

HIDROSSEDIMENTOLOGIA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA NA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO (BRASIL)

WATERSHED HYDROSEDIMENTOLOGY ON THE MOUNTAINEOUS REGION OF THE ESPÍRITO SANTO (BRAZIL)

**Eberval Marchioro¹, Fernando Henrique Lemos², Wallace Cupertino³, Júlia Frederica Effgen⁴,
Alanderson Gomes de Souza⁵**

¹Departamento de Geografia/Programa de Pós-Graduação em Geografia-UFES, e-mail: ebervalm@gmail.com; ² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFES), e-mail: fernandolemosgeo@gmail.com; ³ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFES) e-mail: wallacecupertino@gmail.com; ⁴Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFES), e-mail: juliaeffgen@gmail.com; ⁵Graduando em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: alandersonsouza18@gmail.com .

Palavras-chave: Erosão; Sedimento; Vazão.

Introdução

Estudos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas com floresta naturais, livres da atuação antrópica direta, tem-se constituído em um importante instrumento de análise de sua estrutura e funcionamento, pois podem ser conhecidos os mecanismos geradores de fluxos de água e sedimento e suas interrelações com as vertentes próximas (BIGARELLA, 2009).

Dentre os inúmeros fatores naturais que interferem na hidrossedimentologia de bacias hidrográficas chamam a atenção a precipitação pluvial (intensidade e volume) e seu ritmo sazonal, fatores topográficos (que afetam a natureza e a magnitude da denudação física), Geologia, classes de solo, cobertura vegetal, entre outros.

Levando-se em consideração tais fatores naturais, os rios e córregos irão refletir suas características ao longo do trabalho hidrossedimentológico. Entretanto, o seu monitoramento ao longo do tempo, em diversos casos torna-se quase uma tarefa hercúlea, repercutindo sobre a disponibilidade de dados hidrossedimentológicos no tempo e no espaço geográfico (BOTELHO; SILVA, 2014).

No Brasil, a Região Sudeste do Brasil caracteriza-se por apresentar uma maior área conjunta de Serras e, mesmo sendo uma região de pungência econômica,

ainda carece de bancos de dados sobre a temática hidrossedimentológica, que necessitam ser constantemente obtidos e, em muitos casos, aprimoradas. Estudos nessa região tem enfocado bacias de dimensões grandes, principalmente associados à disponibilidade hídrica e com as práticas de uso e cobertura da terra.

No Espírito Santo, tal situação não é diferente dos demais estados do sudeste brasileiro. Contudo, desde a década de 1990, mesmo que de forma incipiente, alguns trabalhos têm buscando desenvolver estudos hidrossedimentológicos em bacia hidrográficas pequenas associadas a fragmentos de Mata Atlântica, tal como nos córregos da Reserva Biológica de Duas Bocas (REBIO), por Perrone (1995), Marchioro (1996) e Barroso e Marchioro (1999).

Diante do exposto anteriormente, este trabalho está sendo desenvolvido desde agosto de 2016 na bacia hidrográfica experimental do córrego Pau Amarelo na REBIO de Duas Bocas, visando compreender a sua variabilidade hidrossedimentológica.

A bacia hidrográfica do córrego Pau Amarelo possui área de 14.669.408,92 m² (47,53% da área total da REBIO), perímetro de 21,81 km e, está inserida nos limites da REBIO. Por sua vez, a REBIO está localizada entre os municípios de Cariacica, parte da

Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), Viana e Santa Leopoldina (Figura 1).

O córrego Pau Amarelo é a principal cabeceira d'água da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, tributário do Rio Santa Maria da Vitória, responsável por parte do abastecimento de água da RMGV. Neste contexto, a REBIO desempenha papel fundamental junto a preservação da biota e outros atributos naturais, mediante a não intervenção humana direta ou modificações ambientais, à exceção de recuperação de ecossistemas alterados e ações de diversidade biológica (NOVELLI, 2010).

No interior da bacia hidrográfica ocorre a presença de uma pequena represa completamente assoreada, construída em 1918, denominada represa Velha.

A cobertura vegetal da área estudada tem predomínio de fragmentos de Floresta Ombrófila Densa (FOD) Sub-montana e Montana em considerado estado de conservação (IBGE, 2012).

O total anual de precipitação pluvial na bacia do Pau Amarelo, vai de 1.446 a mais de 1.587mm, sendo os meses mais chuvosos, novembro, dezembro e janeiro, e os mais secos, junho, julho e agosto (BASTOS *et al.*, 2015). Essa condição de precipitação pluvial é dinamizada pela ação das massas de ar da Zona de Convergência do Atlântico Sul e pela Zona de Convergência de Umidade (COTTA *et al.*, 2016; MARCHIORO 2012; MARCHIORO *et al.*, 2016).

Na bacia do Pau Amarelo, a geologia está inserida no Complexo Nova Venécia e, geomorfologicamente nos Patamares Escalonados Sul do Capixaba. Pedologicamente, ocorrem as classes de Cambissolo e Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006). A cobertura vegetal predominante no ano de 2012 era de Floresta ou Mata Naturais (Mata Atlântica) com 14.405.509,23 m², ou 98% da área total, e Macega com 230.905,08 m², o equivalente a 1,57% de toda a área da bacia.

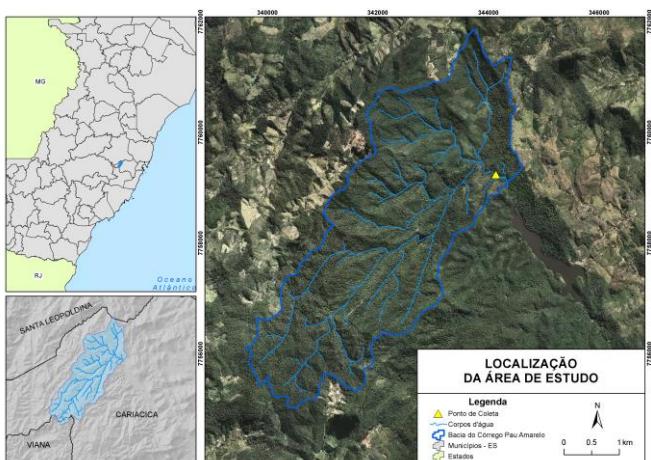


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Pau Amarelo em relação ao Espírito Santo (ES).

Material e métodos

Esse trabalho está sendo desenvolvido na bacia hidrográfica do córrego Pau Amarelo, que drena sua água para o rio Duas Bocas, um dos tributários do rio Santa Maria da Vitória (ES), um dos responsáveis pelo abastecimento de água da região metropolitana de Vitória.

O monitoramento hidrossedimentológico vem sendo desenvolvido desde agosto de 2016 até a presente data de envio deste trabalho, como parte integrante do projeto de pesquisa “Ecohidrologia e gestão integrada de recursos hídricos do contínuo flúvio-estuarino do rio Santa Maria de Vitória (ES)”, financiado pelo MCT/FINEP CT-HIDRO 01/2010, e ao projeto de “Interceptação e escoamento pelo tronco de águas pluviais em um fragmento florestal de Mata Atlântica na Reserva Biológica de Duas Bocas (ES), financiado pela MCT/CNPQ nº 14/2014.

A hidrossedimentologia do Pau Amarelo é realizada mensalmente e/ou quinzenalmente desde agosto de 2016 até a presente data. O monitoramento da vazão fluvial foi realizado utilizando-se a *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV-Flow Tracker), que estima diretamente em campo a vazão, levando em consideração a profundidade, velocidade e largura do córrego Pau Amarelo, sendo seus resultados expressos em m³.s⁻¹ (Figura 2).



Figura 2: Flow Tracker utilizado para o monitoramento da vazão fluvial do córrego Pau Amarelo (ES).

Para o monitoramento da concentração de sólidos totais em suspensão (STS), foi coletado 1L (um litro) de água na lâmina superficial do córrego, utilizando-se frascos de polipropileno com volume de 1L, previamente descontaminados. Anterior ao processo de filtração da água do córrego, as membranas de éster de celulose foram secas em estufa com temperatura de 60° C por 24 h e depois acondicionadas em dessecador com sílica gel para resfriamento e desidratação. Antes da filtragem a membrana foi pesada, obtendo-se o peso 1, sem sedimentos em suspensão.

Para a filtragem da água do córrego, foram utilizados bomba de vácuo à óleo, sistema de filtração com suportes para filtros/membranas (*manifold* de aço inox), dois kitasatos e um volume de 1 litro de água.

Depois da filtragem da água do córrego, a membrana foi novamente pesada, obtendo-se o peso 2, em mg/l (Figura 3).

Para se obter o total de sedimentos por litro de água do córrego, utilizou-se a metodologia proposta por APHA (1998), conforme a Equação 1:

$$STS \text{ (mg/l)} = (P2 - P1) \times 1000/V \quad (1)$$

Onde:

STS é a concentração de sólidos em suspensão (mg/l);
P1 é o peso seco (mg) da membrana antes da filtração da amostra;

P2 é o peso seco (mg) da membrana após da filtração da amostra (peso da membrana + resíduo);

V é o volume filtrado em mililitros (ml).



Figura 3: Sistema de filtração à vácuo utilizado nas análises de STS do córrego Pau Amarelo (ES).

Para obter o Sólidos Totais Exportados em Suspensão do córrego, foi utilizado a Eq. 2 (APHA, 1998):

$$STES \text{ (mg/s)} = STS \text{ (mg/l)} \times V \text{ (m}^3\text{.s}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

Onde:

STES (mg/s) são os sólidos totais exportados em suspensão;

V é a vazão fluvial.

Com os resultados, foram elaborados tabelas e gráficos para apresentação e discussão dos resultados.

Também foi verificado o total de chuva de cinco dias antes da realização do trabalho de monitoramento hidrossedimentológico do posto pluviométrico instalado a uma altitude de 197m.

Para a elaboração dos gráficos das seções transversais para o período monitorado, foram utilizadas as medidas obtidas por meio do Flow Tracker, sendo a construção do gráfico feita no programa Excel, parte do pacote Office.

Para caracterizar fisiograficamente a bacia do Pau

Amarelo, foram escolhidos os parâmetros hierarquia, declividade, hipsometria, densidade de rios e de drenagem, obtidos na escala de 1:10.000 no ArcGIS™ 10.3 (ESRI, 2014). Para tal, utilizou-se curvas de nível de 5 em 5 metros, concedidos pela HIPARC Geotecnologia Ltda. As classes de declividade foram divididas conforme Embrapa (2006). Para a obtenção da hierarquia, utilizou-se a classificação de Strahler (1957). Já para densidade de rios e drenagem, utilizou-se a proposta de Horton (1945), difundida no Brasil por Christofeletti (1969, 1980, 1981).

A densidade de drenagem (Dd) foi obtida por meio da Eq. (3):

$$Dd = L/A \quad (3)$$

Onde:

Dd é a densidade de drenagem em km/km²;

L= comprimento total dos córregos em km;

A = Área da bacia em km².

Já a densidade de córregos foi obtida através da Eq. 4:

$$Dc = N/A \quad (4)$$

Dc = Densidade de córregos ou rios (canais/km²);

N = Número de rios ou canais;

A = Área da bacia em km².

Resultados e discussão

Características fisiográficas do córrego Pau Amarelo

Em termos de hierarquia fluvial, verificou-se que a bacia do córrego Pau Amarelo é de 5^a ordem hierárquica, podendo-se afirmar que possui pouca ramificação.

Na bacia do córrego Pau Amarelo predominam as classes de declividade 20-45%, denominada de relevo forte ondulado, com 67.259m² (45,84% da área total da bacia), seguida pela classe 45-75%, relevo montanhoso, com uma área de 60.863,25 m², equivalente a 41,48% da área total (Figura 4). A média de declividade obtida para a bacia é de 45,15%, inserida nos limites da classe forte ondulada.

A amplitude altimétrica da bacia é de 609,302m de altura, sendo que a maior parte da bacia encontra-se entre as classes de 393,8-596,9m, equivalendo a 42,46% da área total, seguida da classe 190,7-393,8m, com 32,96% da área da bacia (Figura 5).

A densidade de rios ou córregos expressa a relação entre o número de rios e a área da bacia. No caso da bacia do Pau Amarelo a densidade de rios é de 5,31 canais/km².

A densidade de drenagem expressa a relação entre o comprimento dos rios e a área da bacia, sendo que, no caso do Pau Amarelo, a densidade de drenagem

alcança 2,62 km/km². De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km² ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que a bacia em estudo possui média densidade de drenagem.

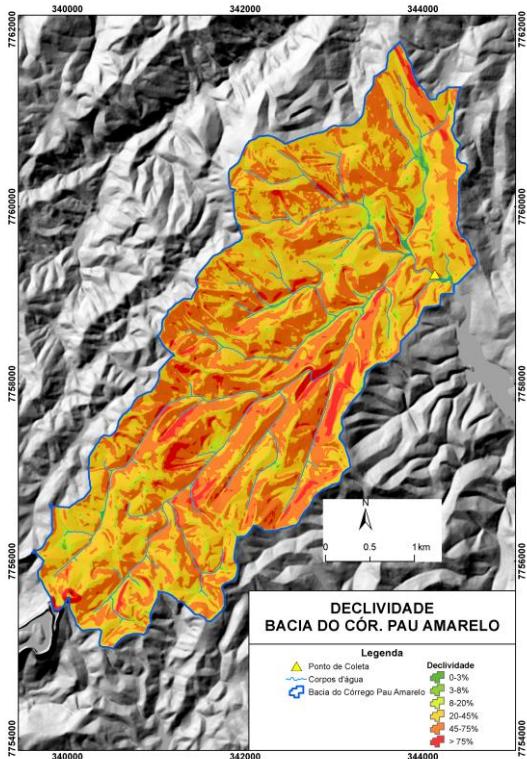


Figura 4: Declividade da bacia do córrego Pau Amarelo (ES).

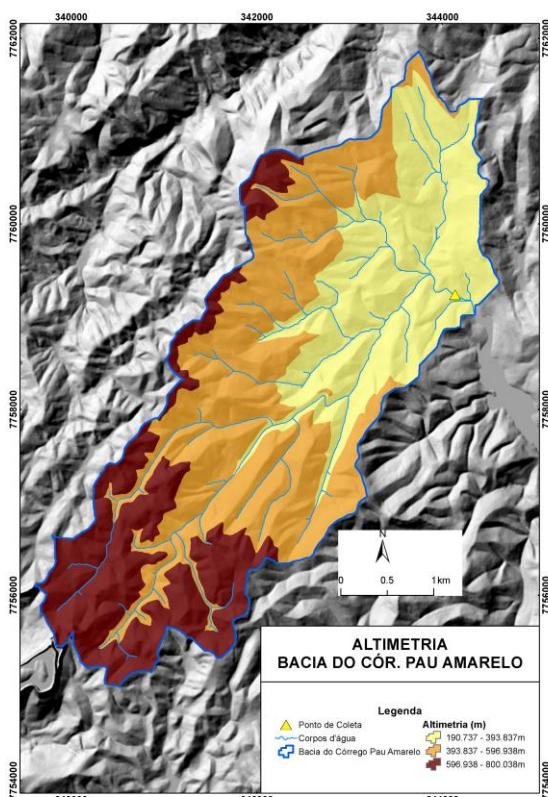


Figura 5: Hipsometria da bacia do Pau Amarelo (ES).

A densidade de rios encontrada neste trabalho, na escala de 1:10.000, foi classificada como elevada, devido a presença de um relevo predominantemente forte-ondulado e montanhoso, que corrobora para o aumentado poder de dissecação das vertentes, proporcionando material particulado para os rios, em função da alta energia do relevo.

Variabilidade da vazão fluvial do córrego Pau Amarelo

Conforme a tabela 1, os meses com maior vazão foram novembro e dezembro de 2016, com, respectivamente, 0,0845m³/s e 0,0686 m³/s. Já os menores valores de vazão foram encontrados, respectivamente, nos meses de outubro de 2016 e março de 2017, com 0,0121 e 0,0130 m³/s. A média da vazão é de 0,03213 m³/s, com desvio padrão de 0,02730 e mediana de 0,01700.

Tabela 1: Variabilidade da vazão fluvial do córrego Pau Amarelo (ES).

Data	Vazão m ³ /s
16.08.2016	0,0142
22.09.2016	0,0139
18.10.2016	0,0121
28.11.2016	0,0845
22.12.2016	0,0686
12.01.2017	0,0439
26.01.2017	0,0170
22.02.2017	0,0221
08.03.2017	0,0130
Média	0,03214
D. Padrão	0,02730
Mediana	0,01700

O valor da vazão obtido para o córrego Pau Amarelo para o período estudado, é inferior ao obtido por Marchioro (1996), para a bacia do córrego Naiá-Assú (também no interior da REBIO) com área de 4.071.420 m² e vazão de 0,05 m³/l. Possivelmente, tal diferença deve-se ao fato de que a metodologia empregada por Marchioro (1996), utilizando o método flutuador, é de menor precisão em relação ao utilizado nesse trabalho.

O aumento ou a diminuição da vazão fluvial apresentou uma conectividade com a distribuição da precipitação pluvial ao longo do córrego Pau amarelo (Figura 6). Assim, pode-se observar que no dia 28/11/2016, mês que ocorreu a maior precipitação, foi obtido a maior vazão pluvial. Outro fato que corrobora para essa vazão é que nos cinco dias que antecederam a obtenção do dado, ocorreu um evento pluviométrico que totalizou 42,418 mm, sendo que, apenas nos dois primeiros dias, choveu o equivalente a 80,23% do total deste evento.

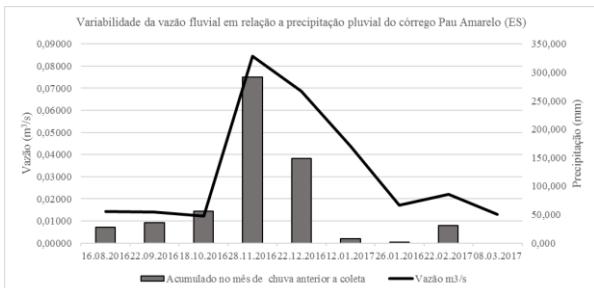


Figura 6: Relação entre precipitação pluvial e vazão do córrego Pau Amarelo (ES).

No mês de janeiro de 2017, no qual foram realizadas duas coletas de campo, foi identificada uma diferença na vazão. No dia 12.01.2017, anterior ao horário da coleta, ocorreu um evento pluviométrico de 7,87mm, o que corroborou para diferenciar-se da vazão do dia 26.02.2017, depois de 14 dias sem chuvas.

Durante o monitoramento, outubro apresentou a menor vazão de todo o período estudado, devido à escassez de chuvas. Em março teve a segunda menor vazão dos meses estudados, devido ao baixo total pluviométrico acumulado desde meados do mês de fevereiro, sendo que nos primeiros oito dias de março não houve ocorrência de chuva.

Outro mês relevante para a relação precipitação-vazão foi agosto/2016, pois apresentou uma vazão de apenas 0,0142 m³/s para um total pluviométrico de apenas 27,43 mm de chuva, quando trabalhos como o de Bastos et al. (2015) apontam para um total mensal esperado de 61,3mm.

A variabilidade da precipitação e da vazão fluvial refletiu-se também sobre a extensão e largura do canal fluvial, conforme pode ser visto na figura 7. Nos meses de maior vazão fluvial e precipitação pluvial (novembro e dezembro/2016), a largura da seção transversal foi de 3 metros, com profundidade máxima de 32 cm nos primeiros 30 centímetros de extensão.

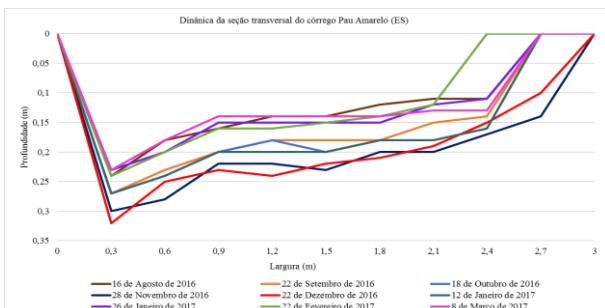


Figura 7: Variabilidade da largura e profundidade do córrego Pau Amarelo (ES).

Nos meses de menor vazão fluvial, a profundidade máxima do córrego foi de 23 centímetros e extensão de 2,4 metros.

Com relação a morfologia das seções transversais do córrego, verifica-se na figura 7 uma assimetria em sua

forma, sendo que os primeiros 30 cm apresentam características mais erosivas em relação aos últimos 60 cm, com características deposicionais.

Já em relação aos sedimentos no leito do córrego, Perrone (1995) verificou a predominância de areia grossa e muito grossa. Contudo, também, foram verificados neste trabalho a presença de seixos, calhaus e pequenos matacões. Apesar da presença desta classe textural na seção transversal do córrego, é possível afirmar que ocorre o transporte por fluxo laminar.

Variabilidade dos sólidos totais exportados em suspensão do córrego Pau Amarelo

Como pode ser observado na tabela 2, a máxima concentração de sólidos (sedimentos) totais exportados em suspensão (STES) ocorreu no mês de novembro/2016, com 0,70980 mg/s e a mínima concentração de STES ocorreu no mês de março/2017, com 0,00260 mg/s. A média de STES foi de 0,09733 mg/s, desvio padrão de 0,23031 e, mediana de 0,02130.

Tabela 2: Variabilidade da concentração de sólidos totais em suspensão do córrego Pau Amarelo.

Data	STES (mg/s)
16.08.2016	0,02130
22.09.2016	0,00747
18.10.2016	0,02420
28.11.2016	0,70980
22.12.2016	0,04116
12.01.2017	0,05268
26.01.2017	0,01360
22.02.2017	0,00316
08.03.2017	0,00260
Média	0,09733
Desv. Padrão	0,23031
Mediana	0,02130

A maior concentração de STES nos meses mais chuvosos, com destaque para os de novembro e dezembro de 2016, e no primeiro evento do mês de janeiro de 2017, estiveram associados aos eventos pluviométricos que antecederam a coleta de dados, fato que ocasionou a maior erosão natural nas vertentes com Mata Atlântica.

Tal erosão natural é impulsionada devido a predominância das classes de declividade de forte ondulado a montanhosa, que potencializa a velocidade de águas superficiais nas vertentes e dos fluxos de água no córrego que, por consequência, aumentam a erosão.

Quando é analisada a relação entre vazão e STES, verifica-se que o aumento ou a diminuição da vazão ao

longo do tempo refletiu-se também sobre o aumento da concentração de STES (Figura 8). Importante salientar que o aumento da vazão contribui para o aumento da área da seção transversal o que, consequentemente, pode ocasionar a erosão das bordas laterais, que pode aumentar o STES.

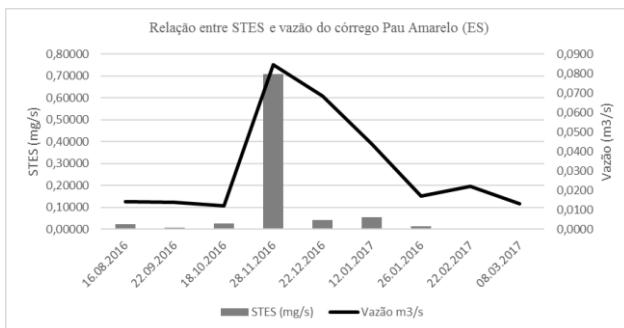


Figura 8: Relação entre STES e vazão do córrego Pau Amarelo (ES).

Considerações finais

A variabilidade da vazão do córrego Pau Amarelo possui conectividade com a distribuição da precipitação pluvial. Contudo, é importante salientar que as chuvas mensais não são capazes em sua totalidade de explicar a variabilidade de vazão do córrego.

O aumento ou diminuição da vazão fluvial tem repercussão sobre a morfologia da seção transversal do córrego Pau Amarelo, podendo alterar as zonas de erosão e deposição ao longo da seção.

Apesar deste trabalho apontar para uma conectividade do modelo precipitação-vazão-sedimentos, é necessário a ampliação de estudos, considerando a variabilidade por evento pluvial, fluvial e sedimentos em suspensão. Tal consideração, tem corroborado para a ampliação de estudo nessa bacia hidrográfica na escala temporal de minutos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Ensino e Pesquisa (CNPq), pela concessão de fomento que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho. Ao Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA) e ao Laboratório de Limnologia e Planejamento Ambiental (LimnoLab) pela infraestrutura disponível para o desenvolvimento dessa pesquisa. Aos órgãos fomentadores de bolsa de pesquisa de mestrado (Capes/CNPQ). A Pró-Reitoria de Extensão da UFES, pela concessão de bolsa de extensão.

Referências bibliográficas

APHA (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed., Washington, D.C., American Public Health Association.

Barroso, G. F.; Marchioro, E. (1999). *Estudos de Parâmetros Morfométricos e Sólidos em Suspensão em Bacias Hidrográficas como Subsídios ao Manejo Ambiental: estudo de caso das sub-bacias do rio Duas Bocas (ES)*. In: VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Uso Múltiplo do Recurso Natural, Vol. 01. Belo Horizonte, 1999. p. 40-41.

Bastos, K. V; López, J. F. B; Marchioro, E; Gonçalves, A. O. (2015) **Ritmo Pluviométrico da Bacia do Rio Duas Bocas (ES)**. I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias – SASGEO. Uberaba – MG.

Bigarella, J. J. (2009). *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais (v 3)*. Florianópolis (SC). Editora UFSC.

Botelho, R. G. M.; SILVA, A. S. (2014). Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T. (Org). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Bertrand Brasil Rio de Janeiro, p. 153-192.

Cotta, H. H. A.; Correa, W. S. C.; Albuquerque, T. T. A. (2016). Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória-ES. Revista Brasileira de Climatologia, v. 19, p. 203-217.

Christofoletti, A. (1969). Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, n. 18, p. 35-64.

_____. (1980) Análise de Bacias Hidrográficas. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher. 188 p.

_____. (1981) **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: E. Blucher: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. 313p.

Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa. 3 ed. Brasília: Rio de Janeiro, RJ., 2006.

ESRI. ArcMap. Tutorial. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/help/>>. Acesso em: 20 set. 2014.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275, 1945.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro. IBGE. 275f.

Marchioro, E. (1996) **Avaliação de sólidos**

Transportados, Parâmetros da Morfometria e Solos de Seções Fluviais do Córrego Naiaçú (Reserva Biológica de Duas Bocas - ES). 1996. 53 f. Monografia (graduação em Geografia) -Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

Marchioro, E. A incidência de Frentes Frios no Município de Vitória (ES). **Acta Geográfica**, v. 7, p. 49-60, 2012.

Marchioro, E.; Silva, G.M.; CORREA, W.S.C. A Zona de Convergência do Atlântico Sul e a precipitação pluvial do município de Vila Velha (es): repercussões sobre as inundações. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p101-117. 2016.

Novelli, F. Z. **As Áreas de Preservação Permanente como Evidências de Conectividade no Corredor Ecológico Duas Bocas - Mestre Álvaro.**2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, Centro Universitário Vila Velha, Vila Velha, 2011.

Perrone, A. **Estudos Preliminares sobre a Carga de Sólidos Transportados, Parâmetros Morfométricos e Pluviométricos da Bacia do Córrego Pau Amarelo – Reserva Biológica de Duas Bocas – ES.** Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1995.

Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: **Transactions: American Geophysical Union**, v.38. p. 913-920.

Villela, S.M.; Mattos, A. (1975) **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p.