correspondendo cerca de 84,83%. A classe areia fina (63 – 200 µm) representa 9,76% e as demais, areia fina e média cerca de 1%.

A seção 6, apresentou em sua frequência uma elevação em relação as demais seções, isto pode ser explicado por ser a seção que apresentou uma maior quantidade de sedimentos argilosos.

Com base nas análises granulométricas feitas para os rios da BHRMP no período de chuvas, obtivemos as porcentagens granulométricas ao longo da bacia, que podem ser observadas no quadro 3. As amostragens foram feitas no mês de novembro de 2018.

Quadro 3 - Porcentagem das partículas amostradas para o período de chuvas.

Data Coleta	Local	Vazão (m ³ /s)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Média (%)	Areia Grossa (%)	D50
16/07/18	Seção 1	3,24	4,21	88,03	7,16	1,29	0,95	16,52
13/07/18	Seção 2	11,32	2,69	81,69	14,37	1,27	-	27,90
13/07/18	Seção 3	8,33	4,00	87,27	8,67	0,06	-	20,88
16/07/18	Seção 4	38,93	2,33	78,36	18,82	0,38	0,04	24,70
20/07/18	Seção 5	8,48	4,12	88,77	5,97	0,92	0,23	18,42
20/07/18	Seção 6	114,34	9,18	86,35	3,97	0,33	0,41	10,47
							Média	19,80

Foi identificado com base nos dados apresentados que a granulometria predominante em todas as seções amostradas foi a silte, representando ao total cerca de 84% das amostras. O D50 ou o diâmetro médio das partículas tiveram uma diminuição substancial de um período a outro, onde na primeira amostragem teve um valor médio de 28,9 µm e na segunda de 19,89 µm, demonstrando que houve uma diminuição do tamanho das partículas do período de estiagem ao chuvoso.

Houve também uma diminuição do tamanho das partículas observando longitudinalmente o rio principal (Meia Ponte), que está representado pelas seções 2, 4 e 6, variando este de 56,27 a 16,59 µm para o período de estiagem, e de 27,0 a 10,47 para o período de chuvas. Estes valores estão relacionados com os dados de vazão aferidos no local, uma vez que à medida que a vazão estavam mais alta, o diâmetro médio dos sólidos em suspensão estava menor, havendo uma relação inversamente proporcional. Conforme Bahia et al. (1992), os impactos das gotas das chuvas causam a fragmentação de partículas, fazendo com que essas sejam desintegradas em tamanhos menores. Destaca ainda que a quantidade desses agregados desintegrados, cresce com o aumento da energia cinética da precipitação, que é função da intensidade, da velocidade e do tamanho das gotas da chuva.

Conforme Silva et al. (2003), a competência (tamanho máximo de uma partícula que o rio consegue transportar) dos rios vai diminuindo em direção a jusante a medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, sendo que a velocidade e a força de cisalhamento atuante nos canais são menos intensas que nas cabeceiras. Outra explicação sobre a diminuição das partículas a jusante, pode ser relacionada pela entrada de rios tributários, que transportam materiais detríticos diferentes dos providos a montante, causando assim atrito entre as partículas (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Pode-se dar destaque a seção 5, sendo esta a única que apresentou um aumento de cerca de 3 vezes no diâmetro das partículas de um período a outro. Conforme Lopes et al. (1987), com o início do período chuvoso, e com o aumento da velocidade do escoamento superficial da água, o rio aumentou a sua capacidade de transportar sedimentos de diâmetros maiores, aumentando assim o índice de D50.

Conforme o gráfico de triângulo textural, todos sedimentos coletados nos rios estão dentro da faixa 'franco siltosa' para o período de estiagem e dentro da faixa silte para o período das chuvas, conforme a figura 5.

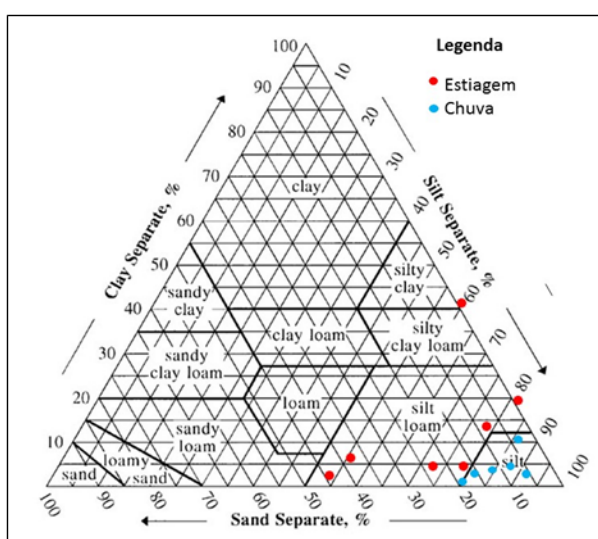


Figura 5 - Distribuição do diâmetro das partículas dentro do triângulo textural. Fonte: Lemos e Santos (1984).

Com base nos resultados adquiridos, na figura 6 estão demonstrados graficamente os dados granulométricos de cada seção.

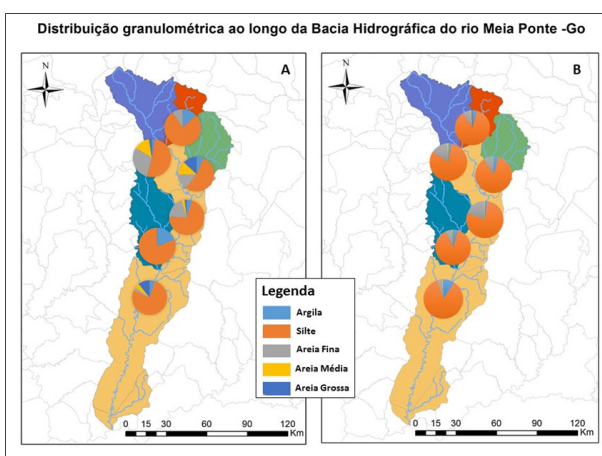


Figura 6 - Distribuição granulométrica em rios da BHRMP. A) Período de estiagem; B) Período de chuvas.

É observado com base na imagem acima, que desconsiderando a Seção 1 que apresentou os menores tamanhos de partículas nas duas coletas, os percentuais granulométricos foram diminuindo da seção 2 a seção 6 nos dois períodos. Segundo Carvalho (2008), analisando longitudinalmente um curso hídrico, pôde-se observar que nas cabeceiras dos rios os sedimentos presentes são de granulometria maior, ocorrendo principalmente nestas áreas os processos de erosão e transporte. À medida que esses sedimentos são transportados, esses materiais vão se fracionando, transformando-se em sedimentos de granulometria menor, e vão em direção as zonas de deposição, onde a velocidade do fluxo é menor (CHARLTON, 2008).

Comparação de resultados granulométricos

Os resultados apresentados pelo granulômetro MASTERSIZER 2000 variaram desde de argila a areia média, sendo a classe que obteve maior representatividade foi a “silte”, representando 57,47% do total da amostra para a primeira amostragem. A outra classe de maior porcentagem foi a areia fina, seguindo da areia média e por último a argila, representando apenas 2% do total. Na figura 7 está representado graficamente a sua distribuição.

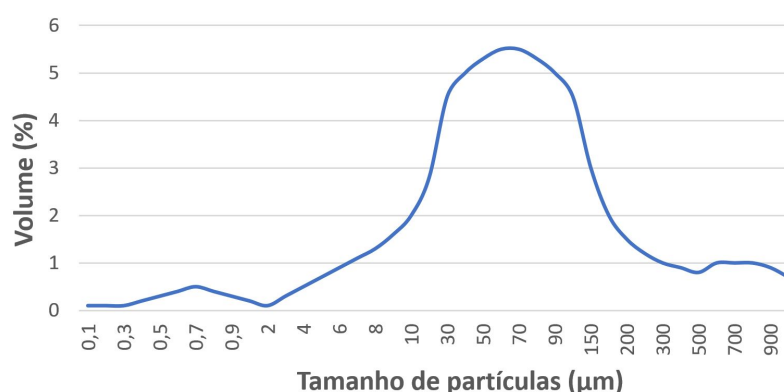


Figura 7 – Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro Mastersizer 2000 – seção 2.

Os resultados aferidos pelo LISST SL demonstraram que a classe que também obteve maior representatividade foi a silte, seguindo a areia fina e por último a areia média. Neste não obteve a classe argila, uma vez que esta não está dentro da faixa de captação do aparelho. Os resultados da distribuição granulométrica aferidos por este, estão demonstrados na figura seguinte.

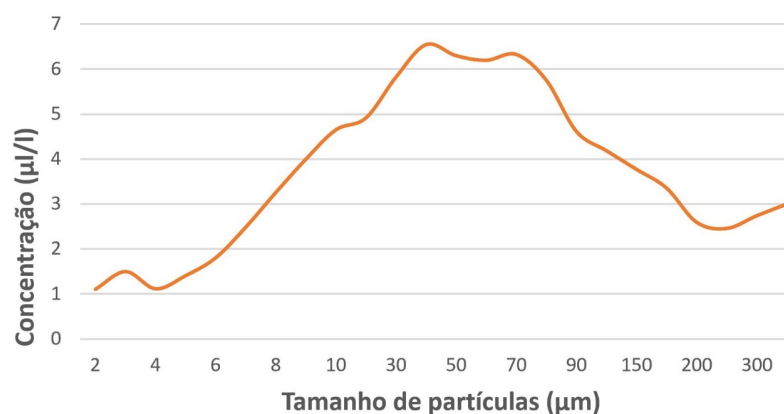


Figura 8 - Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro LISST-SL – seção 2.

Os resultados disponibilizados pelo LISST SL são dados em unidades volumétricas, tendo assim relação com a concentração de sedimentos suspensos (C_{ss}). Já os resultados apresentados pelo MASTERSIZER 2000, não leva em consideração os sedimentos suspensos, e sim a amostra que o aparelho utilizou para as medições, sendo assim buscou relacionar os dois resultados por meio de um gráfico de frequência relativa. Na figura 9, está demonstrado os resultados dos dois equipamentos.

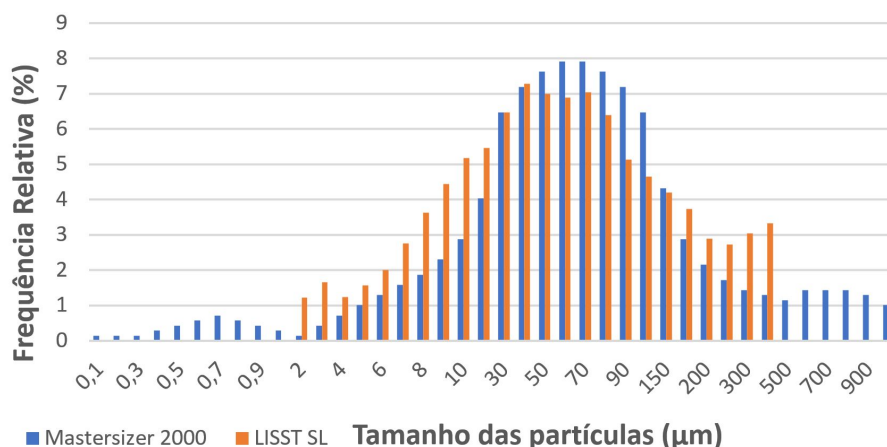


Figura 9 – Comparação de resultados granulométricos – seção 2.

A partir da comparação dos resultados dos dois equipamentos, foi identificado que esta apresentou uma diferença menor que 17% entre ambos os resultados, e uma diferença menor que 6,29 microns para o diâmetro médio (D50).

O LISST SL em quase todo momento teve valores acima que o MASTERSIZER, a não ser na faixa de 50 a 130 µm, dentro da faixa areia fina, onde o MASTERSIZER conseguiu captar uma maior frequência na classe areia fina. No quadro 4 estão demonstrados os valores em porcentagem de cada equipamento.

Quadro 4 - Porcentagem granulométrica dos sedimentos analisados pelos granulômetros – seção 2

Classe granulométrica	Argila (< 2 µm)	Silte (2 - 63 µm)	Areia Fina (63- 200 µm)	Areia Média (200- 630 µm)	D50
MASTERSIZER 2000	1,94%	57,47%	32,29%	8,3%	48,72
LISST - SL	—	63,98%	25,88%	10,12%	42,43

Com base nos resultados da figura 9 e do quadro 4, é identificado que na classe silte o granulômetro LISST – SL conseguiu captar 6,51% de amostras siltosas a mais que o MASTERSIZER, já na classe areia fina as partículas tiveram maior representatividade no MASTERSIZER, cerca de 6,41%. A classe areia média tiveram valores bastante próximos, tendo uma diferença de apenas 1,82%. Esta última é captada pelo LISST apenas até as partículas de 380 µm de tamanho, o que não o impossibilitou de apresentar um valor próximo ao do outro equipamento que consegue uma maior captação. Por conta desta limitação, este resultado pode não ser tão satisfatório em rios onde os sedimentos transportados são em sua maioria arenosos.

Os resultados apresentados pelo MASTERSIZER 2000 para a seção 3 estão demonstrados na figura abaixo.

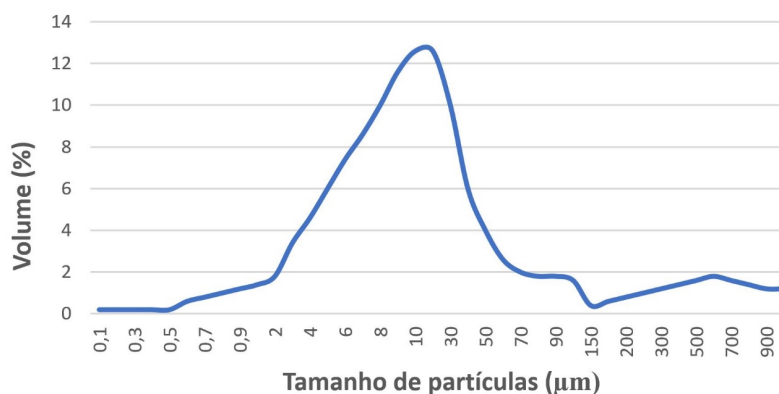


Figura 10 – Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro Mastersizer 2000- seção 3.

A granulometria dos sedimentos amostrados variou da classe argila a areia grossa, porém tendo a sua maior representatividade na classe silte com 85,76% do total da amostra. As demais classes tiveram suas porcentagens em 5,08% para a classe argila, 4,76% para classe areia fina, 1,87% para areia média e 2,53% para a areia grossa.

Os resultados aferidos a partir do LISST SL estão representados na figura 11. Estes variaram das classes silte a areia fina apenas, tendo uma porcentagem de 81,73 e 18,27 respectivamente.

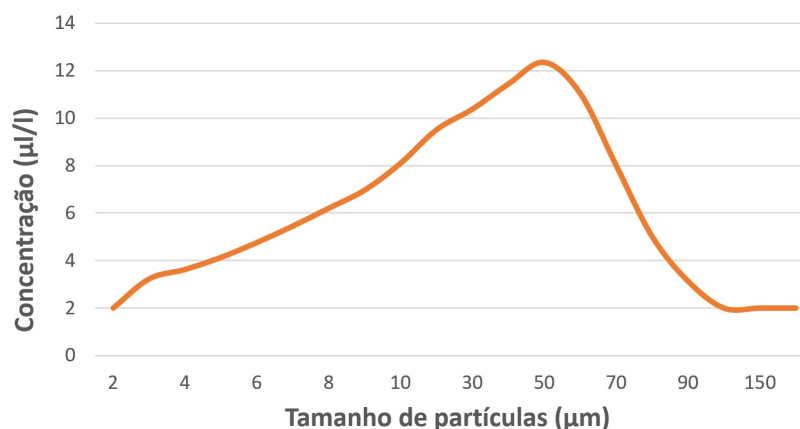


Figura 11 – Distribuição do tamanho das partículas pelo granulômetro LISST-SL – seção 3.

Na figura 12 é apresentado o resultado comparando os dois equipamentos.

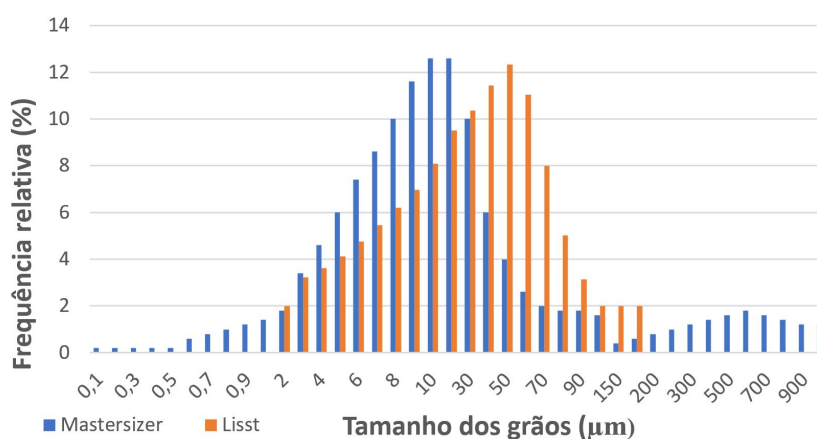


Figura 12 – Comparação de resultados granulométricos- seção 3.

A partir da comparação entre os dois equipamentos é visto que na segunda análise, houve uma diferença de cerca de 20% em relação a mesma faixa de captação (2 – 380 µm), e de 27,02% para toda faixa. É visto aqui também que os picos granulométricos não coincidiram, sendo que granulometria aferida pelo LISST SL teve um valor substancialmente maior, na classe areia fina, do que o MASTERSIZER 2000. Os diâmetros médios tiveram uma diferença de 7,51 microns de um equipamento a outro.

No quadro abaixo estão demonstrados os valores em porcentagem encontrados em ambos os equipamentos.

Quadro 5 - Porcentagem granulométrica dos sedimentos analisados pelos granulômetro, para a seção 3.

Classe granulométrica	Argila (< 2 µm)	Silte (2 – 63 µm)	Areia Fina (63- 200 µm)	Areia Média (200- 630 µm)	D50
MASTERSIZER 2000	5,08%	85,76%	4,76%	4,4%	14,68
LISST - SL	-	81,73%	18,27%	—	22,195

Conforme apresentado no quadro acima, observamos que os valores da classe silte apresentaram-se bem próximos, tendo uma diferença menor que 5%. Na classe areia fina o LISST SL conseguiu identificar uma maior porcentagem de sedimentos, tendo uma diferença de 13,51% de um equipamento a outro. E na classe argila e areia média, os sedimentos não tiveram representatividade no LISST, sendo impossibilitado por conta de faixa de captação do equipamento. Existem outras e novas versões do granulômetro LISST onde as faixas de captação de sólidos são mais extensas, sendo assim uma solução para a limitação deste.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados adquiridos foi observado que para as datas coletadas as granulometrias dos sedimentos aferidos tiveram maior representatividade na classe silte. Sendo que segundo o triângulo textural está dentro da faixa 'franco siltosa' para o período de estiagem e na faixa 'silte' para o período de chuvas. Foi identificado que houve um decrescimento dos tamanhos dos grãos de montante a jusante, estando de acordo com a teoria apontada.

Foi visto também que houve uma diminuição do D50 (diâmetro médio) das partículas de um período a outro, como também de montante a jusante, estando isto relacionado com o aumento das precipitações e vazões no período de chuvas, dando uma maior competência e capacidade para os rios transportarem uma maior quantidade de sedimentos, como também fragmentar em tamanhos menores as partículas sólidas.

Com base nas análises feitas entre os dois equipamentos, pode-se identificar que os granulômetros LISST-SL e MASTERSIZER 2000 MU apresentaram valores relativamente próximos, tendo uma diferença menor que 17% para a seção 2, e de 20% para a seção 3. As classes argila e areia média e grossa, não foram também bem representadas nas comparações, uma vez que a faixa de captação do LISST não alcança todas essas granulometrias, sendo que em rios onde há a presença de sedimentos mais arenosos, este equipamento não é recomendado. Este último pode ainda ser favorecido na escolha de qual equipamento utilizar, uma vez que realiza suas medições *in situ*, diminuindo assim trabalho em laboratórios. Porém deve se ter cautela na utilização deste equipamento, uma vez que podem apresentar valores bastantes distintos da realidade, uma vez que não calibrados de uma forma correta, sendo então recomendado que seja feita a comparação com outros métodos periodicamente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, e a Universidade Federal de Goiás por propiciar a estrutura para a elaboração da minha dissertação, ao qual o presente artigo faz parte. Meus agradecimentos também a Fundação de Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo incentivo financeiro durante o período da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, M. A. et al. Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 1, p. 165-172, 2009.
- ASSOCIAÇÃO AMBIENTAL PRÓ-ÁGUAS DO CERRADO. *Situação ambiental das águas da Bacia do Rio Meia Ponte, Goiás*. Goiânia: Pró-Águas do Cerrado, 2008. Disponível em: <http://www.proaguasdocerrado.org.br/bacia_2.php>. Acesso em: 16 maio 2019.
- BAHIA, V. G.; CURI, N.; CARMO, D. N. Fundamentos da erosão do solo. *Informe Agropecuário (Belo Horizonte)*, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.
- BARBOSA, D. I. *Vazão ecológica na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, Goiás*. Dissertação – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.
- BORTOLUZZI, E. C.; POLETO, C. Metodologias para estudos de sedimentos: Ênfase na proporção e na natureza mineralógica das partículas. In: POLETO, C.; MERTEN, G. H. *Qualidade dos sedimentos*. Porto Alegre: ABRH, 2006. cap. 3, p. 83-140.
- CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. 2. rev. atual. ampl. Rio de Janeiro: Interciencia, 2008.
- CHARLTON, R. O. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge, 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: E. Blucher, 1981.

- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem*. São Paulo: CETESB, 2009. 44 p.
- DORNELLES, A. M. *Utilização de um Perfilador Acústico de Correntes por Efeito Doppler (ADCP) para a estimativa da Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS)*. 2009.
- GONÇALVES, E. M. *Avaliação da qualidade da água do Rio Uberabinha Uberlândia – MG*. 2009. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- INSTRUMENTS. *Malvern: Mastersizer 2000 user manual*. Worcestershire: Malvern Instruments, 2007.
- KONERT, M.; VANDENBERGHE, J. E. F. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentology*, v. 44, n. 3, p. 523-535, 1997.
- LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1984. 46 p.
- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; CARVALHO, N. O. Comparação de modelos matemáticos para o traçado de curvas granulométricas de sedimentos do leito de rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11, n. 1, p. 91-98, 2006.
- LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 11, n. 1, p. 193-197, 1987.
- MALVERN PANALYTICAL. *Mastersizer*. 2000. Disponível em: <https://www.malvernpanalytical.com/br/products/product-range/mastersizer-range/?gclid=CjwKCAjwiurXBRAnEiwAk2GFZkAJEc4M03jgi3MdKbRKI8ujCC3Lt9nscK7t9UnpMPkAwge70b4pmBoClpkQAvD_BwE>. Acesso em: 15 maio 2018.
- MUGGLER, C. C.; PAPE, T. H.; BUURMAN, P. Laser grain-size determination in soil genetic studies 2. Clay content, clay formation, and aggregation in some Brazilian Oxisols. *Soil Science*, v. 162, n. 3, p. 219-228, 1997.
- SARI, V. et al. Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez. *Engenharia Sanitária e Ambiental: Órgão Oficial de Informação Técnica da ABES*. v. 22, n. 2, p. 213-219, 2017.
- SEQUOIA. *How LISST-SL works*. 2017. Disponível em: <<https://www.sequoiasci.com/article/lisst-sl-works/>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
- SILVA, A. M.; SHULTZ, H. E.; CAMARGO, P. B. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: RiMa, 2003.
- SIMPSON, M. R. *Discharge measurements using a broad-band acoustic Doppler current profiler*. United States: Department of the Interior, 2001.
- SOCHAN, A. et al. Comparison of soil texture determined by two dispersion units of Mastersizer 2000. *International Agrophysics*, v. 26, n. 1, p. 99-102, 2012.
- SPERLING, M. V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.
- VEIGA, A. M.; CARDOSO, M. R. D.; LINO, N. Caracterização hidromorfológica da bacia do Rio Meia Ponte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. *Anais...* Maceió, 2011.

Contribuição do autor

Ana Karolyna Nunes Amaral: Pesquisa realizada como parte de estudo de projeto de mestrado do autor.

Klebber Teodomiro Martins Formiga: Orientador do autor 01; participação na coleta de campo; participação na análise dos dados e escrita do artigo.