

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

SERVIÇOS AMBIENTAIS EM MICROBACIAS ANTROPIZADAS

Mateus Marques Bueno

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

SERVIÇOS AMBIENTAIS EM MICROBACIAS ANTROPIZADAS

MATEUS MARQUES BUENO

Sob a Orientação do Professor Dr.
Ricardo Valcarcel

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ
Março de 2017

363.7

B928s

T

Bueno, Mateus Marques, 1981-

Serviços ambientais em microbacias antropizadas /
Mateus Marques Bueno - 2017.

124 f.: il.

Orientador: Ricardo Valcarcel.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais e Florestais.

Bibliografia: f. 87-93.

1. Serviços ecossistêmicos - Teses. 2. Produção de
água - Teses. 3. Microbacias - Teses. 4. Sedimentos -
Teses. 5. Mineração - Teses. 6. Guandu, Rio, Bacia
hidrográfica (RJ) - Teses. I. Valcarcel, Ricardo,
1954-. II. Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
e Florestais. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

MATEUS MARQUES BUENO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no curso de pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 10 / 02 / 2017



Ricardo Valcarcel. Dr. UFRRJ
(Orientador)



Michael Silveira Thebaldi. Dr. UNIFOR



Pedro Luiz Terra Lima. Dr. UNILAVRAS

Ao povo brasileiro, que através de seus impostos, financiou este estudo.
À família Marques Bueno e aos amigos.

AGRADECIMENTO

À Rural, que ao promover o encontro de ideias, pessoas e recursos, contribui para o crescimento científico da nação.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ricardo Valcarcel, pelos ensinamentos e pela paciência.

Ao Professor Dr. Marcos Gervasio Pereira, pelas orientações, revisões e possibilidade de acesso ao LGCS.

Aos amigos, Professora Helena Pinheiro e Felipe Mateus, pelas dicas, revisões e trocas de conhecimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais - PPGCAF.

À minha família, aos meus amigos e, finalmente, à Deus.

BIOGRAFIA

Mateus Marques Bueno. Bueno de pai, Osmar, a bondade em pessoa. Já o Marques vem da mãe, a criteriosa Nilza. Somos em quatro filhos, sendo dois homens e duas mulheres: Adonis e Mateus, Renata e Nilmar. Nascido no interior de Minas Gerais, na cidade de Juruáia, no início dos anos 80, rodou um pouco e ainda tem sonhos de conhecer mais. O técnico em Eletrônica e a faculdade de Engenharia Agrícola e Ambiental não foram necessariamente uma escolha, mas esta última trouxe o prazer do trabalho desenvolvido, tanto no âmbito público (Naturatins) quanto no privado (Terracal). As pós-graduações foram tentativas de conhecer e entender os conceitos de gerenciamento e gestão, para que o futuro profissional fosse direcionado de forma sólida e mais completa. Resultado? A certeza de que o futuro será a academia, que se inicia neste mestrado.

RESUMO

BUENO, Mateus Marques. **Serviços ambientais em microbacias antropizadas**. 2017. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

Nas planícies flúvio marinha, presente ao longo da costa brasileira, existem interação intrínseca entre os agentes coordenados pelas ações do mar e a dinâmica fluvial. Estas interagem e oferece quantidade e qualidade de serviços ambientais às suas bacias hidrográficas. Este estudo caracterizou a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG) e sua planície em relação a oferta de serviços ecossistêmicos. Posteriormente, prospectou sobre os fatores que determinam a oferta e manejo de serviços como ativos ambientais em microbacias, fortemente antropizada por atividade mineral. Foram utilizadas informações de geoprocessamento para espacializar áreas com serviços ecossistêmicos similares e sistema de monitoramento local para avaliar e dimensionar os serviços ambientais. A BHSG abriga a planície flúvio marinha de Sepetiba em 50,21% de sua área, cuja altitude é inferior a 40 m, apresenta-se formas de relevo plano ou suave ondulado. Nela interagem os efeitos ambientais produzidos pelos maciços rochosos das partes altas e as oscilações dos mares nas partes baixas. A combinação dos processos geomorfológicos contemporâneos das zonas hidrogenéticas da bacia com seus atributos ambientais permitiu identificar vocações homogêneas de prestação de serviços ambientais nas áreas de captação e regulação hídrica. Assim como, identificar os efeitos hídricos onde há sinergia entre o canal retificado do Guandu, construído a 64 anos e áreas de reservação no entorno dos talvegues originais, que foram seccionados. Nestes locais, observou-se aumento da reservação dos fluxos hídricos à montante e diminuição a jusante, que podem ser explorados para fins de manejo via pagamento de serviços ambientais. Na bacia antropizada situado em região onde os efeitos de reservação da planície é inexpressivo, o desenho das estratégias de coleta e administração hídrica nos talvegues com zonas de indução de infiltração, por meio de tanques de infiltrações, funcionaram como retentores de sedimentos ao impedir a emissão de 29.000 t em 4 anos. Além de garantir o abastecimento da demanda média de 90 m³d⁻¹ de água bruta em região de escassa e com irregularidade de chuvas, explorada historicamente por agricultura de subsistência, situada em região periurbana da RMRJ e com balanço hídrico climatológico anual predominantemente negativo no tempo, evidenciando o seu potencial de produção de água em condições desfavoráveis.

Palavras-chave: Serviços ecossistêmicos, produção de água, microbacia, sedimentos, mineração.

ABSTRACT

BUENO, Mateus Marques. 2017. 120p. **Environmental services in anthropized micro-basins**. Thesis (Master Science in Environmental and Forestry Science, Nature Conservation). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

In the marine fluvial plains, present along the Brazilian coast, there are intrinsic interaction between the agents coordinated by sea actions and fluvial dynamics. These interactions offer quantity and quality of environmental services to their river basins. This study characterized the Basin of the Guandu System (BHSG) and its flat land in relation to the offer of ecosystem services. Subsequently, it prospected on the factors that determine the supply and management of services as environmental assets in microbasins, strongly anthropized by mineral activity. Geoprocessing information was used to spatialize areas with similar ecosystem services and a local monitoring system to evaluate and size environmental services. The BHSG is home to Sepetiba marine fluvial plain in 50.21% of its area, whose altitude is less than 40 m, forms of flat or smooth undulating relief. In it interact the environmental effects produced by the rocky massifs of the high parts and the oscillations of the seas in the low parts. The combination of the contemporary geomorphological processes of the basin's hydrogel zones with their environmental attributes allowed the identification of homogeneous vocations of environmental services in the areas of abstraction and water regulation. As well, to identify the water effects where there is synergy between the Guandu rectified channel, built at 64 years and reserve areas around the original river bad, which were sectioned. In these places, there was an increase in upstream and downstream water flow reserve, which can be exploited for management purposes through the payment of environmental services. In the anthropogenic basin located in a region where the reservoir effects of the plain are inexpressive, the design of the water collection and management strategies in the riverbed with infiltration induction zones, through infiltration tanks, functioned as sediment retainers by preventing the emission of 29,000 t in 4 years. In addition to guaranteeing the supply of the average demand of 90 m³d⁻¹ of raw water in a sparsely populated region with rainfall irregularity, historically exploited by subsistence agriculture, located in the peri-urban region of the RMRJ and with a predominantly negative annual climatic water balance, evidencing its potential to produce water under unfavorable conditions.

keywords: Ecosystem services, water production, microbasin, sediment, mining.

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEDAE	Companhia Estadual de águas e Esgotos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EMBRAPA	Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos
ETA	Estaao de Tratamento de gua
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
NDVI	ndice de Vegetação por Diferena Normalizada
ONU	Organização das Naoes Unidas
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SRTM	Missão Topográfica do Radar Shuttle
USDG	Departamento de Geologia do Governo Americano
USLE	Equação Universal de Perdas de Solo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	7
Figura 2 – Distribuição política administrativa da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	8
Figura 3 – Pequenas bacias do Sistema Guandu, com destaque para a bacia nº 733 e o Empreendimento onde foram implementadas as medidas de mitigação dos impactos e potencialização de serviços ambientais.	8
Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos utilizados na obtenção Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDE-HC).	25
Figura 5 – Fluxograma para determinação da drenagem inferida a partir do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDE-HC).	26
Figura 6 – Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDE-HC) para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	29
Figura 7 – Modelo para declividade para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), classificado conforme classes propostas por Santos et al. (2013).	30
Figura 8 – Modelo gerado para aspecto ou orientação a vertente para a bacia do Sistema Guandu.	31
Figura 9 – Superfície de curvatura para a bacia do Sistema Guandu.	32
Figura 10 – Perfil de curvatura para a bacia do Sistema Guandu.	33
Figura 11 – Plano de curvatura para a bacia do Sistema Guandu.	33
Figura 12 – Rede de drenagem para as pequenas que compõem a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), gerada a partir do MDE-HC, sobreposta à hidrografia oficial do IBGE, 2016 (modificado).	35
Figura 13 – Rede de drenagem final da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), gerada a partir do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDE-HC) e corrigido com base na hidrografia oficial determinada pelo IBGE (2016).	35
Figura 14 – Classes de solo presentes na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG). Fonte: Embrapa Solos, 2013	36
Figura 15 – Geomorfologia da bacia hidrográfica do Sistema Guandu. Fonte: CPRM, 2003.	37
Figura 16 – Índice Topográfico de Umidade (ITU) SAGA, para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	40
Figura 17 – Índice Topográfico de Umidade (ITU) TWI, para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	40
Figura 18 – Índice Topográfico de Umidade (ITU) TCILow, para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	41
Figura 19 – Zonas hidrogenéticas da bacia do Sistema Guandu.	42
Figura 20 – Canal do Guandu traçado sobre o Índice Topográfico de Umidade TWI na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG). Destaque para o aumento no valor do índice de umidade á montante da passagem do canal, conforme a declividade da área.	43
Figura 21 – Esquemas de construção do canal do Guandu na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG) em diferentes declividades e posição do lençol freático.	43
Figura 22 – Esquema de uma microbacia hipotética ao sofrer a ação de um canal artificial, construído transversalmente ao fluxo natural. Destaque para as alterações na zona de afloramento, com incremento a montante e restrição a jusante.	47
Figura 23 – Localização da área de estudo inserida na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	54
Figura 24 – Localização dos locais de amostragem de campo para fins de caracterização do solo e do fluxo hídrico nas microbacias. Fonte da imagem: Google Earth. Legenda: PS1: zona de captação, PS2: zona de transmissão e PS3: zona de afloramento.	57

- Figura 25** – Esquema de distribuição das coletas de amostras de sedimentos para caracterização horizontal da distribuição destes em um tanque de sedimentação. 60
- Figura 26** – Ilustração das camadas de sedimentos acumuladas em um tanque. Destaque para a variação de cor e granulometria destes sedimentos. 61
- Figura 27** – Fotos das etapas de construção dos amostradores de água e sedimentos: (A) tubos metálicos utilizados para coletar o efluente; (B) formato final do coletor; (C) detalhe da tampa onde será inserido os coletores; (D) suporte interno da tampa; (E) conjunto tampa e coletores montados; e (F) amostrador pronto. 62
- Figura 28** – Esquema do tanque de sedimentação 09 e localização dos amostradores de descarga solida (sedimentos finos). **Legenda:** A₁ a A₄: localização dos amostradores. 63
- Figura 29** – Coleta de sedimentos finos e processamento das amostras em laboratório: (A) coleta do amostrador; (B) transferência do efluente para o transportador; e (C) filtragem do efluente e separação do sedimento fino. 63
- Figura 30** – Relação entre o tempo de enchimento (s) e vazões (Ls⁻¹) conhecidas. 64
- Figura 31** – Relação entre área (m²) e a altura (cm) atingida pela a água no vertedouro. 65
- Figura 32** – Relação entre o raio hidráulico (m) do vertedouro e a altura (cm) atingida pela a água no vertedouro. 65
- Figura 33** – Perfil de solo em cada zona hidrogenética, destaque para os *pipes* (destacado na primeira imagem com forma esférica) e camada de cascalho (destacado na primeira e segunda imagens com formas retangulares). 67
- Figura 34** – Esquema geral do sistema de drenagem construído junto à conformação natural do terreno, com destaque para os pequenos tanques de infiltração contínuos ao sistema de drenagem, que objetivam a recarga da várzea sob o aterro. 69
- Figura 35** – Tanque Australiano, localizado na cota mais alta de uma microbacia que compõe o Empreendimento, sendo abastecido por caminhão pipa. Este reservatório também recebe água por sistema de tubulação proveniente das captações instaladas no exutório da microbacias. 72
- Figura 36** – Variação, em percentagem, do diâmetro dos sedimentos acumulados ao longo das cunhas de sedimentação do tanque. O bloco de amostras A representa os pontos de coleta mais próximos da entrada do tanque, B representa os pontos centrais e C os pontos mais próximos da saída do tanque. 73
- Figura 37** – Variação, em percentagem, do diâmetro dos sedimentos ao longo das 8 camadas de sedimentação identificadas em um tanque. 73

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Unidades de vertente e zonas hidrogenéticas, adaptado de Dalrymple et. al., (1968) e Valcarcel et al., (1987).	13
Tabela 2 – Estatística descritivas do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDE-HC) para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	29
Tabela 3 – Distribuição da altimetria em classes para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG) e percentagem de área ocupada por cada classe.	30
Tabela 4 - Distribuição da declividade em classes, conforme Santos et al. (2013), e percentagem de área que cada classe ocupa da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	31
Tabela 5 - Distribuição da área da bacia em classe de orientação, de acordo com os pontos cardeais principais.	31
Tabela 6 – Distribuição dos temas gerados para curvatura nas classes: côncava, plana e convexa e os valores máximos e mínimos para cada atributo.	33
Tabela 7 – Parâmetros físicos da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	34
Tabela 8 – Estatística descritiva dos parâmetros físicos das 31 pequenas bacias que compõem a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).	34
Tabela 9 – Classes de solo identificadas na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG). Fonte: Embrapa Solos, 2013.	36
Tabela 10 – Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), descrição, dobramento e fratura. Fonte: CPRM, 2003.	37
Tabela 11 – Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), aspecto, intemperização, textura e porosidade primária. Fonte: CPRM, 2003.	38
Tabela 12 – Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), relevo, amplitude topográfica, declividade e área. Fonte: CPRM, 2003.	39
Tabela 13 – Distribuição das classes dos Índices Topográficos de Umidade (ITU) SAGA, TWI e TCILow para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG) e percentagem da área ocupada por cada classe na bacia.	41
Tabela 14 – Demanda hídrica industrial do Empreendimento para o período de 2012 a 2014.	56
Tabela 15 – Medidas do equipamento para mensuração de sedimentos finos.	62
Tabela 16 – Média dos valores de condutividade hidráulica no solo, porosidade total e densidade do solo para as diferentes zonas hidrogenéticas e em três profundidade.	68
Tabela 17 – Capacidade de armazenamento dos tanques de sedimentação instalados nas microbacias do Empreendimento.	70
Tabela 18 – Quantificação das áreas de armazenamento de água nas várzeas identificadas nas microbacias do Empreendimento.	71
Tabela 19 – Volume de sedimentos retidos nos tanques de 2012 a 2015.	72
Tabela 20 – Caracterização química dos sedimentos em camadas de sedimentação identificadas em um tanque.	74
Tabela 21 – Concentração de sedimentos finos, em gL^{-1} , para as 5 coletas de campo.	74
Tabela 22 – Precipitação total e temperatura média para os períodos de coleta de sedimentos, fonte: estação meteorológica da Petra AS, e concentração média dos sedimentos (gL^{-1}) para cada coleta.	75
Tabela 23 – Análise química dos sedimentos coletados nas alturas A1 e A2.	75
Tabela 24 – Balanço hídrico climatológico de 2011 a 2014. Fontes: precipitação e evapotranspiração: INMET; e uso do solo: plantas de engenharia da lavra (Petra AS) e série histórica de imagens do Google Earth Pro.	76
Tabela 25 – Balanço final da produção de água no empreendimento antes e após a implementação das medidas potencializadoras de serviços ambientais.	76

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO	4
REVISÃO DE LITERATURA	10
1 Serviços ecossistêmicos e ambientais	10
2 Microbacias e sensibilidade hidrológica	11
3 Mecanismos de regulação hídrica e uso de Sistema de Informação aplicado	14
4 Uso do solo e perenização de curso hídrico	16
5 Controle hídrico em bacias hidrográficas	16
CAPÍTULO I – SERVIÇOS AMBIENTAIS NA BACIA DO SISTEMA GUANDU	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1 INTRODUÇÃO	24
2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 Área de estudo	25
2.2 Caracterização física da Bacia Hidrográfica Sistema Guandu (BHSG)	25
2.2.1 Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDE-HC)	25
2.2.2 Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica	25
2.2.3 Solos	27
2.2.4 Litologia	27
2.3 Índices topográficos de umidade	27
2.4 Dinâmica hídrica da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG)	27
2.5 Obras de drenagem do Sistema Guandu	28
3 RESULTADOS	29
3.1 Bases cartográficas e variáveis morfométricas	29
3.1.1 Altimetria	29
3.1.2 Declividade	30
3.1.3 Orientação da vertente	31
3.1.4 Superfícies de curvatura	31
3.2 Caracterização física da Bacia Hidrográfica Sistema Guandu (BHSG)	33
3.2.1 Parâmetros físicos	33
3.2.2 Solos	36
3.2.3 Características geomorfológicas	36
3.3 Índices topográficos de umidade	39
3.4 Dinâmica hídrica da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG)	41
3.5 Caracterização das obras de drenagem	42
4 DISCUSSÕES	44
5 CONCLUSÃO	48
CAPÍTULO II – PRODUÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS EM AMBIENTES IMPACTADOS	49
RESUMO	50
ABSTRACT	51
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAL E MÉTODOS	54
2.1 Área de estudo	54
2.2 Período de estudo	54
2.3 Descrição do Empreendimento	54
2.4 Caracterização física das microbacias e fluxo hídrico no solo	56

2.5 Descrição das medidas implementadas para potencialização dos serviços ambientais	57
2.5.1 Sistema de potencialização da produção de água nas microbacias	58
2.5.2 Sistema de retenção de sedimentos	60
2.6 Quantificação dos serviços ambientais nas microbacias	66
2.7 Análises estatísticas	66
3 RESULTADOS	67
3.1 Caracterização das microbacias e fluxo hídrico no solo	67
3.2 Medidas implementadas para potencialização dos serviços ambientais	69
3.2.1 Sistema de potencialização da produção de água nas microbacias	69
3.2.2 Sistema de retenção de sedimentos	72
3.3 Quantificação dos serviços ambientais	75
4 DISCUSSÕES	77
5 CONCLUSÃO	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	82
ANEXOS	89
Anexo I – Anexo fotográfico	89
Anexo II – Perfis de solo - zonas hidrogenéticas	94
Anexo III – Resultados das análises de laboratório	104

INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional, aliado à aglomeração de sítios urbanos em locais sem a devida observância da sua capacidade de abastecimento produzida pelos seus serviços ecossistêmicos, causam pressão constante e crescente sobre recursos renováveis, principalmente por água para abastecimento, além de constituírem caminho irreversível rumo a degradação ambiental. Apesar da demanda mundial por água crescer constantemente, os suprimentos globais são limitados e sua disponibilidade vem se tornando um problema real para um número cada vez maior de países.

Desta forma, à medida que cresce a demanda de recursos hídricos de qualidade para o abastecimento no mundo, diminui a sua probabilidade do fornecimento de água em regiões cujo crescimento populacional são mais afetados pelos efeitos das mudanças climáticas. O relatório da UNESCO, publicado em 2015, sobre sustentabilidade dos recursos hídricos, enfatiza que populações de países menos favorecidos economicamente serão os mais penalizados por conta destes processos, uma vez que menos investem em desenvolvimento de tecnologias para garantir o aporte hídrico de suas populações.

Os efeitos da globalização acabam tendo consequências locais, agravados pela busca de competitividade dos vetores econômicos nem sempre coadunadas com as habilidades ambientais das suas bacias hidrográficas. A intensificação do uso do solo para fins agrícolas e dos processos de industrialização e urbanização geradas pela globalização ao longo do tempo, tem rebatimento direto na gestão dos recursos hídricos, em que pese às campanhas socioambientais que conclamam a sociedade a adotar estratégias de adaptação proativas, frente às incertezas climáticas que caracterizam este mundo em mudança (GIDDENS, 2012).

A história da humanidade, sem efeitos da globalização, é bem diferente da atual, onde os efeitos das adaptações às transformações sociais seguem trajetória marcada pela economia, sem pautar de forma objetiva as suas consequências para os serviços ecossistêmicos, notadamente em época de mudanças climáticas. Os ajustes observados entre a sociedade e o clima são dinâmicos no tempo, onde o clima não é estático na história da humanidade (SALGADO-LABOURIAU, 2001). Muitas vezes eles funcionam como mecanismos de autorregulação dos sistemas hidrográficos, fazendo com que os usos indevidos causem perdas hídricas e estas reduzam os usos, atuando como mecanismos de controle sistêmicos.

As mudanças climáticas interferem diretamente na oferta e na demanda hídrica, provocando redução ou aumento das afluências e dos estoques de água dos reservatórios, em função da elevação da temperatura e da modificação do regime de precipitações. Assim, há

incremento do impacto potencial sobre a depleção do suprimento de água (GIDDENS, 2012), aumentando, então, a vulnerabilidade das populações e de empreendimentos, a qual impõe diversos desafios para a gestão de um recurso de uso comum, vital e escasso, tanto quanto múltiplas possibilidades de lidar com esta realidade.

Neste sentido, as interações do homem no meio ambiente provocam alterações na dinâmica hídrica de bacias hidrográficas de forma irreversível. Obras de retificação de drenagem e transposição de fluxo hídrico interferem na variabilidade do lençol freático ao longo dos períodos seco e úmido, podendo ser favorável ou não para a produção de água nas microbacias do seu entorno (VALCARCEL et al., 1987).

Por outro lado, Salati et al. (2004) assinalam que, em um futuro próximo, é esperado um cenário cujo clima apresentará eventos extremos com maior frequência, alternando eventos de secas, inundações, tempestades tropicais e ondas de calor em todo o globo. Conseqüentemente, a relação entre o aquecimento atmosférico, as mudanças climáticas globais e seus efeitos na distribuição dos ecossistemas implicam em profundas alterações na atual composição da biodiversidade e dos recursos hídricos nas suas bacias hidrográficas.

O uso do solo no território brasileiro priorizou atividades agrícolas e pecuárias, primando pela abertura de novas áreas em detrimento do aumento de produção, gerando os atuais passivos ambientais que serão repassados as gerações futuras. Como resultado, os ecossistemas bacias hidrográficas restringem o crescimento de regiões antropizadas por conta da disponibilidade hídrica e/ou pelo seu custo.

As bacias hidrográficas apresentam subsistemas com funções hídricas inter-relacionadas, cujas práticas de manejo de água devem ser conhecidas e respeitadas (BARBAN, 2009). Uma visão holística integrando a chuva como parte do balanço hidrológico contribui para o aperfeiçoamento hídrico das bacias, pois dela e de seus usos derivam os seus fluxos que compõem o seu balanço (HAN & HAMMOND, 2006).

Assim, a exploração dos solos aliado às mudanças climáticas, demandam alternativas mais eficientes na exploração dos recursos hídricos. Estas demandas devem ser concentradas na priorização do manejo das microbacias hidrográficas, fazendo com que as perdas neste sistema sejam menores. Gnadlinger (2014) mostra que é possível aumentar o tempo de permanência de água na bacia por meio da adoção de medidas mitigadoras, tais como a construção de barragens subterrâneas, maximização do armazenamento da água no solo e aumento da recarga da água subterrânea.

Portanto, a identificação de ecossistemas capazes de melhorar a utilização do recurso hídrico viabiliza empreendimentos e proporciona o desenvolvimento de regiões. A variabilidade funcional de ecossistemas em uma microbacia permite que, após a correta identificação de seus elementos chave, seja aplicada uma série de medidas que garantirão a reservação de água, diminuição dos deflúvios nos períodos chuvosos, representando mais armazenamento para os períodos de estiagens do ano. Cook et al. (2012) afirmam que, o manejo integrado de microbacias e o manejo de ecossistemas são diferentes, mas devem convergir para o mesmo fim.

Isto posto, a implementação de medidas capazes de potencializar a produção de serviços ecossistêmicos/ambientais em locais com baixa capacidade de armazenamento de água, relevo desfavorável, ausência de cobertura vegetal e solos rasos pode ser imprescindível para o desenvolvimento de empreendimento ambientalmente sustentável. Portanto, o entendimento dos processos envolvidos e sua modelagem podem permitir identificar formas alternativas de captação e armazenamento de água, viabilizando obtenção de segurança hídrica ao longo do ano.

Desta forma, este estudo tem o objetivo de identificar áreas com serviços ecossistêmicos similares em função de suas habilidades em produzir serviços ambientais, referente à produção de água e, descrever resultados hídricos de projeto de mineração em bacia antropizada com baixa oferta de serviços ecossistêmicos.

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

O território brasileiro ocupa extensas áreas que evidenciam, por vezes, grandes diferenciações geomorfológicas controladas por condições naturais generalizadas ou por grandes extensões de litologia homogênea. Segundo Bigarella et al, (1994) o território brasileiro apresenta quatro domínios morfoestruturais, que são: (i) Domínio Morfoestrutural dos Depósitos Inconcluídos, (ii) Domínio Morfoestrutural das Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas Plio-pleistocênicas; (iii) Domínio das Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares Associadas; e (iv) Domínio dos Embasamentos em Estilos Complexos.

Quanto aos domínios da paisagem brasileira associados às classificações morfoclimáticas, Ab'Sáber (2003), afirma que os aspectos morfoclimáticos ocorrem segundo complexos fatores que representam combinações fisiográficas regionais diferenciadas e objetivas, ou seja, os domínios morfoclimáticos baseiam-se, em grande parte, nos grandes quadros da distribuição da vegetação.

Desta forma, existem seis domínios morfoclimáticos no Brasil: (i) Domínio Amazônico – região norte do Brasil, com terras baixas e grande processo de sedimentação; clima e floresta equatorial; (ii) Domínio dos Cerrados – região central do Brasil, com vegetação tipo cerrado e inúmeros chapadões; (iii) Domínio dos Mares de Morros – região leste (litoral brasileiro), onde se encontra a floresta Atlântica que possui clima diversificado; (iv) Domínio das Caatingas – região nordestina do Brasil (polígono das secas), de formações cristalinas, área depressiva intermontanhas e de clima semiárido; (v) Domínio das Araucárias – região sul brasileira, área do habitat do pinheiro brasileiro (araucária), região de planalto e de clima subtropical; (vi) Domínio das Pradarias – região do sudeste gaúcho, local de coxilhas subtropicais.

O estudo foi realizado no Domínio Morfoestrutural das Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas Plio-pleistocênicas, especificamente na planície flúvio-marinha de Sepetiba e em partes do Domínio dos Mares de Morros, na bacia hidrográfica do rio Guandu, da Guarda e Guandu Mirim, especificamente em 31 microbacias drenadas pelos canais principais dos mencionados rios. Estas microbacias foram delimitadas pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), em parceria com o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro, no ano de 2012.

A bacia hidrográfica do rio Guandu, da Guarda e Guandu Mirim está localizada na região central fluminense. Esta bacia hidrográfica pode ser considerada como uma sub-bacia da bacia hidrográfica da baía de Sepetiba, localizada na Macrorregião Ambiental 2, MR-2, do estado do Rio de Janeiro. Neste texto, esta bacia hidrográfica será denominada Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu - BHSG.

A BHSG é de fundamental importância para a vida cotidiana da área Metropolitana do Município do Rio de Janeiro (RMRJ). Inicialmente com baixo volume hídrico, esta bacia assume relevância em decorrência das obras de transposição de águas, iniciadas em 1902 com a transposição do rio Pirai para o Sistema Guandu. Em 1952, 160 m³s⁻¹ do rio Paraíba do Sul foram convergidos para o canal denominado rio Guandu. Este projeto foi concebido para abastecer usina hidrelétrica abastecer a região metropolitana do Rio de Janeiro. Atualmente ele é a principal fonte de água para abastecimento humano e setores produtivos, como indústria siderúrgica, petroquímica, alimentos, bebidas, vestuário, dentre outros (ANA, 2006).

A transposição foi feita em duas fases, sendo iniciada em 1902 e concluída em 1945. Elas viabilizaram a instalação da Estação de Tratamento de Água Guandu – ETA Guandu em 1955, pertencente à Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE, no município de Nova Iguaçu. Ela trata e distribui 47 m³s⁻¹ de água para RMRJ. Segundo a Resolução nº 357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005), que trata da qualidade de água e classificação dos corpos hídricos, o Sistema Guandu pertence à Classe 2, já que suas águas são destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional.

A área total da bacia é de 1.921 km² (ANA, 2006), compreendida pelas bacias do Guandu (1.385 km²), rio da Guarda (346 km²) e rio Guandu Mirim (190 km²). O trecho inicial se encontra entre confluência do Ribeirão das Lajes e rio Santana e termina em canal retificado até a baía de Sepetiba, sendo denominado de canal de São Francisco. Considerando-se o Ribeirão das Lajes como principal formador do sistema, o comprimento total do rio Guandu é de 108,5 km.

O clima predominante na região é o Aw de Köppen (ALVARES et al., 2013). Neste o regime pluviométrico é caracterizado pela existência de um período chuvoso, de dezembro a março (verão), e de estiagem, de junho a agosto (inverno). A precipitação média anual é de 1.270 mm, de acordo com dados da série histórica da estação meteorológica A601 – Ecologia Agrícola, localizada na cidade de Seropédica/RJ e gerida pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Entretanto, conforme estudado por Valcarcel et al (1987), não há uniformidade no regime das chuvas ao longo da BHSG, devido à irregularidade dos sistemas atmosféricos e interações com as variações do relevo, gerando maior ou menor vigor de emissões de ar polar no verão, fazendo com que haja variação no volume total precipitado de 700 a 2.400mm anuais. Este estudo também mostra que existem 7 meses em que ocorrem precipitações com maior frequência: outubro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, nos demais a frequência de chuva é menor.

A umidade relativa do ar média anual é de 80% e a temperatura média anual varia de 20 a 27°C, sendo que a média das mínimas está entre 15 e 23°C e a média das máximas entre 26 e 32°C (SEMADS, 2001). A distribuição das chuvas na região é fortemente influenciada pelo relevo, com as maiores precipitações ocorrendo na Serra do Tinguá, onde estão as cabeceiras dos rios São Pedro, Santo Antônio e Douro.

A hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro, segundo Caetano (2005), apresenta dois domínios geológicos principais: o das rochas cristalinas, que cobrem cerca de 80% do seu território e o das bacias e sedimentos litorâneos. Estas características geológicas condicionam a ocorrência regional de dois grandes sistemas de aquíferos, o fissural e o poroso. O sistema aquífero fissural ocupa cerca de 80% do território fluminense, estendendo-se desde o Sul até a região norte do Estado, através das fraturas e falhas abertas que ocorrem nos maciços rochosos. Já o sistema poroso encontra-se nos sedimentos permeáveis e depósitos aluviais e marinhos, que se distribuem nas bacias principais de Campos, Macacu e Resende e planícies aluviais e litorâneas.

As unidades litológicas da bacia da baía de Sepetiba ocorrem em geral disseminadas entre si, com litologias de idade Proterozóica apresentando nítida direção estrutural NE-SW e sedimentos Neógenos espalhados na baixada. Algumas unidades ocorrem isoladamente, principalmente as unidades de idade Cenozóicas e algumas Proterozóicas. Os sedimentos fluvio-marinhos de idade Neógena encontram-se espalhados nas áreas baixas e ao redor das elevações compostas pelas rochas Proterozóicas, formando a baixada de Sepetiba e a restinga da Marambaia (SMA, 1996).

Neste contexto a BHSG inicia-se no domínio geológico das rochas cristalinas e estende-se por vasta faixa de planície aluviais e litorâneas, também denominada de área de contato entre planície flúviomarinha e mar de morros.

Entre os anos de 1935 e 1941, visando minimizar as áreas de várzeas alagadas e promover a colonização da região por meio da agricultura, o então Departamento Nacional de

Obras e Saneamento (DNOS), promoveu uma série de intervenções no rio Guandu até a sua desembocadura. Estas intervenções incluíam abertura de canais e valetas, dragagem e construção de cerca de 50 km de diques longitudinais dispostos nas margens desde à sua foz até próximo da confluência do rio São Pedro (SEMADS, 2001).

O estudo avaliou a capacidade de armazenar água como fator diferencial na produção de serviços ambientais na BHSG, especificamente em 31 bacias pequenas e que a compõe (Figura 1).

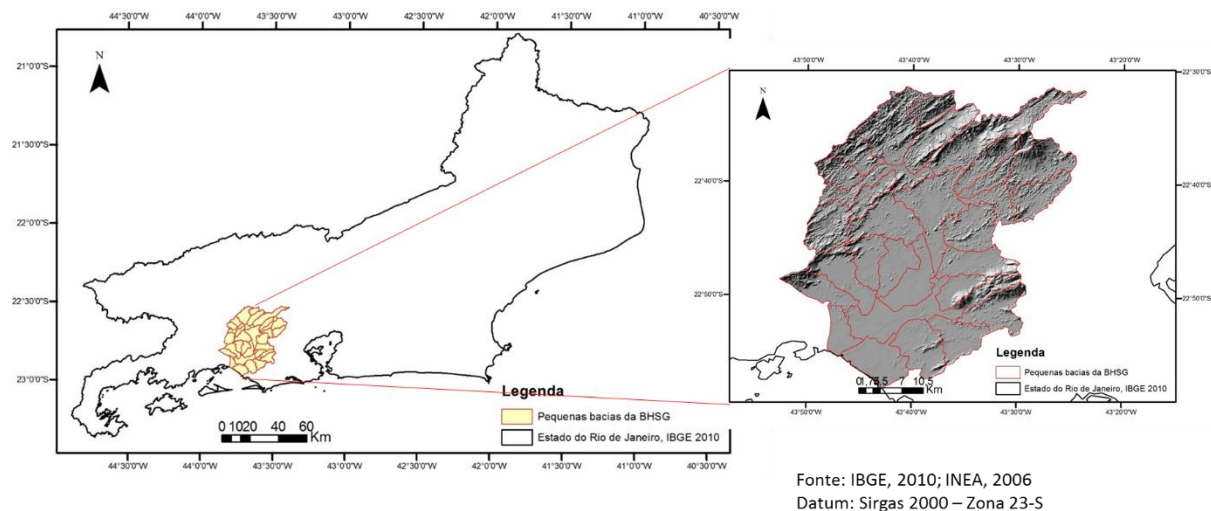


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

A BHSG abrange uma área de 143.758,80 ha, cobre parcialmente ou totalmente dez municípios do estado do Rio de Janeiro (Figura 2), a saber: Engenheiro Paulo de Frontin; Miguel Pereira; Paracambi; Itaguaí; Seropédica; Rio de Janeiro; Nova Iguaçu; Queimados; Japeri e Nova Iguaçu.

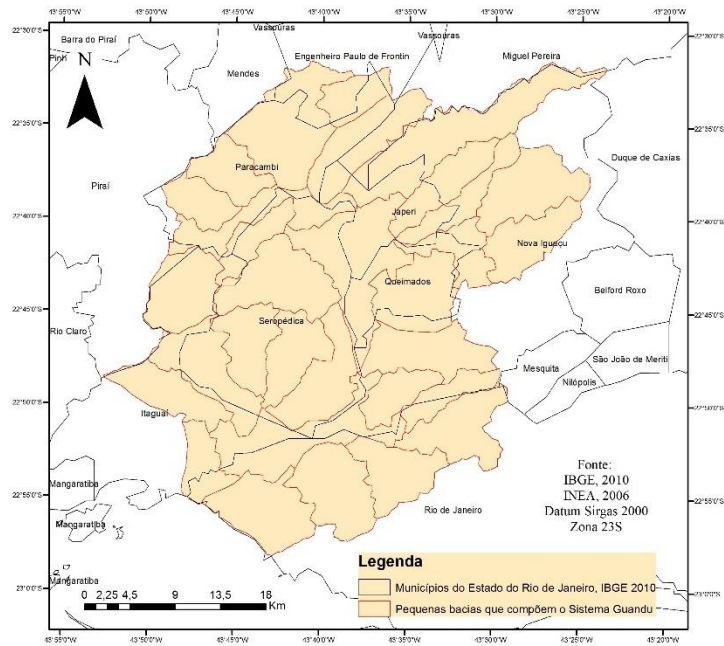


Figura 2 – Distribuição política administrativa da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

A segunda fase deste estudo foi realizada em microbacias localizada na BHSG, especificamente na bacia hidrográfica nº 733, onde está localizada a mineração de brita, denominado como Empreendimento (Figura 3).

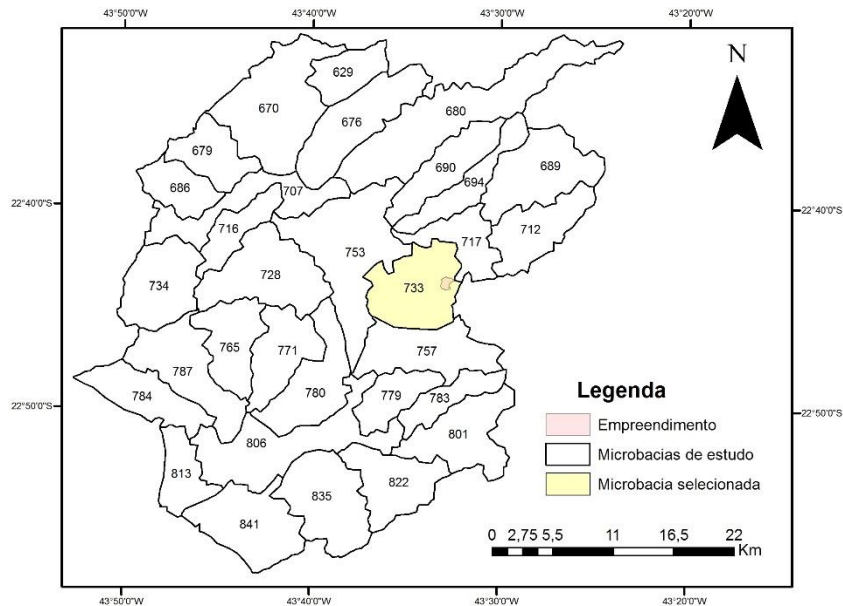


Figura 3 – Bacias do Sistema Guandu, com destaque para a bacia nº 733 onde foi construído o Empreendimento que potencializou medidas de serviços ambientais em áreas de diminutas ofertas de serviços ecossistêmicos, concomitante as medidas de mitigação dos impactos

O Empreendimento está localizado no município de Queimados (75,7 km²), no Estado do Rio de Janeiro, cuja população remonta a 142.709 habitantes, possui Índice de

Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,680, que o classifica na ordem de 2.439 entre os 5.570 municípios do país (IBGE, 2014).

O bioma Mata Atlântica é predominante na região do Empreendimento (IBGE, 2014), tendo os Argissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos como principais solos (SANTOS, et al 2013). O relevo predominante é composto por Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas e Colinas Isoladas (CPRM, 2001).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima deste município é tropical Aws, com inverno seco (ALVARES et al., 2013), enquanto que a temperatura e precipitação, são 23,9°C e 1.274,3 mm, respectivamente (INMET, 2014). Dado a sua localização, o município de Queimados possui regime hídrico diferenciado, devido a formação do relevo que bloqueia a passagem de bacias aéreas.

REVISÃO DE LITERATURA

1 Serviços Ecosistêmicos e Ambientais

Os serviços ecosistêmicos constituem utilitários fornecidos naturalmente pelos ecossistemas e seus processos ecológicos que sob certa medida contribuem para sustentação de vidas, entre elas a humana (DAILY, 1997; ANDRADE & ROMEIRO, 2009).

Os ecossistemas são compostos por estruturas, que se dividem em recursos bióticos e abióticos. O conjunto de indivíduos e comunidades de plantas e animais compõe os recursos bióticos, enquanto que os combustíveis fósseis, minerais, solo e a radiação solar compõem os recursos abióticos. Em cada ecossistema podem existir milhares de estruturas ecosistêmicas que interagem entre si, o que caracteriza o comportamento não linear e a necessidade de entendimento de seu funcionamento como um todo e não de apenas um recurso que o compõe (COSTANZA et al., 2016).

Embora o conceito de ecossistema seja antigo, o interesse pelos ecossistemas enquanto objeto de pesquisa é relativamente recente, tendo ganhado importância considerável devido à crescente preocupação sobre as interconexões entre os ecossistemas e o bem-estar das populações, principalmente em função das mudanças drásticas nos fluxos de seus serviços prestados (ANDRADE & ROMEIRO, 2009). De acordo com o estudo apresentado no relatório Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005), publicada pela Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 60% dos serviços dos ecossistemas estudados sofreram alterações degradativas ao longo dos últimos 50 anos no mundo.

Dentre as mudanças drásticas recentes inclui-se alterações no balanço hídrico, causadas pelo desequilíbrio entre oferta e demanda de serviços ecosistêmicos. Neste sentido, os serviços ecosistêmicos vinculados ao abastecimento hídrico ganham destaque no que tange à necessidade de conhecimento, quantificação e valoração (UNESCO, 2015).

Desta forma, os serviços ecosistêmicos podem ser conceituados como serviços que as pessoas obtêm da natureza direta ou indiretamente, por meio dos ecossistemas, a fim de sustentar a vida no planeta, classificado pela ONU seguinte forma (MEA, 2005):

- **Serviços de Provisão:** os produtos obtidos dos ecossistemas. Exemplos: alimentos, água doce, fibras, produtos químicos, madeira;
- **Serviços de Regulação:** benefícios obtidos a partir de processos naturais que regulam as condições ambientais. Exemplos: absorção de CO₂ pela fotossíntese das florestas; controle do clima, polinização de plantas, controle de doenças e pragas;

- **Serviços Culturais:** São os benefícios intangíveis obtidos, de natureza recreativa, educacional, religiosa ou estético-paisagística; e
- **Serviços de Suporte:** Contribuem para a produção de outros serviços ambientais: ciclagem de nutrientes, formação do solo, dispersão de sementes.

Assim, a produção de recurso hídrico na bacia hidrográfica pelo aprimoramento dos serviços ecossistêmicos, com a implementação de medidas mitigadoras de impactos negativos e potencializadoras de impactos positivos, pode ser denominada serviços ambientais de provisão, regulação e suporte. Isto devido à natureza do uso dado a este recurso. Sendo fundamentais ao desenvolvimento de uma sociedade ambientalmente sustentável e podem ser maximizados através de programas de Pagamentos de Serviços Ambientais (PSA) ou até mesmo funcionando como Auto Pagamento de Serviços Ambientais (APSA), onde o benefício recebido é a ausência de pagamento para uso de um recurso.

2 Microbacias e Sensibilidade Hidrológica

A bacia hidrográfica é um sistema aberto cuja área é delimitada por um divisor de águas, que capta a precipitação e conduz pelas suas vertentes até a calha, podendo ou não ter alteração no seu equilíbrio dinâmico, quando sofre intervenções antrópicas (TEODORO et al., 2007).

Borsato & Martoni (2004) ressaltam que toda bacia hidrográfica possui uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, que faz convergir os escoamentos para seção de controle situado no final da bacia, denominada de exutório, constituindo o ponto de saída da água e que serve para retratar todos os dinamismos dos processos que interagem no seu interior (PORTO & PORTO, 2008).

Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas, por isso todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação. Portanto, o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental permite relacionar os mecanismos de causa e efeito dentro do território (LIMA, 1994). Este mesmo autor afirma que a bacia hidrográfica consiste em um ecossistema hidrológicamente integrado, com componentes e subsistemas interativos; que oferece oportunidades para o desenvolvimento de ações voltadas para a potencialização e perenização dos recursos hídricos necessários para o desenvolvimento da população que habita seu território.

A microbacia, do ponto de vista hidrológico, pode ser considerada como a menor unidade de paisagem capaz de integrar todos os componentes hidrológicos relacionados com a

qualidade e disponibilidade de água. Portanto possui sensibilidade hidrológica aos usos que se façam em suas vertentes, uma vez que responde hidrológicamente aos estímulos externos (MOLDAN & CERNY, 1994).

Além disto, as microbacias constituem unidades hidrológicas de planejamento ambiental, por serem sensíveis a manifestações de desequilíbrio ambiental a nível local e ao fato de que suas características estejam intimamente relacionadas com a produção de água (VALCARCEL, 1987). Assim, as microbacias têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação da capacidade de produção de água, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos (VILAÇA et al., 2009).

Hewlett & Hibbert (1967), ao estudar hidrogramas de microbacias experimentais de regiões montanhosas no início da década de 60, estabeleceu-se o conceito de Área Variável de Afluência (AVA). Estes autores observaram que a cobertura e uso do solo são indutoras dos deflúvios, havendo parte da área cujas funções consistem em reter e liberar água, sendo elas dinâmicas, e que sofrem expansões e contrações, originando o conceito de "área variável".

Desta forma, a microbacia pode ser setorizada conforme o modelo conceitual proposto por Dalrymple et al. (1968), que faz uma compartimentação das vertentes em nove unidades hipotéticas, que combina as mais prováveis formas de relevo e os possíveis processos geomorfológicos contemporâneos, baseado em modificações dos aspectos geológicos originais e da movimentação das águas, principalmente no que tange ao escoamento superficial.

As nove unidades hipotéticas, proposta por Dalrymple et al. (1968), combinam as mais prováveis formas de relevo e os possíveis processos geomorfológicos, geológicos e de movimentação de águas atuantes (NORONHA et al., 2012) que podem ser reduzidas a três zonas hidrogenéticas (VALCARCEL et al., 1987), descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Unidades de vertente e zonas hidrogenéticas, adaptado de Dalrymple et. al., (1968) e Valcarcel et al., (1987).

Processos geomorfológicos dominantes - Dalrymple et al., 1968				Zona hidrogenéticas – Valcarcel et al., 1987b	
Nº	Unidade de vertente	Inclinação angular	Descrição	Nome	Descrição
1	Divisor de água	0° a 1°	Processos pedogenéticos associados com movimento vertical de água superficial	Zona de captação	Áreas elevadas. Iniciam-se a partir do divisor de águas, geralmente apresenta baixa declividade, solos mais profundos, onde prevalece a infiltração de água no solo e escoamento subsuperficial.
2	Declive com infiltração	2° a 4°	Eluviação mecânica e química pelo movimento lateral da água subsuperficial		
3	Declive convexo com rastejo	Variável	Rastejo e formação de terracetes		
4	Escarpa	Mínimo 45°, normalmente > 65°	Desmoronamentos, deslizamentos, intemperismo químico e mecânico	Zona de transição	Áreas com elevação intermediária e declividade alta. Solos rasos e com frequentes processos de movimentação da camada superficial. Região favorável à ocorrência dos processos de escoamento superficial e deslocamento de massa.
5	Declive intermediário de transporte	Variável	Transporte de material pelos movimentos coletivos do solo; formação de terracetes; ação da água superficial e subsuperficial		
6	Sopé coluvial	26° a 35°	Reposição de material pelos movimentos coletivos e escoamento superficial; formação de cones de dejeção, transporte de material, rastejo, ação superficial da água		
7	Declive aluvial	0 a 4°	Deposição aluvial, processos oriundos do movimento subsuperficial da água	Zona de afloramento	Áreas de menor elevação e declividade baixa. Região de acúmulo de sedimentos, com presença de solos com maior capacidade de armazenamento de água. Prevalência dos processos de escoamento subsuperficial.
8	Margem do canal	Variável	Deslizamento, desmoronamento		
9	Leito do canal	Variável	Transporte de material para a jusante pela ação superficial da água, gradação periódica		

Para fins práticos este modelo pode ser simplificado em unidades, também chamadas de zonas hidrogenéticas, a saber: (i) zona de captação; (ii) zona de transmissão; e (iii) zona de afloramento e, com esta setorização, torna-se possível entender o funcionamento hidrológico

da microbacia como o estabelecimento de medidas de aprimoramento da gestão do recurso hídrico (VALCARCEL, 1987).

3 Mecanismos de Regulação Hídrica e Uso de sistema de Informação Aplicado

As planícies de inundação ou várzeas são unidades homogêneas e periféricas aos canais fluviais e conformam seu leito maior. A morfologia das planícies está relacionada com o desenvolvimento do canal principal que lhe deu origem e com processos de deposição e erosão, ocorridos na sua gênese, desta forma, dentro do sistema fluvial, a planície está localizada na zona de deposição dos sedimentos transportados pelos rios, onde a declividade do terreno e a velocidade do fluxo diminuem (CHARLTON, 2008).

A identificação e discriminação da planície de inundação pode ser feita pela classificação da bacia de drenagem em unidades fisiográficas homogêneas passíveis de serem delimitadas pelo relevo. Dados do relevo para tal fim podem ser obtidos por processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE), com base nos desenvolvimentos dos índices de umidade, que são classificados como atributos topográficos secundários, definidos em função da declividade e área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo (MUÑOZ, 2013).

Uma variação do MDE pode ser obtida quando é feita uma dupla correção do sistema de drenagem da superfície, denominado Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Constituído (MDE-HC), que é formado por uma grade regular (formato matricial) com tamanho de célula pré-definido, cujo valor corresponde a cota de elevação local. Com MDE-HC é possível definir classes da altimetria regulares ou não, conforme o objeto do trabalho a ser desenvolvido.

A declividade é uma taxa, que representa a mudança no valor da cota de uma célula em relação as células vizinhas, calculado a partir da primeira derivada direcional em x e y, a partir do modelo de elevação (HICKEY et al., 1994). A direção da declividade ou aspecto define a orientação da vertente, representado por valores em graus de 0 a 360°, medidos a partir do Norte em sentido horário (ESRI, 2010). Santos et al. (2013) propõe que a declividade seja reclassificada em 6 classes, subdividido em percentagem: plano (0 a 3%), suave ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (> 75%);

A orientação da vertente ou aspecto pode ser entendido como orientação da declividade, representado em graus variando de 0 a 360°, medido a partir do Norte em sentido

horário (ESRI, 1994). Este atributo pode ser reclassificado de acordo com os pontos cardeais principais, portanto, a classe que corresponde às faces orientadas para Norte é representada pela soma da primeira e última classe de inclinação, 0 -45° e 315 – 360°, respectivamente; Leste de 45° a 135°; Sul de 135° a 225°; e Oeste de 225° a 315°.

A superfície de curvatura é gerada a partir de uma grade de altitude, o valor de uma célula (central) é calculado a partir de uma vizinhança de 3x3 células; valores positivos representam superfícies convexas, negativos uma superfície côncava e valores iguais ou próximos de zero indicam superfícies planas (ESRI, 1994). O processamento da curvatura gera de forma auxiliar duas grades, uma para perfil outra para o plano de curvatura.

As técnicas de geoprocessamento, ligadas às análises ambientais, e a correta interpretação dos processos que ocorrem nas microbacias, possibilitam a identificação das áreas hidrologicamente sensíveis, levando ao necessário conhecimento de suas aptidões e potencialidades. Portanto, com o avanço tecnológico das últimas décadas e a informatização dos dados tem elevada importância para os trabalhos em ciências ambientais, buscando otimizar desde o planejamento até o processamento e interpretação destes dados (PINHEIRO, 2012).

Neste sentido, utilizando-se das técnicas de geoprocessamento é possível desenvolver três diferentes Índices Topográficos de Umidade (ITU): Índice de Umidade SAGA (BOEHNER et al., 2002); o Índice de Umidade Topográfica (BOEHNER et al., 2006) – TWI (sigla em inglês) e Índice de Classificação de Áreas de Planícies (BOCK, 2007) – TCI Low (sigla em inglês), após análise e interpretação podem ser delimitadores das planícies de inundação.

O índice de umidade SAGA é baseado em um cálculo de área de captação modificado, que não pensa do fluxo hídrico como a película muito fina, gerando como resultado, as células situadas em vales com uma pequena distância vertical a um canal de uma forma mais realista e com maior potencial de umidade do solo em comparação com o cálculo do TWI padrão (BOEHNER et al., 2002), assim como o TCI *Low* é específico para cálculo de índice de umidade em região de planícies (BOCK, 2007).

Desta forma, os três índices possuem características específicas que devem ser levadas em consideração na execução de análises de bacias hidrográficas, uma vez que estas possuem variação de altimetria e declividade considerável. Wilks (2006) afirma que, para regiões que se faz necessário a análise conjunta de diferentes feições de relevo, recomenda-se o uso do TWI, por representar melhor a variação da umidade do terreno.

4 Uso do Solo e Perenização de Curso Hídrico

Segundo Lima (1994) a cobertura vegetal de uma microbacia apresenta alta variação estrutural, composição e distribuição espacial de usos, que podem ocorrer tanto ao longo do curso d'água como lateralmente, permitindo avaliar as dinâmicas dos processos fluviomórficos como condições de saturação do solo, que tendem a diminuir a medida que se afasta do canal, tudo isto devidamente sinalizado pelas variações das espécies que funcionam como bioindicadoras.

O mesmo autor afirma que em microbacias de clima úmido, principalmente àquelas com cobertura florestal, o escoamento superficial raramente ocorre, a não ser em partes isoladas da microbacia, onde existem condições de baixa infiltração; ficando restrito, ao longo da zona de afloramento, que se encontra, normalmente, sempre em condições de saturação.

Já Elmore & Beschta (1987) demonstraram que a recuperação da cobertura vegetal contribui para com o aumento da capacidade de armazenamento da água na microbacia, o que contribui para o aumento da vazão na estação seca do ano. Por outro lado, uma maior vazão no período seco proporciona um maior fluxo horizontal de água para a calha e partes adjacente, facilitando o estabelecimento sinérgico com a vegetação.

Colaborando com este fato, Valcarcel et al (1987), ressalta que o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas e seus efeitos integrados podem ser relacionados com as variações de uso e cobertura dos solos.

5 Controle Hídrico em Bacias Hidrográficas

As tecnologias de armazenamento e captação de águas da chuva devem ser utilizadas como estratégia de controle de cheias e perenização hídrica, pela diminuição da quantidade de água escoada para o sistema de drenagem. Assim, a água da chuva se vem consolidando como fonte alternativa para suprimento em edificações residenciais comerciais e industriais (GHISI & FERREIRA, 2007).

Nos últimos anos se tem observado que o conceito sobre a importância da água de chuva vem mudando, tendo sido contemplado no Plano Nacional de Recursos Hídricos como um bem a ser utilizado no seu potencial pleno (BRASIL, 1997). Este plano também considera a bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento de recursos hídricos, dado que esta divisão geográfica do território é a única ferramenta que permite a mensuração dos efeitos gerados por ações realizadas em sua área de captação.

Assim sendo, as tecnologias de captação e manejo de água de chuva estão introduzidas, além dos aspectos técnicos e econômicos, nos seus aspectos históricos, biofísicos e sociopolíticos, numa visão integrada para chegar a algumas orientações que possam ser incluídas na atual política dos recursos hídricos e contribuir para resolver problemas relacionados com a água, no contexto atual e futuro (BOYD et al., 2000).

Segundo von Sperling (2005) a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. Este mesmo autor menciona que a qualidade da água é resultante das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, na qual está inserido. Além destes dois itens, deve-se mencionar que a qualidade da água é um fator relativo, ou seja, dependendo do uso proposto o mesmo volume de água pode estar ou não dentro dos padrões de qualidade.

Donadio et al. (2005) estudou a bacia hidrográfica do córrego Rico no estado de São Paulo, afim de verificar a influência de remanescentes de vegetação ciliar e da ação antrópica na qualidade da água. Este autor analisou quatro nascentes, sendo duas com a presença de vegetação natural remanescente e duas com predominância de atividades agrícolas. Foi concluído que a presença de remanescentes de vegetação auxilia na proteção dos recursos hídricos, assim como as características do solo e seus diferentes usos, influenciam na qualidade da água. A presença de vegetação protegida no entorno de drenos e zonas de afloramento diminui a concentração de herbicidas nos cursos d'água de microbacias (BARTON & DAVIES, 1993).

O efeito de filtragem de particulados e de nutrientes em solução proporcionado pela cobertura vegetal do solo da microbacia confere, também, significativa estabilidade em termos do processo de ciclagem geoquímica de nutrientes (SELLE, 2008). Além disto, existe uma interação funcional permanente entre a cobertura vegetal, os processos geomorfológicos e hidráulicos entre canal e biota riparia. Mateus (2013) ao estudar o efeito da retenção hídrica em diferentes coberturas de solos concluiu que há um efeito diferenciado na fase inicial da restauração florestal espontânea, em função das espécies que compõem a cobertura vegetal.

A maior parte dos nutrientes liberados dos ecossistemas terrestres chega aos cursos d'água através de seu transporte em solução no escoamento subsuperficial. Ao atravessar a zona ripária, parte destes nutrientes podem ser eficazmente retidos por absorção pelo sistema radicular da mata ciliar, conforme tem sido mostrado na literatura (AUBERTIN & PATRIC, 1974; MUSCUTT et al., 1993).

Esta interação decorre, em primeiro lugar, do papel desempenhado pelas raízes na estabilização das margens. A mata ciliar, por outro lado, abastece continuamente o rio com material orgânico e, inclusive, com galhos e, às vezes, até troncos caídos. Este material orgânico, para cumprir sua função como fonte nutricional para a biota aquática, deve ser retido.

A rugosidade das margens proporcionado pela vegetação de mata ciliar e pela queda destes galhos e troncos (resíduos grosseiros), favorecem retenção, por obstruírem o fluxo d'água, criando zonas de turbulência e zonas de velocidade diminuída, favorecendo deposição de sedimentos, e criando micro habitats favoráveis para organismos aquáticos (LIMA, 1994).

Um terceiro aspecto desta interação resulta da atenuação da radiação solar proporcionada pela mata ciliar, favorecendo o equilíbrio térmico da água e influenciando positivamente a produção primária do ecossistema lótico (BESCHTA, 1991).

A respeito do balanço hídrico climatológico, Pruski (2006) afirma que o escoamento superficial inicia quando a taxa de precipitação excede a taxa de infiltração e não há mais capacidade de retenção de água na superfície. Junior & Dias (2005) afirmam que em áreas onde há cobertura florestal e solos estruturados, o efeito da precipitação é minimizado, devido ao amortecimento, direcionamento e retenção das gotas das chuvas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Já em áreas antropizadas, onde houve modificações na cobertura natural do solo, os processos de escoamento são maximizados.

Desta forma, os distúrbios ambientais em microbacias antropizadas e que estão em processo de exploração mineral, referentes ao escoamento superficial devem-se a duas causas principais: (i) rearranjo dos drenos a montante da cava; e (ii) impermeabilização das áreas com exposição direta de substrato rochoso (TEIXEIRA, 2000).

Para se avaliar o rearranjo dos drenos na encosta de exploração, deve-se considerar três trechos hidrológicos, sendo dois de uso indireto (um a montante e outro a jusante da cava) e a região de instalação da cava propriamente dita. Segundo Teixeira (2000), nos trechos de uso indireto há uma modificação nos fluxos de escoamento superficial e no trecho de uso direto há uma diminuição na taxa de infiltração de água no solo, que resulta no aumento do coeficiente de escoamento superficial.

Em condições de integridade de ecossistemas com resiliência alta, a água possui papel fundamental no ajuste evolutivo da paisagem. Em microbacias a dinâmica da água pode ter papel de construção, gerando condições para o desenvolvimento de serviços ambientais, ou,

quando houver ecossistemas desajustados, gerar distúrbios ambientais como a perda de solo, movimento de massa, perda da capacidade do solo de manter a cobertura vegetal, entre outros. Ambas as situações são refletidas na qualidade de vida humana, seja de forma negativa ou positiva (Tundisi & Tundisi, 2010).

Segundo Pott & de Maria (2003), vários fatores condicionam o movimento de água no solo, que foram estudados por diversos autores: porosidade (PERROUX & WHITE, 1988), a densidade do solo (SALES et al., 1999), cobertura do solo (SIDIRAS & ROTH, 1987), textura e o grau de agregação do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990), selamento superficial (REICHERT et al., 1992), umidade inicial (ARAÚJO FILHO & RIBEIRO, 1996), matéria orgânica, estrutura e variabilidade espacial das características física e química do solo no terreno (KLAR, 1984).

De acordo com Reichert et al. (1992), a textura do solo afeta sensivelmente o salpico de partículas com impacto das gotas de chuva, o que contribui para uma redução da porosidade da camada superficial do solo. A magnitude da infiltração é severamente reduzida pela formação ou presença do selamento superficial, fenômeno motivado pela pequena porosidade desta camada e à dominância de poros de pequeno diâmetro. Da mesma forma a dinâmica da agregação do solo, assim como os teores de matéria orgânica leve, carbono orgânico total e carbono potencialmente mineralizável são influenciados pelos sistemas de manejo do solo (LOSS et al., 2014).

Já o termo taxa de infiltração refere-se à quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo. Durante o processo de infiltração, estando o solo inicialmente seco, a taxa de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final constante e variável no tempo devido ao uso ou mesmo ao tipo de solo (LIBARD, 1995). As principais causas dessa variabilidade estão relacionadas às propriedades do solo e da água, além do método utilizado para sua determinação.

Lima (1994) destaca que nas áreas com boas condições de cobertura vegetal, a ocorrência de escoamento superficial ao longo de todas as partes da microbacia é rara ou mesmo ausente, por outro lado, áreas parciais da microbacia podem produzir escoamento subsuperficial mesmo quando a intensidade da chuva seja inferior à capacidade de infiltração média para a microbacia como um todo. Estas áreas citadas seriam: (i) as zonas ripárias, áreas saturadas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras, as quais podem se expandir durante chuvas prolongadas ou que possuem concavidades do terreno, para as quais

convergem as linhas de fluxo, como as concavidades frequentemente existentes nas cabeceiras; e (ii) áreas de solo raso, com baixa capacidade de infiltração.

Desta forma, torna-se necessário o entendimento dos processos de infiltração que ocorrem na microbacia para que haja um maior entendimento de onde ocorre a produção de serviços ambientais relacionados à produção de água.

CAPÍTULO I – SERVIÇOS AMBIENTAIS NA BACIA DO SISTEMA GUANDU

RESUMO

BUENO, Mateus Marques. **Serviços ambientais na bacia do Sistema Guandu**. 2017. 29p. Capítulo I - Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

Nas planícies flúvio marinha presente ao longo da costa brasileira as interações entre agentes coordenados pelas ações do mar e a dinâmica fluvial são comuns, oferecendo quantidade e qualidade de serviços ecossistêmicos às suas bacias hidrográficas. Este estudo levantou e regionalizou oferta de serviços ecossistêmicos na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG). Foi utilizado ferramentas de processamento digital para identificar e espacializar por bacias. A oferta diferenciada de chuvas e seus efeitos orográficos justificam precipitações inferiores a 700 mm anuais e mal distribuídas, em áreas a sota-vento de formações montanhosas, até áreas com precipitação anual acima de 2.000 mm. Esta distribuição foi o fator determinante nas áreas dispersoras. Nas áreas onde predominam os efeitos da transposição de vazão perpassa a BHSG, as áreas de armazenamento no lençol freático foram determinantes na separação dos serviços ecossistêmicos. A caracterização das zonas hidrográficas da bacia e do Índice Topográfico de Umidade TWI (ITU-TWI) permitiu a segregação das áreas que funcionam como áreas de captação e abastecimento do sistema das várzeas. As áreas com maior capacidade de produção de água, com ITU-TWI acima do valor 11, estão localizadas, principalmente, nas áreas planas e com cota altimétricas abaixo de 40 m. O entorno dos antigos leitos dos talwegues naturais, cruzados pelo canal do Guandu, tanto a montante como a jusante, apresentam as áreas de maior potencial de produção de água e devem ser priorizadas em programas públicos e privados de preservação do sistema hídrico. O efeito do canal do Guandu, construído há 64 anos condicionam maior retenção a montante aumentando a zona de afloramento. A jusante há redução dos fluxos hídricos.

Palavras-chave: recursos hídricos, índice topográfico de umidade, zonas hidrográficas

ABSTRACT

BUENO, Mateus Marques. 2017. 27p. **Environmental services in the Guandu System basin**. Chapter I - Thesis (Master Science in Environmental and Forestry Science, Nature Conservation). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

In the marine fluvial plains present along the Brazilian coast the interactions between agents coordinated by the actions of the sea and the fluvial dynamics are common, offering quantity and quality of ecosystem services to its watersheds. This study raised and regionalized the offer of ecosystem services in the Guandu Basin Hydrographic Basin (BHSB). Digital processing tools were used to identify and spatialize by basins. The differentiated supply of rainfall and its orographic effects justify rainfall less than 700 mm annually and poorly distributed, in areas with a windward of mountainous formations, to areas with annual precipitation above 2,000 mm. This distribution was the determining factor in the dispersing areas. In the areas where the effects of flow transposition predominate, the storage areas in the water table were determinant in the separation of ecosystem services. The characterization of the hydrogeological zones of the basin and TWI Moisture Topographic Index (ITU-TWI) allowed the segregation of the areas that function as catchment and supply areas of the floodplain system. The areas with the highest water production capacity, with ITU-TWI above 11, are mainly located in flat areas with altimetry elevations below 40 m. The environment of the old beds of the natural riverbed, crossed by the Guandu channel, both upstream and downstream, present the areas with the greatest potential for water production and should be prioritized in public and private programs to preserve the water system. The effect of the Guandu channel, built 64 years ago, condition higher retention upstream by increasing the outcrop zone. Downstream there is a reduction of water flows.

key-words: Water resources, topographic moisture index, hydrogeological zones

1 INTRODUÇÃO

A região da planície flúvio-marinha de Sepetiba no Rio de Janeiro, como as demais ao longo do litoral do Brasil, apresentam serviços ambientais ligados aos recursos hídricos de forma diferenciada, pois as variáveis do relevo, solo e clima, intervenções antrópicas e a influência da cadeia montanhosa condicionam a produção e armazenamento de água no solo, alterando a oferta deste recurso ao longo da bacia hidrográfica.

Desta forma, mesmo em regiões mais próximas ao mar, pode haver diferenciação da capacidade de produção de serviços ecossistêmicos (MEIRELES e CAMPOS, 2010). Esta diferenciação, relativo à produção de recurso hídrico, é causada pela variação dos constituintes dos sedimentos que compõem a planície e da distribuição das chuvas, condicionada pelo relevo local. Somado a isto, as áreas que sofreram mudanças drásticas na sua dinâmica hídrica, como a construção de canais de drenagem, são submetidas a novas interações que geram um novo equilíbrio.

Ademais, o uso intensivo e irregular dos solos e as mudanças climáticas recentes, como o aumento de temperatura e distribuição irregular das chuvas, demandam alternativas mais eficientes no gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente nestes locais onde já existe uma disponibilidade hídrica diferenciada. Desta forma, torna-se necessário a implementação de medidas que diminuam as perdas de água nas microbacias, seja por escoamento superficial ou por evaporação.

As técnicas de geoprocessamento, ligadas às análises ambientais, e a correta interpretação dos processos que ocorrem nas microbacias, possibilitam a identificação das áreas hidrologicamente sensíveis, sendo necessário o conhecimento de suas aptidões e potencialidades. Portanto, com o avanço tecnológico das últimas décadas, a informatização dos dados tem elevada importância para os trabalhos em ciências ambientais, buscando otimizar desde o planejamento até o processamento e interpretação dos dados (PINHEIRO, 2012).

Este estudo objetivou identificar os serviços ecossistêmicos relacionados a oferta de recursos hídricos e espacializá-los na BHSG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A região se caracteriza por apresentar domínio morfoestrutural de bacias sedimentares e cobertura inconsolidada do plio-pleistocênicas, na parte baixa, que compões a planície flúvio-marinha de Sepetiba. Na parte alta predomina a feição Domínio dos Mares de Morros e parte da cadeia montanhosa da Serra do Mar. Este estudo considerou 31 pequenas bacias drenadas por canais naturais e/ou retificados, pertencente à BHSG (Região Hidrográfica – RH II), delimitados pelo INEA, 2013.

2.2 Caracterização física

2.2.1 Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDE-HC)

O Modelo foi obtido por meio do processamento da base cartográfica digital vetorial proveniente do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), datado do ano de 2016, com curvas de nível equidistantes 10 metros, hidrografia e pontos cotados, na escala de 1:25.000. A partir desta base de dados, obteve-se o processamento digital através do Software ArcGis 10.2, segundo o fluxograma apresentado na Figura 4.

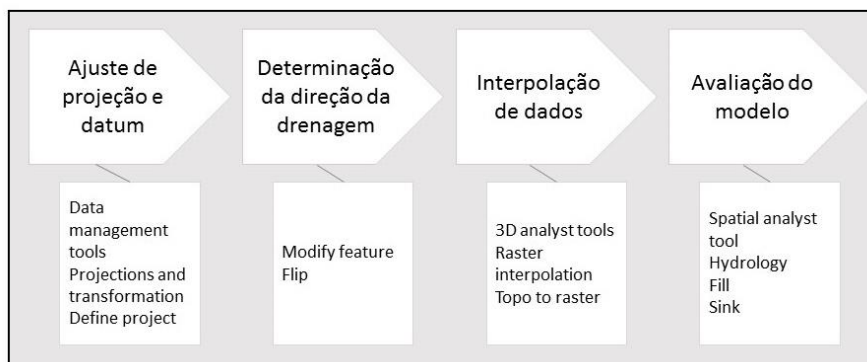


Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos utilizados na obtenção Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDE-HC).

Com MDE-HC foram obtidos e reclassificados: a altimetria (*Spatial Analyst Tools > Reclassify*); a declividade (*Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*); aspecto ou orientação (*Spatial Analyst Tools > Surface > Aspect*); e a superfícies de curvatura (*Spatial Analyst Tools > Surface > curvature*).

2.2.2 Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica

Inicialmente, foram computados os parâmetros físicos: área, perímetro, comprimento dos canais, densidade de drenagem, fator de forma, declividade, orientação e altitude máxima, mínima e média. O Software utilizado neste processamento foi o ArcGis 10.2.

O índice de circularidade (Ke), proposto por Miller (1953), assim como o índice de compacidade (Kc) apresentado em Garcez & Alvarez (1998) foram calculados a partir das equações 1 e 2, respectivamente.

$$Ke = \frac{A*4\pi}{P^2} \quad (1)$$

Onde:

Ke = índice de circularidade, adimensional;

A = área, em km²; e

P = perímetro da bacia hidrográfica, em km.

$$Kc = \frac{0,28*P}{\sqrt[2]{A}} \quad (2)$$

Onde:

Kc = índice de compacidade, adimensional;

P = perímetro da bacia hidrográfica, em km; e

A = área, em km².

A rede de drenagem foi obtida a partir do MDE-HC, segundo o fluxograma apresentado na Figura 5. Esta foi comparada com a drenagem oficial do IBGE, 2010 e também sobrepostas às imagens de satélite de alta resolução, provenientes do satélite Landsat 5 TM, 2006. Este sistema de drenagem final foi ordenado conforme metodologia proposta por Strahler (1957).

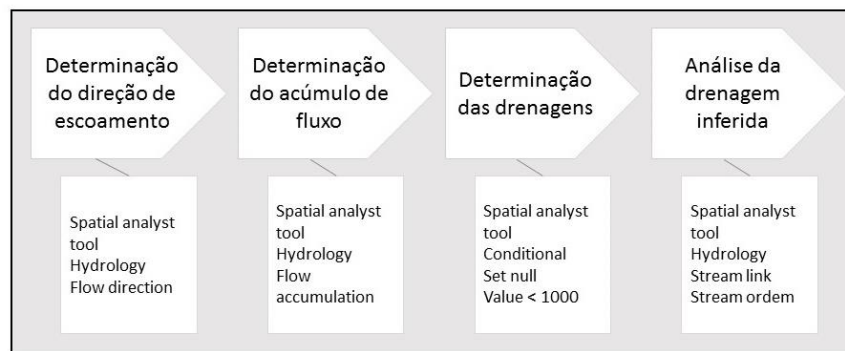


Figura 5 – Fluxograma para determinação da drenagem inferida a partir do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDE-HC).

O comprimento total dos drenos ($\sum L$ em m) BHS e de pequena bacia que a forma foi quantificados para calcular a densidade de drenagem (equação 3):

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (3)$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem, mm⁻²;

$\sum L$ = comprimento dos drenos, em m; e

A = área, em m²;

O Índice de Sinuosidade – IS é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os extremos deste canal (ALVES & CASTRO, 2003) (Equação 4):

$$Is = \frac{L}{l} \quad (4)$$

Onde:

Is = índice de sinuosidade, m/m;

L = comprimento do canal principal, em m; e

l = distância vetorial entre os extremos deste canal, em m.

2.2.3 Solos

A identificação dos solos foi feita através do Software ArcGis 10.2, a partir da base de dados da Embrapa Solos, 2013 – Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro, na escala 1:250.000.

2.2.4 Litologia

A identificação da litologia presente na área da bacia foi realizada com o uso do Software ArcGis 10.2, a partir da base de dados do CPRM, 2003 – Mapas Geológicos do Brasil, na escala 1:1.000.000.

2.3 Índices topográficos de umidade

A delimitação automática se refere à detecção das planícies de inundação pela classificação de uma variável topográfica regional (não local) reconhecida como indicadora, por meio dos índices topográficos de umidade. A metodologia consistiu na obtenção de variáveis topográficas regionais a partir do MDE-HC, com base nos desenvolvimentos dos índices topográficos de umidade.

O processamento dos dados foi realizado pelo software SAGA GIS 2.1.2, através da ferramenta *Terrain Analysis > Hydrology > Topographic Indices*.

2.4 Dinâmica hídrica da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG)

Inicialmente foi realizado a caracterização das precipitações regionais, com busca direta de dados de estações convencionais e automáticas do INMET. Os dados históricos encontrados são referentes às estações localizadas nas cidades de Rio de Janeiro, Resende e Paty de Alferes. Obteve-se os dados de temperatura máxima, mínima e média, precipitação, evaporação potencial e insolação para o período de 01 de janeiro de 1986 a 31 de maio de 2016, para fins de verificação de consistência e continuidade. A análise não retornou um bom resultado e estes dados foram descartados.

No que tange às estações automáticas, o INMET mantém em funcionamento na região, as estações de: (i) Duque de Caxias, Xerem – A603; (ii) Seropédica, Ecologia Agrícola – A601; e (iii) Rio de Janeiro, Vila Militar – A321. Desta forma, para fins de balanço hídrico foi selecionado os dados da estação A601, pela sua localização central em relação à bacia

hidrográfica do sistema Guandu. Os dados foram trabalhados com o intuito de verificar a lâmina de chuva e a evapotranspiração potencial da região.

A dinâmica hídrica das microbacias antropizadas foi determinada a partir da caracterização dos processos geomorfológicos contemporâneos (DALRYMPLE et. al.,1968), modificado por Valcarcel (1987a). Este modelo leva em conta o fato de que as irregularidades da superfície do terreno constituem ajustes do modelado do terreno com inferência nos processos pedogenéticos e hidrológicos.

Com a compreensão da dinâmica hídrica das microbacias antropizadas, realizou-se a classificação das microbacias em suas zonas hidrogenéticas. Para tal classificação utilizou-se o MDE-HC, como o uso do Software ArcGis10.2.1. Os parâmetros utilizados na delimitação foram a altitude (limite de corte de 40 m), a declividade (limite de corte de 4 %) e superfície de curvatura da paisagem (plana e demais categorias).

2.5 Obras de drenagem do Sistema Guandu

Neste item foi realizado uma comparação entre o estudo das obras de construção do canal do Guandu e demais drenagens da região (VALCARCEL et al., 1987) e a hidrografia oficial do IBGE, 2010, sobrepondo o resultado às imagens de satélite de alta resolução, provenientes do satélite Landsat 5 TM, 2006. Além da série histórica de imagens, disponível no programa Google Earth Pro para os anos de 2002 a 2016.

A análise da interferência das obras de drenagem e do canal do Guandu no sistema de armazenamento e fluxo hídrico foi realizada atrás da superposição como o ITU TWI e imagens de satélite.

O processamento dos mapas e imagens foi realizado no ArcGis 10.2.1.

3 RESULTADOS

3.1 Bases cartográficas e variáveis morfométricas

3.1.1 Altimetria

A Figura 6 apresenta as classes altimétricas e suas características estatísticas descritivas (Tabela 2), assim como a distribuição relativa das classes altimétricas (Tabela 3).

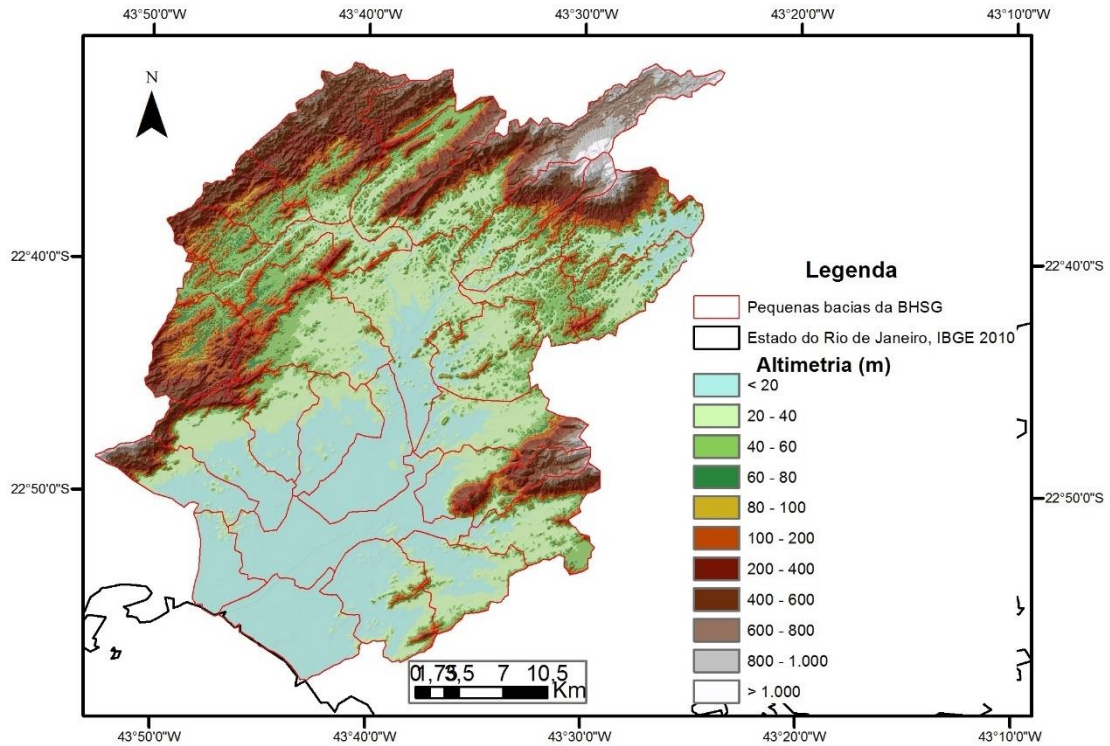


Figura 6 – Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistido (MDE-HC) para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

Tabela 2 – Estatística descritivas do Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistido (MDE-HC) para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

Valor	Altitude (m)
Mínimo	0,00
Máximo	1.613,07
Média	138,92
Desvio padrão	218,16

Tabela 3 – Distribuição da altimetria em classes para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG) e percentagem de área ocupada por cada classe.

Classe (m)	Percentagem (%)
< 20	28,80
20 - 40	22,41
40 - 60	11,21
60 - 80	5,59
80 - 100	3,74
100 - 200	9,11
200 - 400	8,64
400 - 600	4,04
600 - 800	3,95
800 - 1000	1,90
> 1000	0,62

3.1.2 Declividade

O modelo numérico da declividade, em termos de percentagem é apresentado na Figura 7, já a Tabela 4 apresenta-se a percentagem da área da BHSG para cada classe de declividade.

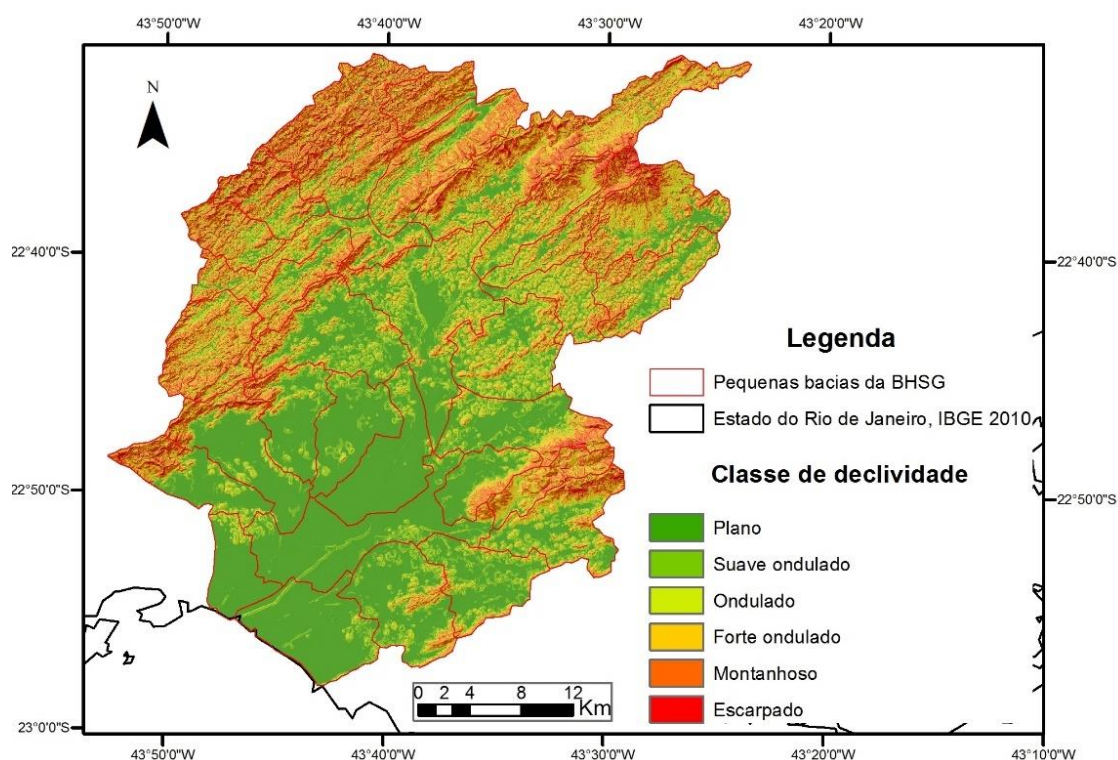


Figura 7 – Modelo para declividade para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), classificado conforme classes propostas por Santos et al. (2013).

Tabela 4 - Distribuição da declividade em classes, conforme Santos et al. (2013), e percentagem de área que cada classe ocupa da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

Classe (%)	Área (%)
Plano (0 a 3%)	36,34
Suave ondulado (3 a 8%)	12,89
Ondulado (8 a 20%)	11,52
Forte ondulado (20 a 45%)	16,93
Montanhoso (45 a 75%)	18,85
Escarpado (> 75%)	3,47

3.1.3 Orientação da vertente

A orientação da vertente é apresentada na Figura 8. A percentagem da área da BHSG em que cada mencionada classe ocupa é apresentada na Tabela 5.

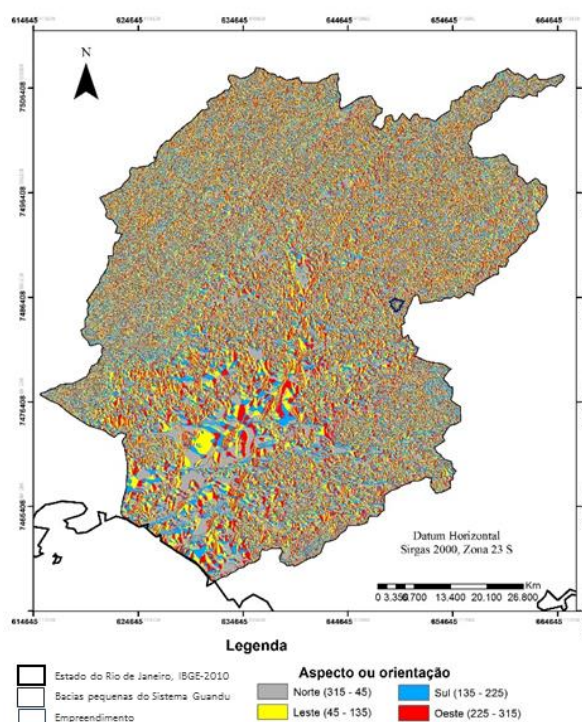


Figura 8 – Modelo gerado para aspecto ou orientação a vertente para a bacia do Sistema Guandu.

Tabela 5 - Distribuição da área da bacia em classe de orientação, de acordo com os pontos cardeais principais.

Classe (°)	Área (%)
Norte (315 -45)	27,63
Leste (45 -135)	23,78
Sul (135 -225)	24,81
Oeste (225 -315)	23,78

3.1.4 Superfícies de curvatura

A superfície de curvatura (Figura 9), perfil de curvatura (Figura 10) e plano de curvatura (Figura 11) foram reclassificados em côncavo, plano e convexo. As feições

observadas, na área de estudo, e a distribuição dos temas gerados para curvatura nas classes (expressa em temas de percentagem relacionado à área da BHSG), assim como os valores máximos e mínimos para cada atributo são apresentados na Tabela 6.

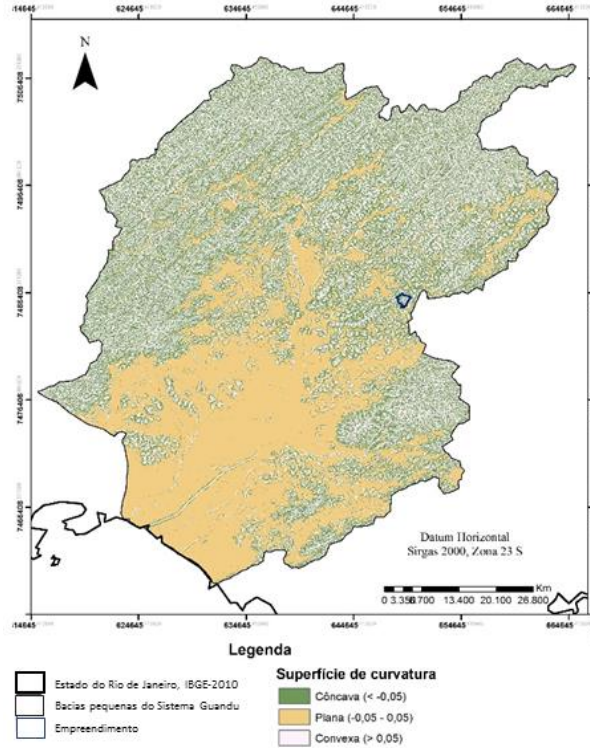


Figura 9 – Superfície de curvatura para a bacia do Sistema Guandu.

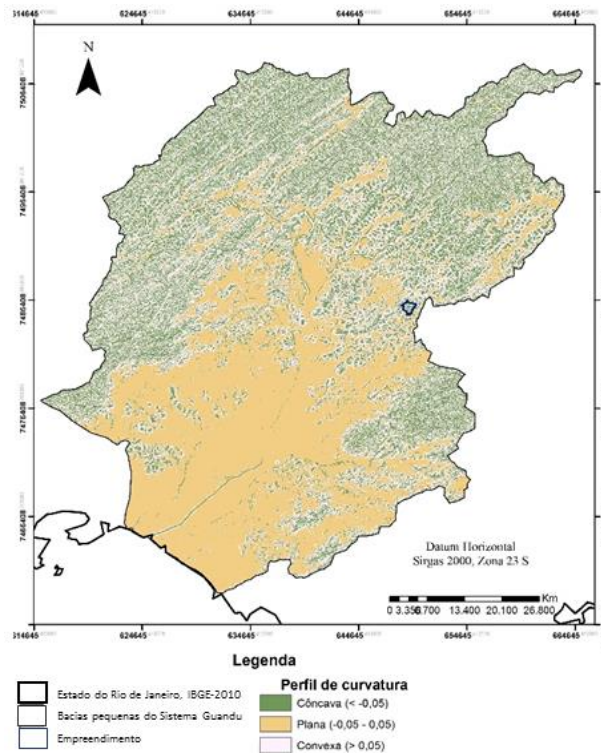


Figura 10 – Perfil de curvatura para a bacia do Sistema Guandu.

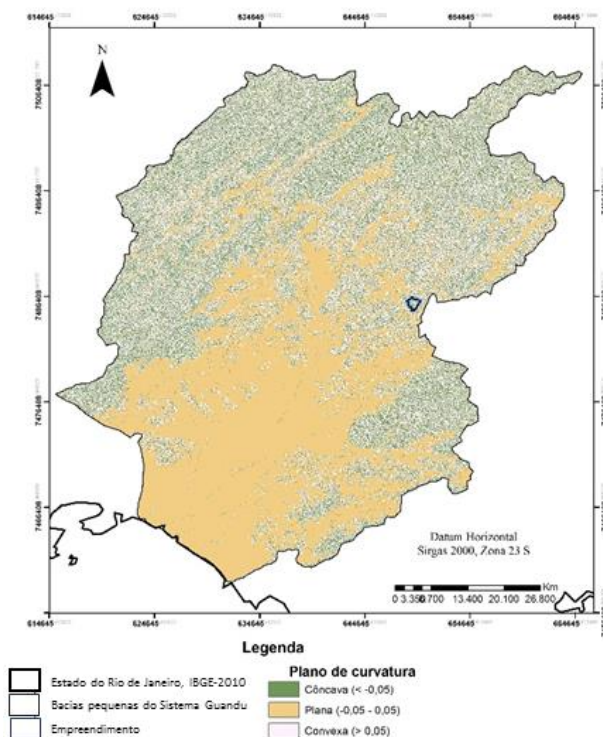


Figura 11 – Plano de curvatura para a bacia do Sistema Guandu.

Tabela 6 – Distribuição dos temas gerados para curvatura nas classes: côncava, plana e convexa e os valores máximos e mínimos para cada atributo.

Atributos	Área (%)			Valores	
	Côncava (< -0,05)	Plana (-0,05 - 0,05)	Convexa (> 0,05)	Máximo	Mínimo
Curvatura	31,63	36,91	31,46	23,58	-53,90
Perfil	26,05	40,77	32,83	40,15	-15,09
Plano	22,05	44,50	33,44	15,09	-34,88

3.2 Caracterização física da Bacia Hidrográfica Sistema Guandu (BHSG)

3.2.1 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos da BHSG, como um todo e individualmente para as bacias que a compõem: área, perímetro, índice de circularidade (Ke), índice de compaticidade (Kc), Densidade de Drenagem (Dd) e Índice de Sinuosidade (Is) foram calculados, assim como a variação estatísticas destes, sendo os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros físicos da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

Item	A	P	ΣL	L	l	Dd	Ke	Kc	Is
	km ²	km	km	m	m	m/m ²	-	-	m/m
BHSG	1.437,59	1.177,77	3.034,50	75.584,85	58.439,59	2,11	0,01	8,70	1,29
629	24,98	22,69	57,26	12.096,05	2.763,63	2,29	0,61	1,27	1,38
670	80,60	47,45	182,82	18.546,54	12.990,15	2,27	0,45	1,48	1,43
676	55,38	38,38	124,63	14.394,31	12.990,19	2,25	0,47	1,44	1,11
679	31,16	27,69	70,02	9.058,68	6.287,42	2,25	0,51	1,39	1,44
680	97,62	73,40	231,78	32.277,88	27.662,56	2,37	0,23	2,08	1,17
686	25,85	23,66	57,62	8.418,06	5.795,10	2,23	0,58	1,30	1,45
689	55,66	37,51	146,30	12.141,25	6.287,42	2,63	0,50	1,41	1,93
690	36,96	33,49	95,10	16.378,08	13.779,65	2,57	0,41	1,54	1,19
694	29,79	37,33	74,31	17.519,94	15.084,21	2,49	0,27	1,91	1,16
707	43,50	58,38	108,79	20.100,51	16.042,07	2,50	0,16	2,48	1,25
712	40,68	34,09	92,44	13.998,92	11.730,74	2,27	0,44	1,50	1,19
716	24,13	28,38	56,69	12.027,80	9.919,56	2,35	0,38	1,62	1,21
717	29,23	36,15	70,06	7.829,59	6.294,58	2,40	0,28	1,87	1,24
728	61,21	39,57	140,10	14.572,89	11.441,41	2,29	0,49	1,42	1,27
733	52,94	34,02	116,64	10.195,36	9.394,11	2,20	0,57	1,31	1,09
734	47,44	28,75	115,33	11.436,97	9.167,53	2,43	0,72	1,17	1,25
753	85,01	61,37	198,30	20.652,88	16.280,15	2,33	0,28	1,86	1,27
757	50,06	41,27	115,55	17.178,21	13.590,73	2,31	0,37	1,63	1,26
765	38,03	31,52	82,35	9.770,26	9.047,23	2,17	0,48	1,43	1,08
771	39,36	32,02	87,02	8.813,97	7.630,04	2,21	0,48	1,43	1,16
779	26,05	24,49	55,57	8.636,09	7.382,69	2,13	0,55	1,34	1,17
780	48,01	39,31	84,55	15.657,08	12.654,35	1,76	0,39	1,59	1,24
783	22,75	28,17	48,41	11.628,15	10.023,34	2,13	0,36	1,65	1,16
784	37,82	34,30	89,80	13.017,75	12.265,06	2,37	0,40	1,56	1,06
787	53,08	43,02	130,23	14.513,62	11.668,40	2,45	0,36	1,65	1,24
801	48,53	40,09	103,68	13.132,87	11.021,79	2,14	0,38	1,61	1,19
806	72,87	70,59	169,50	15.216,71	14.738,26	2,33	0,18	2,32	1,03
813	26,17	25,81	45,69	5.742,56	5.142,08	1,75	0,49	1,41	1,12
822	42,39	33,59	92,29	9.686,88	8.811,01	2,18	0,47	1,44	1,10
835	55,81	34,66	112,79	11.144,91	7.727,16	2,02	0,58	1,30	1,44
841	54,52	36,63	110,73	12.631,90	6.815,07	2,03	0,51	1,39	1,85

Legenda: A - área da bacia hidrográfica; P - perímetro da bacia hidrográfica; ΣL - comprimento de todos os drenos da bacia hidrográfica; L - comprimento do dreno principal da bacia hidrográfica; l - comprimento vetorial dos extremos do dreno principal da bacia hidrográfica; Dd - densidade de drenagem; Ke - índice de circularidade; Kc - índice de compacidade e Is - índice de sinuosidade.

Tabela 8 – Estatística descritiva dos parâmetros físicos das 31 pequenas bacias que compõem a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

Atributo	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Dd	2,63	1,75	2,26	2,27	0,19
Ke	0,72	0,16	0,43	0,45	0,13
Kc	2,48	1,17	1,57	1,48	0,30
Is	1,93	1,03	1,26	1,21	0,20

A drenagem da BHSG (Figura 12), gerada a partir do MDE-HC, foi ordenada (mostrado em azul e com espessura de linha variável conforme a ordem) de acordo com a metodologia proposta por Strahler (1957).

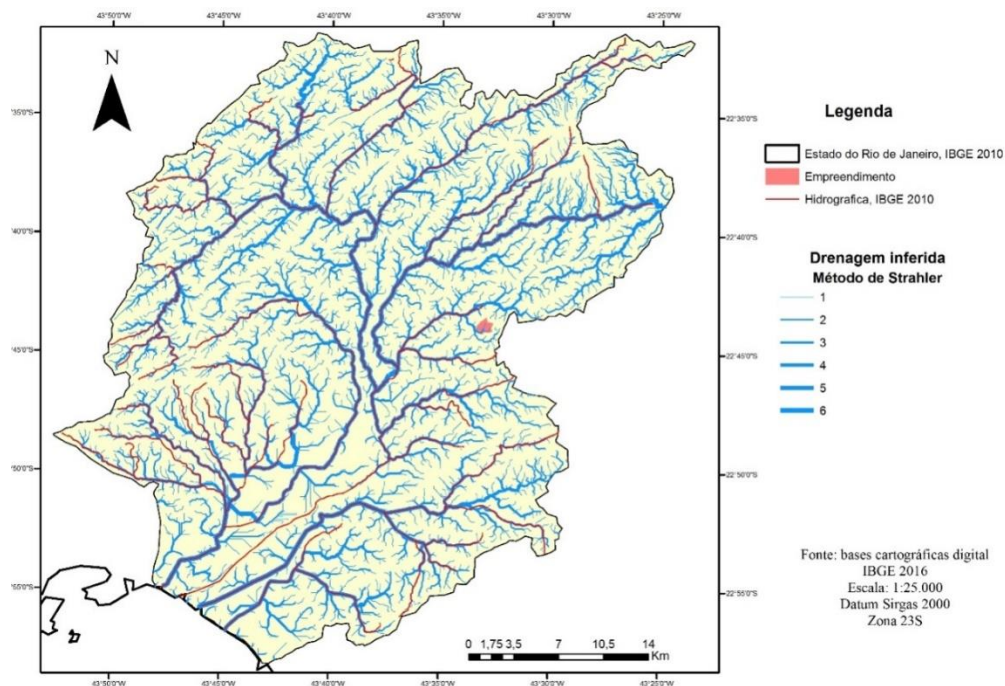


Figura 12 – Rede de drenagem para as pequenas que compõem a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHS), gerada a partir do MDE-HC, sobreposta à hidrografia oficial do IBGE, 2016 (modificado).

A rede de drenagem inferida corrigida é apresentada na Figura 13.

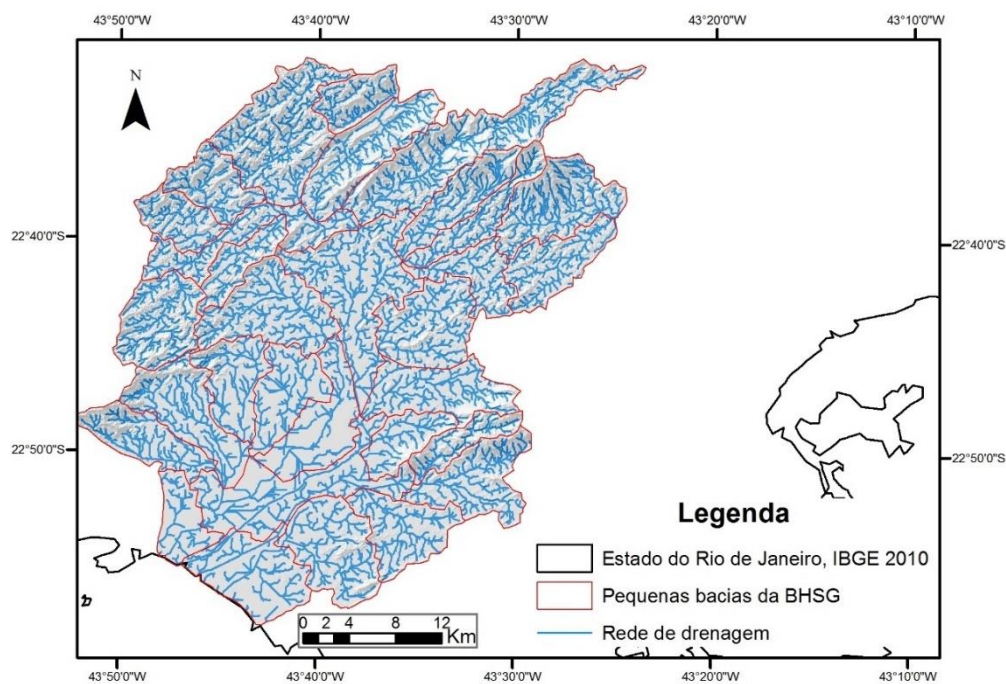


Figura 13 – Rede de drenagem final da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHS), gerada a partir do Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistido (MDE-HC) e corrigido com base na hidrografia oficial determinada pelo IBGE (2016).

3.2.2 Solos

A região de contato com o mar, seguida da região com baixa declividade e altimetria (zona de afloramento) são compostas por Planossolo Háplico e representam 33,92 % da área total da bacia. Já o Argilossolo Vermelho-Amarelo domina quase a totalidade do restante da bacia 63,45 % (Figura 14 e Tabela 9).

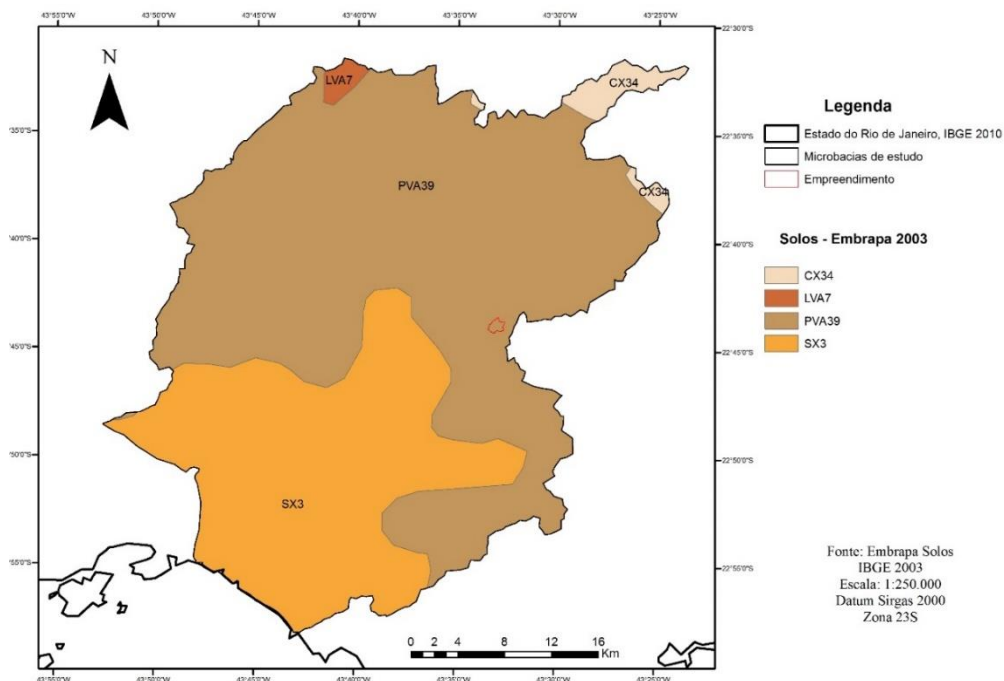


Figura 14 – Classes de solo presentes na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG). **Fonte:** Embrapa Solos, 2013

Tabela 9 – Classes de solo identificadas na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG). **Fonte:** Embrapa Solos, 2013.

Símbolo	Nome	Área (ha)	Porcentagem (%)
PVA39	Argilossolo Vermelho-amarelo	91.221,45	63,45
LVA7	Latossolo Vermelho-amarelo	899,92	0,63
CX34	Cambissolo Háplico	2.872,59	2,00
SX	Planossolo Háplico	48.763,86	33,92
Total		143.757,81	100,00

3.2.3 Características geomorfológicas

As classes geomorfológicas (Figura 15) presentes na bacia do Sistema Guandu e suas características foram sintetizadas nas Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12.

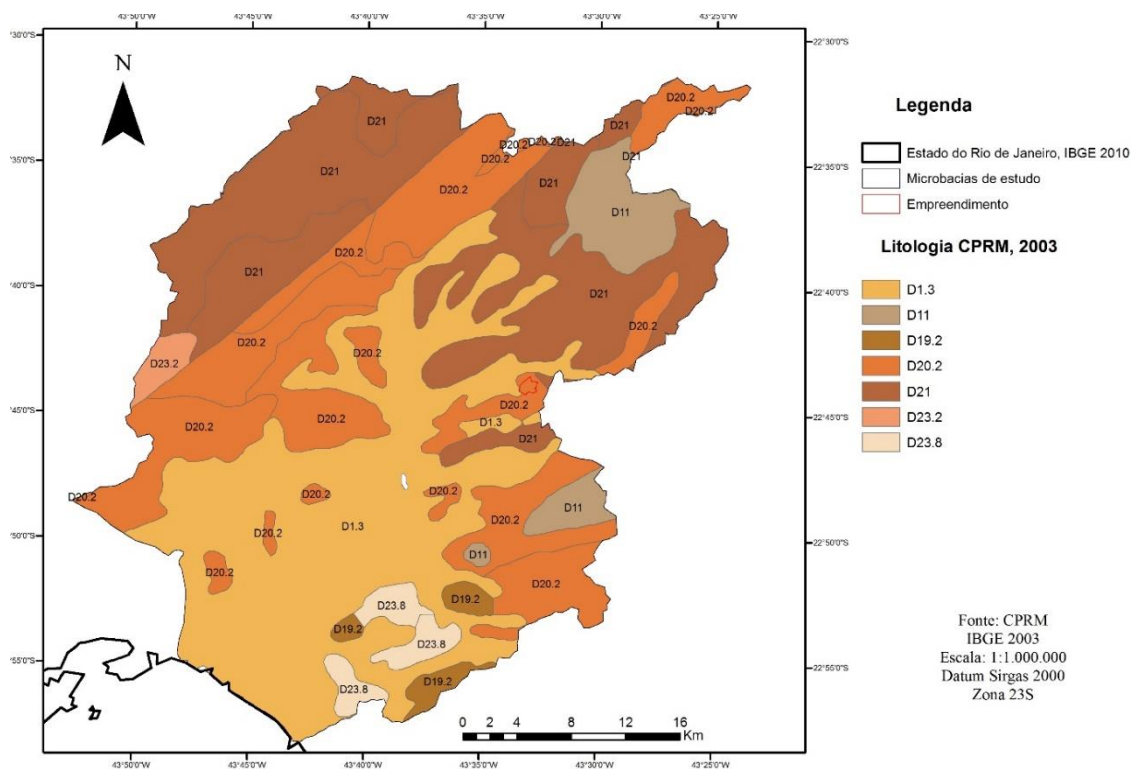


Figura 15 – Geomorfologia da bacia hidrográfica do Sistema Guandu. **Fonte:** CPRM, 2003.

Tabela 10 – Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), descrição, dobramento e fratura. **Fonte:** CPRM, 2003.

Código	Geologia	Descrição	Dobramentos	Fratura
D1.3	Depósito flúvio lacustre	Depósitos inconsolidados: areia, cascalho, silte, argila e turfa. Cenozóicos - Q	Não dobrada	Não fraturada
D11	Indiferenciado	Complexos alcalinos intrusivos e extrusivos, diferenciados do mesozóico superior, terciário inferior e do proterozoico.	Não dobrada	Intensamente fraturada
D19.2	Monzo-granodiorito	Complexos granitóides não ou pouco deformados: granitóides tardi a pós-tectônicos. Pouco ou não deformados	Não dobrada	
D20.2	Monzo-granodiorito	Complexos granitóides deformados: granitóides sin a tardi tectônicos, crosta superior deformados	Não dobrada	
D21	Indiferenciado	Complexos granitóides muito deformados: granitóides pré a sin tectônicos. Crosta inferior a intermediária. Muito deformados	Não dobrada	
D23.8	Gnaise Ortoderivado	Complexos granito-gnaise-migmatitos e granulitos. Crosta inferior	Intensamente dobrada	

Tabela 11 – Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), aspecto, intemperização, textura e porosidade primária. **Fonte:** CPRM, 2003.

Código	Geologia	Aspecto	Intemperização	Textura	Porosidade primária
D1.3	Depósito flúvio lacustre	Estratificada	Não se aplica	Não se aplica	Alta - (>30%)
D11	Indiferenciado	Maciça	Moderada a alta	Predominantemente argiloso	Baixa - (0 a 15%)
D19.2	Monzo-granodiorito	Maciça	Moderada a alta	Predominantemente argilo-síltico-arenoso	
D20.2	Monzo-granodiorito	Gnáissica	Moderada a alta		
D21	Indiferenciado	Variável	Moderada a alta		
D23.8	Gnaisse Ortoderivado	Bandada	Baixa a alta na horizontal e na vertical		

Tabela 12 – Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSB), relevo, amplitude topográfica, declividade e área. **Fonte:** CPRM, 2003.

Código	Relevo	Amplitude Topográfica	Declividade	Área (ha)	Porcentagem (%)
D1.3	Planícies Flúvio-Marinhas	Zero	0°	49.768,26	34,63
D11	Domínio Montanhoso	300 a 2.000 metros	25 a 45°	2.030,25	1,41
D11	Escarpas serranas	300 a 2.000 metros	25 a 60°	5.244,35	3,65
D19.2	Domínio de Colinas Amplas e Suaves	20 a 50 metros	3 a 10°	1.062,87	0,74
D19.2	Domínio de Morros e de Serras Baixas	80 a 200 metros	15 a 35°	991,70	0,69
D20.2	Domínio de Colinas Amplas e Suaves	20 a 50 metros	3 a 10°	10.261,02	7,14
D20.2	Dissecadas e Morros Baixo	30 a 80 metros	5 a 20°	6.108,40	4,25
D20.2	Domínio de Morros e de Serras Baixas	80 a 200 metros	15 a 35°	5.138,56	3,58
D20.2	Domínio Montanhoso	300 a 2.000 metros	25 a 45°	18.663,57	12,99
D21	Domínio de Colinas Amplas e Suaves	20 a 50 metros	3 a 10°	1.226,42	0,85
D21	Dissecadas e Morros Baixo	30 a 80 metros	5 a 20°	20.349,02	14,16
D21	Domínio de Morros e de Serras Baixas	80 a 200 metros	15 a 35°	1.891,35	1,32
D21	Domínio Montanhoso	300 a 2.000 metros	25 a 45°	642,11	0,45
D21	Escarpas Serranas	300 a 2.000 metros	25 a 60°	16.897,78	11,76
D23.8	Domínio de Colinas Amplas e Suaves	20 a 50 metros	3 a 10°	2.165,02	1,51
D23.8	Domínio de Morros e de Serras Baixas	80 a 200 metros	15 a 35°	1.255,53	0,87
Total				143.696,19	100,00

3.3 Índices topográficos de umidade

Na sequência são apresentados o Índice de Umidade SAGA – SAGA (Figura 16); o Índice de Umidade Topográfica – TWI (Figura 17); e o Índice de Classificação de Áreas de Planícies – TCI *Low* (Figura 18), assim como a distribuição da área da bacia hidrográfica em função das classes dos índices de umidade (Tabela 13).

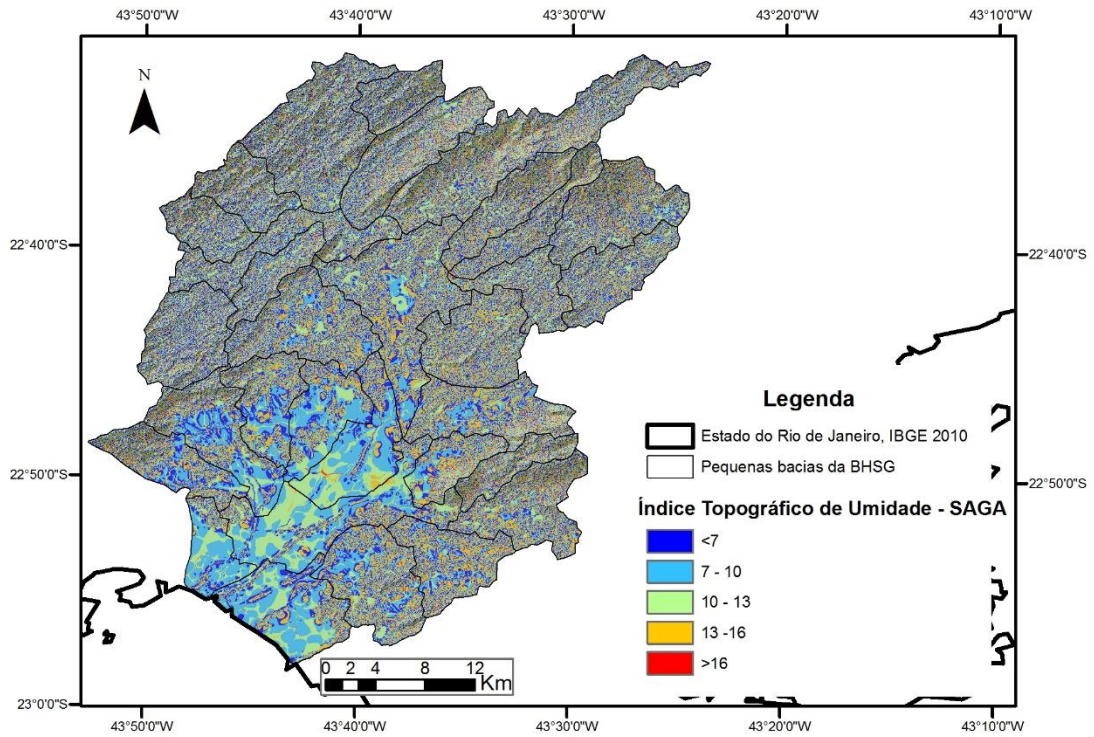


Figura 16 – Índice Topográfico de Umidade (ITU) SAGA, para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

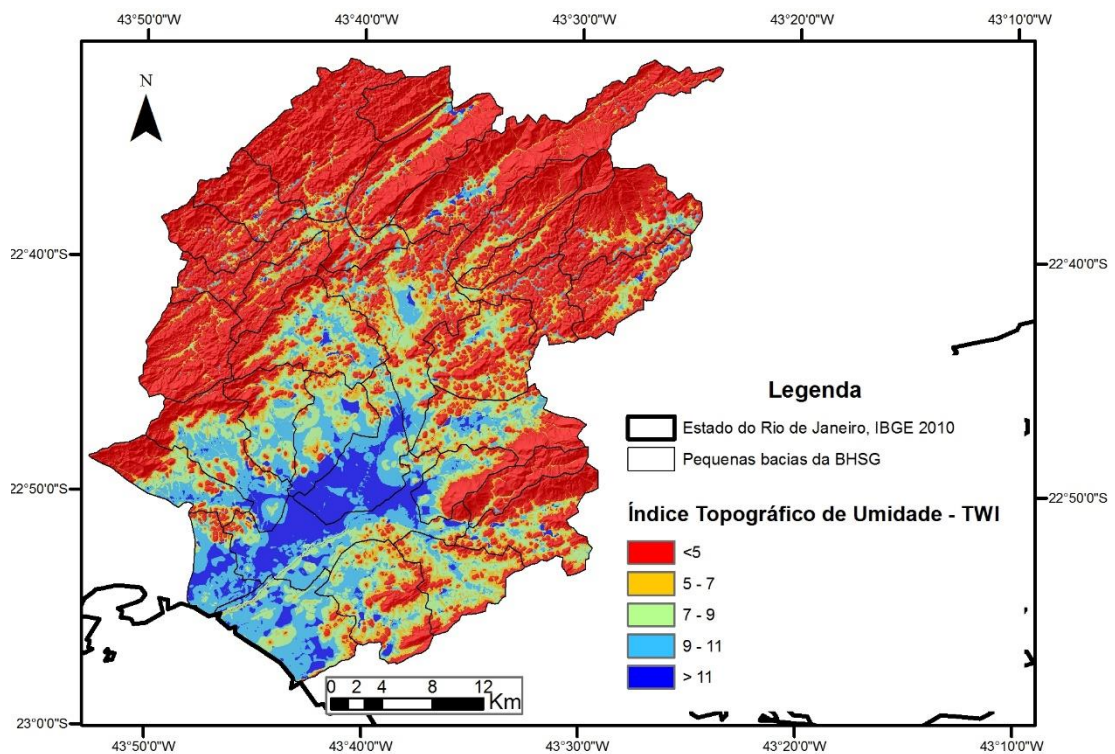


Figura 17 – Índice Topográfico de Umidade (ITU) TWI, para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

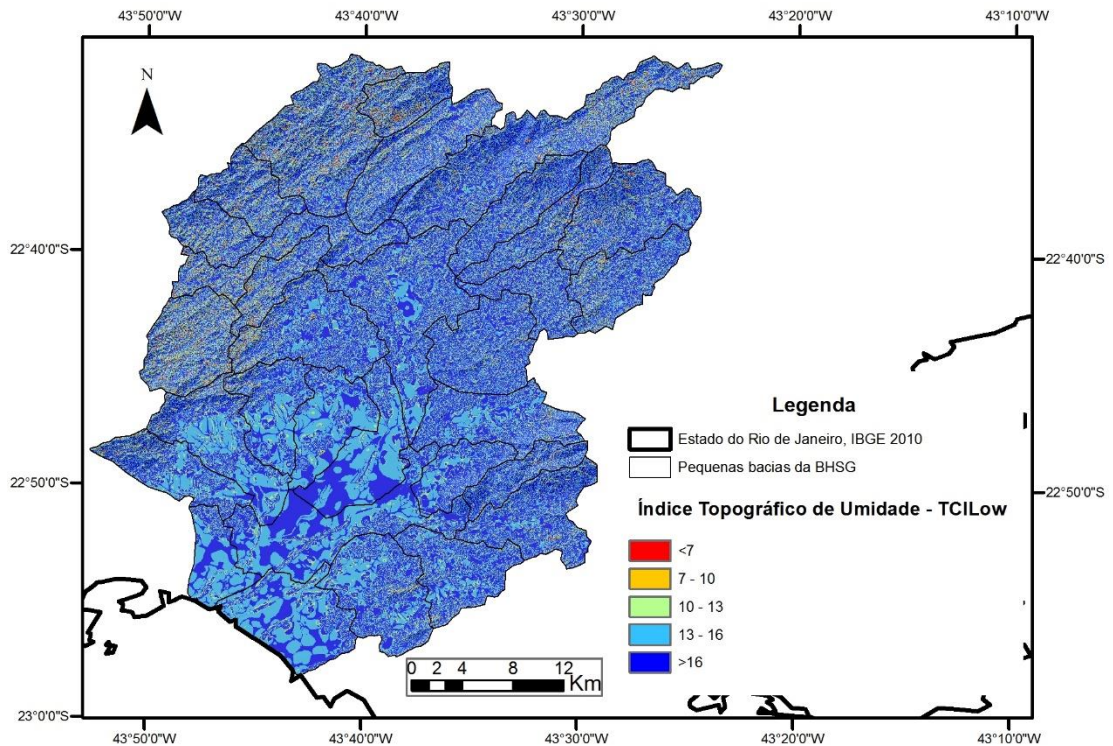


Figura 18 – Índice Topográfico de Umidade (ITU) TCILow, para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

Tabela 13 – Distribuição das classes dos Índices Topográficos de Umidade (ITU) SAGA, TWI e TCILow para a Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG) e percentagem da área ocupada por cada classe na bacia.

SAGA		TWI		TCILow	
Classe	Área (%)	Classe	Área (%)	Classe	Área (%)
< 7	25,80	< 5	53,24	< 0,83	0,57
7 - 10	24,55	5 - 7	13,12	0,83 - 0,90	3,24
10 - 13	18,23	7 - 9	14,13	0,90 - 0,92	15,89
13 - 16	28,90	9 - 11	13,17	0,92 - 0,95	34,48
>16	2,52	> 11	6,34	0,95 - 1,00	45,83

3.4 Dinâmica hídrica da Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG)

Os fluxos hídricos da BHSG foram especializados e classificados conforme as zonas hidrogenéticas, mostrado na Figura 19.

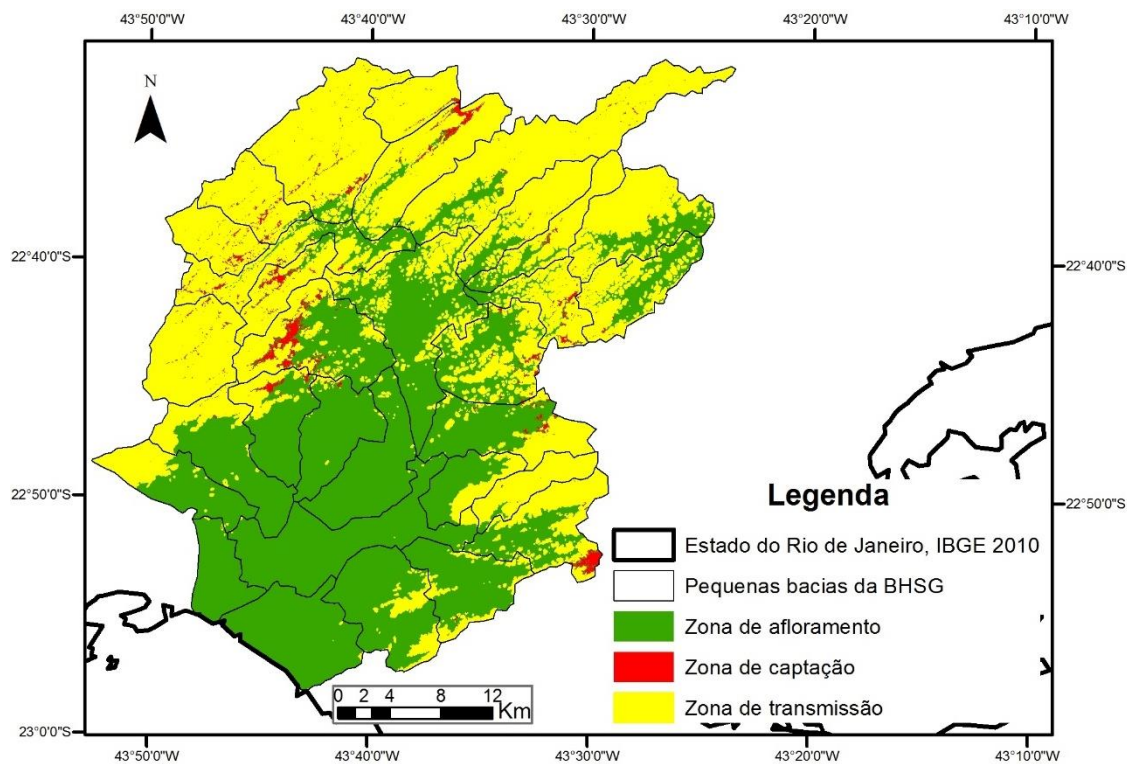


Figura 19 – Zonas hidrogenéticas da bacia do Sistema Guandu.

3.5 Caracterização das obras de drenagem

A transposição de água do rio Paraíba pelo Guandu teve início em 1952, porém de forma indireta, ou seja, da bacia do Pirai (tributário do Paraíba do Sul) foi anterior. Desde então este canal provoca mudanças no sistema hídrico em seu traçado, que contorna as regiões úmidas da planície de inundação e se conecta com os leitos dos canais naturais existentes. A localização do canal do Guandu projetado sobre o índice de umidade TWI e comparado com a rede de drenagem natural evidencia a estratégia de construção, que primou pelo escavamento do canal pelas partes menos baixa da planície de inundação (Figura 20).

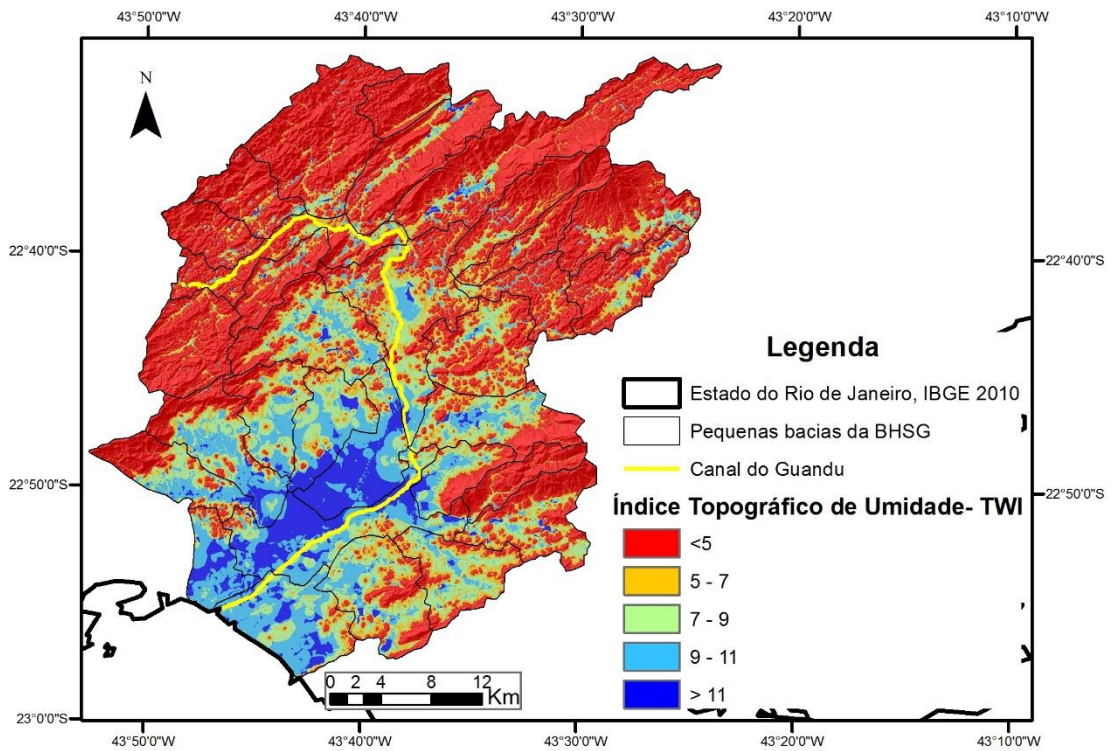


Figura 20 – Canal do Guandu traçado sobre o Índice Topográfico de Umidade TWI na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHS). Destaque para o aumento no valor do índice de umidade á montante da passagem do canal, conforme a declividade da área.

O esquema de construção dos canais segue os esquemas propostos na Figura 21. Estes padrões de construção levam em consideração o nível do lençol freático e as variações sazonais deste devido a influência do marítima e fluvial.

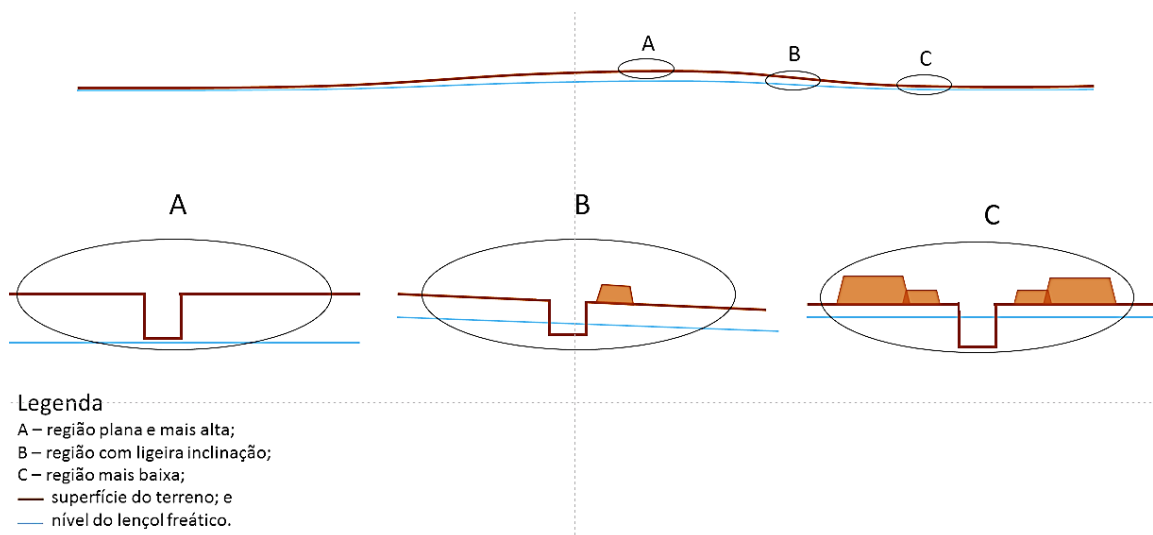


Figura 21 – Esquemas de construção do canal do Guandu na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHS) em diferentes declividades e posições do lençol freático.

4 DISCUSSÕES

A BHSG, aqui estudada, tem 1.407,58 km², dos quais 50,21% (720,81 km²) com altitude inferior a 40 m, 36,33% (511,49 km²) relevo plano e 6,34 % (91,21 km²) tem ITU TWI acima de 11 unidades de, ou seja, são áreas úmidas. Imediatamente contíguo a estas áreas, há as áreas saturadas com menor intensidade, com valores de ITU TWI entre 5 e 11 unidades, totalizando 580,97 km², ou seja, 40,41 % da área total da BHSG. O relevo nesta área é caracterizado suave ondulado, ondulado e forte ondulado. As áreas mais secas, representam 53,24 % (765,40 km²) e estão localizadas nas áreas periféricas que não estão em contato com o mar. O relevo predominante é montanhoso e em pequenas porções escarpado.

A análise dos índices físicos da BHSG e das pequenas bacias que a compõe, indica uma variação, uma vez que os valores de K_e e K_c , apontam para a presença de formas mais arredondadas na região centro sul e formas mais alongadas no entorno. Similarmente ao verificado pela análise dos índices D_d e I_s , que mostram que as pequenas bacias do entorno são mais drenadas (valores acima da média, 2,26) e com índice de sinuosidade mais distantes da unidade. Santos et. al. (2012) mostrou que quanto mais alongadas e com melhores condições de drenagem mais propício que haja perda de água pelo exutório da bacia hidrográfica.

Os condicionantes geológicos e climáticos influenciaram marcadamente os efeitos dos fatores geomorfológicos, que permitindo formação de sítios com alta variação climática, de elevada precipitação a regiões onde predominam déficit hídrico a maior parte do ano, ou seja, de precipitações bem distribuídas com índices de 2.000mm/ano bem distribuído, até precipitação anual de 700 mm, mal distribuídas, em áreas a sota-vento de formações montanhosas. Esta variabilidade ocasiona diferenças na oferta dos serviços ambientais disponíveis nas pequenas da BHSG, visível na variabilidade observada nos valores de obtidos para o ITU TWI, que ocorrem preferencialmente nos depósitos inconsolidados de areia, cascalho, silte, argila e turfa.

Este efeito também pode ser verificado na distribuição dos solos, uma vez que as a os Planossolos por possuir baixa quantidade de argila na superfície tem menor capacidade de armazenamento superficial de água, desta forma, o fluxo hídrico é condicionado por outros fatores, principalmente relevo e o potencial hidráulico a montante e a jusante (DONAGEMA et al., 2011). A predominância de Planossolo nas regiões planas e Argissolos e Latossolos nas áreas de mares de morro e montanha, torna evidente a diferenciação da capacidade de armazenamento e fluxo hídrico na bacia, assim como a distribuição das feições morfológicas.

As áreas menos drenadas e que recebem material proveniente das partes altas são formadas, quase que em sua totalidade, por Planossolos (32,92%). Lima et al. (2003), ao estudarem o efeito de diferentes usos sobre Planossolos, verificou que a formação e a estabilização de agregados ocorrem simultaneamente mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos no solo. Estes agregados, que são os agentes estruturadores do solo, armazenam água e conduzem os fluxos verticais e horizontais de água no solo.

Há de salientar que, o uso do solo promove modificações nos atributos físicos, principalmente na estrutura do solo, que podem favorecer ou prejudicar o armazenamento de água no solo (BEUTLER et al., 2002). O cultivo intensivo e sem o desenvolvimento de práticas conservacionistas, durante vários anos, como o ocorrido na região de transição, podem degradar os solos, alterando a sua retenção de água.

A influência fluvial no armazenamento de água nos solos das planícies flúvio marinhas está relacionada com as peculiaridades destes locais e seu manejo. Quando há um desequilíbrio, gerado por alterações no uso do solo ou mesmo por períodos de restrição, pode prevalecer a influência do mar. Por outro lado, em condições de preservação e normalidade climática, a maior influência é dada pela água pluvial.

Liang & Chan (2017) estudaram a relação entre o TWI e a pressão de água no solo, esta relação é positiva entre estes dois fatores e é variável no espaço e no tempo, em uma bacia de captação natural com floresta. Desta forma, pode-se afirmar que o TWI pode ser correlacionado com profundidade e capacidade do solo em manter água ao longo do tempo. Avaliação similar, mas em solos agrícolas, realizada por Buchanan (2014) demonstram que o índice TWI pode ser correlacionado com faixas de umidades dos solos superficial e profunda, podendo coexistir.

As áreas úmidas operam hidrologicamente de forma harmônica com as áreas de transição, funcionando como os grandes aquíferos que atingem a superfície do solo da planície de inundação, que ao se apresentarem saturados se estendem lateralmente pelas áreas dos antigos talwegues entulhados pelos sedimentos grosseiros de influência fluvial das bacias hidrográficas, onde se encontram os atuais e antigos areais de presentes na planície.

Os serviços ecossistêmicos prevalentes nas áreas úmidas, são similares aos das zonas de afloramento, que totalizam 736,73 km². Neles se observa o represamento dos fluxos sub superficiais e profundos, em função das influencias dos níveis de oscilações de marés. Na parte mais próxima ao mar, existe a interdependência entre os efeitos da intrusão salina, que

confere alto grau de salinidade até 8 km na calha do Guandu e se introduz para o interior do continente pelas linhas dos canais de drenagem (SALAMENE et al., 2011).

Estes fatores mostram que há uma ampla variação no que tange a dinâmica hídrica deste sistema, assim como pode-se afirmar que, para a área plana, há uma forte influência natural do lençol freático no sistema de controle hídrico da bacia, o que confere a estas áreas predominâncias dos movimentos horizontais da água em subsuperfície. Já para as áreas montanhosas, há predominâncias dos movimentos horizontais e verticais na superfície e nas áreas de transmissão há uma coexistência de ambos.

Neste sentido, a declividade é a expressão do potencial de movimento de massa, velocidade do fluxo de água e outros processos erosivos (PINHEIRO, 2012), e condiciona o teor de água que um solo pode reter, o potencial de erosão ou disposição, entre outros processos fundamentais (WILSON & GALLANT, 2000). Desta forma, verifica-se a maior parte da área tem potencial natural reduzido para processos erosivos. Este fato é comprovado quando se observa a classificação das zonas hidrogeológicas, onde se percebe que a maior parte da bacia é composta de zonas de afloramento, onde não há predominância de movimentação superficial da água, a exceção nas linhas de drenagem.

Similarmente, os dados de curvatura, plano e perfil auxiliam na interpretação das características morfológicas da paisagem como suscetibilidade a erosão, escoamento superficial, armazenamento e fluxo da água, entre outros (HALL & OLSON, 1991). Na área de estudo há uma predominância do perfil topográfico plano seguido do atributo convexo. Estes indicadores mostram que há uma diferenciação na dinâmica dos fluxos hídricos ao longo da bacia, ou seja, na zona de afloramento predominam os fluxos horizontais e na zona de transmissão há interferência dos fluxos horizontais e verticais. Este padrão mostra que há uma diferenciação da capacidade de fornecimento de serviços ambientais nestas zonas.

Por outro lado, a orientação da vertente é importante pois possibilita a visualização da face de exposição ao sol, e assim é possível inferir sobre o microclima local (temperatura, precipitação e umidade), e sobre a diferenciação do processo de evapotranspiração das áreas (VALERIANO, 2003). A BHSG apresenta apenas uma ligeira predominância da vertente Norte (cerca de 28%), as demais orientações são distribuídas uniformemente. A pouca variação indica que há uma homogeneidade no que tange à exposição do sol e, conseqüentemente na capacidade de perda de umidade. Entretanto, a avaliação desse parâmetro para microbacias específicas mostram as diferenças de exposição e por conseguinte, da capacidade de produção de água.

Salamene et al. (2011) estudou o leito do canal Guandu e a interação deste com uma faixa de (100 m) e contígua, considerada Área de Proteção Permanente (APP). Este trabalho secciona esta faixa em 4 ambientes, leito encaixado, várzea fluvial, planície aluvionar e fluviomarinho, partindo da região de áreas com altitudes inferiores a 40 m até o nível do mar. Esta variação de características mostra que ao longo do canal há uma variação deste sobre os fluxos hídricos, uma vez que este canal artificial interrompeu o fluxo hídrico superficial natural e provocou o rebaixamento do lençol freático a jusante.

Esta alteração, provocou o incremento da zona de afloramento a montante e diminuindo a jusante (Figura 22). Consequentemente, modificou-se a dinâmica hídrica local, fazendo que com que as zonas de regulação sofram alterações. O impacto desta alteração deve ser levado em conta nas políticas públicas relacionadas à APA do Guandu, uma vez que a conservação deste recurso é de fundamental importância para o desenvolvimento da RMRJ.

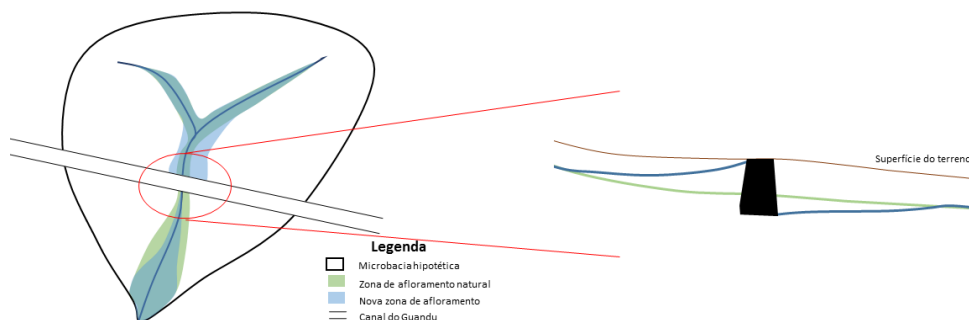


Figura 22 – Esquema de uma microbacia hipotética ao sofrer a ação de um canal artificial, construído transversalmente ao fluxo natural. Destaque para as alterações na zona de afloramento, com incremento a montante e restrição a jusante.

5 CONCLUSÃO

A oferta diferenciada de chuvas provenientes dos efeitos orográficos na bacia, variando de precipitações inferiores a 700 mm anuais e mal distribuídas, em áreas a sotavento de formações montanhosas, até áreas com precipitação anual acima de 2.000 mm e bem distribuídas, região de contato com a cadeia montanhosa constitui um fator importante para o planejamento, porém, com o ingresso de vazão constante de 160 m³/s pela transposição que perpassa a BHSG, valoriza em termos de serviços ambientais, as áreas de armazenamento no lençol freático.

A caracterização das zonas hidrogenéticas da bacia e o ITU-TWI permitiu segregar áreas que funcionam como áreas de captação e abastecimento do sistema das várzeas. Estas áreas estão localizadas, principalmente, nas áreas do entorno dos antigos leitos dos talwegues naturais, cruzados pelo canal do Guandu, tanto a montante como a jusante, devendo ser priorizadas em programas públicos e privados de preservação do sistema hídrico, embora tenha diminuta área ocupada. Nas áreas ocupadas pela planície de inundação o índice topográfico de umidade TWI possibilitou a identificação de áreas diferenciadas a respeito da produção de água.

Esta diferenciação está vinculada ao efeito do canal do Guandu e aos talwegues naturais dos rios da BHSG. O canal do Guandu ao passar pelas áreas de influência da planície de inundação afeta positivamente as zonas de afloramento a montante. Já a jusante pode ser percebida uma modificação no sentido de diminuir o fluxo hídrico e causar déficit, proveniente, principalmente, do rebaixamento do lençol freático e a própria modificação no sistema de drenagem. Nas áreas com cota acima de 40 m o efeito da planície de inundação e do canal de transposição já praticamente não são sentidos. As microbacias localizadas nestas áreas precisam se autodeterminar hidrológicamente, ou seja, dependem da forma de como se dão as entradas de chuva, armazenamento e saída da água do sistema.

CAPÍTULO II – PRODUÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS EM AMBIENTES IMPACTADOS

RESUMO

BUENO, Mateus Marques. **Produção de serviços ambientais em ambientes impactados**. 2017. 32p. Capítulo II - Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

Os efeitos diferenciados da produção de serviços ambientais em microbacias, por serem hidrologicamente sensíveis, podem ser mensurados devido a capacidade de regularização das vazões de saída em seu exutório. Já em áreas impactadas esta função ecossistêmica é afetada e, em algumas situações, deixa de existir completamente. Nestes casos, há a necessidade de se implementar medidas mitigadoras e compensatórias aos impactos para que haja a produção de serviços ambientais. Este estudo avaliou as medidas mitigadoras de impactos e potencializadoras de serviços ambientais implementadas e em funcionamento em um microbacias com atividade de mineração, localizado em área de baixa capacidade natural de produção de serviços ambientais. O objetivo do estudo foi mensurar a produção de água e sedimentos deste sistema. Essa avaliação deu-se através da descrição de uma série de medidas voltada para a captação, armazenamento e recirculação de água durante a exploração da lavra. Tais microbacias estão localizadas na área de transição da planície de inundação e mares de morros, na bacia hidrográfica do Sistema Guandu. O fluxo hídrico de escoamento identificado nestas áreas é preferencialmente horizontal, o que facilita a produção de sedimentos e impede que a água da chuva permaneça no sistema. Isto porque, em toda área a camada orgânica dos solos é rasa, com presença de camadas de impedimentos ao longo do perfil e contato lítico próximo. A redução do conteúdo de matéria orgânica, favorece a instabilidade dos agregados nos horizontes superficiais e conseqüentemente estes tornam-se mais suscetíveis aos processos erosivos, intensificando a produção de sedimentos. Além disto, as áreas naturais de acúmulo de água, as várzeas, são pequenas e não possuem contato direto com planície de inundação. Na zona de transmissão, os valores de condutividade hidráulica, ao longo do perfil, sugerem que a infiltração diminui em profundidade, este fato é corroborado pelos valores de densidade do solo que aumentam com a profundidade. O conjunto de medidas implementadas garantiu que a demanda hídrica deficitária do empreendimento fosse suprida ao longo dos anos de funcionamento, mesmo em época de déficit hídrico. Da mesma forma, a retenção de sólidos nos tanques de decantação e no sistema de drenagem, impediu que cerca de 29.000 t de sedimentos fossem carreados entre os anos de 2012 a 2015. A concentração de sedimentos que deixam a microbacia principal, é muito baixo e independe da intensidade da chuva amostrada. Assim, as medidas avaliadas mostram que houve inversão da tendência natural de perda hídrica, ou seja, os pequenos poços ao longo das drenagens, os poços de sedimentação e as barragens permitiram o aumento do armazenamento de água, permitindo o suprimento do empreendimento e a adequação ambiental deste.

Palavras-chave: recursos hídricos, microbacia, sedimentos, mineração

ABSTRACT

BUENO, Mateus Marques. **Production of environmental services in impacted environments**. Chapter II - Thesis (Master Science in Environmental and Forestry Science, Nature Conservation). Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

The differentiated effects of the production of environmental services in micro basins, because they are hydrologically sensitivity, can be measured due to the capacity to regularize the outflows in their exudative. In impacted areas, this ecosystem function is affected and, in some situations, it ceases to exist completely. In these cases, there is a need to implement mitigating and compensatory measures to the impacts for the production of environmental services. This study evaluated the mitigating measures of impacts and potential of environmental services implemented and operating in a micro-basin with mining activity, located in an area of low natural capacity to produce environmental services. The objective of the study was to measure the water and sediment production of this system. This evaluation was done through the description of a series of measures aimed at the abstraction, storage and recirculation of water during mining. These micro-basins are located in the transition area of the floodplain and the coastal seas, in the basin of the Guandu System. The flow water flow identified in these areas is preferably horizontal, which facilitates sediment production and prevents rainwater from remaining in the system. This is because in all areas the organic layer of soils is shallow, with presence of layers of impediments along the profile and near lytic contact. The reduction of the organic matter content, favors the instability of the aggregates in the superficial horizons and consequently they become more susceptible to the erosive processes, intensifying the production of sediments. In addition, the natural areas of water accumulation, the floodplains, are small and do not have direct contact with floodplain. In the transmission zone, the hydraulic conductivity values, along the profile, suggest that the infiltration decreases in depth, this fact is corroborated by the values of soil density that increase with depth. The set of measures implemented ensured that the water deficit of the enterprise was supplied over the years of operation, even in times of water deficit. Likewise, the retention of solids in the settling tanks and in the drainage system prevented some 29,000 t of sediment from being carried between the years 2012 to 2015. The sediment concentration leaving the main microbasin is very low and Independent of the intensity of rainfall sampled. Thus, the evaluated measures show that there was an inversion of the natural tendency of water loss, that is, the small wells along the drainage, the sedimentation wells and the dams allowed the increase of water storage, allowing the supply of the enterprise and the environmental suitability.

Palavras-chave: water resources, microbasin, sediment, mining

1 INTRODUÇÃO

Os efeitos diferenciados da produção de serviços ambientais em microbacias hidrográficas, por serem hidrológicamente sensíveis, podem ser mensurados por sua capacidade de regularização das vazões de saída em seu exutório, garantindo a perenização do curso hídrico principal, naturalmente. Já em áreas impactadas esta função ecossistêmica é afetada e, em algumas situações, deixa de existir completamente. Nestes casos, há a necessidade de se implementar medidas mitigadoras e compensatórias aos impactos para que haja a produção de serviços ambientais.

Desta forma, a exploração irregular dos solos aliado ao aumento de temperatura e distribuição irregular das chuvas, demandam alternativas mais eficientes no gerenciamento dos recursos hídricos, no qual as perdas sejam menores, como em barragens subterrâneas, armazenamento da água no solo e recarga da água subterrânea (GNADLINGER, 2014).

Por outro lado, os reservatórios naturais de água nas microbacias são inter-relacionados e por isto estes devem ser apropriadamente interligadas às políticas setoriais, que governem as suas práticas de manejo de água (BARBAN, 2009). Uma visão que integra a água da chuva no ciclo hidrológico exerce várias vantagens sobre um ponto de vista apenas setorial dos recursos hídricos, conforme afirmam Han & Hammond (2006), toda a água superficial e subterrânea tem sua origem na água da chuva. Por isso, o gerenciamento da água da chuva é fundamental para que se consiga manter a água no sistema por um período de tempo maior.

Assim, o diagnóstico das condições da microbacia e dos impactos a elas submetidos devem ser realizados antes da implementação de empreendimentos, com o intuito de prever quais medidas serão mais eficientes na produção de água. Desta forma, as ações devem ser direcionadas para os ecossistemas capazes de melhorar a utilização do recurso hídrico, permitindo a viabilidade de empreendimentos, promovendo o desenvolvimento econômico e social de áreas que por falta de água, não teria esta capacidade.

Além disto, a variabilidade de ecossistemas em uma microbacia permite que, após a correta identificação de seus elementos chave, seja aplicado uma série de medidas que garantirão o aumento do armazenamento de água neste sistema e, conseqüentemente, a diminuição do deflúvio superficial, ou seja, o manejo integrado de microbacias e o manejo de ecossistemas são diferentes, mas devem convergir para o mesmo fim (COOK and SPRAY, 2012).

Isto posto, a implementação de medidas capazes de potencializar a produção de serviços ambientais em locais com a capacidade deficiente, com condições de relevo desfavoráveis, a ausência de cobertura vegetal e a baixa profundidade dos solos é de extrema importância para a produção e qualidade da água. Portanto, a elaboração de modelagem deste ecossistema permite a identificação das formas de captação e armazenamento de água, aumentando a contenção desta água neste sistema, tornando-a disponível para o uso ao longo do ano.

Desta forma, este capítulo propõe contribuir para o conhecimento a respeito da caracterização de áreas com baixa capacidade de produção de serviços ambientais e que sofrem impactos de grande magnitude. Para tal, foi avaliado a capacidade de retenção de água em microbacias antropizadas e a efetividade das medidas mitigadoras de impactos e potencializadoras de serviços ambientais implementadas e em funcionamento, objetivando determinar o balanço de água produzido e utilizado nas atividades, bem como a quantidade de sedimentos acumulado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As microbacias selecionadas abrigam um Empreendimento de mineração com área de 73,37 ha, localizado na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG), no município de Queimados, RJ. A coordenada central da área de estudo é 22°43'49.82"S e 43°32'43.87"O, (Figura 23).

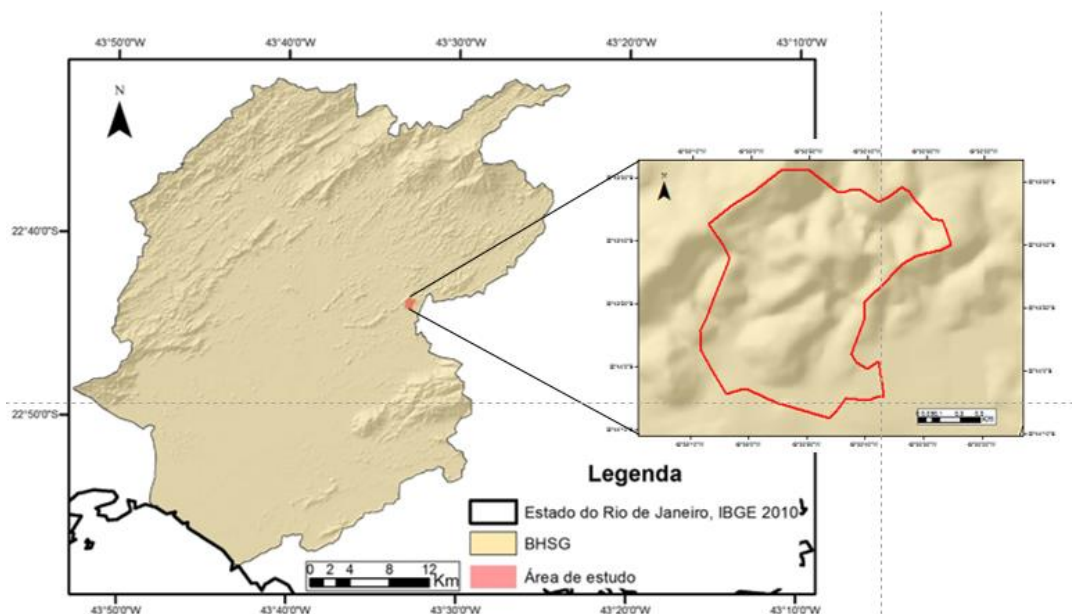


Figura 23 – Localização da área de estudo inserida na Bacia Hidrográfica do Sistema Guandu (BHSG).

2.2 Período de estudo

O período total de estudo foi de 2011 a 2016. Para o ano de 2011, antes da implementação do Empreendimento, utilizaram-se dados secundários para a realização do balanço hídrico inicial, diagnóstico da área e caracterização do projeto de lavra. Os anos seguintes, de 2012 a 2014, foram considerados na avaliação das medidas mitigadoras e potencializadoras, a partir dos dados fornecidos pela equipe de engenharia, sustentabilidade e meio ambiente do Empreendimento. Já os testes e análises de campo, descritas nos itens seguintes, foram realizadas nos anos de 2015 e 2016.

2.3 Descrição do Empreendimento

O Empreendimento é constituído por área de lavra e demais infraestruturas de processamento e apoio. Segundo o plano de lavra aprovado no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a técnica de produção praticada consiste na lavra a céu aberto do granito e no seu beneficiamento por cominuição, britagem de mandíbulas e cônicos, e

classificação granulométrica com peneiras vibratórias a seco, objetivando-se a produção de brita, conforme a NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): pó de brita (< de 4,8 mm); brita 0 ou pedrisco (4,8 mm a 9,5 mm); brita 1 (9,5 mm a 19 mm); brita 2 (19 mm a 25 mm); brita 3 (25 mm a 50 mm); e brita 4 (50 mm a 76 mm). Este mesmo plano apresenta a reserva medida de granito lavrável em brita de 8.687.715 m³.

A produção média registrada para os anos de 2012 a 2015 foi de 360.000 m³ano⁻¹, a partir desta produção média e do volume total projetado, estima-se que a vida útil da jazida de 24 anos. Resumidamente, as características técnicas do empreendimento, obtidas através dos registros oficiais do empreendedor, são: (i) capacidade nominal horária de produção: 200 m³h⁻¹; (ii) jornada de trabalho semanal: 40 h; (iii) taxa de eficiência dos processos de lavra e beneficiamento: 0,85 %; (iv) produção real anual: 360.000 m³; e (v) produção real mensal: 30.000 m³.

A lavra é desenvolvida em bancos de 10 m de altura, abertos de forma mecanizada. As principais operações realizadas são a extração através de perfuratrizes pneumáticas sobre carreta, carga realizadas com escavadeira retro de médio porte com auxílio de pá mecânica e de transporte interno do minério detonado para a usina de beneficiamento, que é feito por caminhões fora de estrada de 22 t de carga útil. O acesso aos bancos é feito por uma estrada tronco com o máximo de 515 m de extensão, plataforma de 10 m e aclive máximo de 12%.

O avanço da lavra provocou, a inversão do fluxo de drenagem principal entre as microbacias no ano de 2014. A configuração projetada para a cava final de lavra terá os seguintes parâmetros geométricos: (i) largura das bermas finais nos taludes de proteção: 5 m; (ii) desnível entre bermas: 20 m; e inclinação dos taludes finais da cava da lavra: 15°.

Apesar do sistema de produção ser denominado a seco, há consumo hídrico na linha de britagem, umedecimento de pista, combate a poeira e manutenção de engenhos. Esta demanda hídrica industrial é concentrada, principalmente, nas atividades de molhamento das vias e trituração das pedras. A vazão demandada depende do volume de produção e das condições climáticas. Desta forma, a maior demanda é justamente quando há uma menor oferta, ou seja, no período de seca. A demanda hídrica real do Empreendimento, mensurada através do sistema de captação e caminhões pipa, para os anos de 2012 a 2014 é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Demanda hídrica industrial do Empreendimento para o período de 2012 a 2014.

Demanda hídrica do Empreendimento em m³				
Mês	2012	2013	2014	Total
Janeiro	-	2.332,00	4.642,00	6.974,00
Fevereiro	-	2.277,00	2.882,00	5.159,00
Março	-	1.254,00	3.311,00	4.565,00
Abril	-	1.232,00	3.366,00	4.598,00
Mai	886,60	1.980,00	3.124,00	5.990,60
Junho	638,00	1.749,00	2.222,00	4.609,00
Julho	517,00	1.463,00	3.630,00	5.610,00
Agosto	1.254,00	1.870,00	5.984,00	9.108,00
Setembro	914,00	2.255,00	6.094,00	9.263,00
Outubro	1.078,00	4.400,00	6.886,00	12.364,00
Novembro	1.254,00	4.085,00	4.862,00	10.201,00
Dezembro	814,00	3.256,00	3.564,00	7.634,00
Total	7.355,60	28.153,00	50.567,00	86.075,60

2.4 Caracterização física das microbacias e fluxo hídrico no solo

Inicialmente buscaram-se informações sobre todas as estações meteorológicas existentes na região do Empreendimento. Verificou-se que existem 7 estações oficiais no entorno, pertencentes ao INMET e ao Centro Nacional de Monitoramento de Alertas e Desastres Naturais (CEMADEN), e uma dentro da área, mantida pelo Empreendimento. Para todo o período de estudo, apenas há dados diários e consistentes na estação meteorológica automática A-601, mantida pelo INMET e localizada no município de Seropédica.

A estação mantida pelo Empreendimento possui apenas dados diários de chuva e temperatura média diária para os anos de 2014 a 2016. Estes dados foram utilizados na correlação entre a lâmina precipitada e produção de sedimentos. Considerou-se apenas o volume de chuva acima de 12 mm, visto que, para lâminas menores não ocorria produção de vazão no exutório das microbacias principais.

A caracterização dos solos das microbacia foi feita nas áreas onde ainda não houve avanço das atividades de lavra, ou seja, nas áreas remanescentes. Foram feitas avaliações nas diferentes vertentes e zonas hidrogenéticas das microbacias que compõem o Empreendimento: zona de captação (PS10, zona de transmissão (PS2) e zona de afloramento (PS3), conforme Figura 24.



Figura 24 – Localização dos locais de amostragem de campo para fins de caracterização do solo e do fluxo hídrico nas microbacias. **Fonte da imagem:** Google Earth. **Legenda:** PS1: zona de captação, PS2: zona de transmissão e PS3: zona de afloramento.

Em cada ponto de amostragem foi realizada a abertura de trincheiras para a descrição de perfil do solo e a coleta de amostras deformadas, com trado holandês, e indeformadas, com uso do coletor de Uhland. As profundidades de amostradas foram: (i) subsuperficial, a cerca de 15 cm; (ii) na porção mediana, a cerca de 40 cm; e (iii) na porção inferior, a cerca de 70 cm.

As amostras foram devidamente armazenadas e transportadas para o laboratório, onde procedeu-se as análises de granulometria, pH em água, $H+Al$; Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} . A partir das concentrações foram calculadas: a soma de bases Valor S ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$), o Valor T (Valor S + $H+A$) e a saturação por bases V% ($=Valor\ S/Valor\ T * 100$), conforme metodologia proposta por Donagema et al. (2011)

A mensuração da condutividade hidráulica foi realizada através de permeâmetro de carga constante. A macro porosidade e micro porosidade foram determinadas por meio da mesa de tensão, já a densidade do solo utilizou-se o método da estufa.

2.5 Descrição das medidas implementadas para potencialização dos serviços ambientais

Esta etapa constituiu na análise de dados secundários obtidos a partir dos projetos de engenharia da lavra, Plano de Controle Ambiental (PCA) e plantas georreferenciadas do Empreendimento, além das feições do terreno natural remanescente. A partir destes dados foram contabilizadas as seguintes informações: identificação das áreas de várzeas das microbacias, evolução da lavra, áreas de corte e aterro, sistema de drenagem, tanques de sedimentação, estradas e solo exposto.

Na interpretação de dados utilizou-se os softwares AutoCad 2017 e ArcGis versão 10.2.

2.5.1 Sistema de potencialização da produção de água nas microbacias

O sistema de drenagem foi instalado em toda área em que foram previstas intervenções, assim como no entorno imediato, principalmente à montante das intervenções. O sistema de drenagem é volante, ou seja, deve seguir as áreas de corte e aterro. Para efeito descritivo do sistema de drenagem foi dividido em superficiais e subterrâneas. O Anexo Fotográfico I - Sistema de Drenagem, apresenta as principais etapas descritas na sequência.

A drenagem superficial foi avaliada a partir do nível de hidromorfismo do solo, onde as diferenças de cores do mosqueamento permitiram identificar os locais saturados carentes de medida de drenagem. Nestes locais foram abertas valas maiores, avaliado a necessidade de troca de solo, e estabelecimento de declividade mínima de escoamento.

Etapas do projeto de drenagem dos fluxos sub superficiais da área do empreendimento podem ser resumidas nas seguintes etapas: (i) identificação do sentido prioritário do escoamento; (ii) levantamento das zonas de retenção de água; e (iii) identificação dos drenos tributários, tanto nas partes inferiores, intermediárias e altas; (iv) verificação da continuidade do escoamento; e (v) forração do talvegue com areia, cobertura com bidim, preenchimento com brita 3 até 0,5 m de altura, envelopamento do bidim, camada de 0,40 m de areia e aterro.

Os sistemas de drenagem subsuperficial e retenção de água no solo foram planejados através da interpretação das características de cada área. O processo de decapeamento e preparo da rocha na mineração foi feito de modo a reduzir disponibilidade de sedimentos para arraste morro abaixo, havendo extração e armazenamento do solo orgânico (com espessura média de 0,5 m) para uso na forração dos taludes, desmonte e armazenamento de matacões para uso na drenagem e/ou revestimento do piso.

O desmonte do substrato edáfico (subsolo) foi escavado com escavadeiras, retirado imediatamente com caminhões traçados, que acedem a lugares de difícil acesso, reduzindo uso de trator de esteira e formação de amontoados de subsolo solto, que podem ser facilmente transportados pelas enxurradas talude abaixo. Estes materiais foram ordenados por facilidade de compactação, depositados, espalhados e compactados nos aterros até o pit final.

Apesar de baixo o nível piezométrico, foi suficiente para prescrever o emprego de um sistema de drenagem subsuperficial, de modo que não comprometesse as obras de terraplanagem no futuro. O exutório da drenagem foi aprofundado e se criou uma zona de acúmulo subsuperficial na altura da saia do aterro, de modo a permitir o bombeamento em poço raso, para fins de captação e uso industrial.

O disciplinamento dos vertidos nas partes altas foi estabelecido concomitantemente com os trabalhos de retirada do solo e subsolo das frentes de lavra que estão sendo abertas. O platô industrial depois de devidamente drenado sub superficialmente, foi recebendo novas camadas, onde as operações de controle dos materiais de descarga, espalhamento e compactação foram feitas de forma sucessiva ao longo do processo. Elas conduziram os escoamentos para o interior do platô, evitando o vertido para a saia do aterro.

Como o platô cortou drenagens naturais por se tratar de uma bacia hidrográfica, se fez necessário estabelecer canais temporários seguros sobre o próprio aterro, onde as travessas de blocos estruturais dispostas de 10 em 10m. Durante o enchimento do platô industrial a condução da drenagem foi feita sobre o próprio platô, vertendo com desnível de 0,5% nas laterais e aproximadamente 1% na calha.

O platô industrial foi elevado a cota do pit final de 60 m, sendo toda a drenagem vertida para a área de corte do terreno natural, assim como foram feitos murundus de terra (altura de 0,40 m) nas bordas. No trecho onde há maior transito de veículos pesados, se construiu murundu de rachão com 0,10 m de altura, reduzindo o efeito da compactação causada pelo peso e frequência dos caminhões, reduzindo as deformações do terreno que pudessem virar drenos indesejáveis, pois verteriam para a saia do aterro.

O platô industrial foi individualizado hidrológicamente em duas sub-bacias, sendo a primeira no terço superior, onde o terreno é predominantemente natural e os escoamentos vertem para a cava da antiga pedreira. Nesta microbacia foram construídos 2 pequenos tanques de decantação. A água que verte da primeira sub-bacia atinge o exutório, que fica no vertedor do tanque construído sobre a antiga cava, daí ela segue por canal triangular de bica corrida até o segundo tanque de decantação, disposto no final do platô industrial.

O escoamento do platô industrial verte através de escada dissipadora de energia, sistema construído com blocos de rochas sobre argila compactada, promovendo patamares escalonados, que quebram a energia da água na parte alta e, na parte baixa, há estrutura verticais composta por blocos de pedras, que dissipam energia e espalham a água antes do seu despejo em terreno natural.

A drenagem da bacia situada entre Empreendimento e o colégio recebeu travessa de 20 em 20 m no eixo de drenagem e revestimento com vegetação nativa no talude. O vertido da água da rua e do colégio escoará para o tanque decantação. A partir deste ponto o excedente de água é direcionado ao exutório da microbacia, onde há um poço de captação subsuperficial e um sistema de captação. Este sistema bombeia, inicialmente, para um conjunto de caixas de

água, depois para o ponto mais alta da microbacia, onde está localizado o tanque australiano. Caso haja excedente de água neste tanque há o direcionamento destas para o engenheiro, assim reinicia o processo, mantendo a água no sistema.

2.5.2 Sistema de retenção de sedimentos

A dinâmica dos sedimentos compreende o arraste e transporte de sedimentos finos e grosseiros. A mensuração e qualificação destes sedimentos seguiu duas metodologias, sendo a primeira relacionada ao sedimento que permaneceu no sistema e a segunda relacionada ao sedimento que deixou o sistema.

- **Sedimentos retidos nas microbacias**

A quantificação dos sedimentos grosseiros foi feita pela mensuração do material retirado pelo empreendedor ao longo dos anos de 2012 a 2015, que representa o material sedimentado no fundo dos tanques e é composto de material fino e mais grosseiro.

A distribuição dos sedimentos horizontalmente foi avaliada da seguinte forma: foram retiradas 15 amostras em três linhas horizontais e perpendiculares ao fluxo hídrico principal. Estas linhas amostrais distanciaram entre si e das bordas de 3 metros. Em cada linha foi estabelecido a retirada de amostras a cada 1,5 metros. Em cada ponto cavou-se até uma profundidade mínima de 60 cm ou até atingir o fundo e coletou-se uma coluna de sedimentos, compondo uma amostra.

A qualificação dos sedimentos grosseiros foi feita por meio da análise granulométrica, de amostras retiradas do material acumulado nos tanques de sedimentação, nas diferentes cunhas de sedimentação (Figura 25). Em laboratório procedeu-se a mensuração e qualificação destes sedimentos através da análise granulométrica e química, conforme metodologia descrita por Donagema et al. (2011).

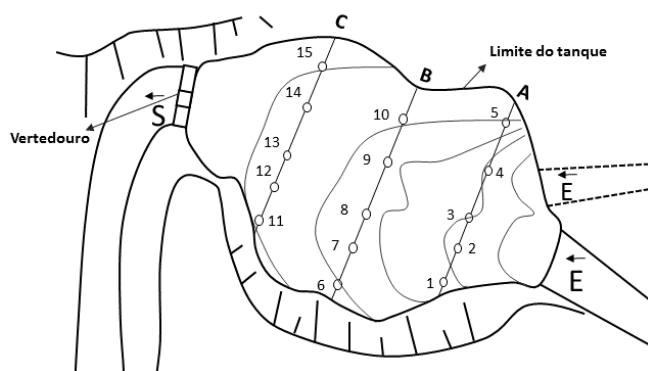


Figura 25 – Esquema de distribuição das coletas de amostras de sedimentos para caracterização horizontal da distribuição destes em um tanque de sedimentação.

A avaliação da variação vertical de acúmulo de sedimentos foi realizada a partir da abertura e coleta de amostras de perfil em um tanque de sedimentação, em período de seca (Figura 26). Esta análise consistiu na abertura de um perfil, identificação das camadas, mensuração e coleta de amostras. Em laboratório foi feita análise granulométricas e químicas, conforme metodologia descrita por Donagema et al. (2011).



Figura 26 – Ilustração das camadas de sedimentos acumuladas em um tanque. Destaque para a variação de cor e granulometria destes sedimentos.

- **Caracterização dos sedimentos no exutório das microbacias**

Para a mensuração dos sedimentos finos foram construídos amostradores (Figura 27) que são compostos por um reservatório de plástico com capacidade de 1,0 L, no qual foram fixados dois tubos de alumínio que permitem a entrada de água e sedimentos e saída de ar, sem que haja perda das características da mistura de água e sedimentos. Os detalhes da construção são apresentados em sequência, na Tabela 15.

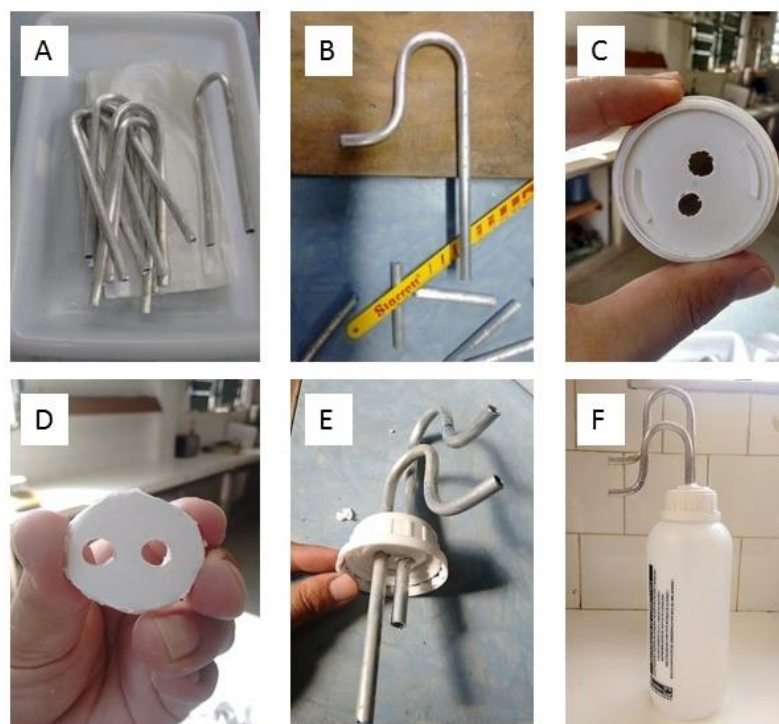


Figura 27 – Fotos das etapas de construção dos amostradores de água e sedimentos: (A) tubos metálicos utilizados para coletar o efluente; (B) formato final do coletor; (C) detalhe da tampa onde será inserido os coletores; (D) suporte interno da tampa; (E) conjunto tampa e coletores montados; e (F) amostrador pronto.

Tabela 15 – Medidas do equipamento para mensuração de sedimentos finos.

Item	Medidas
Altura total do equipamento, incluindo a haste de madeira	1,80 m
Distância 1 – altura total do reservatório e coletores	0,26 m
Distância 2 – altura entre as saídas dos tubos	0,05 m
Distância 3 – altura entre as entradas do tubo	0,05 m
Capacidade útil do coletor	1,00 L

Os tubos de coleta, inseridos dentro de cada coletor, possuem uma envergadura vertical com o intuito de impedir a entrada de sedimentos grosseiros, após esta envergadura os tubos são inseridos no reservatório por uma passagem na tampa, que após a inserção dos tubos foi hermeticamente vedada.

Os amostradores foram fixados em hastes de madeiras previamente inseridas na saída do tanque de dessedimentação, próximo à saída do vertedouro, respeitando a distância mínima de 1,5m devido à curvatura hidráulica natural que causa no deslocamento dos líquidos (Figura 28). Foram instalados 4 conjuntos de coletores com 2 coletores cada, totalizando 8 pontos de coleta. A distribuição horizontal dos coletores respeitou a largura do tanque, assim cada conjunto ficou 0,6 m distante um do outro. Já a distribuição vertical considerou a cota do

vertedouro, ou seja, a primeira linha de amostragem é exatamente igual a cota mínima e a segunda 0,1 m acima.

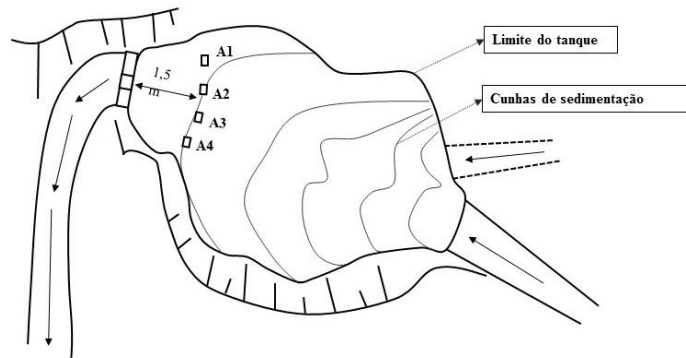


Figura 28 – Esquema do tanque de sedimentação 09 e localização dos amostradores de descarga sólida (sedimentos finos). **Legenda:** A₁ a A₄: localização dos amostradores.

Um total de 40 amostras foram coletadas em 5 diferentes períodos, nos meses de março a junho de 2016. Após cada coleta as amostras foram transportadas para análise em laboratório (Figura 29).



Figura 29 – Coleta de sedimentos finos e processamento das amostras em laboratório: (A) coleta do amostrador; (B) transferência do efluente para o transportador; e (C) filtração do efluente e separação do sedimento fino.

Após a filtragem, o conjunto filtro mais sedimentos finos, foi pesado e levado à estufa a 105°C por 24h, logo após efetuou-se a pesagem novamente. A quantificação da massa de sedimentos finos (M_{sf}) foi obtida através da equação 5.

$$M_{sf} = M_1 - M_2 \quad (5)$$

Em que:

M_{sf} = Massa de sedimentos finos, em g;

M_1 = Massa do filtro limpo, em g; e

M_2 = Massa do filtro e dos sedimentos finos secos, em g.

A concentração de sedimentos finos foi calculada a partir da equação 6.

$$C_{sf} = \frac{M_{sf}}{V_{an}} \quad (6)$$

Em que:

C_{sf} = Concentração da amostra de sedimentos finos no coletor, em g/L;

M_{sf} = Massa de sedimentos finos, em g; e

V_{an} = Volume da amostra de número n, em L.

Todo o volume de sedimentos finos foi acumulado e no final procedeu-se à análise química e granulométrica, conforme metodologia descrita por Donagema et al. (2011).

- **Calibração dos coletores em laboratório**

Para fins de determinação do tempo de enchimento, conforme a vazão de passagem, foram realizados testes de laboratório, cujo os resultados foram plotados e a linha de tendência apresentou boa adequação (Figura 30).

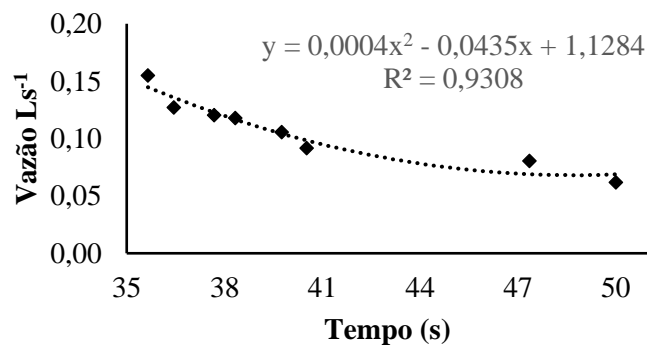


Figura 30 – Relação entre o tempo de enchimento (s) e vazões (Ls⁻¹) conhecidas.

- **Determinação da vazão de saída do tanque e volume de sedimentos finos**

A vazão de saída do tanque (Q) foi obtida a partir da equação de Manning, equação 7, uma vez que a saída do tanque é representativa de um canal, com cerca de 30 m de comprimento e com seção transversal uniforme. Os parâmetros geométricos (A , R_h e I) foram medidos em campo e o coeficiente de rugosidade, neste caso igual a 0,025 m^{-1/3}s.

$$Q = \frac{1}{n} A Rh^{2/3} I^{1/2} \quad (7)$$

Em que:

Q = vazão escoada, em m³/s;

n = coeficiente de rugosidade de Manning, em m^{-1/3}s;

A = área útil de escoamento em uma seção transversal, em m²;

Rh = raio hidráulico, em m; e

I = declividade do canal, em m/m.

O raio hidráulico é uma relação entre a área da seção considerada e o seu perímetro, desta forma, considera a altura linimétrica atingida pelo escoamento de uma determinada chuva. Assim, foi instalado uma régua linimétrica imediatamente à montante do vertedouro e coletado a altura máxima atingida. A seção transversal do vertedouro foi mensurada com o intuito de determinar a equação que correlaciona a altura mensurada com a área transversal. Para efeito de cálculo específico dos valores de A e Rh para cada vazão utilizou-se a calibração prévia para A (Figura 31) e Rh (Figura 32).

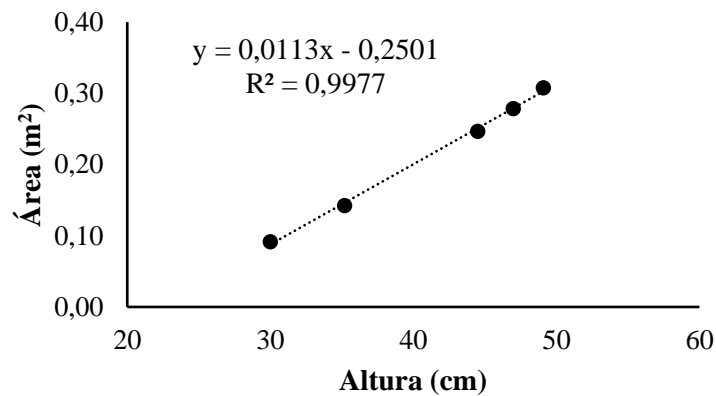


Figura 31 – Relação entre área (m²) e a altura (cm) atingida pela a água no vertedouro.

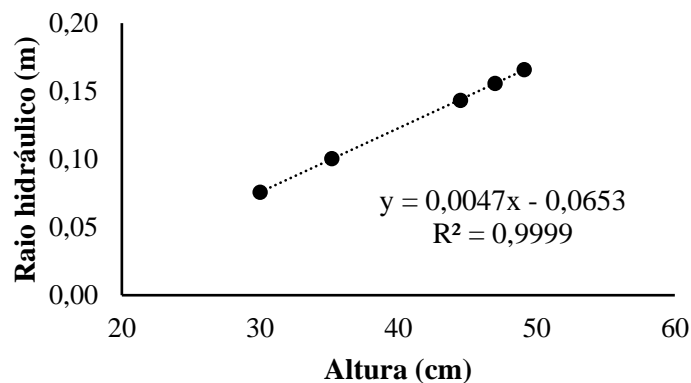


Figura 32 – Relação entre o raio hidráulico (m) do vertedouro e a altura (cm) atingida pela a água no vertedouro.

O volume total de sedimentos finos para determinada chuva e para este tanque é obtido pela multiplicação da concentração média de sedimentos e vazão. Para a obtenção do volume total de sedimentos finos que deixaram o sistema (microbacias) em todos os tanques, foi feita uma comparação entre a área de contribuição do tanque estudado (A_n) e as demais áreas de contribuição de cada tanque (A_{tx}). O cálculo das áreas de contribuição foi realizado através da ferramenta *Analyst Basin* do Software ArcGis 10.2.

2.6 Quantificação dos serviços ambientais nas microbacias

Os serviços ambientais quantificados neste estudo estão relacionados com a retenção de sedimentos no sistema, apresentado nos itens anteriores, e ao aproveitamento/recirculação de água nas microbacias. O balanço hídrico climatológico das microbacias utilizou a equação 8, simplificado para a equação 9.

$$\Delta ARM = P + O + ES + ESu + AC - ET - Ro - DLo - S \quad (8)$$

Em que:

ΔARM : armazenamento de água no sistema, no caso na microbacia, em mm;

P = precipitação, em mm;

O = orvalho, em mm;

ES = escoamento superficial, em mm;

ESu = módulo do escoamento subsuperficial, em mm;

AC = ascensão capilar, em mm;

ET = evapotranspiração, em mm; e

S = saída no exutório, em m³/s.

$$\Delta ARM + S = P - ET \quad (9)$$

Em que:

ΔARM : armazenamento de água no sistema, no caso na microbacia, em m³/s;

P = precipitação, em mm;

ET = evapotranspiração, em mm; e

S = saída no exutório, em m³/s.

A quantificação dos serviços ambientais, produção de água, a partir das medidas implementadas na microbacia foi realizado através do balanço hídrico climatológico, da demanda de água do Empreendimento e da quantificação dos volumes de água armazenado no sistema.

2.7 Análises estatísticas

Os dados de concentração de sedimentos finos, lâmina precipitada, condutividade hidráulica, porosidade e densidade foram analisados estatisticamente. Inicialmente, foram feitos os testes de homogeneidade e normalidade (Kolmogorov – Smirnov). Ao atender estes pressupostos, os mesmos foram submetidos a análise de variância e o teste t, realizadas pelo software R.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização das microbacias e fluxo hídrico no solo

As microbacias estão localizadas em cotas altimétricas que variam de 40 a 200 m, a declividade predominante encontra-se entre 45 a 75% (montanhoso), com pequenas áreas planas onde pode ou não haver várzeas. A superfície de curvatura plana domina apenas cerca de 15 % do total da área, sendo esta dominada pela superfície convexa, com 62 %, seguido da côncava, com 23 %. Da mesma forma, a orientação das vertentes é variável, mas com preponderância das faces Sul e Leste. A zona hidrogenética de transmissão representa cerca de 68 % da área das microbacias, seguido pela zona de captação (20 %) e zona de afloramento (12 %).

Os solos identificados, por meio da descrição dos perfis em cada zona hidrogenética, são apresentados no Anexo II. Na zona de captação (PS1) e transmissão (PS2) foram identificados Latossolos, com camadas orgânicas com baixa profundidade (horizonte A com cerca de 15 cm) e presença de indicadores de fluxos hídricos horizontais devido a camada de impedimento (cascalho), tais como: a presença de *pipes* seguido de camada de cascalho a cerca de 80 cm na área de captação e cerca de 40 cm, na área de transmissão.

PS1 – Zona de captação



PS2 – Zona de transmissão



PS3 – Zona de afloramento



Figura 33 – Perfil de solo em cada zona hidrogenética, destaque para os *pipes* (destacado na primeira imagem com forma esférica) e camada de cascalho (destacado na primeira e segunda imagens com formas retangulares).

Na zona de afloramento (PS3) identificou-se a presença de Planossolos. Nestes verificou-se raízes apenas nos primeiros 50 cm, indicando restrições ao desenvolvimento de plantas devido ao acúmulo hídrico por certo período de tempo. Confirmado pela presença de mosqueados a partir do horizonte E.

O resultado das análises granulométricas e químicas estão apresentadas no Anexo III – resultados das análises de laboratório. Por fim, verificou-se a que o contato lítico na zona de transmissão possui profundidade média de 5 m. O material rochoso encontrado é, preferencialmente o granito, utilizado na produção de brita e derivados, foco do Empreendimento em operação na área. Estes resultados mostram que a área possui fina camada disponível para armazenamento de água no solo.

O padrão de distribuição dos valores de Condutividade Hidráulica no Solo (CHS), apresentaram diferença significativa, a 5 % de probabilidade pelo teste t, enquanto densidade do solo e porosidade não apresentam (Tabela 16). Na zona de captação e transmissão houve redução de 34 e 90% no valor da CHS, indicando a prevalência dos fluxos horizontais de água no solo, ou escoamento subsuperficial.

Tabela 16 – Média dos valores de condutividade hidráulica no solo, porosidade total e densidade do solo para as diferentes zonas hidrogenéticas e em três profundidade.

Condutividade hidráulica no solo* (mm/h)			
Zona hidrogenética	Profundidade (cm)		
	15	40	70
Captação	134,60 aA	144,06 aA	88,77 aA
Transmissão	287,40 aA	101,14 aB	29,10 aB
Afloramento	52,40 bA	34,20 aA	103,32 aA
Porosidade total* (%)			
Zona hidrogenética	Profundidade (cm)		
	15	40	70
Captação	42,24 ns	41,92 ns	42,24 ns
Transmissão	47,01 ns	46,81 ns	44,70 ns
Afloramento	37,75 ns	37,79 ns	40,47 ns
Densidade do solo* (Mg/m³)			
Zona hidrogenética	Profundidade (cm)		
	15	40	70
Captação	0,95 ns	0,98 ns	1,03 ns
Transmissão	0,99 ns	0,99 ns	1,03 ns
Afloramento	1,13 ns	1,11 ns	1,17 ns

*Valores seguidos de letras diferentes, minúsculo na coluna e maiúsculo na linha indicam que os valores diferem entre si ($p < 0,05$), pelo teste de t e ns: não significativo.

3.2 Medidas implementadas para potencialização dos serviços ambientais

3.2.1 Sistema de potencialização da produção de água nas microbacias

A drenagem e o entorno a área de estudo foram divididas em 2 microbacias hidrologicamente independentes entre si. O projeto de drenagem objetivou garantir sustentabilidade do empreendimento e preparar a área para futuro uso, facilitando assim as atividades de descomissionamento da pedreira. O sistema é móvel e obedece ao andamento da cava. No layout inicial, antes do início das atividades, haviam 13 km de canais de drenagem, que direcionavam a água da chuva para os 11 tanques principais. Nos anos seguintes, de 2012 a 2014, houve uma pequena variação nesta quantidade final de canais e tanques, mas o direcionamento das drenagens mudou bastante, principalmente com as modificações provocadas pelo andamento da lavra, que alterou o fluxo natural das bacias de captação.

Os canais de drenagem são construídos, em sua maioria, adjacentes à encosta natural do terreno. Estas apresentam pequenos tanques de sedimentação, que objetivam diminuir a velocidade de escoamento e, conseqüentemente, aumentar a infiltração da água no solo, proporcionando a recarga da drenagem central de cada microbacia (Figura 34).

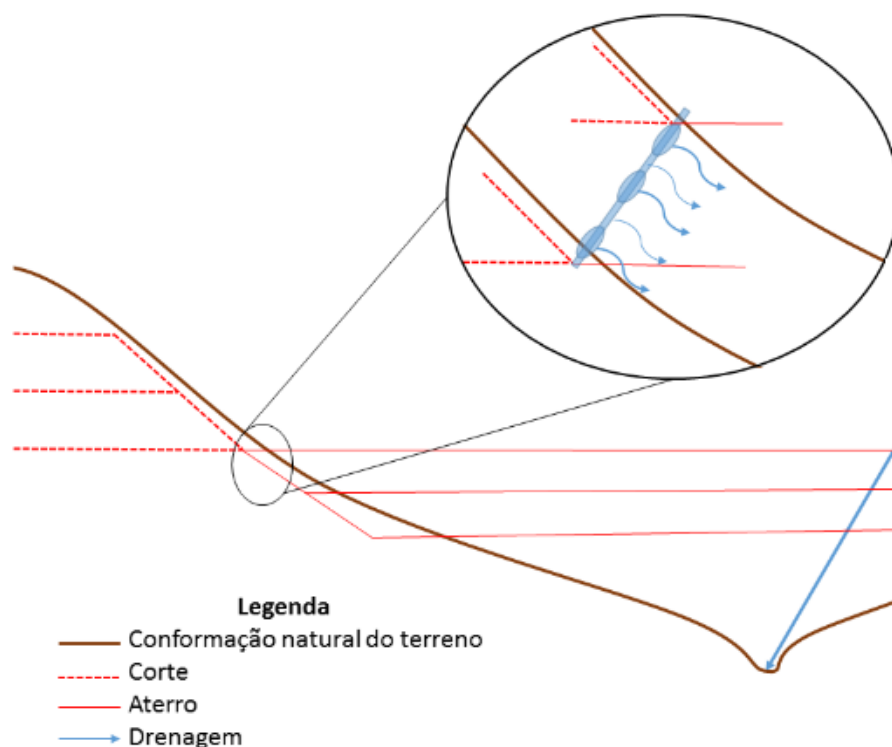


Figura 34 – Esquema geral do sistema de drenagem construído junto à conformação natural do terreno, com destaque para os pequenos tanques de infiltração contínuos ao sistema de drenagem, que objetivam a recarga da várzea sob o aterro.

- **Tanques de decantação e armazenamento temporário de água**

O empreendimento abrange área que apresenta envolvimento direto e indireto com 8 microbacias hidrográficas, onde foram construídos 11 tanques de decantação para separar os sedimentos da fração líquida das enxurradas, de modo a mitigar os impactos ambientais gerados pelo desmonte da rocha. Estes tanques também servem de armazenamento temporário de água e facilitador do processo de infiltração e recarga do lençol freático subsequente.

A administração dos sedimentos de parte destes tanques permite, além do acúmulo de sedimentos, a retenção de água e a potencialização do efeito de recarga das zonas de inundação das várzeas, interferindo na regulação hídrica das pequenas drenagens. Baseado nesta premissa se desenhou um conjunto de medidas articuladas entre si e com o desenvolvimento da lavra, que permitem o aumento da produção de serviços ambientais. A água acumulada é utilizada para fins de umectação de pistas e de compactação do aterro, além do uso nas oficinas, uma vez que a água para consumo humano vem sendo abastecida pela CEDAE.

Devido a necessidade da captação de água por caminhões pipas, os tanques, de maneira geral, possuem estrutura adaptada para esta funcionalidade. Trata-se de um degrau no interior do tanque com uma rampa de acesso. Este degrau permite também a entrada de equipamento de coleta de sedimentos, facilitando a limpeza. As características arquitetônicas dos tanques e suas capacidades de armazenamento de água são mostradas na Tabela 17.

Tabela 17 – Capacidade de armazenamento dos tanques de sedimentação instalados nas microbacias do Empreendimento.

Tanque	Profundidade média	Área	Volume
	m	ha	m ³
1	2,0	0,6	12000,0
2	2,0	0,4	8000,0
3	2,0	0,5	10000,0
4	2,5	1,0	25000,0
5	2,0	0,6	12000,0
6	3,0	1,5	45000,0
7	2,0	4,0	80000,0
8	4,0	0,5	20000,0
9	2,0	0,0	192,0
10	4,0	0,0	240,0
11	3,0	0,0	150,0
Total			212.582,0

- **Sistema de captação e armazenamento de água de chuva no galpão administrativo**

O galpão administrativo é composto por estrutura metálica e alvenaria. O telhado é de folhas metálicas e toda a água precipitada é direcionada, através de tubulação de PVC, para

uma caixa separadora de partículas sólidas e posteriormente à um tanque de armazenamento. A área superficial de captação é de 1.831m². O tanque tem capacidade de armazenamento de 375 m³, dado às suas características construtivas: 15 m de comprimento e 5 m de largura e profundidade.

A água acumulada é utilizada para uso não nobre, como lavagem de caminhões, piso e vasos sanitários. Considerando o volume médio anual precipitado na região, igual a 1.270mm a capacidade de produção seria de 2.325m³, seis vezes maior que o volume de armazenamento. O excedente de água é direcionado para a várzea 1, da qual é inserido no sistema de recirculação de água.

- **Sistema de armazenamento de água nas várzeas e recirculação**

Na região, o nível do lençol freático é baixo devido à presença de camadas impeditivas. Onde há solo natural e recarga pela infiltração no solo, os terrenos com controles estruturais transversais nos eixos de drenagem, formam pequenos lençóis freáticos empoleirados sobre o aquífero profundo, propiciando o armazenamento dos fluxos sub superficiais e superficiais. Estes locais ocorrem com maior frequência nas depressões formadas entre morrotes, onde o material coluvionar facilita as condições de infiltração e as zonas de afloramento das pequenas várzeas encaixadas armazenam água.

Foi identificado 7 áreas de várzea, considerando a capacidade de armazenamento de 50 % do volume de solo (porosidade aproximada), o volume total de água armazenado pode ser de até 141.750,00 m³ (Tabela 18).

Tabela 18 – Quantificação das áreas de armazenamento de água nas várzeas identificadas nas microbacias do Empreendimento.

Item	Profundidade média	Área	Volume reservação
	m	ha	m ³
Várzea 1	1,5	5,0	37500,0
Várzea 2	1,0	0,1	500,0
Várzea 3	1,0	3,0	15000,0
Várzea 4	0,5	0,5	1250,0
Várzea 5	1,5	1,0	7500,0
Várzea 7	2,0	8,0	80000,0
Total			141.750,0

A água que ingressar nas zonas de inundação (várzeas), situadas imediatamente a montante das obras transversais dentro do talvegue, constituídas pelas zonas de afloramentos, constituem água de melhor qualidade, havendo menor concentração de sólidos em suspensão. Este volume de água é armazenado e captado próximo aos tanques de decantação, sendo acumulada em caixa australiana de 200 m³ disposta na cota 97,60 m, servindo como

reservatório de distribuição de água industrial para todo o empreendimento, podendo haver suplementação de água com caminhões pipa (Figura 35).



Figura 35 – Tanque Australiano, localizado na cota mais alta de uma microbacia que compõe o Empreendimento, sendo abastecido por caminhão pipa. Este reservatório também recebe água por sistema de tubulação proveniente das captações instaladas no exutório da microbacias.

A partir do tanque Australiano a água é direcionada, por gravidade, para a unidade de beneficiamento e o excedente para o engenhão, localizado a montante da drenagem principal de uma das microbacias. O engenhão funciona como um tanque de decantação e abastecedor do lençol freático superficial, uma vez que o excedente de água é incorporado ao sistema de drenagem e várzea, garantindo a circulação da água. Além do engenhão todo o sistema de drenagem, descrito anteriormente, desempenham esta função, garantindo que as perdas de água por evaporação ou fuga do sistema sejam minimizadas.

3.2.2 Sistema de retenção de sedimentos

O volume de material retido nos tanques nos anos de 2012 a 2015 (Tabela 19) indica a quantidade de material sedimentar que permaneceu no sistema. Considerando o valor médio de densidade de sedimentos, proposto por Falcão et al. (2010), o peso total de sedimentos retido no sistema é cerca de 29.000 t.

Tabela 19 – Volume de sedimentos retidos nos tanques de 2012 a 2015.

Tanque	Volume de sedimentos (m ³)				Total
	2012	2013	2014	2015	
1	-	380	390	-	770
2	420	400	500	420	1.740
3	-	571	571	571	1.713
4	-	1.000	1.000	-	2.000
5	-	160	160	320	640
6	600	600	1.200	1.200	3.600
7	230	230	-	-	460
8	-	-	6.500	-	6.500
9	160	160	160	160	640
10	500	-	500	500	1.500
11	1.000	-	1.000	-	2.000

Tanque	Volume de sedimentos (m ³)				Total
	2012	2013	2014	2015	
Total	2.910	3.501	11.981	3.171	21.563

- **Caracterização dos sedimentos retidos nas microbacias**

A variação horizontal, em porcentagem, dos valores de sedimentos com diâmetros acima de 2 mm (**Figura 36**), indica que, há uma tendência de acúmulo de sedimentos com granulometria maior próximo a entrada do tanque (amostras de 1 a 5).

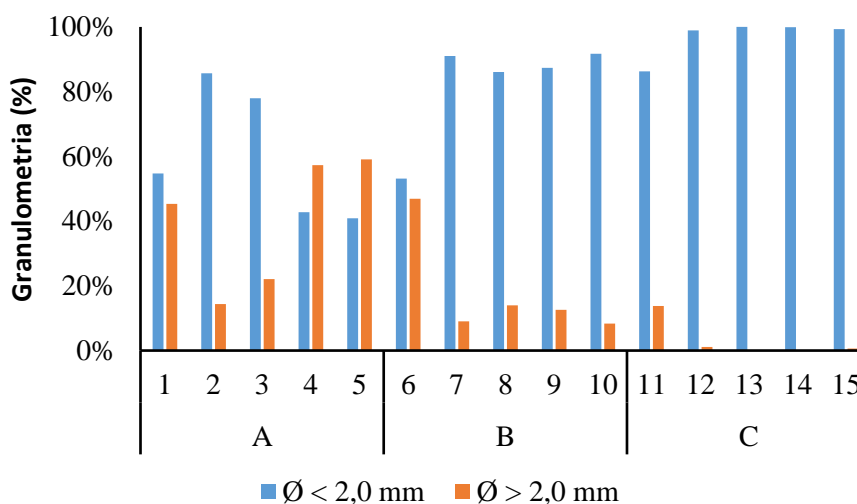


Figura 36 – Variação, em porcentagem, do diâmetro dos sedimentos acumulados ao longo das cunhas de sedimentação do tanque. O bloco de amostras A representa os pontos de coleta mais próximos da entrada do tanque, B representa os pontos centrais e C os pontos mais próximos da saída do tanque.

No que tange a distribuição vertical, o perfil de sedimentos mostra 8 camadas distintas, para as quais foi realizado análise granulométrica (Figura 37) e química (Tabela 20).

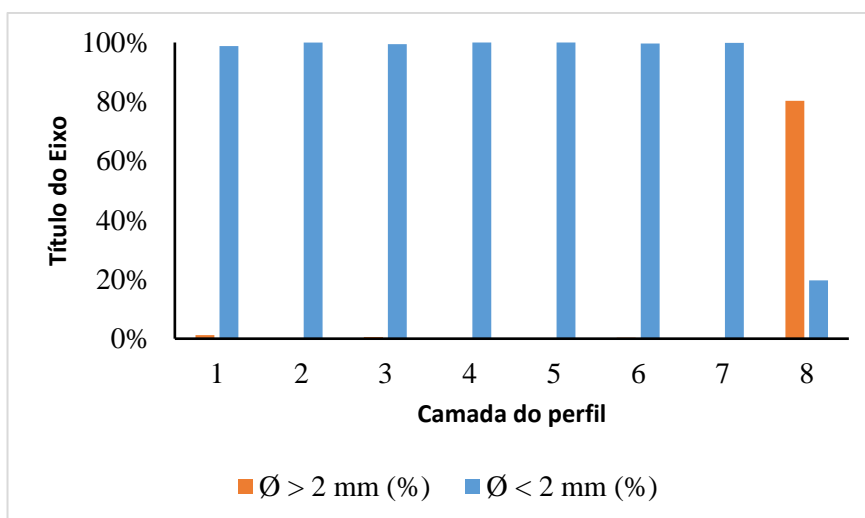


Figura 37 – Variação, em porcentagem, do diâmetro dos sedimentos ao longo das 8 camadas de sedimentação identificadas em um tanque.

Tabela 20 – Caracterização química dos sedimentos em camadas de sedimentação identificadas em um tanque.

Camada	Profundidade	pH	Ca	Mg	Al
	cm			cmol _c dm ⁻³	
1	0 - 2	7,20	1,95	0,58	0,05
2	2 - 7	7,40	1,84	0,56	0,05
3	7 - 19	7,25	2,00	0,90	0,03
4	19 - 35	7,13	2,17	0,93	0,05
5	35 - 42	7,30	2,02	0,99	0,04
6	42 - 70	7,26	1,70	0,90	0,03
7	70 - 79	7,22	1,85	0,55	0,03
8	79 +	7,15	1,40	0,70	0,04

Camada	H+Al	P	Na	K (cmol _c /dm ³)	COT
	cmol _c /dm ³	g/mg	cmol _c /dm ³		g/kg
1	1,99	0,015	14,7	83,6	2,69
2	0,18	0,018	12,3	191,2	1,60
3	0,28	0,015	6,9	83,2	1,43
4	0,51	0,021	7,6	86,6	1,23
5	0,21	0,019	11,0	70,0	1,16
6	0,02	0,015	8,1	82,7	1,34
7	0,30	0,015	6,7	96,1	1,46
8	0,07	0,014	3,9	20,0	0,78

- **Caracterização dos sedimentos retidos nas microbacias**

A verificação do pressuposto de normalidade e homocedasticidade mostra que os dados coletados são normais e homogêneos. A partir disto, a análise de variância mostrou que os maiores valores de concentração de sedimentos finos, mensurado no exutório da microbacia principal, foram observados no sistema de captação ao nível do vertedouro. Quanto a variação horizontal, o maior valor observado foi no amostrador central mais próximo de uma das entradas, seguido pelo lateral também mais próximo a esta estrada (Tabela 21).

Tabela 21 – Concentração de sedimentos finos, em gL⁻¹, para as 5 coletas de campo.

Concentração média de sedimentos*, em gL ⁻¹	
Posição	Média
1	2,04 c
2	2,30 b
3	2,64 a
4	2,34 b

Altura	Média
1	3,22 a
2	1,44 b

*Valores seguidos de letras diferentes na coluna, para cada posição e altura, diferem entre si (p<0,05), pelo teste t.

Ao se analisar a interação entre a concentração média de sedimentos e o valor da lâmina precipitado em cada período de amostragem, não foram verificadas diferenças significativas (Tabela 22).

Tabela 22 – Precipitação total e temperatura média para os períodos de coleta de sedimentos, fonte: estação meteorológica da Petra AS, e concentração média dos sedimentos (g L^{-1}) para cada coleta.

Nº	Data	Precipitação total	Temperatura	Concentração média de sedimentos*
		mm	C°	g/L
1	25/04/2016	23,0	21,3	2,30 a
2	05/05/2016	19,0	20,3	2,31 a
3	20/05/2016	38,0	23,1	2,41 a
4	02/06/2016	31,0	20,9	2,37 a
5	05/06/2016	16,0	19,5	2,27 a

*Valores seguidos de letras iguais na coluna, para evento de chuva, não diferem entre si ($p < 0,05$), pelo teste T.

Os valores de massa de sedimentos totais para as coletas de 1 a 5 foram de 13,91kg, 13,60kg, 20,04kg, 13,74kg e 43,94kg, respectivamente.

As análises químicas dos sedimentos finos (Tabela 23) foram feitas a partir do somatório dos volumes acumulados nas duas linhas verticais de coletores, ou seja, os valores apresentados correspondem à uma caracterização dos sedimentos nas alturas 1 e 2, que distam 5cm.

Tabela 23 – Análise química dos sedimentos coletados nas alturas A1 e A2.

Amostras	pH	Ca	Mg	Al	COT (g/kg)
			$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$		g kg^{-1}
A1	6,65	1,70	0,60	0,04	1,42
A2	7,05	1,85	0,65	0,40	1,23
Amostras	P	Na	K	H+Al	
	g mg^{-1}		$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$		
A1	0,016	0,06	0,05	0,40	
A2	0,018	0,01	0,03	0,02	

3.3 Quantificação dos serviços ambientais

A quantificação dos serviços ambientais, após a instalação e operação das medidas mitigadoras e potencializadoras da produção de água nas microbacias, levou em conta a retenção de sedimentos, já apresenta no item 3.2, e a produção de água.

O balanço hídrico climatológico da área de estudo levou em conta os anos de 2011 a 2014 e as variações no uso do solo antes e durante a operação do Empreendimento (Tabela 24).

Tabela 24 – Balanço hídrico climatológico de 2011 a 2014. **Fontes:** precipitação e evapotranspiração: INMET; e uso do solo: plantas de engenharia da lavra (Petra AS) e série histórica de imagens do Google Earth Pro.

Mês	Balanço hídrico das microbacias			
	2011	2012	2013	2014
	mm			
Janeiro	-23,6	159,8	226,32	-96,4
Fevereiro	-116,4	-108,2	19,37	-11,4
Março	67,4	48,9	82,54	95,2
Abril	4,1	26,5	8,80	12,5
Maio	-1,8	-12,7	24,31	-31,2
Junho	-22,7	31,0	-45,72	-40,7
Julho	-49,1	-33,5	68,65	-9,5
Agosto	-48,3	-39,2	-58,30	-40,4
Setembro	-55,1	-4,8	-43,53	-39,5
Outubro	10,6	-41,6	-75,37	-73,1
Novembro	36,4	0,6	84,15	-32,0
Dezembro	21,7	-16,9	41,07	-33,0
Total	-176,9	9,8	332,29	-299,5

O balanço final da produção de água nas microbacias, apresentado na Tabela 25, mostram que houve suprimento da demanda, mesmo em períodos em que o balanço hídrico climatológico era negativo (2014).

Tabela 25 – Balanço final da produção de água no empreendimento antes e após a implementação das medidas potencializadoras de serviços ambientais.

	2011	2012	2013	2014
Balanço hídrico climatológico (m ³)	-129.813,99	7.222,18	243.801,22	-219.735,00
Capacidade de armazenamento (m ³)	-	227.333,00	238.699,65	281.892,92
Precipitação (m ³)	709.194,42	875.157,36	1.082.207,50	685.275,80
Volume captado (m ³)	-	7.355,60	28.153,00	50.567,00
Balanço final (m ³)	-129.813,99	227.199,58	454.347,87	11.590,92

4 DISCUSSÕES

O diagnóstico das microbacias mostram que, mesmo antes da instalação das atividades de mineração, havia baixa capacidade de produção de serviços ambientais na área de estudo, referente aos recursos hídricos. Isto porque, em toda área encontrou-se solos com camada orgânica pouco profunda, com presença de camadas de impedimentos e contato lítico próximo, favorecendo o fluxo hídrico horizontal de escoamento, dificultando a infiltração de água no solo. Além disto, as áreas naturais de acúmulo de água, as várzeas, são pequenas e não possuem contato direto com planície de inundação que está presente na bacia hidrográfica do Sistema Guandu.

Os solos presentes nas microbacias estudadas apresentam maiores valores de carbono orgânico nos horizontes superficiais (10 a 15cm) de profundidade, que correspondem aos horizontes A, AB ou BA. Estes solos são submetidos a queimadas frequentes que favorecem a perda da matéria orgânica pelos processos de oxidação. Com a redução do conteúdo de matéria orgânica, há favorecimento da instabilidade dos agregados nos horizontes superficiais e conseqüentemente estes tornam-se mais suscetíveis aos processos erosivos, intensificando a produção de sedimentos.

Destaca-se os valores médios de Carbono Orgânico Total – COT, em $g\ kg^{-1}$, foram 4,94, 3,22, e 3,9, respectivamente para as zonas de captação, transmissão e afloramento. Estes valores mostram que toda a área possui baixo teor de matéria orgânica incorporada no solo, visto que, Barreto et al. (2008), ao estudarem o COT no solo em áreas de mata atlântica, pastagem e cacau, encontrou o valor médio de 26,58g/kg. Da mesma forma, a quantidade de fósforo (P) encontrado nas 3 zonas está abaixo de 0,02g/mg, confirmando a baixa fertilidade dos solos nas microbacias.

A condutividade hidráulica dos solos na zona de transmissão diminui com a profundidade, desfavorecendo o fluxo interno de água e aumentando o escoamento subsuperficial, diminuindo o abastecimento do lençol freático. Esta afirmativa é válida uma vez que a condutividade hidráulica pode ser considerada como a facilidade com que o solo transmite água (DE FREITAS & MORAIS, 2004). Este fato é corroborado pelos valores de densidade do solo que aumentam com a profundidade e pela presença de *pipes* e camadas de impedimento identificado na análise do perfil de solo. Na zona de captação, este efeito não é tão visível, mas os valores de condutividade apresentam-se baixos, indicando baixa capacidade de retenção de água também nestas áreas.

Adicionalmente os baixos teores de nutrientes, desfavorecem o desenvolvimento da cobertura vegetal que poderia atuar como protetora do impacto direto das gotas de chuva na superfície do solo. O impacto da gota direto no solo pode causar o selamento superficial do solo, diminuindo a taxa de infiltração de água no solo e aumentando a quantidade de sedimentos carregados através de escoamento superficial (GONÇALVES E MORAES, 2012).

Após a inserção das medidas potencializadoras dos serviços ambientais, a retenção de sólidos nos tanques de decantação e no sistema de drenagem, impediu que cerca de 29.000 t de sedimentos fossem carregados para os corpos hídricos do entorno, entre os anos de 2012 a 2015.

A distribuição granulométrica dos sólidos, sedimentados nos tanques, variou no sentido da entrada para a saída, sendo que nas cunhas próximas à entrada apresentou granulometria maior. Este padrão pode ser decorrente da perda de energia das partículas que estão sendo transportadas. À medida que vai havendo a diminuição da energia as partículas de maior diâmetro começam a ser depositadas mais próximas da entrada do tanque já as de menor dimensão são transportadas para maiores distâncias.

DA mesma forma, a distribuição horizontal dos sedimentos pode estar correlacionada com a intensidade das chuvas, uma vez que os tanques recebem sedimentos durante todo o ano, sendo limpos apenas no período de seca. Já a análise química destes sedimentos mostra que estes são, em sua maioria, composto de material primário, destacando o baixo valor de COT em todas as camadas. Estes resultados mostram que a maior parte dos sedimentos acumulados é proveniente da área de lavra, onde houve há constante remoção da camada superficial de solo.

Já a análise no exutório da microbacia principal mostrou que a concentração de sedimentos finos, mesmo em período de plena movimentação do solo com a operação do empreendimento, a exportação de sedimentos é muito baixo e independe do volume precipitada. Este fato pode ser explicado pela uniformidade dos valores de lâmina das chuvas, precipitados no período de coleta.

Por outro lado, o balanço hídrico climatológico para o período de 2011 a 2014 mostra que a evapotranspiração potencial é maior que a lâmina precipitada para os anos de 2011 e 2014. Já em 2012 estes valores são praticamente iguais. Este resultado mostra que, em condições normais as microbacias não teriam capacidade de fornecimento de água para o empreendimento.

Entretanto, o sistema de captação e distribuição de água implementado e avaliado ao longo de 4 anos, mostram que houve inversão da tendência natural do fluxo hídrico, ou seja, os pequenos poços ao longo das drenagens, os poços de sedimentação e as barragens permitiram o aumento do fluxo hídrico vertical, permitindo que as águas das chuvas permanecessem mais tempo no sistema e que um volume menor de água fosse perdido por evapotranspiração. Estes fluxos foram direcionados aos reservatórios naturais e artificiais de água no solo, possibilitando a captação e abastecimento da demanda hídrica do empreendimento.

Portanto, o modelo de produção de água e contenção de sedimentos, baseado na identificação dos ecossistemas naturais e implementação de sistema de captação, direcionamento e armazenamento subsuperficial de água da chuva e recirculação dos excedentes mostrou-se eficiente e garantiu a viabilidade ambiental do empreendimento.

5 CONCLUSÃO

As microbacias antropizadas inseridas na BHSB, na região de transição da planície de inundação e mares de morros, apresentam baixa capacidade de produção de serviços ambientais relacionados aos recursos hídricos. Isto se dá devido à pouca influência da planície de inundação e prevalência da zona de transmissão, onde o fluxo hídrico tende a ser horizontal, favorecendo o escoamento superficial e subsuperficial em detrimento da infiltração da lâmina precipitada.

O uso contínuo e irregular destes solos tornou ainda menor a disponibilidade hídrica nestes locais, uma vez que a ausência cobertura vegetal e matéria orgânica no solo favorece a diminuição da taxa de infiltração de água no solo. Desta forma, o balanço hídrico climatológico é negativo, uma vez que a evapotranspiração potencial apresenta-se maior ou igual à lâmina precipitada.

Entretanto, no estudo realizado, verificou-se que é possível desenvolver ações que promovam o aumento da capacidade de produção de serviços ambientais destas áreas. Estas ações garantem a permanência dos sedimentos produzidos pela atividade de mineração nas microbacias e aumentam a produção de água, contribuindo para a viabilidade ambiental e econômica do Empreendimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como proposta avaliar a produção de serviços ambientais em bacias hidrográficas antropizadas e que sofrem interferência da planície de inundação flúvio marinha. A interferências antrópicas, tais como as obras de drenagem e o canal do Guandu, alteraram a dinâmica hídrica das pequenas bacias hidrográficas que o compõem o Sistema Guandu, alterando as zonas de maior e menor influência do lençol freático e modificam a produção de serviços ambientais, relativos aos recursos hídricos, do seu entorno. Desta forma, a produção de serviços ambientais em ecossistemas antropizados depende de uma série de medidas de controle e potencialização das feições naturais pré-existentes, que é dependente de cada ambiente.

A identificação das zonas hidrogenéticas e do índice topográfico de umidade facilitam a identificação das áreas com capacidade diferenciada de produção de serviços ambientais. Contribuindo para a identificação das capacidades ecossistêmicas das microbacias e possibilitando a execução de medidas potencializadoras destes serviços. O modelo executado e avaliado neste estudo mostrou que é possível, mesmo para áreas com baixa capacidade de produção de água, garantir a viabilidade de Empreendimentos que necessitam de água para o seu desenvolvimento, como é o caso da mineração.

O estudo mostrou também que é possível evitar que os impactos gerados por suas atividades atinjam áreas externas às microbacias, colaborando para diminuir o dano causado ao meio ambiente. Desta forma, recomenda-se que tais medidas sejam implementadas em novas áreas e Empreendimentos para que se possa afirmar, com certeza, a respeito de sua eficiência.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. (2003). **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Vol. 1. Ateliê Editorial.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., & SPAROVEK, G. (2013). **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728.
- ALVES, J.M.P; CASTRO, P.T.A. (2003) **Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos**. Rev. Brasileira de Geociências, p. 117-1245, jun. 2003.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2006). **Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim**. Relatório do Diagnóstico - Final. GDU-30-0003 RE. Revisão 0/0. Brasília, Sondotécnica Engenharia de Solos S.A., Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, SPR/ANA.
- ANDRADE, D. C., & ROMEIRO, A. R. (2009). **Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano**. Instituto de Economia–Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), SP: Texto para Discussão, 155.
- ARAÚJO FILHO, J.C. & RIBEIRO, M.R. (1996) **Infiltração de Água em Cambissolos do Baixo Irecê (Ba)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Piracicaba, v.20, p.263-370.
- AUBERTIN, G.M. & J.H PATRIC. (1974). **Water quality after clearcutting a small watershed in West Virginia**. Journal of Environmental Quality, 3 (3): 243-249.
- BARBAN, V. (2009). **5º Fórum mundial da água – questões fundamentais e muitas controvérsias**. REDD, Revista Espaço de Diálogo e Desconexão, Araraquara, v.1, n.2.
- BARRETO, A. C., FREIRE, M. B. G. D. S., NACIF, P. G. S., ARAÚJO, Q. R., FREIRE, F. J., & INÁCIO, E. D. S. B. (2008). **Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos**. R. Bras. Ci. Solo, 32:1471-1478.
- BARTON, J.L. & P.E. DAVIES. (1993). **Buffer strips and streamwater contamination by atrazine and pyrethroids aerially applied to Eucalyptus nitens plantations**. Australian Forestry, 56 (3): 201-210.
- BERTONI; J. & LOMBARDI NETO, F. (1990) **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 355p.
- BESCHTA, R.L. (1991). **Stream habitat management for fish in the Northwestern United States: the role of riparian vegetation**. American Fisheries Society Symposium, 10: 53-58.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M. ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. (2002). **Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos**. R. Bras. Ci. Solo, 26:829-834.
- BIGARELLA, JOÃO JOSÉ; BECKER, ROSEMARI DORA; SANTOS, GILBERTO FRIEDENREICH DOS. (1994). **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, Vol. 3, 1436 p.
- BOCK, M., BÖHNER, J., CONRAD, O., KÖTHE, R., & RINGELER, A. (2007). **XV. Methods for creating Functional Soil Databases and applying Digital Soil Mapping with SAGA GIS**. JRC Scientific and technical Reports, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.

- BOEHNER, J., KOETHE, R. CONRAD, O., GROSS, J., RINGELER, A., SELIGE, T. (2002): **Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation**. In: Micheli, E., Nachtergaele, F., Montanarella, L. [Ed.]: Soil Classification 2001. European Soil Bureau, Research Report No. 7, EUR 20398 EN, Luxembourg. pp.213-222.
- BOEHNER, J., SELIGE, T. (2006): **Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation**. In: Boehner, J., McCloy, K.R., Strobl, J.: 'SAGA - Analysis and Modelling Applications', Goettinger Geographische Abhandlungen, Vol.115, p.13-27
- BORSATO, F.H; MARTONI, A. M. (2004) **Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná**. Acta Scientiarum, Maringá, v. 26, n. 2, p.273- 285.
- BOYD, C., TURTON, C., HATIBU, N., MAHOO, H. F., LAZARO, E., RWEHUMBIZA, F. B. & MAKUMBI, M. (2000). **The contribution of soil and water conservation to sustainable livelihoods in semi-arid areas of sub-Saharan Africa**. Network Paper- Agricultural Research and Extension Network, (102).
- BRASIL (2005). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 15 de dezembro de 2015.
- BRASIL. (1997). **Lei nº 9.433, de 9 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União - Seção 1 - 9/1/1997, Página 470.
- BUCHANAN, B. P., FLEMING, M., SCHNEIDER, R. L., RICHARDS, B. K., ARCHIBALD, J., QIU, Z., & WALTER, M. T. (2014). **Evaluating topographic wetness indices across central New York agricultural landscapes**. Hydrology and Earth System Sciences, 18(8), 3279.
- CAETANO, L. C. (2005). **A política da água mineral: uma proposta de integração para o Estado do Rio de Janeiro**. Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, SP.
- CHARLTON, R. (2008). **Fundamentals of fluvial geomorphology**. New York: Routledge. 234p. ISBN 0-203-37108-9.
- COOK, B. R.; Spray, C. J. (2012). **Ecosystem services and integrated water resource management: Different paths to the same end?** Journal of Environmental Management 109, p. 93-100.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., RASKIN, R. G. (2016). **The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital (1997)**. The Globalization and Environment Reader, 117.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (2001) **Mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro**. Brasília. 1 mapa. Escala 1:500.000. 1 CD-ROM.

- DAILY, G., (1997). **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems.** Island
- DALRYMPLE, J. B.; BLOMG, R. J.; CONACHER, A. J. (1968). **A Hypothetical Nine Unit Land surface Model.** Z. Geomorphology, 12; 60-76.
- DE FREITAS, M. D. G. B., & MORAES, S. O. (2004). **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo.** Ciência Rural, 34(3), 963-969.
- DONADIO, N. M. M., GALBIATTI, J. A., & PAULA, R. D. (2005). **Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil.** Engenharia Agrícola, 25(1), 115-125.
- DONAGEMA, G. K., CAMPOS, D. D., CALDERANO, S. B., TEIXEIRA, W. G., & VIANA, J. H. M. (2011). **Manual de métodos de análise de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230.
- ELMORE, W. & R. L. BESCHTA. (1987). **Riparian areas: perceptions in management.** Rangelands, 9 (6): 260-265.
- ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. (1994). **Software: ArcGis e Arc INFO – v.10.** Inc. Redlands. CA. CD-ROM.
- ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. (2010). **Commands References.** Inc. Redlands. CA. New York. 281 p.
- FALCÃO, L.C.; AYRES NETO, A. (2010). **Parâmetros físicos de sedimentos marinhos superficiais da região costeira de Caravelas, sul da Bahia.** Revista brasileira de geofísica, v. 28, n. 2, p. 279-289.
- GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia.** São Paulo, Edgard Blucher LTDA, 291p, 1998.
- GHISI, E., & FERREIRA, D. F. (2007). **Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil.** Building and Environment, 42(7), 2512-2522.
- GIDDENS, A. (2012). **A política da mudança climática.** Interseções, Rio de Janeiro, v. 14 n. 1, p. 230-234.
- GNADLINGER, J. (2014). **How can rainwater harvesting contribute to living with droughts and climate change in semi-arid Brazil?** Waterlines, v. 33, n. 2, p. 146-153, Pratical Action Publishing, Bourton on Dunsmore, Inglaterra.
- GONÇALVES, F. C., & MORAES, M. H. (2012). **Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo.** Irriga, 337-345.
- HALL, G. F., & OLSON, C. G. (1991). **Predicting variability of soils from landscape models.** Spatial Variabilities of Soils and Landforms, (spatial variabil), 9-24.
- HAN, D.; HAMMOND, M. (2006). **Recession curve estimation for storm event separations.** Journal of Hydrology. v. 330, p. 573– 585.
- HEWLETT, J.D. & A.E. HIBBERT. (1967). **Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas.** International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon Press: 275-290.

HICKEY, R., SMITH, A., & JANKOWSKI, P. (1994). **Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID**. Computers, environment and urban systems, 18(5), 365-380.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2014) **Cidades**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=330414&search=rio-de-janeiro|queimados>. Acesso em: 21 de setembro de 2015.

INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE – INEA e CERHI - CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (2013). Resolução nº 107 de 22 de maio de 2013. Aprova nova definição das regiões hidrográficas do estado do rio de janeiro revoga a resolução CERHI nº 18 de 08 de novembro de 2006. Publicada no Diário Oficial do Estado no dia 12 de junho de 2013, pág. 35/36.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (2014). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 13 de setembro de 2015.

JUNIOR, C. O. J.; DIAS, H. C. T. (2005). **Precipitação efetiva em fragmentos secundários da Mata Atlântica**. Revista Árvore, Viçosa/MG, V.29, p. 9-15.

KLAR, A. E. (1984). **A Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. São Paulo, Nobel, 1984. 408 p.

LIANG, W. L., & CHAN, M. C. (2017). **Spatial and temporal variations in the effects of soil depth and topographic wetness index of bedrock topography on subsurface saturation generation in a steep natural forested headwater catchment**. Journal of Hydrology, 546, 405-418.

LIBARDI, P.L. (1995). **Dinâmica da Água no Solo**. Piracicaba: Ed. do Autor. 497p.

LIMA, C. L. R., PAULETTO, E. A., GOMES, A. D. S., & SILVA, J. D. (2003). **Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo**. Bras. Ci. Solo, 27, 199-205.

LIMA, W.P. (1994). **Função hidrológica da mata ciliar**. Simpósio sobre Mata Ciliar. Fundação Cargill: 25-42, São Paulo.

LOSS, A., COSTA, E. M., PEREIRA, M. G., & BEUTLER, S. J. (2014). **Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo**. Revista de la Facultad de Agronomía, 113.

MATEUS, F. A., MIRANDA, C. D. C., VALCARCEL, R., & FIGUEIREDO, P. H. A. (2013). **Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica**. Floresta e Ambiente, 20(3), 336-343.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. (2005). **Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends: Synthesis**. Island Press, Washington, DC, pp. 829–838.

MEIRELES, A. J. A., & CAMPOS, A. A. (2010). **Componentes Geomorfológicos, Funções e Serviços Ambientais de Complexos Estuarinos no Nordeste do Brasil (geomorphological units, environmental functions and services of estuaries-northeast of Brazil)**. Revista da ANPEGE, 6(6), 89-107.

- MILLER, V. C. (1953). **A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area Virginia and Tennessee (no. cu-tr-3)**. Columbia Univ New York.
- MOLDAN, B.; CERNY, J. (1994). **Small Catchments Research**. In: Bedrich Moldan and Jiri Cerny (Eds.) Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research. England: John Wiley & Sons. p. 1-29. (Series SCOPE report; 51).
- MUÑOZ, V.A., VALERIANO, M. M. (2013) **Mapping of floodplain by processing of elevation data from Remote Sensing**. In: Pardo-Igúzquiza, E., Guardiola-Albert, C., Heredia, J., Moreno-Merino, L. Durán, J. J., Vargas-Guzmán, J.A. (Eds.). Mathematics of Planet Earth: Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences. Berlin: Springer-Verlag. part XV. Quantitative hydrology: working across scientific disciplines and time-space scales. p. 481-484. ISBN 9783642324079.
- MUSCUTT, A.D.; G.L. HARRIS; S.W. BAILEY; D.B. DAVIES. (1993). **Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture**. Agriculture, Ecosystem and Environment, 45: 59-77.
- NORONHA, F.L.; MIZUSAKI, A.M.; BRESSANI, L.A. (2012). **Pesquisas em Geociências**, 39 (2): 127-145, maio/ago.
- PERROUX, K. M. & WHITE, I. (1998). **Designs for Disc Permeameters**. SoilSci. Soc. Am. J., v.52, p.1205-1215.
- PINHEIRO, H.S.K. (2012). **Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 175p.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. La L. (2008). **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos avançados, vol.22, n.63, pp. 43-60. ISSN 1806-9592.
- POTT, C. A. & DE MARIA, I.C. (2003). **Comparação de Métodos de Campo para Determinação da Velocidade de Infiltração Básica**. Rev. Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, p.19-27.
- PRUSKI, F. F. (2006). **Conservação do Solo e Água: Práticas Mecânicas para o Controle da Erosão Hídrica**, Editora UFV, Viçosa, 240p.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. (1992). **Selamento Superficial e Infiltração de Água em Solos do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.16, p.289-298.
- SALAMENE, S., FRANCELINO, M. R., VALCARCEL, R., LANI, J. L., & SÁ, M. M. F. (2011). **Estratificação e caracterização ambiental da área de preservação permanente do Rio Guandu/RJ**. Revista Árvore, 35(2), 221-231.
- SALATI, E.; SANTOS, A. A.; NOBRE, C. (2004). **As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros**. Disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm> . Acesso em 26 jul. 2016.
- SALES, L.E.O.; FERREIRA, M.M.; SILVA DE OLIVEIRA, M. & CURI, N. (1999) **Estimativa Da Velocidade de Infiltração Básica Do Solo**. Brasília, v.34, n.11, p.2091-2095.
- SALGADO-LABOURIAU, M.L. (2001). **Reconstruindo as comunidades vegetais e o clima do passado**. Humanidades. Brasília, v. 48, n. 1, p. 24-40.

- SANTOS, D. B., VIDOTTO, M. L., BERTINATTO, R., SOUZA M. G. R., & FRIGO, E. P. (2012). **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR**. Applied Research & Agrotechnology, 5(2), 7-18.
- SANTOS, H. D., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. D., OLIVEIRA, V. D., OLIVEIRA, J. D., COELHO, M. R., ... & CUNHA, T. D. (2013). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3º edição. Embrapa Solos, Rio de Janeiro/RJ.
- SELLE, G. L. (2008). **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais**. Bioscience Journal, 23(4).
- SEMADS – SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO RIO DE JANEIRO. (2001). **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da Macrorregião Ambiental 2 – Bacia da Baía de Sepetiba**. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ. Rio de Janeiro: SEMADS, 79p.
- SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. (1987). **Infiltration Measurements with Double Ring Infiltrimeters and a Rainfall Simulator under Different Surface Conditions on an Oxisol**. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.9, n.2, p.161-168.
- SMA - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE (1996). **Programa de Zoneamento Econômico - Ecológico do Estado do Rio de Janeiro. Projeto I: Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica da Baía de Sepetiba (ZEE)**. Rio de Janeiro; Secretaria de Estado de Meio Ambiente; Universidade Federal do Rio de Janeiro; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 55p.
- STRAHLER, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos, Transactions American Geophysical Union, 38(6), 913-920.
- TEIXEIRA, I. J. L. (2000) **Critérios Ambientais visando o estabelecimento de medidas compensatórias para o setor de mineração de brita no município do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- TEODORO, V. L. I., TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L., & FULLER, B. B. (2007). **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Revista Uniar, 20, 137-156.
- TUNDISI, J. G., & TUNDISI, T. M. (2010). **Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos/Potencial impacts of changes in the Forest Law in relation to water resources**. Biota Neotropica, 10(4), 67.
- UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL. (2015). **Water for a Sustainable World**, Scientific and Cultural Organization, 75352.
- VALCARCEL, R. (1987a) **La Cuenca y el Fenômeno Torrencial**. In: Curso de Estabilizacion de Cauces. Escola Técnica Universitária de Ingenieros Forestales. Madri. p.1-13.
- VALCARCEL, R., DE MEDEIROS, F. G., & DOS SANTOS GUAPYASSÚ, M. (1987b). **Diagnóstico Conservacionista do Sistema Light/Cedae**. Itaguaí: UFRRJ. Departamento de Ciências Ambientais, v 3.
- VALERIANO, M. D. M. (2003). **Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 7(3), 539-546.

VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. R. L. (2009). **Bacia Hidrográfica como unidade de Planejamento e Gestão: O estudo de caso do Ribeirão Conquista no município de Itaguara – MG.** In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Anais. UFV, Viçosa, CD ROOM.

VON SPERLING, M. (2005). **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 3ª edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, V945i, 452p.

WILKS, D. S. (2006). **Statistical methods in the atmospheric sciences.** 2. ed. San Diego: ElsevierInc..649p. ISBN 13: 978-0-12-751966-1. ISBN 10: 0-12-751966-1.

WILSON, J. P., & GALLANT, J. C. (2000). **Digital terrain analysis. Terrain analysis: Principles and applications,** 6(12), 1-27.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D (1958). **Rainfall energy and its relationship to soil loss.** Transaction American Geophysical Union, Washington, v.39, n.2, p.285-91.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M (1988). **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476.

ANEXOS

Anexo I – Anexo fotográfico

- Sistema de drenagem



Figura 1 - Identificação do sentido prioritário do escoamento, área de baixada



Figura 2 - Identificação do sentido prioritário do escoamento, área intermediária



Figura 3 - Identificação do sentido prioritário do escoamento, áreas altas;



Figura 4 - Forração do talvegue e aterro.



Figura 5 - Verificação da continuidade do escoamento.

- **Tanques de sedimentação**



Figura 6 – Abertura do Tanque de Sedimentação do tanque 09, entre o platô industrial e a encosta natural do terreno.



Figura 7 – Tanque de Sedimentação 09, destaque para a inserção de material poroso no fundo do tanque.



Figura 8 – Tanque de Sedimentação 09, destaque para a construção de acesso do caminhão de limpeza.



Figura 9 – Tanque de Sedimentação 09, destaque para a construção do vertedouro e início da escada de dissipação de energia.



Figura 10 – Tanque de Sedimentação 03 em processo de enchimento.



Figura 11 – Tanque de Sedimentação 04, destaque para a construção de acesso do caminhão de limpeza.



Figura 12 – Identificação e abertura de drenagens.



Figura 13 – Construção do Tanque de armazenamento temporário de água, conhecido como o Engenhão.



Figura 14 – Início do enchimento do Tanque de armazenamento temporário de água, conhecido como o Engenhão.

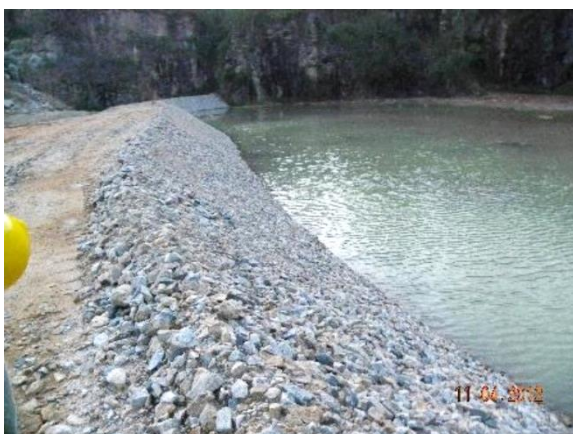


Figura 15 – Engenhão em processo de enchimento.



Figura 16 – Tanque de Sedimentação 02, destaque para proximidade com a encosta natural, permitindo a recarga do lençol freático.



Figura 17 – Tanque de Sedimentação 02, destaque para a construção do aterro – inserção de material externo.

Figura 18 – Tanque de Sedimentação 01 em operação.



Figura 19– Conjunto de tanques na extremidade Norte do empreendimento.

- **Coleta de solos indeformadas**



Figura 20 e 21 – montagem do trado de Uhland para coleta de amostra indeformada nos perfis de solo, em diferentes zonas hidrogenéticas.



Figura 22 – abertura de perfil para coleta de amostra indeformada.

Figura 23 – Coleta de amostra indeformada com o trado de Uhland.



Figura 24 – Conjunto utilizado para determinação da condutividade hidráulica do solo.



Figura 25 – Amostras indeformadas agrupadas na mesa de tensão para fins de determinação da porosidade do solo.

Anexo II – Perfis de solo - zonas hidrogenéticas

ZONA DE CAPTAÇÃO – TOPO DA PAISAGEM, PS1

1.1 Descrição geral

Nome: Petra Sul - PS01;

Coleta de campo: 11/05/2016;

Classificação SiBCS: Latossolo Amarelo distrófico;

Localização: Petra Agregados, Queimados, Rio de Janeiro;

Situação de abertura do perfil do solo: Descrito em barranco aberto pelo processo de lavra, no topo da encosta de formato convexo, em área de uso alternativo de solo, com pastagem abandonada (Figura 01);

Coordenadas: UTM 23 K, 649067.00 mE, 7485369.00 mE, Datum WGS84;

Altitude: +-99 m;

Litologia: Rocha metamórfica de caráter ácido (granito);

Material originário: Produto da intemperização do granito;

Pedregosidade: ligeiramente pedregosa;

Rochosidade: não rochoso;

Relevo local: ondulado; relevo regional: suave ondulado;

Erosão: ligeiramente laminar;

Drenagem: bem drenado;

Vegetação primária: Floresta tropical Subcaducifólia;

Clima: Aw, da Classificação de Köppen (clima tropical com estação seca); e

Descrito por: Anderson Diniz, Elias Mendes e Mateus Bueno.

1.2 Descrição morfológica

- A 0-15cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmida) e bruno (10YR 4/3, seca); argiloarenosa; forte, grande e granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara. Presença de raízes comuns, finas e médias;
- AB 15-24cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/6, úmida) e bruno-amarelado (10YR 5/6, seca); argila; forte, granular e grande, blocos angulares, pequenos; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara; Presença de raízes comuns, finas e médias;
- BA 24-32cm; bruno-amarelado (10YR 5/6); muito argilosa; cascalhenta; moderada, granular, média; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- B1 32-61/81cm; bruno amarelado (10YR 5/8); argila; pouco cascalhenta; forte, média, blocos angulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
- B2 61/81-94/100cm; bruno amarelado (10YR 5/8, úmida) e amarelo brumado (10YR 6/8, seca); muito argilosa; pouco cascalhenta; moderada, blocos angulares: média; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; Topografia: ondulada; transição: clara;
- B3 94/100-110/114cm; bruno amarelado (10YR 5/8,); muito argilosa; cascalhenta; moderada, blocos angulares, média; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara; Presença de linha de pedra com tamanho de cascalho e calhoes;
- B4 110/114-137+cm; bruno amarelado (10YR 5/8,); muito argilosa; cascalhenta; forte, blocos angulares: média; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa.

1.3 Observações:

Presença de raízes poucas, finas e médias até B1;

Presença de *pipe* a cerca de 80cm, no horizonte B2, indicando que há fluxo hídrico horizontal que está movimentando frações de solo; e

Camada de cascalho evidenciada a cerca de 110cm, no horizonte B3.

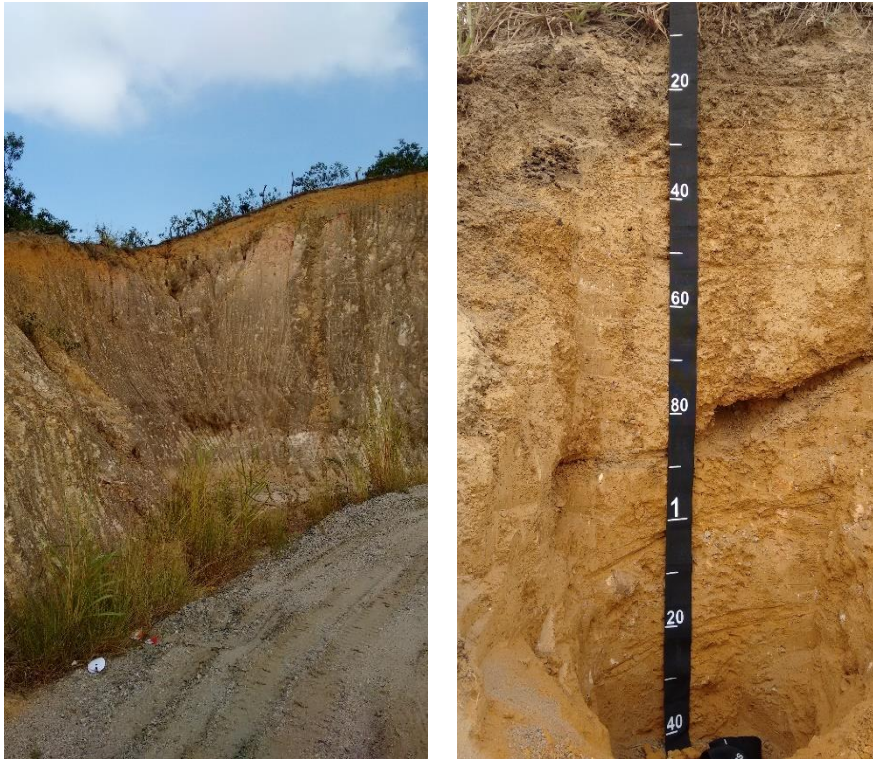


Figura 01 - Fotos do entorno do perfil PS1, localizado no topo da paisagem – zona de captação.

1.4 Características físicas e químicas – análises de laboratório

Tabela 1 – Granulometria do perfil de solo – PS1.

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Granulometria da TF - dispersão com NaOH (g kg ⁻¹)				Silte / Argila
Símbolo	Profundidade	Calhau	Cascalho	TF	AG	AF	Silte	Argila	
A	0 – 15	0	162	837	393	61	71	475	0,149
AB	15 – 24	0	199	801	348	58	41	553	0,074
BA	24 – 32	0	184	815	285	52	5	658	0,008
B1	32 – 61/81	0	323	676	342	51	41	566	0,072
B2	61/81 – 94/100	0	219	780	212	42	6	740	0,008
B3	94/100 – 110/114	0	411	588	184	32	48	736	0,065
B4	110/114 – 137+	0	214	785	128	96	23	753	0,031

Legenda: TF - Terra Fina; AG - Areia Grossa; e AF - Areia Fina.

Tabela 2 – Análise química - PS1.

Horizonte	pH (agua)	Complexo sortivo - cmolc kg ⁻¹								T	V	m	P	COT (g/kg)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺	S	%	g/mg	g/kg		
A	4,50	0,4	1,6	0,044	0,013	2,0	1,3	4,2	2,1	7,5	27,3	38,7	0,012	6,4
AB	4,29	0	1,99	0,003	0,005	1,9	1,9	2,4	2,0	6,2	32,1	48,3	0,011	5,2
BA	4,25	0	1,77	0,015	0,012	1,8	2,1	2,5	1,8	6,3	28,5	53,3	0,011	4,8
B1	4,15	0	1,98	0,009	0,011	1,9	1,9	1,7	2,0	5,6	35,8	48,8	0,011	5,0
B2	4,10	0	1,45	0,032	0,019	1,5	2,1	1,7	1,5	5,3	28,3	58,3	0,011	4,0
B3	4,25	0	1,71	0,010	0,012	1,7	1,6	2,6	1,7	5,9	29,3	48,0	0,011	5,5
B4	4,33	0	1,72	0,007	0,011	1,7	1,9	1,7	1,7	5,3	32,6	52,4	0,011	2,7

Legenda: SB – Soma de Base; S – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T - Capacidade de Troca Catiônica; V - Percentagem de Saturação de Bases; m - Percentagem de Saturação com Alumínio; e COT – Carbono Orgânico Total.

ZONA DE TRANSMISSÃO - MEIO INFERIOR, PS2

2.1 Descrição geral

Nome: Petra Sul - PS02;

Coleta de campo: 11/05/2016;

Classificação SiBCS: Latossolo Amarelo distrófico;

Localização: Petra Agregados, Queimados, Rio de Janeiro;

Situação de abertura do perfil do solo: Descrito em barranco, próximo aos reservatórios de água e ao tanque de sedimentação principal, no terço inferior da encosta de formato convexo, em área de uso alternativo de solo, com pastagem abandonada (Figura 02);

Coordenadas: UTM 23 K, 649161.00 mE, 7485263.00 mE, Datum WGS84;

Altitude: +-62 m;

Litologia: Rocha metamórfica de caráter ácido (granito);

Material originário: Produto da alteração de granito;

Pedregosidade: ligeiramente pedregosa;

Rochosidade: não rochoso;

Relevo local: Ondulado; Relevo regional: suave ondulado;

Erosão: ligeiramente laminar;

Drenagem: bem drenado;

Vegetação primária: Floresta tropical Subcaducifólia;

Clima: Aw, da Classificação de Köppen (clima tropical com estação seca); e

Descrito por: Anderson Diniz, Elias Mendes e Mateus Bueno.

2.2 Descrição morfológica

A 0-14cm; cinzento-muito-escuro (2,5Y 3/1); argila; pouco cascalhenta; forte, granular: grande; muito dura, muito firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; Topografia: plana; transição: clara;

BA 14-30cm; cinzento-escuro (2,5Y 4/1); argila; forte, granular: média, blocos angulares: pequenos; dura, firme, plástica e pegajosa; Topografia: plana; transição: clara;

B1 30-45 cm; marrom escuro (7,5YR 4/4); muito argilosa; cascalhenta; forte, blocos angulares: médios; dura, firme, plástica e pegajosa; Topografia: plana; transição: clara;

B2 45-74cm; marrom (7,5YR 5/4); muito argilosa; forte, blocos angulares: média, dura, firme, plástica e pegajosa; Topografia: plana; transição: clara;

B3 74-111+cm; marrom forte (7,5YR 5/8); muito argilosa; moderada, blocos angulares: média, dura, firme, plástica e pegajosa;

1.3 Observações:

Presença de raízes comuns, finas e médias até BA; e

Presença de cascalho a cerca de 40cm de profundidade, no horizonte B1em grande quantidade.



Figura 02 - Fotos do perfil PS2, localizado no terço inferior – zona de transmissão.

2.4 Características físicas e químicas – análises de laboratório

Tabela 3 – Granulometria do perfil do solo – PS2.

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Granulometria da TF - dispersão com NaOH (g kg ⁻¹)				Silte / Argila
Símbolo	Profundidade	Calhau	Cascalho	TF	AG	AF	Silte	Argila	
A	0 – 14	0	10	283	63	282	59	596	0,099
BA	14 – 30	0	37	282	40	158	236	596	0,396
B1	30 - 45	0	75	245	58	196	54	692	0,091
B2	45 - 74	0	16	302	65	56	91	788	0,153
B3	74 - 111+	0	0	326	66	154	47	733	0,079

Legenda: TF - Terra Fina; AG - Areia Grossa; e AF - Areia Fina.

Tabela 5 – Análise química – PS2.

Horizonte	pH (água)	Complexo sortivo - cmolc kg ⁻¹							T	V	m	P	COT	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺						S
A	4,9	1,0	1,6	0,221	0,018	88,7	1,3	4,2	2,8	8,3	33,7	31,8	0,012	1,3
AB	4,4	0,0	1,6	0,034	0,010	15,0	1,9	2,4	1,7	5,9	28,5	52,6	0,011	4,8
B1	4,5	0,0	2,2	0,027	0,020	12,6	1,9	1,7	2,2	5,8	38,1	46,4	0,011	3,2
B2	4,8	0,0	1,8	0,010	0,012	5,8	2,1	1,7	1,8	5,6	32,1	54,0	0,011	2,7
B3	4,8	0,0	1,8	0,017	0,016	8,5	1,6	2,6	1,8	6,0	30,4	46,7	0,011	3,6

Legenda: SB – Soma de Base; S – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T - Capacidade de Troca Catiônica; V - Percentagem de Saturação de Bases; m - Percentagem de Saturação com Alumínio; e COT – Carbono Orgânico Total.

ZONA DE AFLORAMENTO - BAIXADA, PS3

3.1 Descrição geral

Nome: Petra Sul - PS03

Coleta de campo: 11/05/2016;

Classificação SiBCS: Planossolo Nátricos

Localização: Petra Agregados, Queimados, Rio de Janeiro;

Situação de abertura do perfil do solo: Descrito em vala de drenagem, próximo à várzea e à jusante de barragem construída, na região de baixada da encosta de formato convexo, em área de uso alternativo de solo, com pastagem abandonada (Figura 03);

Coordenadas: UTM 23 K, 648968.00 mE, 485156.00 mE, Datum WGS84;

Altitude: +- 49m;

Litologia: Rocha metamórfica de caráter ácido (granito);

Material originário: Produto da sedimentação de Colúvio;

Pedregosidade: não pedregosa;

Rochosidade: não rochoso;

Relevo local: Suave Ondulado; Relevo regional: suave ondulado;

Erosão: ligeiramente laminar;

Drenagem: imperfeitamente drenado;

Vegetação primária: Floresta tropical Subcaducifólia;

Clima: Aw, da Classificação de Köppen (clima tropical com estação seca); e

Descrito por: Anderson Diniz, Elias Mendes e Mateus Bueno.

3.2 Descrição morfológica

A 0-13cm; bruno-amarelado escuro (10YR 3/4); argila; pouco cascalhenta; moderada, granular: média; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; Topografia: plana; transição: clara;

AE 13-22cm; bruno-escuro (10YR 3/3); franco-argiloarenosa; pouco cascalhenta; fraca, granular: média; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; Topografia: plana; transição: clara; Estrutura granular fraca e muito areia;

E 22-53cm; Base bruno-avermelhado (2,5YR 5/4); Mosqueado: pouco, pequeno e proeminente, vermelho e acinzentado (2,5YR 5/2, úmida) e cinzento-avermelhado (2,5YR 5/1, seco); franco-argiloarenosa; moderada, blocos angulares: média e grande; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; Topografia: plana; transição: clara;

Bp 53-72cm; Base amarelo-brumado (10YR 4/6); Mosqueado: comum, pequeno e proeminente, cinzento (5YR 5/1, úmida) e cinzento (5YR 6/1, seco); argila; forte; grande, blocos angulares: grande; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; Topografia: plana; transição: clara; e

Cg 72-104+cm; Base bruno-avermelhado-claro (2,5YR 7/3); Mosqueado: abundante, pequeno e proeminente, cinzento (7,5YR 6/1, úmida) e cinzento (7,5YR 5/1, seco); argila; maciça; cerosidade: pouca e fraca.

1.3 Observações:

Presença de raízes comuns, finas e médias nos horizontes A e raras, finas e médias em Bc e B1; e

No horizonte B1 há presença de mosqueado apenas no entorno das raízes.



Figura 03 - Fotos do entorno do perfil PS3, localizado em região de baixada – zona afloramento.

3.4 Características físicas e químicas – análises de laboratório

Tabela 5 – Granulometria do perfil de solo – PS3.

Símbolo	Horizonte Profundidade	Frações da amostra total (g kg ⁻¹)		Granulometria da TF - dispersão com NaOH (g kg ⁻¹)					Silte / Argila
		Calhau	Cascalho	TF	AG	AF	Silte	Argila	
A	0 – 13	0	5	280	305	101	96	498	0,193
AE	13 - 22	0	12	293	614	36	43	307	0,140
E	22 - 53	0	9	354	560	93	40	307	0,130
Bp	53 - 72	0	28	309	249	52	222	477	0,465
Cg	72 - 104+	0	18	318	355	74	33	538	0,061

Legenda: TF - Terra Fina; AG - Areia Grossa; e AF - Areia Fina.

Tabela 6 – Análise química – PS3.

Horizonte	pH (água)	Complexo sortivo - cmolc kg ⁻¹							T	V	m	P	COT	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺						S
A	4,7	0,6	2,0	0,015	0,010	8,6	1,3	3,4	10,9	15,6	69,8	10,7	0,0	5,4
AE	4,8	0,0	1,8	0,015	0,015	7,7	1,9	3,0	11,1	16,0	69,4	14,4	0,0	5,2
E	5,0	0,0	1,5	0,010	0,041	5,3	1,9	0,4	14,7	17,0	86,7	11,5	0,0	3,4
Bp	4,6	0,0	1,6	0,003	0,006	2,7	2,1	1,1	4,0	7,2	55,9	34,4	0,0	2,0
Cg	7,5	0,0	1,6	0,014	0,057	6,9	1,6	0,3	20,1	22,0	91,2	7,4	0,0	3,9

Legenda: SB – Soma de Base; S – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T - Capacidade de Troca Catiônica; V - Percentagem de Saturação de Bases; m - Percentagem de Saturação com Alumínio; e COT – Carbono Orgânico Total.

Anexo III – Resultados das análises de laboratório

Tabela 1 - Condutividade hidráulica, macroporos, microporos, porosidade total e densidade do solo

Amostra	Condutividade hidráulica	Macroporos	Microporos	Porosidade total	Densidade do solo
	mm/d		%		Mg/m ³
PS1 1,1	218,28	21,40	20,14	41,54	0,77
PS1 1,2	120,05	15,12	24,68	39,80	1,09
PS1 1,3	65,48	27,86	17,53	45,39	0,98
PS1 2,1	327,42	16,51	32,07	48,58	0,84
PS1 2,2	87,31	22,65	12,27	34,92	1,10
PS1 2,3	17,46	23,66	18,59	42,25	1,00
PS1 3,1	98,23	24,45	21,27	45,72	0,88
PS1 3,2	69,85	22,12	19,41	41,54	1,02
PS1 3,3	98,23	11,89	27,56	39,45	1,19
PS2 1,1	141,88	17,70	29,82	47,52	0,97
PS2 1,2	349,24	22,08	19,81	41,89	1,04
PS2 1,3	371,07	21,20	30,43	51,63	0,96
PS2 2,1	58,94	17,97	31,50	49,47	1,07
PS2 2,2	26,19	22,54	22,69	45,23	0,92
PS2 2,3	218,28	17,93	27,81	45,74	0,97
PS2 3,1	17,46	12,55	32,85	45,40	1,12
PS2 3,2	48,02	20,65	21,66	42,31	0,95
PS2 3,3	21,83	23,31	23,08	46,40	1,03
PS3 1,1	43,66	12,05	24,86	36,90	1,17
PS3 1,2	54,57	19,08	20,87	39,94	1,14
PS3 1,3	58,94	15,59	21,22	36,82	1,08
PS3 2,1	32,74	20,05	17,16	37,20	1,16
PS3 2,2	54,57	19,88	16,38	36,26	1,09
PS3 2,3	15,28	20,50	19,42	39,92	1,07
PS3 3,1	54,57	22,27	17,30	39,57	1,07
PS3 3,2	37,11	15,43	23,81	39,24	1,22
PS3 3,3	218,28	24,41	18,19	42,60	0,91

Tabela 2 - Concentração de sedimentos finos, em g/l, para as 5 coletas de campo

Coletor	Concentração de sedimentos finos, em g/L				
	25/04/2016	05/05/2016	20/05/2016	02/06/2016	05/06/2016
A1	2,81	2,77	2,83	2,81	2,52
A2	1,28	1,31	1,29	1,30	1,49
B1	3,11	3,21	3,76	3,16	2,87
B2	1,17	1,24	1,18	1,39	1,92
C1	4,21	3,98	4,26	4,10	3,73
C2	1,20	1,15	1,07	1,26	1,45
D1	2,87	3,07	3,13	3,06	2,22
D2	1,73	1,72	1,75	1,85	1,97
Total	18,38	18,45	19,27	18,93	18,17