UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

Cesar Sperchi Henrique

Regionalização hidrológica de vazões e de cargas difusas de sólidos suspensos totais para o programa ProdutorES de Água e o Pagamento de serviços ambientais. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Rio Benevente, ES

São Carlos

2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

Cesar Sperchi Henrique

Regionalização hidrológica de vazões e de cargas difusas de sólidos suspensos totais para o programa ProdutorES de Água e o Pagamento de serviços ambientais. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Rio Benevente, ES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós –
Graduação em Hidráulica e Saneamento da
Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mario Mendonço

São Carlos

2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

H135r

Henrique, Cesar Sperchi

Regionalização hidrológica de vazões e de cargas difusas de sólidos suspensos totais para o programa ProdutorES de água e o pagamento de serviços ambientais : estudo de caso : bacia hidrográfica do Rio Benevente / Cesar Sperchi Henrique ; orientador: Eduardo Mário Mendiondo. -- São Carlos, 2009.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

1. Qualidade da água. 2. Pagamento por serviços ambientais. 3. Programa produtores de água. 4. Regionalização hidrológica de vazões. 5. Cargas poluidoras de SST. 6. Cenários ambientais. 7. Cargas poluidoras difusas. 8. Curvas de permanência qualitativas. 9. Erosão hídrica. 10. Perda do solo. 11. Rio Benevente. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro CESAR SPERCHI HENRIQUE.

Dissertação defendida e julgada em 19/11/2009 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **EDUARDO MARIO MENDIONDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Titular **MARCOS VINICIUS FOLEGATTI**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

APROVADO

Dr. **SILVIO CRESTANA**
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA)

APROVADO

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

*Dedico este trabalho a toda
minha família e em especial
aos meus pais, exemplos de
vida e dedicação aos filhos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me manter firme na caminhada e me ajudar nos momentos mais difíceis.

Ao Professor Doutor Eduardo Mário Mendiondo pela orientação, confiança e incentivo, e pela amizade construída.

Ao Professor Doutor Marcelo Zaiat pela compreensão e ajuda em uma decisão importante para a minha carreira.

A CNPq pela bolsa de estudos fornecida.

As secretárias Sá e Pavi pelo seu trabalho de grande dedicação.

Ao pessoal do LPB e pelas turmas do mestrado do SHS de 2006 e 2007, pelos momentos de confraternização e transferência de conhecimentos.

A Nayara Batista Borges pela sua amizade e por sua ajuda na execução do trabalho.

A Gerência de Recursos Hídricos do IEMA, em especial ao Gerente Robson Monteiro dos Santos, e ao Analista de Meio Ambiente e Recursos Hídricos José de Aquino Machado Junior pela ajuda e incentivo na execução do trabalho.

Ao pessoal da outorga, em especial pela Subgerente Flávia Salim pela compreensão e ajuda na execução do trabalho. A todos os técnicos da outorga meus incentivadores e colegas, e em especial a Juliana Fernandes (Ju) companheira e amiga.

A Subgerência de Análise de Parâmetros Ambientais e a Gerência de Controle Ambiental (IEMA), e a CESAN pelo fornecimento dos dados e materiais necessários.

Ao pessoal da GCA (IEMA), Fernando, Cláudio, Emília, Ronaldo e Juliana pelo incentivo no trabalho.

Aos amigos e integrantes da república “Maloca”, Diego (deBetles), Eduardo (Curió), Patrick, (Patricão), Aníbal (Miquim), Carlos (Carlão) e Tica (cachorrinha) com quem morei, pelos momentos felizes, e de companheirismo.

Aos meus amigos Tarcísio (Gladiador), Eduardo (Pacatão) e Nelson (Sapim) pelo incentivo, amizade e companheirismo de longa data.

A Valquíria pelo incentivo e ajuda nas minhas decisões, tanto nos bons momentos como nos difíceis.

E por fim a todos os amigos e parentes, em especial aos meus pais, João e Ana, aos meus irmãos, Otávio (Neicim), Olívia (Lili), Natália (Nat) e a minha Vó, Luiza, as pessoas mais importantes da minha vida.

*“Tal como a chuva e a neve caem do céu e
para lá não voltam sem ter regado a terra,
sem a ter fecundado, e feito germinar as
plantas, sem dar o grão a semear e o pão a
comer assim acontece à palavra que minha
boca profere: não volta sem ter produzido seu
efeito...”*

Isaias 55, 10, 11

RESUMO

HENRIQUE, C. S. (2009). *Regionalização hidrológica de vazões e de cargas difusas de sólidos suspensos totais para o programa ProdutorES de Água e o Pagamento de serviços ambientais. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Rio Benevente, ES*. Dissertação de mestrado, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O sistema de Pagamento por Serviços Ambientais de uma bacia hidrográfica pode ser economicamente atrativo e ecologicamente importante. Programas como o Produtor de Água compensam economicamente proprietários a montante da bacia que utilizam de manejo adequado do uso do solo, e do reflorestamento, para evitar a erosão hídrica, o aumento de cargas poluidoras difusas, e aumentar a disponibilidade e qualidade de água. Por consequência usuários de água, a jusante da bacia, são beneficiados, por exemplo, as estações de tratamento de água. Este trabalho tem como objetivo, a partir de metodologias de pagamentos de serviços ambientais, regionalizar hidrológicamente a quantidade e qualidade de água do Rio Benevente para dar subsídios ao programa de produtores de água de sua bacia hidrográfica. O trabalho foi desenvolvido na parte média e alta da Bacia hidrográfica do Benevente, localizada ao sul do Estado do Espírito Santo, com área de drenagem de aproximadamente 1260 km². A área de drenagem do local do estudo é de 825,24 Km². Parte da metodologia consistiu no levantamento de dados quantitativos e qualitativos de água ao longo do Rio Benevente, nos últimos anos. De posse dos dados de vazão, concentração de SST e da área de drenagem, foram calculadas as cargas específicas difusas de SST, em termos de Kg/ha.ano e as cargas totais difusas em termos de ton.ano⁻¹. A carga específica média de SST para a bacia foi de 194 Kg/ha.ano, a carga total média de SST foi de 11.238 ton.ano⁻¹. A metodologia de regionalização hidrológica de cargas de SST por meio de curvas de permanência mostrou que há uma ampla variação de cargas produzidas na bacia sobre diferentes condições hidrológicas. Por exemplo, para uma faixa de permanências de 40% a 60% a variação de produção específica regional de SST foi de 58,54 a 825,14 Kg/ha.ano.

A utilização da metodologia das curvas de permanência quali-quantitativas para a proposição de cenários ambientais em vista das mudanças de uso e ocupação do solo, propostos pelos programas de PSA, permitiu estimar o Percentual de Abatimento de Sedimentação (P.A.S) e consequentemente o Percentual de Abatimento de Erosão (P.A.E), na bacia. Encontrou – se um P.A.E de 36,9 % entre o cenário atual e o cenário com aumento de 20% da área florestal da bacia. Com este resultado estimou – se um total arrecadado na bacia pelo P.S.A de 825.195 R\$/ano. Com as metodologias propostas também foi calculada a perda de solo atual da bacia, em relação à estação de amostragem mais a jusante. A taxa estimada foi de 200.123 ton/ano.

Palavras Chaves: Pagamento por Serviços Ambientais, Programa Produtores de Água, Regionalização hidrológica de vazões e cargas poluidoras de SST, Cenários ambientais, Cargas poluidoras difusas, Curvas de permanência quali-quantitativas, Erosão Hídrica e perda de solo, Rio Benevente.

ABSTRACT

HENRIQUE, C. S. (2009) *Hydrological regionalization of flows and loads of total suspended solids for the program Producers of Water and the payment of environmental services. Case Study of River Basin Benevente, ES*. M. Sc. Dissertation. São Carlos. Engineering School of São Carlos, University of São Paulo.

Systems of Payment for Environmental Services of a catchment area can be economically attractive and ecologically important. Programs such as Producers of Water economically compensate owners upstream of the basin using the proper management of land use, and reforestation to prevent erosion, increased pollution loads diffuse and increase the availability and quality of water. Consequently water users downstream of the basin, are benefited, for example, sewage water treatment. This paper aims, methodologies from payments for environmental services, regionalization of hydrologically the quantity and quality of water from the River Benevente to aid the program producer of water from its watershed. The study was conducted in the middle and upper catchment of the Benevente, located south of Espírito Santo, with drainage area of approximately 1260 km². The drainage area of the study is 825.24 km². Part of the survey methodology consisted of qualitative and quantitative data of water along the Rio Benevente in recent years. With these data we calculated the diffuse specific loads of TSS, in terms of Kg.ha⁻¹.year⁻¹. The specific load average TSS for the basin was 194 Kg.ha⁻¹.year⁻¹, the total load average SST was 11,238 Ton.year⁻¹. The methodology of regionalization of hydrological loads of TSS through curves of duration showed that there remain a wide range of loads in the basin produced on different hydrological conditions. For example, for a range of stays of 40% to 60% of the variation of specific regional production of TSS was 58.54 to 825.14 Kg.ha⁻¹.year⁻¹.

Using the methodology of the curves remain qualitative and quantitative for the proposition environmental scenarios in view of land use change and land use, proposed by the PSA program, estimated the rate of reduction on Sedimentation (PAS) and consequently the rate Abatement of Erosion (PAE) in the basin. Found - a PAE of 36.9% from the current scenario and the scenario with budget of 20% of the forest area of the basin. With this estimated result - a total collected in the basin by the PSA for R\$ 825,195 / year. With the proposed methodology was also calculated the soil loss on the basin in relation to the sampling station further downstream. The rate was estimated at 200,123 ton / year.

Key words: Payment for Environmental Services, Environmental scenarios, Regionalization of hydrological flows and pollutant loads, pollutant loads diffuse Program Water producers, curves remain qualitative and quantitative, water erosion and soil loss, Rio Benevente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Síntese das etapas do presente estudo	4
Figura 2: Exemplo de curva de permanência de cargas de SST e a curva de CMTD. Comportamento das cargas sob influencia das condições hidrológicas vigentes e soluções potenciais para as cargas acima do permitido (CMTD). Adaptado de Cleland (2002).....	21
Figura 3: Exemplo de curva de permanência de cargas específicas de SST e curva de CTMD. A elipse negra evidencia as cargas acima do permitido sob condições úmidas. Adaptado de Cleland (2002).	22
Figura 4: Gráfico de abordagem quali-quantitativa de água mostrando o equilíbrio dinâmico do regime fluvial de permanências (abscissa) com os aspectos quantitativos (vazão específica, à esquerda, linha contínua) e qualitativos (produção de cargas poluidoras, à direita, linha de traços).	25
Figura 5: Exemplo de novo cenário de variabilidade climática e como este afeta a permanência de vazão específica (linha de traços, em negrito, $\Delta Q^* = Q^*2 - Q^*1$) e repercutindo na produção de carga poluidora ($\Delta Y = Y2 - Y1$).	26
Figura 6: Exemplo de cenário de mudança de uso do solo que afeta a produção de carga poluidora ($+\Delta Y$, linha de traços, em negrito) e a permanência de vazão específica ($+\Delta Q^*$). .	26
Figura 7: Equilíbrio dinâmico da qualidade, SST, e quantidade de água para os cenários 1 (2000 – 2008), 2 (2025), 3 (2050) e 4 (2100), com aumento de temperaturas. Fonte: Mendiondo, (2009).	27
Figura 8: Interpretação de estágios de cenários de clorofila “a” em função da relação Produtividade e consumo (P/R). Adaptado de Mendiondo (2008).	28
Figura 9: Síntese das relações entre os serviços ambientais prestados e os aspectos constituintes do bem estar humano, adaptado de: Organização das Nações Unidas (2005).	31
Figura 10: Bacia hidrográfica do Rio Benevente. A área delimitada em vermelho corresponde à área do projeto do Produtor de Água. Fonte: Gerência de Recursos Hídricos, IEMA.....	50
Figura 11: Detalhamento da área de estudo mostrando os pontos de interesse, seja: estações de amostragem de água de 1 a 6, a estação de medição de vazões (fluviométrica) e as de medição de chuvas (pluviométricas), a captação de água da CESAN e a cidade de Alfredo Chaves.	53
Figura 12: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 1. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Observam-se pequenas propriedades e um barramento.	58
Figura 13: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 2. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Local da PCH – SÃO JOAQUIM e onde se localiza o presente barramento.....	58

Figura 14: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 3. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Local do primeiro projeto (abandonado) da PCH – SÃO JOAQUIM.	59
Figura 15: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 4. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Local do município de Alfredo Chaves com cerca de 13.983 habitantes.	59
Figura 16: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 5. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Local da captação de água da CESAN, com vilarejo em seu entorno.	60
Figura 17: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 6. A linha azul mais espessa é a Representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes.	60
Figura 18: Imagem fotográfica da montante da estação de amostragem 1 capturada sobre a ponte de madeira localização – montante do reservatório.	61
Figura 19: Imagem fotográfica das proximidades da estação de amostragem 1 capturada sobre a ponte de madeira localização – montante do reservatório.	61
Figura 20: Imagem fotográfica da estação de amostragem 2 antes do enchimento do reservatório.	61
Figura 21: Imagem fotográfica da estação de amostragem 2 após enchimento do reservatório	61
Figura 22: Imagem fotográfica da estação de amostragem 3, a jusante da casa de força da PCH - São Joaquim.	61
Figura 23: Imagem fotográfica da estação de amostragem 5, local de captação de água da CESAN vista de montante.	61
Figura 24: Imagem fotográfica da estação de amostragem 6, local de captação de água da CESAN vista de jusante.	62
Figura 25: Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Benevente, pontos de amostragem de água e as classes RX1: metamórfica, sedimentar (ou sedimentos), ígnea e ígnea, metamórfica das rochas que compõe a bacia.	67
Figura 26: Mapa dos usos e ocupação do solo para a bacia do Benevente, com os pontos de amostragem ao longo do Rio Benevente, visualmente observa-se a predominância de pastagens e floresta natural.	69
Figura 27: Mapa pedológico da bacia do Benevente e as estações de amostragem de água, localizadas ao longo do Rio Benevente. Visualmente observa-se a predominância da classe dos latossolos vermelhos distróficos.	72
Figura 28: Curva de permanência padronizada para a estação fluviométrica de Matilde 5725000.	79

Figura 29: Curva de permanência específica para os valores de Q_p^* da estação fluviométrica de Matilde e interpolação dos valores de Q^* estimados na curva de permanência, em $l.s^{-1}.km^{-2}$	81
Figura 30: Regionalização das vazões do Rio Benevente pelo método da curva de permanência para as sub-bacias relativas às estações de amostragem de água.....	82
Figura 31: Polígono de Thiessen da Bacia do Benevente.	106
Figura 32: Precipitação média diária para o período de outubro de 2005 à outubro de 2006.	107
Figura 33: Precipitação média diária para o período de dezembro de 2006 à dezembro de 2007.	107
Figura 34: Variação temporal e espacial das cargas totais de SST ao longo do Rio Benevente. A abscissa corresponde a área acumulada a montante de cada estação de amostragem, a ordenada os valores de Carga total em escala logarítmica.	113
Figura 35: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 0 – 1 com área incremental $265,1 \text{ Km}^2$. A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.	115
Figura 36: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 1 – 2 com área incremental $58,25 \text{ Km}^2$. A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.	116
Figura 37: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 2 – 3 com área incremental $55,92 \text{ Km}^2$. A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.	117
Figura 38: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 3 – 4 com área incremental $221,25 \text{ Km}^2$. A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.	118
Figura 39: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 4 – 5 com área incremental $231,89 \text{ Km}^2$. A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.	119
Figura 40: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 5 – 6 com área incremental $1,69 \text{ Km}^2$. A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.	120
Figura 41: Variação espacial e temporal da produção específica de SST ao longo do Rio Benevente. A abscissa é a área acumulada de cada ponto de amostragem em Km^2 e a ordenada, em escala logarítmica, a produção específica de SST.	121
Figura 42: Variação temporal da produção de SST (Y) ao longo do rio Benevente. Na abscissa estão os períodos de amostragem de água e na ordenada os valores de Y, em escala logarítmica para cada estação de amostragem (EA), a linha tracejada indica o comportamento cíclico da produção específica regional de SST na bacia.	123

Figura 43: Variação espacial das cargas específicas de SST ao longo do Rio Benevente e os possíveis cenários que governam a produção regional de cargas. 124

Figura 52: Gráfico de abordagem quali-quantitativa de água para SST. A linha de traço pontilhado mostra a tendência média de cargas específicas associadas às permanências de vazões do Rio Benevente. 130

Figura 53: Gráfico de abordagem quali-quantitativa de água para SDT. A linha vermelha CTMD, corresponde ao valor máximo permitido segundo de carga, segundo enquadramento do Rio. 132

Figura 54: Simulação para SST, cenário com mudança de uso e ocupação do solo relativo ao aumento de 20% de áreas florestais em detrimento da diminuição de 20% de áreas agropecuárias. A linha tracejada escura é a tendência média atual de cargas, a linha tracejada azul é a tendência média futura. 133

Figura 55: Cenário com mudança de uso e ocupação do solo relativo ao aumento de 20% de áreas florestais em detrimento da diminuição de 20% de áreas agropecuárias. Simulação para SDT. A linha tracejada escura é a tendência média atual de cargas, a linha tracejada azul é a tendência média futura para a mudança de cenário. 134

Figura 56: Simulação para SST, cenário com mudança de uso e ocupação do solo relativo ao aumento de 20% de áreas agropecuárias em detrimento da diminuição de 20% de áreas florestais. A linha tracejada escura é a tendência média atual de cargas, a linha tracejada vermelha é a tendência média futura para a mudança de cenário. 135

Figura 57: Cenário com mudança de uso e ocupação do solo relativo ao aumento de 20% de áreas agropecuárias em detrimento da diminuição de 20% de áreas florestais. Simulação para SDT. A linha tracejada escura é a tendência média atual de cargas, a linha tracejada vermelha é a tendência média futura para a mudança de cenário. 136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de exportação encontrados para alguns estudos em diferentes regiões e bacias	17
Tabela 2: Valores de Z para usos de manejo convencional e conservacionista	40
Tabela 3: Valores sugeridos para pagamentos incentivados (V.P.I), em função do abatimento de erosão (P.A.E) proporcionado	42
Tabela 4: Percentuais de abatimento de erosão e os respectivos Valores de Referencia de Pagamento	43
Tabela 5: Coeficientes de potencial erosivos das coberturas de solo	47
Tabela 6: Coeficientes de declividade do sítio	47
Tabela 7: Informações gerais sobre a região hidrografia do Rio Benevente: domínio estadual, total da área de drenagem, pluviosidade média anual, vazão média na foz em $m^3.s^{-1}$, população total em habitantes, entre outros.....	52
Tabela 8: Detalhes dos pontos de interesse, tais como: coordenadas UTM descrição do local dos pontos de amostragem de água, informações disponíveis, tamanho das áreas de drenagem em ha, dentre outros.....	54
Tabela 9: Geomorfologia e relevo da área de influencia da PCH – São joaquim a partir de uma hierarquização dos fatos morfológicos em Domínio Morfo-Estrutural, Região Geomorfológica, Unidade Geomorfológica e Subunidades Locais de Relevo	64
Tabela 10: Principais tipologias industriais instaladas na bacia do Benevente e algumas informações relevantes, como nome da empresa, produção, área ocupada número de funcionários e a vazão de água consumida nos seus processos.....	70
Tabela 11: Simbologia e classes de solo predominantes na bacia do Benevente.....	71
Tabela 12: Dados de concentrações de SST coletados nas estações de amostragem de água e suas respectivas datas de amostragem e a entidade responsável pela coleta e análises dos dados.....	75
Tabela 13: Parâmetros hidrológicos estimados e observados para a estação 57250000, como vazão estimada e medida em $(l.s^{-1})$, vazões específicas em $(l.s^{-1}.km^{-2})$ e cotas medidas em (cm).....	77
Tabela 14: Valores de qp (adimensional) e Qp em $l.s^{-1}$ para a estação de Matilde 57250000, período de medição: de 1969 a 1990.	80
Tabela 15: Faixas de coeficientes de exportação em função de condições sazonais para as bacias do Jucupiranguinha e Canha - SP.....	89

Tabela 16: Concentrações de SST e SDT ao longo do Rio Benevente no período de estudo. Média aritmética destes valores, desvio padrão e relação média SDT/SST para o Rio Benevente.....	102
Tabela 17: Porcentagem das tipologias de uso e ocupação do solo para a área de estudo. PA, pontos de amostragem; AD, área de drenagem acumulada (ha) e L, comprimento do rio acumulado (Km)	104
Tabela 18: Usos simplificados, agropecuário, urbano e florestal de acordo com as categorias de uso e ocupação encontrados na área de estudo	104
Tabela 19: Porcentagem das áreas acumuladas para os usos simplificados, comprimento do canal acumulado e estações de amostragem de água.....	105
Tabela 20: Porcentagens das áreas dos usos simplificados para as áreas incrementais e comprimento de cada trecho, o ponto 0 é a nascente do Rio Benevente onde não foram realizadas amostragens de água	105
Tabela 21: Dados das condições sazonais do período de estudo: precipitação média diária, índice de precipitação antecedente de sete dias (IPA ₇) e, temperatura média mensal para as datas de amostragem de água. Temperatura e radiação solar média para as estações climáticas.	108
Tabela 22: Identificação e contagem de classes dos solos para as áreas de drenagem acumuladas das estações de amostragem.....	109
Tabela 23: Identificação e contagem de classes dos solos para as áreas incrementais entre as estações de amostragem, trechos, na área de estudo.....	109
Tabela 24: Vazões médias diárias estimadas e concentrações de SST observadas para as estações de amostragem e suas respectivas datas de coleta	111
Tabela 25: Produção específica de SST (Y) em (Kg/ha.ano), Carga total de SST em (ton.ano ⁻¹) e Índice de precipitação antecedente de 7 dias em (mm), para as estações de amostragem e suas respectivas datas de amostragem de água	112
Tabela 26: Valores médios de carga e produção específica de SST para a sub-bacias e para a bacia toda	113
Tabela 27: Coeficientes de exportação teóricos, para os usos de solo de floresta, agropecuário e urbano aplicados para a bacia do Benevente em função dos valores de produção específica de SST e das condições sazonais para cada data de amostragem	129
Tabela 28: Informações dos cenários ambientais sobre a produção média específica de SST, alterações nas áreas por uso e ocupação do solo e variações na produção específica de SST e na vazão de longo período da bacia	137
Tabela 29: Aplicação de metodologias de PSA sobre a mudança de uso do solo do cenário atual para o cenário 1, considerando o P.A.E calculado em função do P.A.S.....	139
Tabela 30: Aplicação de metodologias de PSA sobre a mudança de uso do solo do cenário atual para o cenário 1, considerando a mudança nos valores de Z.	139

Tabela 31: Contribuição potencial de cargas por área fonte sob condições hidrológicas distintas..... 149

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Áreas de Preservação Permanente
BH	Bacia Hidrográfica
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento do Estado do Espírito Santo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTMD	Carga Total Máxima Diária Permitida
ES	Estado do Espírito Santo
EUA	Estados Unidos da América
EUPS	Equação Universal de Perdas de Solo
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INCAPER	Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural
NT	Nitrogênio Total
ONG	Organizações não Governamentais
P.A.E	Percentual de Abatimento de Erosão
P.A.S	Percentual de Abatimento de Sedimentação
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
POI	Fósforo Inorgânico
Prob	Probabilidade
PSA	Pagamento por serviços ambientais
SEAMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo.
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais

SST	Sólidos Suspensos Totais
SUAPA	Subgerência de Análise de Parâmetros Ambientais
TMDL	Total Maximum Daily Loads
USLE	Universal Soil Loss Equation
V.P.I	valores de pagamento incentivado
VRP	Valor de Referencia para Pagamento
VRTE	Valor de Referencia do Tesouro Estadual

LISTA DE SÍMBOLOS

Agro	Área agropecuária
cv	Unidade de potência - cavalos
°C	Graus Celsius
E.U.\$	Unidade monetária do Euro
Flo	Área de floresta
ha	Unidade de área em hectare
IPA ₇	Índice de Precipitação Antecedente de Sete dias
Máx	Máximo
Min	Mínimo
US\$	Unidade monetária do dólar
Rad	Radiação solar
R\$	Unidade monetária do Real
S/B	Relação Sub-bacia/Bacia acumulada (S/B).
T	Temperatura
ton	Toneladas

Urb	Área Urbana
Wat	Unidade de potência
Y	Produção específica de carga poluidora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL	3
2.1. Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Erosão hídrica e perda de solo	5
3.1.1. Estimativa de produção de sedimentos	8
3.2. Poluição difusa e pontual e geração de cargas difusas em bacias hidrográficas	11
3.2.1. Estimativa de cargas difusas	14
3.2.2. Análise de cargas difusas pelas curvas de permanência e proposição de cenários ambientais	18
3.2.2.1. Curvas de permanência e regionalização hidrológica	18
3.2.2.2. Curvas de permanência de cargas e Carga Total Máxima Diária (CTMD)	19
3.2.2.3. Curvas de Permanência de cargas, análise quali-quantitativa e cenários ambientais.	22
3.2.2.4 Exemplos de cenários ambientais	24
3.3. Serviços Ambientais	29
3.3.1. Ecossistemas e serviços ambientais	29
3.3.2. Serviços ambientais de bacias hidrográficas	31
3.3.3. Os serviços ambientais prestados pelas florestas às bacias hidrográficas	32
3.4. Pagamento por serviços ambientais (PSA)	34
3.4.1. Princípios de um PSA	34
3.4.2. Definições e classificações de PSA	35
3.4.3. Estrutura e objetivos de um sistema de PSA	36
3.4.4. PSA em bacias hidrográficas	36
3.5. O programa do produtor de água	38
3.5.1. Outros exemplos do programa Produtores de Água e de valoração econômica de perdas de solo.	42
3.6. O projeto Produtores de Água do Estado do Espírito Santo	44
3.6.1. Gestão do programa produtor de água e objetivos	44
3.6.2. Metodologia de cálculo do PSA	45
3.6.3. Normas e regulamentos do PSA	48
3.6.4. Projeto piloto e áreas prioritárias para implantação do Programa ProdutorES de água.	48
4. MATERIAL E MÉTODO	51
4.1. Área de estudo	51
4.1.1. Informações das estações de amostragem de água e de seu entorno	55
4.1.1.1. Características de uso e ocupação do solo do entorno dos pontos de amostragem	57
4.1.2. Clima	62

4.1.3. Relevô	63
4.1.4. Geologia	65
4.1.5. Usos e ocupação do solo	68
4.1.6. Pedologia	71
4.2. Levantamento e tratamento dos dados de quantidade e qualidade de �gua	73
4.2.1. Dados de qualidade da �gua	74
4.2.1.1. Metodologia de coleta e análise dos parâmetros selecionados	75
4.2.2. Dados de quantidade de �gua - Variáveis Hidrológicas	76
4.2.2.1. Vazões específicas	76
4.2.2.2. Curvas de permanência	77
4.2.2.3. Curva de permanência de vazões específicas e interpolação das vazões estimadas	80
4.2.2.4. Condições sazonais - Precipitação, �ndice de umidade antecedente de sete dias IPA ₇ , temperatura do ar e radiação solar	82
4.3. Diagnóstico inicial de cargas difusas de SST da Bacia do Benevente	83
4.3.1. Determinação das cargas totais e produção específica de SST	83
4.3.2. Variação espacial de cargas difusas na bacia do Benevente - determinação dos coeficientes de exportação	84
4.3.2.1. Hipóteses da metodologia	87
4.3.2.2. Comparação dos Y _{bacia} (coeficientes de exportação) com literatura.	88
4.4. Regionalização de quantidade e qualidade de água – curva de permanência qualitativa	90
4.5. Cenários ambientais	90
4.5.1. Determinação dos cenários ambientais	91
4.5.1.1. Aplicação de PSA para os cenários atual e 1, cálculo da erosão total na bacia e cálculo do P.A.E.	91
4.5.2. Mudanças de uso e ocupação do solo	96
4.5.2.1. Alteração no regime fluvial médio com os cenários	97
4.5.3. Determinação da Carga Máxima Diária Permitida em função do enquadramento do Rio para os cenários ambientais	100
5. RESULTADOS	103
5.1. Aspectos gerais da área de estudo	103
5.1.1. Uso e ocupação do solo	103
5.1.2. Precipitações, temperatura, radiação solar e IPA ₇ .	106
5.1.3. Pedologia da área de estudo – contagem e identificação	108
5.2. Diagnóstico inicial de cargas difusas de SST da Bacia do Benevente	109
5.2.1. Comportamento das cargas difusas de SST ao longo do Rio Benevente	110
5.2.1.1. Comportamento do transporte de sedimentos em rios e canais	113
5.2.1.2. Regionalização da produção específica de cargas de SST na bacia.	120
5.2.1.3. Variação espacial das cargas específicas de SST	124
5.2.2. Variação espacial e temporal da produção de cargas difusas por uso e ocupação do solo – coeficientes de exportação observados	125
5.2.3. Obtenção dos coeficientes de exportação teóricos	129

5.3. Regionalização hidrológica de vazões e sua relação com de cargas poluidoras de SST – cenário atual	130
5.3.1. Carga Total Máxima Diária Permitida (CTMD)	131
5.4. Cenários ambientais	132
5.4.1. Cenário ambiental 1 – Aumento de 20% das áreas de floresta	132
5.4.2. Cenário ambiental 2 – Aumento de 20% das áreas agropecuárias	135
5.4.3. Síntese dos cenários ambientais propostos e aplicação da metodologia do PSA	137
6. DISCUSSÕES	141
6.1. Comportamento do transporte de sedimentos em rios e canais	141
6.2. Variação espacial e temporal da produção de cargas difusas por uso e ocupação do solo – coeficientes de exportação observados	144
6.3. Regionalização hidrológica de vazões e sua relação com cargas poluidoras de SST – cenário atual	147
6.3.1. Carga Total Máxima Diária Permitida (CTMD)	149
6.4. Cenário ambiental 1 – Aumento de 20% das áreas de floresta	150
6.5. Cenário ambiental 2 – Aumento de 20% das áreas agropecuárias	152
6.6. Síntese dos cenários ambientais propostos e aplicação da metodologia do PSA	154
7. CONCLUSÕES	159
7.1. Regionalização hidrológica de vazões e cargas de SST para os sistemas de PSA e o Programa ProdutorES de água	159
7.2. Diagnóstico inicial da produção de cargas poluidoras em termos de SST para a bacia do Benevente;	160
7.3. Aplicação da regionalização hidrológica de vazões e sua relação com cargas poluidoras de SST no estudo de caso;	161
7.4. Carga Total Máxima Diária Permitida (CTMD) para o rio Benevente em função de seu respectivo enquadramento e permanência;	162
7.5. Cenários Ambientais	162
8. RECOMENDAÇÕES	165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
APÊNDICE A – Continuação dos sistemas de equações para determinação dos coeficientes de exportação	186
APENDICE B – Ferramentas e planilhas de suporte, em Excel 2003. Material digital	

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de erosão hídrica e a perda de solo em uma bacia hidrográfica podem causar diversos problemas aos corpos de água como, por exemplo, o assoreamento dos rios, o aporte de poluição de origem difusa e ainda afetar sua produtividade agrícola. Estes problemas são oriundos, dentre outros motivos, da falta de planejamento, manejo de uso do solo adequado e da implementação de práticas agrícolas conservacionistas.

O Estado do Espírito Santo sofre com a perda de solo provocada pela erosão hídrica em suas bacias e por isto está implementando o programa do Produtor de Água.

A bacia hidrográfica do Benevente localizada nesse estado é uma das áreas piloto do programa, porém não foi estabelecido um diagnóstico inicial da perda de solo e geração de cargas poluidoras nem um programa de monitoramento específico para a erosão hídrica, além disso, não foi feito um diagnóstico da erosão potencial dos solos da bacia.

Amparado pela lei Estadual nº 5.818/98, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e regulamentado pela Lei nº. 8995 de 22 de setembro de 2008 que instituiu o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais, o Programa ProdutorES de água, assim intitulado, tem como objetivo minimizar os processos de erosão hídrica e aumentar a disponibilidade e qualidade de água para a bacia por meio de incentivos aos setores usuários de recursos hídricos, sobretudo o agropecuário, na adoção de práticas produtivas menos impactantes.

No decreto o Nº 2168-R foi estabelecido as áreas passíveis de aderir ao programa como sendo resumidamente, as localizadas em zonas ripárias e com declividade acima de 20%. Apesar da preocupação em proteger estas áreas que apresentam um grande potencial erosivo, o programa não estabelece critérios para outras áreas, como por exemplo, topos de

morros. Além disso a prática agrícola conservacionista adotada no programa foi somente o reflorestamento denso, não levando em conta outras práticas ótimas de manejo.

Assim o presente trabalho tem duas propostas básicas: i) estimar e analisar a produção de cargas poluidoras específicas, em termos de Sólidos Suspensos Totais (SST) na bacia e ii) e estabelecer uma metodologia simples de ser aplicada que relacione as cargas poluidoras de SST produzidas na bacia com uma probabilidade de ocorrência de vazões específicas. De posse da estimativa das cargas poluidoras de SST e da metodologia estabelecida, são definidos cenários ambientais de longo período para analisar os impactos ambientais e econômicos que possíveis mudanças de uso e ocupação do solo, propostos pelo projeto do produtor de água, possam trazer a bacia.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente estudo é realizar a regionalização hidrológica das vazões e das cargas poluidoras referentes aos Sólidos Suspensos Totais (SST) a partir da metodologia de pagamento de serviços ambientais, para dar subsídios ao programa ProdutorES de Água.

2.1. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Diagnóstico inicial da produção de cargas poluidoras em termos de SST para a bacia do Benevente;
- No estudo de caso, aplicar a regionalização hidrológica de vazões e sua relação com cargas poluidoras de SST;
- Estabelecer a Carga Total Máxima Diária Permitida (CTMD) para o rio Benevente em função de seu respectivo enquadramento e permanência;
- Proposição de cenários ambientais em função de mudanças de uso e ocupação do solo em decorrência do programa do ProdutorES de água;

A figura 1 ilustra todas as etapas realizadas neste trabalho: título, objetivo geral, objetivos específicos, metodologias e resultados esperados.

Figura 1: Síntese das etapas do presente estudo

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a revisão desta dissertação primeiramente abordam-se os aspectos relacionados à erosão hídrica e a produção de sedimentos em bacias hidrográficas. Em seguida é apresentado um tópico geral sobre a poluição difusa e pontual e a geração de cargas em bacias. Neste tópico observam-se as diversas maneiras de se estimar cargas difusas, com atenção especial a abordagem por curvas de permanência de cargas e os cenários ambientais relacionados, objetivos específicos deste estudo.

Depois se apresenta uma revisão geral sobre Serviços Ambientais em Bacias Hidrográficas, Pagamento de Serviços Ambientais e para o caso do Espírito Santo. Salientam-se os serviços prestados por florestas bem conservadas em bacias, pois é uma das soluções para conter a erosão hídrica e a geração de cargas difusas.

3.1. Erosão hídrica e perda de solo

Erosão é o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais) (IPT, 1986). Especificamente a erosão do solo pela água é o resultado da interação de fatores como solo, topografia, drenagem das chuvas e uso da terra (HILU, 2003).

Segundo Pruski (1997) a erosão hídrica é iniciada pelas precipitações, onde parte do volume é interceptado pela vegetação e parte atinge o solo, provocando o umedecimento dos agregados do solo e reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da ação da chuva, pode ocorrer a desintegração dos agregados, com conseqüente desprendimento de partículas menores. A quantidade de solo desestruturado aumenta com a intensidade da precipitação, a velocidade e o tamanho das gotas.

As partículas liberadas tendem a colmatar os poros do solo e o impacto das gotas tende a compactá-lo ocasionando seu selamento e diminuindo a capacidade de infiltração da água. O empoçamento da água nas depressões da superfície do solo começa a ocorrer somente quando a intensidade de precipitação excede à velocidade de infiltração ou quando a capacidade de acumulação de água no solo for excedida. Esgotada a capacidade de retenção superficial, a água começa a escoar. Associado ao escoamento superficial ocorre o transporte de partículas do solo, as quais podem sofrer deposição quando a velocidade do escoamento superficial for reduzida.

Segundo Wolman (1975) a taxa de perda de solo é expressa em unidade de massa ou peso, por unidade de área por tempo, normalmente em anos.

Segundo Guerra et al. (1999), diversos fatores, relacionados com as condições do terreno comandam as perdas de solo, tais como: chuva, relevo, cobertura vegetal, topografia e tipos de solo. A água da chuva provoca a erosão por meio do impacto das gotas na superfície do solo, ao cair com energia e velocidade variáveis, e pelo escorrimento da enxurrada.

Segundo Cecílio (2007) um dos métodos empíricos para se estimar a perda de solos mais utilizados e conhecidos nos dias de hoje é o da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) em inglês Universal Soil Loss Equation, (USLE).

Esta equação foi desenvolvida em 1954, por pesquisadores da Universidade de Purdue (EUA) com base na análise dos dados de escoamento superficial e de perdas de solo obtidos em mais de 10.000 parcelas experimentais, em condições de chuvas naturais e simuladas (CECÍLIO, 2007).

Wischmeier e Smith (1978) fizeram com que a equação evoluísse para um modelo computacional que expressa a perda anual de solo por unidade de área como o produto de seis fatores, de acordo com a equação 1.

$$A = P.R.K. L. S. C$$

Equação 1

em que:

A = perda de solo por unidade de área, $\text{ton. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$;

R = fator erosividade da chuva, $\text{MJ. ha}^{-1} \cdot \text{mm. h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$;

K = fator erodibilidade do solo, $(\text{ton. ha}^{-1})/(\text{MJ. ha}^{-1} \cdot \text{mm. h}^{-1})$;

L = fator que leva em conta a distância ao longo da qual ocorre o escoamento superficial,

adimensional;

S = fator que considera a declividade do terreno, adimensional;

C = fator que leva em conta o uso e manejo do solo, adimensional; e

P = fator que considera as práticas conservacionistas adotadas, adimensional.

Esta equação estima erosão laminar e erosão em sulcos usando valores que representam os cinco fatores que mais influem no processo erosivo. Estes fatores são erosividade da chuva, erodibilidade do solo, topografia do terreno, uso e manejo do solo, e práticas conservacionistas (CECÍLIO, 2007).

O escoamento superficial, juntamente com as partículas de solo desprendidas, transporta nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, podem causar a poluição dos recursos hídricos. Além do transporte de poluentes para os rios, e do assoreamento, a improdutividade agrícola é um dos principais problemas gerados pela erosão, esta, acelerada pelo homem por meio de práticas agrícolas e manejo inadequado dos solos (PEREIRA, 2000).

A carga de sedimentos transportados para os rios pelas chuvas deve ser considerada no cálculo de projeto de barragens, canais, reservatórios, ou qualquer obra hidráulica ou de

controle, ressaltando a importância de se estudar este problema. (GARDE; RANGA RAJU, 1985).

3.1.1. Estimativa de produção de sedimentos

Segundo Wolman (1975) a produção de sedimentos é a taxa de sedimentos medidos que passam em uma seção de um rio ou canal, ou os acumulados em lagos e reservatórios expressos em unidade de peso ou massa, por unidade de área, por tempo, normalmente em anos.

Normalmente as taxas de perda de solo em grandes áreas são estimadas baseadas em dados de produção de sedimentos, assumindo que esta representa o total de solos transportados em rios e canais, a carga no rio é equivalente a perda de solo na bacia (WOLMAN, 1975).

De acordo com Pavanelli e Pagliarani (2002) informações obtidas da produção de sedimentos em um rio, especialmente a produção de sedimentos em suspensão, podem prever a taxa de erosão ou perda de sólidos a montante de uma bacia. Destacam-se as informações hidráulicas e hidrológicas relacionada com as variáveis a serem monitoradas, por exemplo, SST da bacia hidrográfica analisada.

Porém, de acordo com Pavanelli e Pagliarani (2002) o monitoramento da concentração de sólidos suspensos requer uma frequência de amostragem alta e o método de medição gravimétrico é muito lento e caro. Em compensação Lewis (1996) afirma que a medição de turbidez pelo método nefelométrico é um bom método para se estimar a SST em rios.

A produção de sedimentos em suspensão, principalmente material fino, e partículas, variando de areia fina a argila, depende, dentre outros fatores, das características hidráulicas do curso d'água, das condições geomorfológicas e pedológicas da bacia, do regime climático da área e da presença de vegetação (PAVANELLI; BIGI, 2004).

Segundo Zabaleta et al. (2007) os fatores que controlam a produção de sedimentos variam de bacia para bacia e são fortemente influenciados pelo uso do solo (ERSKINE et al., 2002; SALA; FARGUELL, 2002).

Zabaleta et al. (2007) estudaram os fatores que controlam a produção de sedimentos em três bacias hidrográficas distintas. Neste estudo foi monitorado, no exutório de cada bacia, de forma contínua a cada 10 minutos, a turbidez, a descarga e a precipitação. Para a análise dos SST foram coletadas, automaticamente, amostras de água quando a descarga ou a turbidez aumentavam, estas foram analisadas em laboratório.

Somente os eventos principais de precipitação-escoamento foram analisados, sendo estes caracterizados em quatro grupos distintos: condições antecedentes do evento, precipitação como evento, descarga durante o evento e produção de sedimentos suspensos durante o evento.

Para este estudo foram avaliados 15 parâmetros por meio de uma matriz de correlação e a análise fatorial entre estes. Os parâmetros analisados foram, dentre outros: precipitação total, intensidade média de precipitação, intensidade máxima de precipitação, descarga durante o evento, descarga média e máxima, produção média e máxima de sedimentos no evento e produção total de sedimentos.

Uma das conclusões foi que em duas bacias com tamanho de área de drenagem similares, uma com área de 4,8 km² e outra com 3 km², a produção de sedimentos foi influenciada pela precipitação total e a concentração de sólidos suspensos pela intensidade de precipitação. Na outra bacia estudada com área de 48 km² a produção de sedimentos foi influenciada pela precipitação total, porém a influência da intensidade de precipitação sobre a concentração de sólidos suspensos não foi significativa, pois o tamanho da área de drenagem da bacia atenuou a importância da intensidade de precipitação.

Outra conclusão deste estudo foi que a relação entre descarga e produção de sedimentos foi positiva para as três bacias estudadas. Porém em uma das bacias não foi evidenciado a relação entre descarga máxima e concentração máxima de sedimentos em suspensão, bem como, a concentração média de sedimentos suspensos e produção de sedimentos. Estas diferenças foram atribuídas pelos seguintes fatores: comportamento hidrológico diferente da bacia, alta capacidade de regulação de solos e cobertura vegetal bem preservada.

Em outro estudo Pavanelli e Pagliarani (2002), estimaram a taxa de erosão e perda de solo em uma bacia com área superficial de $137,6 \text{ km}^2$ e vazões médias anuais variando de $0,5$ a $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, por meio do monitoramento, no seu exutório: da descarga, da precipitação, da turbidez e da carga de sólidos suspensos no rio principal.

As medidas de turbidez e SST foram coletadas durante 18 meses, concentradas durante os eventos de chuva. Foi feita uma regressão linear entre estes dois parâmetros a fim de estimar a carga de sedimentos produzidos. A carga foi obtida multiplicando os valores de SST pela vazão na seção, durante certo período.

Em uma das conclusões foi encontrada uma relação estatística significativa entre a concentração de sedimentos e a descarga de água na seção. Neste estudo, encontraram, para cada estação climática do ano, valores de produção de sedimentos, sendo: no inverno, $613 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2}$ e no verão, $119 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2}$. Esta diferença é explicada, pelos valores encontrados de entrada e saída de água na bacia durante as estações do ano. Os valores de entrada de água para o verão e o inverno foram respectivamente de: $51,29 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $57,53 \times 10^6 \text{ m}^3$. Para a saída de água foram de: $3,21 \times 10^6 \text{ m}^3$ para o verão e $25,72 \times 10^6 \text{ m}^3$ para o inverno, desta maneira encontrou-se uma relação entre entrada e saída de água de: $0,06$ para o verão e $0,44$ para o inverno. Ou seja, a medição de descarga no exutório foi maior no inverno do que no

verão, assim como a produção de sedimentos. Esta diferença foi devida principalmente a evapotranspiração e evaporação ocorrida no verão.

3.2. Poluição difusa e pontual e geração de cargas difusas em bacias hidrográficas

Em uma bacia hidrográfica a poluição pode chegar aos corpos d'água de duas formas: por fonte difusa ou fonte pontual.

As cargas oriundas das fontes difusas, classificadas como cargas difusas, são oriundas do ciclo de transporte através dos componentes do ciclo hidrológico, especialmente dos tipos de escoamento em superfície, subsuperficial e subterrâneo que ocorrem nos ecossistemas terrestres (MENDIONDO; TUCCI, 1997).

Por outro lado, as cargas pontuais são originadas por atividades intensivas, geralmente restritas a pequenas porções da paisagem, e fundamentalmente são produto de despejos de cargas antrópicas de origem doméstico, industrial, pecuária e agricultura (MENDIONDO; TUCCI, 1997).

O excesso de carga de poluentes que chegam aos reservatórios, lagos, rios e estuários podem provocar diversos problemas, por exemplo: eutrofização, assoreamento, diminuição da quantidade e qualidade de água para abastecimento humano, e perda de biodiversidade, além de aumentar os custos de tratamento de água (ICWE, 1992; HOWARTH et al., 2000).

Segundo Hernani et al. (2002) os prejuízos da sedimentação no Brasil, referentes à perda de vida útil de reservatórios e à custos adicionais de tratamento de água, somam mais de US\$ 1 bilhão/ano.

Segundo Shrestha et al. (2008) as fontes pontuais são relativamente fáceis de identificar e quantificar, bastando retornar a sua origem ou fonte, por exemplo, despejos de esgotos pontuais.

As fontes de poluição não pontuais são difíceis de quantificar e são controladas por diversos fatores. Sendo que as cargas difusas produzidas por estas fontes são exclusivamente oriundas do manejo e mudanças de uso e ocupação do solo pelo homem (NOVOTNY, 1999).

As cargas difusas produzidas pelas atividades agrícolas não são devidas somente ao escoamento superficial, mas também ao escoamento subterrâneo e estas cargas podem sofrer transformações biológicas e sinérgicas com influências de práticas agrícolas (SCHREIBER et al. 2000).

Segundo Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2003) as principais fontes de carga difusa podem ser resumidas da seguinte forma:

Em áreas rurais:

- Atividades agrícolas: as cargas dependem do tipo de cultura, da fase em que se encontra o ciclo de produção – preparação do terreno, semeadura, desenvolvimento das plantas, colheita, etc. –, e do uso de fertilizantes e defensivos; o aporte de cargas aos cursos de água está fundamentalmente associado à ocorrência de eventos de chuva;
- Atividades pecuárias: as cargas dependem do tipo de criação e das técnicas utilizadas;
- Áreas naturais pouco alteradas como matas, capoeiras, campo: produzem cargas devido a decomposição de matéria orgânica vegetal carregada aos cursos de água através do escoamento superficial.

Em áreas urbanas:

- Esgotos domésticos: afluem aos corpos de água por meio de lançamentos diretos, descargas permanentes ou acidentais do sistema de coleta e interceptação, ligações clandestinas no sistema de águas pluviais – de todo um domicílio ou parte dele, como instalações sanitárias externas, áreas de

lavanderia ou cozinhas –, efluentes de fossas sépticas não ligados a sumidouros ou em áreas cujos solos têm baixa capacidade de absorção, etc.; Efluentes líquidos de estabelecimentos comerciais e de serviço e pequenas indústrias lançados diretamente ou através dos sistemas de drenagem; dão origem a cargas orgânicas, metais, óleos e graxas, solventes, entre outros;

- Outros são oriundos de resíduos sólidos lançados diretos aos cursos d'água; movimentação de veículos, lavagem de superfícies, como quintais, jardins calçadas, ruas entre outras; erosão de áreas com solo nu, ou durante trabalhos de terraplanagem; e lavagem de materiais de construção (areia, cimento, cal, etc.) em obras públicas ou construções particulares.

Deposição atmosférica:

- Partículas em suspensão no ar: deposição na superfície de telhados, calçadas e ruas, diretamente na superfície dos corpos de água; a natureza das partículas poluentes depende do grau de poluição atmosférica e de suas fontes, que podem estar a distâncias significativas das áreas de deposição; podem conter enxofre, metais, compostos orgânicos, nutrientes, entre outros;
- Água de chuva: partículas, gases e outros contaminantes atmosféricos dissolvem – se nas águas de chuva e são arrastadas por ela até a superfície do solo.

3.2.1. Estimativa de cargas difusas

Segundo Shrestha et al. (2008) as cargas constituintes da qualidade de água de um rio dependem do material transportado em um tempo específico em função da concentração do constituinte e da descarga do rio. Em geral essas cargas são calculadas pela equação (2):

$$L = \int_0^t C.Q.dt$$

Equação 2

onde:

L = carga difusa;

C = concentração do constituinte;

Q = vazão na seção;

t = período.

A medição de descarga normalmente é feita com frequência em intervalos menores do que um dia. Enquanto que as medidas de concentração são menos frequentes com intervalos variando em semanas, meses ou anos. O que torna o cálculo de carga pela equação 2 impossível (SHRESTHA et al., 2008).

Tendo em vista a complexidade das fontes de cargas difusas e sua forte dependência de fatores locais, a estimativa de cargas é igualmente complexa. Inúmeros métodos e procedimentos têm sido utilizados, com diferentes graus de sofisticação, conforme os objetivos a que se destina e a disponibilidade de dados (SECRETÁRIA DE MEIO AMBIENTE, 2003). Segundo Shrestha et al. (2008) existem muitos modelos para se estimar as cargas difusas em um rio produzidas em uma bacia. Estes variam de modelos simples tais como, os de Coeficientes de Exportação (BEAULAC E RECKHOW, 1982; JOHNES, 1996) e modelos de regressão, como o SPARROW (ALEXANDER et al., 2002) e o ESTIMATOR

(COHN et al., 1992); a modelos complexos, por exemplo: CREAMS (KNISEL, 1980), ANSWERS (BEASLEY et al., 1980), GLEAMS (LEONARD et al., 1987), WEPP, AGNPS (YOUNG et al., 1989), HSPF (DONIGIAN et al., 1995), SWAT (ARNOLD E ALLEN, 1996), CatchMODS (NEWHAM et al., 2004), IWRAM DSS (CUDDY et al., 2005), LSPC (SHEN et al., 2005) e MONERIS GREAT-ER; Elbe-DSS (MATTHIES et al., 2006).

Segundo Zobrist e Reichert (2006) os modelos complexos, como por exemplo, o SWAT e o AGNPS têm a desvantagem de necessitar de uma enorme variedade de dados de entrada. Tais como: informações topográficas na forma de modelos digitais de terreno, mapas de solo, informações hidrológicas relevantes, mapas de usos do solo e informações de cultivo; dados de precipitação, temperatura, atividade fotossintética, radiação solar e características dos locais de descargas de fontes pontuais.

Apesar da grande variedade de dados de entrada necessários a estes modelos a necessidade contínua da interpolação de pontos espaciais e temporais medidos conduz a incertezas nos dados de entrada (ZOBRIET E REICHERT, 2006).

O método dos Coeficientes de Exportação, porém tem a vantagem de ter uma formulação matemática simples e ser facilmente utilizado. Consiste em aplicar taxas ou coeficientes de geração de cargas - expressos em g/ha.dia ou equivalentes - para cada categoria de uso do solo existente na área de estudo, cujos valores sejam representativos das condições médias vigentes; constitui procedimento aceitáveis quando o que se requer, são estimativas de cargas para efeito de planejamento (NOVOTNY, 2003).

Tais coeficientes de exportação são determinados pelo monitoramento de usos do solo em bacias como florestas, plantações e áreas urbanas, utilizando lotes de campo para isolar usos do solo individuais (RECKHOW et al. 1980).

Em geral as bacias, mesmo as pequenas, são compostas por um misto de usos de solo (MCFARLAND E HAUCK, 2001). Portanto, para isolar a contribuição de cargas de áreas

heterogêneas e identificar os coeficientes de exportação podem-se utilizar técnicas múltiplas de regressão proposto por Hodge e Armstrong (1993).

A seguir são descritos, resumidamente, alguns exemplos de utilização do método dos coeficientes de exportação.

Em estudo realizado na bacia do Guarapiranga, São Paulo, foi feito a avaliação de cargas poluidoras afluentes ao reservatório do Guarapiranga, através da análise integrada entre dados de qualidade de água e as características do uso e ocupação do solo em diferentes sub-bacias monitoradas entre outros fatores, expressos no modelo de correlação Uso do Solo/Qualidade de Água (MQUAL) (SECRETÁRIA DE MEIO AMBIENTE, 2003).

Em um dos módulos do modelo foi utilizado o método dos coeficientes de exportação para a estimativa de cargas poluidoras de parâmetros de qualidade de água na foz de pequenas bacias contribuintes ao reservatório. Um dos resultados para fósforo total variou de 0,11 a 0,16 Kg/ha.ano para bacias de uso rural e de 1,1 a 61 Kg/ha.ano nas bacias urbanas (SECRETÁRIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003).

Shrestha et al. (2008) por sua vez utilizou o modelo dos coeficientes de exportação para estimar cargas de poluentes. Neste estudo foram isoladas as cargas contribuintes para cada uso do solo utilizando de técnicas de regressão múltiplas. A área da bacia deste estudo foi de 3,570 km². Um dos resultados de DBO, para as sub-bacias analisadas foram, por exemplo, 1,00 Kg/ha.ano para florestas e 0,62 Kg/ha.ano para agricultura.

A tabela 1 mostra a produção de SST para três tipos de uso e ocupação do solo, encontrados em alguns estudos.

Tabela 1: Coeficientes de exportação encontrados para alguns estudos em diferentes regiões e bacias

Autor	Localização	Área de drenagem (Km ²)	Produção de fontes poluidoras (kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)						
			Condição sazonal			Floresta [min - max]	média	Agrícola média [min - max]	Urbana
			T °C	IPA ₇ (mm)	Rad (W .m ⁻²)				
Mendiondo (2009)	Rios Jacupiranguinha e Canha - Baixo Ribeira do Iguape - SP, Brasil	375 e 125,9	18,6	9,7	101	2,9 [2,8 - 9,2]	23,4 [4,5 - 498,3]	194,3 ^d	
	27,8		15,6	252	14,8 [3,0 - 61,5]	14,8 [9,8 - 409,3]	502,6 ^d		
	25,2		0	193	7,2 [5,2 - 17,2]	15,1 [8,2 - 398,2]	26,5 ^d		
	16,4		62,6	26	4,7 [3,5 - 11,8]	1147,4 [685,0 - 7147,4]	6723,6 ^d		
Kinosita e Yamasaki (1974)	Japão	1,42						4100 ^d	
Mederey (1974)	Cidade do México - México	13						300 a 600	
Wolman (1975)	Piedmond e Costal Plain - EUA							3000 a 22000	
				Preciptação (mm/ano)	Runoff (mm/ano)				
	Parte norte do Mississippi - EUA	0,0213		1393	392		19.273 ^{bd}		
		0,021		1431	532		504 ^{ad}		
J. D. SCHREIBER et al. (2000)	Centro Norte do Mississippi - EUA	0,0149 a 0,0281		1510	170	183d			
	Delta do Mississippi - EUA	0,057		1100	742		11073 ^{ad}		
		0,042		1189	564		3342 ^{cd}		

^a Cultivo Convencional

^b Sem cultivo

^c Cultivo conservacionist

^d Média

3.2.2. Análise de cargas difusas pelas curvas de permanência e proposição de cenários ambientais

3.2.2.1. Curvas de permanência e regionalização hidrológica

Pesquisadores e planejadores têm utilizado dados de vazões de rios por muitos anos como base de informações para o abastecimento público de água, para a manutenção da vida aquática e o controle de enchentes (LEOPOLD, 1994).

A obtenção da curva de permanência de vazões numa seção é a resposta para a amplitude das vazões para os regimes hidrológicos, associada à frequência (ou número de vezes) que ela é excedida.

Pinto et al. (1976) define a curva de permanência das vazões como uma curva acumulativa de frequência da série temporal contínua dos valores das vazões, observadas em um posto fluviométrico, que indica a porcentagem de tempo que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante o período de observação.

Segundo Córdova et al. (2000) existem várias metodologias propostas para a determinação das curvas de permanência, mas observa-se na literatura que existem dois procedimentos principais: o ajuste de uma função matemática e a metodologia empírica.

Segundo Tucci (1998) o ajuste da função matemática parte do princípio de que a curva resultante acompanha uma função matemática, e sugere a função usada na distribuição log-normal para representar a curva de permanência. Já a metodologia empírica consiste em estabelecer “n” intervalos de classes de vazões de acordo com a magnitude de vazões e assegurando uma quantidade razoável de valores em cada um deles, para em seguida se obter as respectivas frequências “ f_i ”, a partir da contagem do número de vazões da série contidos em cada intervalo.

Em locais com escassez de dados hidrológicos as curvas de permanências podem ser regionalizadas. Segundo Tucci (1998) a regionalização consiste num conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou insuficientes.

Segundo Córdova et al. (2000) a regionalização das curvas de permanência pode ser feita por dois procedimentos: regionalização dos parâmetros de distribuição, correlacionado com as características da bacia e regionalizando vazões com determinadas probabilidades, a partir da curva empírica, definindo a curva de permanência no trecho de interesse.

Além da vantagem de se estimar vazões em locais com poucos dados hidrológicos a análise por curvas de permanência permite indicar intervalos que podem ser associados como um indicador geral das condições hidrológicas vigentes. Estes indicadores podem ser combinados com outros elementos básicos de planos de bacias. Isto pode ajudar na discussão dos processos de bacia, na solução de problemas pontuais, na caracterização de áreas a montante e no detalhamento de mecanismos de produção de cargas (CLELAND, 2003).

Os intervalos hidrológicos mencionados são classificados em faixas de permanência de vazões, ou seja: de 90% a 100% baixas vazões, de 60 a 90% condições de seca, de 40% a 60% vazões médias, de 10% a 40% condições úmidas, e de 0% a 10% altas vazões (USEPA, 2007).

3.2.2.2. Curvas de permanência de cargas e Carga Total Máxima Diária (CTMD)

As curvas de permanência de cargas podem ser utilizadas para estimar as cargas existentes e as permitidas e para o desenvolvimento de Carga Total Máxima Diária ou em inglês Total Maximum Daily Loads (TMDLs) de parâmetros de qualidade de água.

A CTMD especifica a quantidade máxima de poluente a qual um corpo de água pode receber e também define padrões de qualidade de água. Baseado no cálculo da carga total

permitida, a CTMD classifica cargas de poluentes e estabelece margens de segurança. Desta maneira a CTMD constrói vínculos para o desenvolvimento e implementação de ações de controle para a manutenção dos padrões de qualidade de água e de seus usos (USEPA, 2007).

As curvas de permanência de cargas são construídas a partir de curvas de permanência de vazões multiplicando - se a concentração total de um dado poluente amostrado pela vazão medida no momento da amostragem (a vazão média diária também pode ser utilizada se não houver estas medições). Já a curva de CTMD é construída multiplicando - se as vazões da curva de permanência por um critério de qualidade de água, ou uma meta, e por um fator de conversão (USEPA, 2007).

Assim os valores da abscissa são as permanências das vazões e os valores da ordenada são os valores de carga medidos no ponto de amostragem. Então a curva limite representa a carga permitida, ou seja, a CTMD para cada medida de vazão.

As metas ou critérios de qualidade de água são valores quantitativos que medem se determinado padrão de qualidade de água, está sendo atendido ou não. Geralmente, a meta é um critério de qualidade de água contido em um manual padrão de qualidade de água para um determinado poluente. A meta pode ser representada, por exemplo, para nitrato, cloreto, coliformes e fósforo (USEPA, 2007).

Por ser uma ferramenta de simples comunicação, uma vantagem da análise de cargas por curvas de permanência é responder questões básicas sobre, avaliação da qualidade de água e implementação de planos de bacia (CLELAND, 2002).

A figura 2 mostra um exemplo de curva de permanência de cargas desenvolvida sobre três aspectos, i) para caracterizar melhor as condições de contorno sobre qualidade de água; ii) para apontar a importância de fontes pontuais sobre as cargas de sedimentos e iii) e para mostrar o tipo de prática conservacionista que deveria ser desenvolvida para melhorar a qualidade de água (CLELAND, 2002).

Figura 2: Exemplo de curva de permanência de cargas de SST e a curva de CMTD. Comportamento das cargas sob influencia das condições hidrológicas vigentes e soluções potenciais para as cargas acima do permitido (CMTD). Adaptado de Cleland (2002).

A curva de permanência de cargas pode ser desenvolvida também para produção específica de cargas como mostra a figura 3. Nesta figura observam-se cargas acima do permitido (CTMD) somente sob condições hidrológicas para condições úmidas. Desta maneira a produção de cargas esta associada a climas úmidos e a saturação do solo. Nestas condições além da contribuição de cargas advindas de zonas ripárias toda bacia passa a contribuir (CLELAND, 2002).

Para contornar este problema, são estabelecidos como metas, a adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo, como: faixas de contorno, canais gramados e cultivo conservacionista.

Figura 3: Exemplo de curva de permanência de cargas específicas de SST e curva de CTMD. A elipse negra evidencia as cargas acima do permitido sob condições úmidas. Adaptado de Cleland (2002).

A curva de permanência de cargas pode ser uma ferramenta muito útil para caracterizar a qualidade de água em uma bacia e descrever as condições padrões de qualidade de água associadas às condições de deterioração dos corpos d'água (CLELAND, 2002).

Segundo Cleland (2002) a curva de duração pode ser usada como ferramenta de diagnóstico, a qual conta com a CTMD desejada para a bacia e a restauração da qualidade de água identificada por metas de programas, normalmente focadas na proteção de zonas ripárias.

3.2.2.3. Curvas de permanência de cargas, análise quali-quantitativa e cenários ambientais.

Mendiondo (2009) formulou uma metodologia simplificada e preliminar baseado em curvas de permanência de vazões específicas capaz de associar as cargas específicas

observadas e estimadas regionalmente em micro-bacias, com o regime médio esperado nas mesmas.

Nesta metodologia são dimensionados gráficos que permitem relacionar as mudanças de regime fluvial, e das respectivas cargas regionais, a partir de variabilidade climática e de possíveis mudanças no uso do solo, assim como possíveis comportamentos mistos.

Segundo Mendiondo (2009) o regime fluvial médio pode ser bem representado por curvas de permanência regionalizadas. Na hipótese de que as micro-bacias estudadas situam-se em uma região hidrologicamente homogênea com aspectos geológicos, climatológicos e de relevo característicos é possível estimar com boa precisão as condições de regime fluvial a partir de condições de um contínuo fluvial.

Segundo Mendiondo (2009) os gráficos são montados resumidamente da seguinte forma:

1. Estimam – se e caracterizam – se as cargas regionais de uma bacia em função de condições iniciais de contorno específicas do clima e de uso e ocupação do solo;
2. As cargas estimadas e observadas são transformadas em cargas específicas e estas são associadas à permanência das vazões, para o dia de amostragem de água;
3. Estas cargas são interpoladas em curvas de permanência de vazões específicas.
4. De acordo com mudanças de uso e ocupação do solo e a variação do clima são montados cenários ambientais, em relação às condições iniciais.

Como resultado destas etapas obtém - se um gráfico da seguinte maneira: na ordenada esquerda as vazões específicas, na ordenada direita às cargas específicas e na abscissa as permanências em porcentagem.

O gráfico permite uma abordagem de qualidade e quantidade de água para qualquer seção de um rio de uma bacia sob análise. Mendingo (2009) chama esta abordagem de análise quali-quantitativa de água.

O método tem a limitação de que atribui, conforme a dinâmica sazonal, intervalos de variação aos valores de produção das cargas sob análise. Por outro lado, tem a vantagem de permitir supor que os processos encontram-se em equilíbrio dinâmico, ou seja, que uma região hidrologicamente homogênea mantém um processo de causa - comum entre parâmetros de quantidade e de qualidade de água. Esta hipótese interpreta que, sob condições de variabilidade de regime fluvial futuro, por causa da variabilidade climática e/ou do uso do solo, as relações quali-quantitativas se manterão, embora as magnitudes entre aspectos quali-quantitativos alcancem um novo equilíbrio dinâmico, imposto pelas mudanças exógenas do clima, do uso do solo, ou de uma interação entre ambas (MENDINGO, 2009).

3.2.2.4 Exemplos de cenários ambientais

A seguir são descritos alguns exemplos de cenários ambientais propostos por Mendingo (2009) em função do parâmetro de qualidade de água Nitrogênio Total (NT).

A figura 4 mostra um exemplo da utilização da metodologia em questão para um cenário ambiental inicial para NT. Nesta figura observa-se que para uma permanência de 37% de vazões (Prob=37%), espera-se que as vazões específicas nessa seção do rio sejam maiores ou iguais a $12,5 \text{ L s}^{-1} \text{ Km}^{-2}$ e a produção de nitrogênio total, para a mesma seção do rio, estima-se em $27 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Figura 4: Gráfico de abordagem quali-quantitativa de água mostrando o equilíbrio dinâmico do regime fluvial de permanências (abscissa) com os aspectos quantitativos (vazão específica, à esquerda, linha contínua) e qualitativos (produção de cargas poluidoras, à direita, linha de traços).

Cenário com variabilidade climática

A partir da figura 4 é montado um gráfico (figura 5) sob mudanças de regime fluvial, com uma curva de permanência sob impacto de variabilidade climática, a partir de aumento de temperatura média, de diminuição da umidade relativa futura e, portanto, diminuição da precipitação média e vazão de longo período.

Portanto, para essa nova condição, esperam-se uma diminuição de vazão específica ($-\Delta Q^*$) e de produção específica (ΔY).

Figura 5: Exemplo de novo cenário de variabilidade climática e como este afeta a permanência de vazão específica (linha de traços, em negrito, $\Delta Q^* = Q^*_2 - Q^*_1$) e repercutindo na produção de carga poluidora ($\Delta Y = Y_2 - Y_1$).

Cenário com mudança de uso e ocupação do solo

A partir da figura 4 é montado também um cenário (figura 6) sob mudança de uso e ocupação do solo da bacia em análise, onde há um aumento de produção de carga poluidora ($+\Delta Y$), o que afeta conseqüentemente a quantidade de escoamento.

Figura 6: Exemplo de cenário de mudança de uso do solo que afeta a produção de carga poluidora ($+\Delta Y$, linha de traços, em negrito) e a permanência de vazão específica ($+\Delta Q^*$).

Outros exemplos

Mendiondo (2009) formulou alguns cenários sobre bacias com tamanhos variando de 0,9 a 375 Km² e suas respectivas cargas estimadas para diferentes parâmetros de qualidade de água, como por exemplo, NT, SST e Fósforo Inorgânico (POI).

Em relação à variabilidade climática e aos horizontes de 2025, 2050 e 2100, utilizou-se um aumento nas variações de temperatura (ΔT) correspondentes para estes de: +0,5, +1,0 e +2,0 °C.

A figura 7 apresenta o resultado deste estudo com o equilíbrio dinâmico da curva de permanência de vazões específicas e cargas de SST.

Observa-se então um aumento na produção de cargas difusas de SST com a diminuição da probabilidade de permanência, indicando que, ao aumentar as vazões, o balanço de massa regional pode ser interpretado como uma curva de efeitos cumulativos, em função da distribuição esperada das vazões em uma dada seção do rio.

Figura 7: Equilíbrio dinâmico da qualidade, SST, e quantidade de água para os cenários 1 (2000 – 2008), 2 (2025), 3 (2050) e 4 (2100), com aumento de temperaturas. Fonte: Mendiondo, (2009).

Outro exemplo interessante na prospecção de cenários sobre a análise quali-quantitativa é o comportamento da clorofila-a em uma bacia.

Neste caso evidenciam-se quatro estágios característicos, interpretados como cenários de equilíbrio dinâmico que aparece na figura 8. Um destes estágios corresponde a altas vazões, onde o fitobentos e cargas alóctonas são transportados no escoamento sob altas intensidades de chuva o que pode aumentar a produtividade total, devido à mistura associada às altas taxas de turbulência, e mascarar uma situação de alta produtividade em relação ao consumo de matéria orgânica fosfatada, com um quociente “Produtividade/Consumo” (P/R) alto (MENDIONDO, 2008).

Figura 8: Interpretação de estágios de cenários de clorofila “a” em função da relação Produtividade e consumo (P/R). Adaptado de Mendiondo (2008).

Os outros estágios correspondem a um comportamento de material autóctono do ecossistema ribeirinho que reage de forma peculiar às cargas difusas que recebe da bacia. Por exemplo, um segundo estágio apresenta um cenário de equilíbrio com baixas velocidades nos canais principais da rede de drenagem e uma estável relação entre produção e consumo, que apenas decai o suficiente para vazões específicas baixas. Este segundo cenário de estabilidade

dinâmica do sistema abrange um intervalo alto de vazões do regime fluvial, entre vazões de 25 a 90% da curva de permanência, e, portanto representando uma condição básica do sistema. Na medida em que aumenta a radiação e a temperatura, dois novos estágios aparecem (cenário 3 e cenário 4). Em ambos, a taxa de produção de matéria orgânica é menor que a de consumo, e no último cenário (4), esta relação é mínima. É importante salientar que estes dois cenários também são prováveis de ocorrer em um intervalo amplo de vazões da curva de permanência e com pouca interação do rio para as várzeas. No primeiro cenário, esse comportamento se intensifica, a conectividade entre ambos os compartimentos é máxima (MENDIONDO, 2008).

3.3. Serviços Ambientais

3.3.1. Ecossistemas e serviços ambientais

Os diversos ecossistemas terrestres oferecem à humanidade uma variedade de produtos e serviços ambientais no âmbito local, nacional e mundial. (PORTAL DA MADEIRA MANEJADA, 2009).

Segundo Odum (2001) ecossistema é uma unidade funcional básica que inclui os organismos e o ambiente não vivente, cada qual influenciando as propriedades do outro, e ambos necessários à manutenção da vida.

Os produtos ambientais são utilizados pelo ser humano para seu consumo ou para serem comercializados (por exemplo: madeira, frutos, peles, carne, sementes, medicinas, água) constituindo uma base de sustentação e fonte de renda importante para a sociedade (PORTAL DA MADEIRA MANEJADA, 2009).

Já os serviços ambientais são úteis e benéficos para o homem destacando-se, por exemplo, a regulação de gases pelas plantas no processo de fotossíntese (produção de oxigênio e seqüestro de carbono), belezas cênicas, conservação da biodiversidade, proteção de solos, regulação das funções hídricas (PORTAL DA MADEIRA MANEJADA, 2009).

Ainda segundo Organização das Nações Unidas (2005) os produtos e serviços ambientais podem ser classificados e ordenados da seguinte forma: serviços de provisão, incluindo alimentos, água, madeira e fibras; serviços reguladores, que afetam climas, inundações, doenças, resíduos e a qualidade da água; serviços culturais, que fornecem benefícios recreacionais, estéticos e espirituais; e serviços de suporte, tais como formação do solo, fotossíntese e ciclo de nutrientes.

A figura 9 sintetiza e classifica alguns destes serviços e a relação com aspectos do bem estar e da qualidade de vida da espécie humana. Esta figura descreve a força das ligações entre categorias de serviços dos ecossistemas e os componentes do bem-estar humano, normalmente encontrados, e inclui indicações do grau até onde fatores socioeconômicos podem mediar essa ligação - por exemplo, se for possível obter um substituto para um serviço deteriorado dos ecossistemas, então há um alto potencial de mediação. A força das ligações e o potencial de mediação diferem em diferentes ecossistemas e regiões.

Figura 9: Síntese das relações entre os serviços ambientais prestados e os aspectos constituintes do bem estar humano, adaptado de: Organização das Nações Unidas (2005).

3.3.2. Serviços ambientais de bacias hidrográficas

Os serviços ambientais prestados pelos ecossistemas podem ser identificados e interligados em escalas de nível, local, regional, nacional e global. Porém é difícil uma avaliação ecossistêmica global destes serviços, suprir todas as necessidades dos tomadores de decisão em escalas menores, pois a gestão de um ecossistema específico deve ser individualizada de acordo com as características particulares desse ecossistema e das demandas dele decorrentes (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2005).

No entanto, uma avaliação direcionada somente para um ecossistema específico ou para um país específico mostra-se insuficiente porque alguns processos são globais e porque

bens, serviços, matéria e energia locais são freqüentemente transferidos de uma região para outra (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2005).

Segundo Wertz-Kanounnikoff (2006), a bacia hidrográfica fornece uma vasta gama de serviços, principalmente, controle de inundação e controle de qualidade da água. Estes serviços são especificamente relacionados com os ecossistemas naturais, como as florestas e ambientes aquáticos. Normalmente os ecossistemas florestais localizados nas bacias prestam estes serviços por meio de proteção à bacia hidrográfica, além do seqüestro de carbono e proteção a biodiversidade.

Ademais diversos fatores da bacia hidrográfica contribuem para a qualidade e quantidade de água drenada para os rios, por exemplo: topografia, geologia, tipo de solo, cobertura vegetal manejo e uso do solo (SMITH et al. 2006).

3.3.3. Os serviços ambientais prestados pelas florestas às bacias hidrográficas

Como um dos propósitos do presente estudo é discorrer sobre o reflorestamento na bacia do Benevente é feito, neste subitem, uma revisão sobre os serviços ambientais prestados pelos ecossistemas florestais às bacias hidrográficas.

Segundo Scherr et al. (2004) os serviços ambientais prestados pelas florestas às bacias hidrográficas são os de maior relevância e se justificam pelos benefícios trazidos a qualidade e quantidade de água destas bacias.

Estes serviços em geral são os seguintes: manutenção da qualidade de água, por meio do controle de cargas difusas e o controle de sedimentação e erosão, manutenção da produtividade aquática, regulação do fluxo de água, manutenção de fluxos de seca e controle de cheias; controle de salinidade; regulamentação de poços freáticos e manutenção dos habitats aquáticos (por exemplo, manutenção da temperatura da água, sombreamento de rios e córregos, etc.) (SCHERR et, al. 2004; MAYRAND; PAQUIN, 2004).

Segundo Falkenmark et al. (1999) as relações entre as florestas e a água das bacias hidrográficas podem ser resumidas nos seguintes itens:

- Florestas podem retardar a taxa de escoamento superficial em uma bacia pela absorção da água pela vegetação atrasando o tempo de saturação do solo;
- As florestas normalmente possuem uma maior capacidade de armazenamento da água que os solos desnudos ou outro tipo de cobertura vegetal, pois quanto maior a complexidade da estrutura vegetal maior é a infiltração direta de água no solo;
- As florestas podem reduzir a erosão do solo e a sedimentação de canais pela interceptação da chuva pelas copas das árvores;
- Os extensos sistemas radiculares das florestas permitem a retenção solo mais firmemente no lugar e resistindo aos deslizamentos e reduzindo os níveis de sedimentação nos rios;
- As florestas funcionam como filtros impedindo a chegada de contaminantes químicos às águas. Os solos florestais são geralmente mais úmidos do que outros tipos de solos e contém mais nutrientes, o que lhes permite filtrar os contaminantes;
- Florestas podem aumentar ou diminuir a recarga de aquíferos. Pode diminuir a recarga, devido à interceptação das precipitações pela cobertura florestal e sua conseqüente evapotranspiração. No entanto, a remoção da cobertura florestal pode proporcionar a formação de uma crosta na superfície do solo que pode reduzir ou impedir a infiltração da água e recarga de aquíferos.

Outra importante contribuição das florestas aos cursos de água de uma bacia hidrográfica é a manutenção ou desenvolvimento de zonas ripárias. Estas zonas são faixas de vegetação, próximas e ao longo do eixo dos cursos d'água.

A vegetação ripária contribui, por exemplo, na manutenção da morfologia do rio e na proteção de inundações. A vegetação garante a preservação dos meandros dos rios,

diminuindo a velocidade do escoamento e consequentemente diminuindo a erosão, aumentando a infiltração de água no solo durante as inundações. A infiltração diminui a quantidade de água que chega ao rio, e, por conseguinte, a ocorrência de inundações (KOBAYAMA, 2009).

3.4. Pagamento por serviços ambientais (PSA)

Por muitas décadas o controle e a prevenção da poluição têm sido feito por mecanismos básicos de mercado, tais como, taxas, encargos ou outras ferramentas baseadas no princípio do poluidor - pagador. Muitas dessas buscam a diminuição ou mesmo a prevenção de externalidades ambientais negativas como, por exemplo, a poluição e a destruição de habitats (MAYRAND; PAQUIN, 2004).

Nas últimas décadas novas pesquisas têm sido feitas na busca de criar externalidades ambientais positivas através de incentivos econômicos apropriados, frequentemente na forma de programas, como por exemplo, programas agro-ambientais (MAYRAND; PAQUIN, 2004).

Em relação aos incentivos econômicos ressaltam-se, subsídios, políticas fiscais e criação de mercados para as emissões poluentes, além de muitas outras ferramentas como os sistemas de pagamento por serviços ambientais (COMMISSION FOR ENVIRONMENTAL COOPERATION, 2003).

3.4.1. Princípios de um PSA

O princípio básico de um sistema de pagamentos por serviços ambientais é o de que os recursos usados por comunidades provedoras de serviços ambientais deveriam ser

compensados pelo custo desta provisão, e todos os beneficiados destes serviços deveriam pagar por eles, internalizando, deste modo os benefícios (PAGIOLA; PLATAIS, 2002).

Segundo Wunder et al. (2005) o pagamento por serviços ambientais é voluntariado e negociado, diferente das medidas de comando e controle adotadas em diversas regiões. Isto pressupõe que os fornecedores dos serviços ambientais têm livre arbítrio para escolher o uso e ocupação da terra.

3.4.2. Definições e classificações de PSA

Segundo Wunder (2005) não foi definido formalmente o conceito de PSA, porém podem ser utilizados critérios simples para esta finalidade, como por exemplo: operação voluntária; serviço ambiental pré-definido; existência de um comprador e um provedor do serviço ambiental e a garantia do serviço ambiental pelo provedor.

Mayrand e Paquin (2004) afirmam que a concepção de um sistema de PSA, desempenha um papel central na garantia do seu sucesso. Sistemas baseados em evidências científicas claras e consensuais, que ligam o uso e ocupação do solo com a prestação de serviços, tendem a funcionar melhor quando se baseiam nas seguintes características:

- Definem claramente o serviço ambiental a ser prestado;
- Seus contratos e os pagamentos são flexíveis e contínuos;
- Seus custos de transação não ultrapassam os benefícios potenciais;
- Dependem de várias fontes de receitas para garantir que os fluxos monetários sejam suficientes e sustentáveis ao longo do tempo;
- As mudanças de uso dos solos, bem como a prestação de serviços são estreitamente controladas;
- São flexíveis o suficiente para permitir ajustes para melhorar a sua eficácia, eficiência e para se adaptar às novas condições.

3.4.3. Estrutura e objetivos de um sistema de PSA

Apesar da grande diversidade de sistemas de PSA e da unicidade de cada um, a maioria tem uma base comum de estrutura. Esta é composta dos seguintes itens: mecanismos financeiros, mecanismos de pagamento, estrutura de governo e os beneficiários e usuários dos serviços ambientais (MAYRAND; PAQUIN, 2004).

Os mecanismos de financiamento são responsáveis por reunir e gerir fundos de beneficiários dos serviços ambientais. Já os mecanismos de pagamento devem ser concebidos para proporcionar fundos aos usuários das terras prestadores dos serviços ambientais, todos estes componentes são geridos por uma estrutura governamental (MAYRAND; PAQUIN, 2004).

Os sistemas de PSA têm como objetivo básico gerar um regime estável e um fluxo contínuo de receitas que assegurem a sustentabilidade do sistema a longo prazo. As receitas podem provir de impostos, taxas de utilização, de subsídios estatais, contribuições diretas, subsídios ou empréstimos por instituições internacionais ou doativos por Organizações não Governamentais (ONGs) internacionais ou fundações (MAYRAND; PAQUIN, 2004).

3.4.4. PSA em bacias hidrográficas

Segundo Wunder (2005), Grieg-Gran e Bann (2003), Landell-Mills e Porras (2002), Mayrand e Paquin, (2004) e Wertz-Kanounnikoff, (2006), quatro tipos de serviços relacionados ao pagamento de serviços ambientais, são frequentemente relatados: serviços de bacias hidrográficas; sequestro de carbono; conservação da biodiversidade; e beleza cênica. Geralmente, quanto melhor definida uma mercadoria (e mais complexo o contrato de serviços), maior o custo de operação do sistema, mas também maior será o potencial dos preços obtidos no mercado.

Os mercados oriundos dos serviços ambientais prestados por bacias hidrográficas são de relevante importância, principalmente quando se atenta à quantidade e qualidade de água existente em uma bacia.

Estes mercados são geralmente de âmbito local e a proteção às bacias proporcionada por estes não envolve diretamente a quantidade e qualidade de água, mas sim o financiamento de usos e ocupação do solo que provem as melhorias a bacia em relação a estes aspectos (PAGIOLA et al. 2002).

A procura de serviços ambientais relacionados à água, em sua maior parte, provém de usuários de água a jusante, incluindo agricultores, produtores hidroelétricos, e os consumidores domésticos de água em áreas urbanas (FAO, 2000).

Como a procura destes serviços é relativamente baixa e sendo o número de beneficiários limitados e bem organizados é relativamente fácil mobiliza – los e envolve – los nos esquemas de PSA (MAYRAND; PAQUIN, 2004).

A melhoria da gestão da parte montante de bacias para a manutenção dos serviços de água é uma estratégia implementada em vários países da América Latina e Caribe, inclusive no Brasil, Colômbia, Costa Rica, República Dominicana, Equador e Honduras e Panamá (WORLD BANK AND WORLD WILDLIFE FUND ALLIANCE FOR FOREST CONSERVATION AND SUSTAINABLE USE, 2003).

Um dos exemplos mais famosos é o sistema estabelecido pela cidade de Nova Iorque para proteger suas fontes de água potável. No final da década de 90, a cidade de Nova York aumentou as taxas de cobrança de água em 9% para investir na proteção das bacias do Catskill - Delaware e Croton. Isto foi feito principalmente através de um programa de aquisição, conservação e servidão de terras o que ampliou a área protegida no interior da bacia em 121.500 ha. Além disso, os agricultores e produtores florestais receberam uma indenização ao aderirem a novos programas que retiraram a sua produção, de terras

ambientalmente sensíveis ou para melhorar a gestão das florestas (LANDELL-MILLS e PORRAS, 2002).

Outro exemplo interessante é o do Vale do Cauca, na Colômbia, onde uma associação de agricultores, preocupados com a disponibilidade hídrica para a irrigação de suas terras, criaram um sistema de PSA (TSEN. et al. 2002). Desde a sua criação, este programa levou à adoção de medidas de conservação em mais de um milhão de hectares de terras. O sistema coloca anualmente E.U. \$ 600.000 em receitas para os usuários das águas (LANDELL-MILLS. 2002).

De modo semelhante, os agricultores da bacia hidrográfica Guabas na Colômbia negociaram um acordo com os proprietários de terras a montante da bacia para adotar novas medidas de uso do solo, a fim de manter os fluxos das águas em níveis normais mesmo em épocas de secas. O sistema é financiado através de taxas adicionais para a utilização da água (MAYRAND; PAQUIN, 2004).

3.5. O programa do produtor de água

Neste item apresenta-se um resumo de um dos sistemas de pagamento por serviços ambientais a nível de bacia hidrográfica que está sendo implementado no Brasil é o Programa Produtor de Água.

Este programa é um projeto desenvolvido pela Agência Nacional de Águas – ANA com fins de conservação de mananciais estratégicos, onde incentivos financeiros, proporcionais aos benefícios relativos ao abatimento da sedimentação, são propostos. Uma vez que a estimativa do abatimento da sedimentação não é um processo trivial, ele foi emulado através de uma simplificação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) em inglês popularmente conhecido como USLE, em nível de propriedade (CHAVES et al. 2004).

Para tanto foi desenvolvido a equação de Percentual de abatimento de erosão (P.A.E) – equação 3 – que estima a diferença da taxa de perda de solo antes (A_0) e depois (A_1) da implementação de práticas agrícolas conservacionistas em uma gleba ou propriedade conhecida.

$$\text{P.A.E. (\%)} = 100 (1 - A_1/A_0) \quad \text{Equação 3}$$

Segundo Chaves et al. (2004) a taxa de perda de solo A em ton/ha/ano é estimada pela equação da EUPS. Considerando que a área ou gleba de interesse é a mesma, e que os fatores, R , K , L e S dos parâmetros da equação da EUPS são considerados constantes antes e durante a implantação do projeto na gleba a equação 3 fica simplificada da seguinte forma:

$$\text{P.A.E. (\%)} = 100 (1 - Z_1/Z_0) \quad \text{Equação 4}$$

onde:

Z_0 = produto dos parâmetros C e P da equação 1 antes da implantação de práticas agrícolas conservacionistas;

Z_1 = produto dos parâmetros C e P da equação 1 após a implantação de práticas agrícolas conservacionistas;

A vantagem desta simplificação é que, conhecendo-se apenas dois dos seis fatores originais (C e P) da EUPS, é possível calcular a redução da perda de solo, relativamente à situação inicial, sem perda de generalidade ou de robustez do modelo. Além disso, valores são disponíveis para os parâmetros C e P (e, portanto, de Z) para agricultura (DERPSCH, 2002; DE MARIA e LOMBARDI NETO, 1997; MARGOLIS et al., 1985; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990) e para florestas (FRANCKE et al., 1998). Uma lista de valores de

Z para diferentes usos e manejos, convencionais e conservacionistas, é apresentada na Tabela

2.

Tabela 2: Valores de Z para usos de manejo convencional e conservacionista

Manejo Convencional	Z₀
Grãos	0,25
Algodão	0,62
Mandioca	0,62
Cana-de-açúcar	0,10
Batata	0,75
Café	0,37
Hortaliças	0,50
Pastagem degradada	0,25
Capoeira degradada	0,15
Cascalheira/ solo nú	1,00
Manejo Conservacionista	Z₁
Grãos, rotação	0,20
Grãos, em nível	0,13
Grãos, rotação, em nível	0,10
Grãos, faixas vegetadas	0,08
Grãos, cordões vegetaç.	0,05
Grãos, terraços	0,05
Grãos, rot., terraços	0,02
Grãos, pl. direto	0,03
Alg./Mand., rotação	0,40
Alg./Mand., nível	0,31
Alg./Mand., plant. direto	0,04
Cana, em nível	0,05
Cana, em faixas	0,03
Cana, terraços	0,01
Batata, em nível	0,38
Batata, em faixas	0,22
Batata, terraços	0,08
Café, em nível	0,19
Café, em faixas	0,11
Hortaliças, em nível	0,25
Pastagem recuperada	0,12
Pastagem recup.+terraços	0,04
Pastag., rotação c/ grãos	0,10
Reflorestamento denso	0,01
Reflorestamento ralo	0,03

Fonte: Chaves et al. (2004)

Segundo Chaves et al. (2004) para utilizar a estimativa de abatimento de erosão na propriedade como indicador de abatimento de sedimentação na bacia, deve-se demonstrar que para cada tonelada de erosão abatida dentro da propriedade, uma tonelada correspondente será abatida no processo de sedimentação, a jusante. Partindo-se da relação de aporte de sedimento, R.A.S. (adimensional), considerada constante para uma dada bacia (WALLING, 1988; RENFRO, 1975), tem – se:

$$R.A.S = \left(\frac{Y}{Ab} \right) \quad \text{Equação 5}$$

Onde Y (ton/ano) é o aporte de sedimento anual no exutório da bacia, cuja erosão total anual é Ab (ton/ano). A relação de aporte de sedimento varia de 0 a 1, sendo inversamente proporcional à área da bacia (ROEHL, 1962; USDA-NRCS, 1983;). Assim, se o abatimento da erosão gerado em uma certa propriedade, de área, participante do Programa, representar 1% do valor total da erosão na bacia, ou seja, $(A_1 - A_0). \alpha = 0,01Ab$, tem-se que, para que a R.A.S. permaneça constante na equação 5, um valor correspondente a 1% também deve ser reduzido na produção de sedimento, Y, no exutório de interesse da bacia. Isto demonstra a possibilidade de se utilizar a erosão média na propriedade como indicador do aporte de sedimento médio no exutório da bacia (CHAVES et al., 2004).

Segundo Chaves et al. (2004) a estimativa dos valores dos incentivos financeiros aos produtores participantes do programa considera o aspecto de que cada manejo e prática conservacionista implica em custos e eficácias distintos, e tendo como pressuposto que os pagamentos devem ser proporcionais ao seu desempenho ambiental, toma-se, como ponto de partida, uma prática conservacionista que é, ao mesmo tempo, econômica e ambientalmente eficiente, e amplamente utilizada nas diferentes regiões agrícolas brasileiras: o plantio direto. Esta prática reduz cerca de 90% da erosão (e da sedimentação), relativamente ao sistema

convencional (DERPSCH, 2002), com um custo de implantação médio de R\$ 100/ha (MELO FILHO; MENDES, 1999).

A partir desses critérios, valores de pagamento incentivado (V.P.I) foram definidos para outros manejos e práticas, de acordo com as faixas da Tabela 3.

Tabela 3: Valores sugeridos para pagamentos incentivados (V.P.I), em função do abatimento de erosão (P.A.E) proporcionado

P.A.E (%)	25 a 50%	51 a 75%	75 a 100%
V.P.I (R\$/ha)	50	75	100

Fonte: Chaves et al. (2004).

3.5.1. Outros exemplos do programa Produtores de Água e de valoração econômica de perdas de solo.

No estado de São Paulo está sendo implementado um projeto piloto de pagamento de serviços ambientais. Denominado Produtor de Água no PCJ. O PCJ é a sigla para as bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí. O programa segue as diretrizes e conceitos do programa de incentivo ao Produtor de Água desenvolvido pela ANA (INSTITUTO DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL, 2009).

Segundo o Instituto de Conservação Ambiental (2009), o Produtor de Água no PCJ é uma experiência piloto de PSA realizada nas microbacias dos ribeirões Moinho e Cancan localizadas nos municípios de Nazaré Paulista e Joanópolis em São Paulo.

Basicamente os valores referentes, ao PSA deste projeto, são calculados por meio dos seguintes critérios (INSTITUTO DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL, 2009):

- 1) Prover o PSA decorrente de práticas de conservação do solo, sendo que o valor de referencia por hectare para o PSA é definido conforme o P.A.E obtido por projeto executivo, multiplicado pela área da propriedade proposta (tabela 4);

Tabela 4: Percentuais de abatimento de erosão e os respectivos Valores de Referência de Pagamento

Pagamento				
Índice	Nível de abatimento de Erosão e Respectivos valores de pagamento			
P.A.E	25 - 50%	51 - 75%	75 - 100%	
VRP (R\$/ha/ano) Projetos novos	25,00	50,00	75,00	
VRP (R\$/ha/ano) Projetos existentes	8,00	17,00	25,00	

1 VRP = Valor de Referência para Pagamento.

- 2) Prover o PSA decorrente de restauração ecológica de Áreas de Preservação Permanente, sendo os valores calculados conforme o nível de avaliação da condução das florestas plantadas;
- 3) Prover o PSA decorrente da conservação de fragmentos florestais existentes, sendo o valor a ser pago por hectare de floresta existente em função do percentual das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) existentes e/ou a recuperar e com a qualidade das florestas existentes.

A valoração econômica ambiental de perdas de solo também pode ser verificada em alguns outros estudos.

Em um trabalho realizado nas bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Jaguari no estado de São Paulo foi feita a mensuração econômica dos efeitos internos à área de produção agrícola causados pelo processo de erosão do solo, a partir do custo de reposição dos nutrientes perdidos pelo solo agrícola (MARQUES, 2004).

Para o cálculo do valor econômico da erosão do solo utilizou-se o método do custo de reposição dos nutrientes, de acordo com os tipos de cultura e de solo da bacia hidrográfica (MICHELLON, 2002; KIM e DIXON, 1990; MARQUES, 1998).

Os resultados gerais deste estudo indicam uma perda de solo anual média para as bacias dos Rios: Atibaia – área de drenagem: 4.290 Km² – e Jaguarí – área de drenagem de 2.760 Km² – de respectivamente: 316.000 ton/ano e 675.000 ton/ano. Em relação aos nutrientes observaram-se as seguintes perdas para sulfato de amônio, por exemplo, de respectivamente: 1.531,91 t/ano e 3264,00 t/ano. Para a bacia do Atibaia a valoração desta perda ficou em: 11.017,72 US\$/tonelada (MARQUES, 2004).

3.6. O projeto Produtores de Água do Estado do Espírito Santo

Neste item são descritos alguns aspectos do projeto Produtores de Água, um mecanismo de pagamento de serviço ambiental que está sendo desenvolvido no Estado do Espírito Santo.

Os aspectos são: Gestão do programa produtor de água e objetivos; metodologia de cálculo do PSA; normas e regulamentos do PSA; Projeto piloto e áreas prioritárias para implantação do Programa ProdutorES de água.

3.6.1. Gestão do programa produtor de água e objetivos

O Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, criado em 2002, é uma entidade autárquica vinculada à SEAMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo.

Este instituto está implementando o programa Produtores de Água no Estado. Este programa é semelhante ao programa da Agência Nacional de Águas (ANA) (CHAVES et al, 2004). Entretanto, com metodologia e metas diferentes, a proposta do estado do Espírito Santo tem como nome do projeto o termo ProdutorES de Água, uma alusão ao projeto da

ANA e à sigla do estado: ES (Espírito Santo), transformando-o numa marca de ações de política pública (SILVA et al.2008).

Segundo Silva et al. (2008) O Projeto ProdutorES de Água, tem como objetivo reconhecer o produtor rural que já proporciona o serviço ambiental de melhoria da qualidade da água através do abatimento de erosão e sedimentação dos corpos hídricos pela conservação de fragmentos florestais que se encontram nas suas propriedades. Esses produtores serão os primeiros beneficiários do mecanismo de PSA. Entretanto, o projeto também tem como objetivo, somar esforços para atender a meta do Governo do estado do Espírito Santo de elevar a cobertura florestal do estado de 8% para 16%, num intervalo temporal de aproximadamente 20 anos.

3.6.2. Metodologia de cálculo do PSA

Segundo Silva et al. (2008) o valor a ser pago pelo serviço ambiental em – R\$ por Hectare por Ano – é calculado pela equação 6 de pagamento por serviços ambientais. Essa equação tem como objetivo ponderar através de parâmetros técnicos e orçamentários cada situação passível de ser contemplada pelo projeto ProdutorES de Água.

$$VSrh = 200 \times VRTE \times (1-Z) \times Kt.$$

Equação 6

onde:

- (i) 200 VRTE (Valor de Referencia do Tesouro Estadual) é o custo de oportunidade para 01 serviço ambiental, acrescido de adequações orçamentárias;
- (ii) VSrh é o valor dos serviços ambientais de conservação e incremento da qualidade e da disponibilidade hídrica em R\$/ha/ ano;
- (iii) Z é o coeficiente de potencial erosivo referente ao estágio de desenvolvimento da floresta;

(iv) Kt é o coeficiente de ajuste topográfico.

O Custo de Oportunidade dado em 200 VRTE foi calculado conforme os custos de oportunidade médios estimados das principais atividades agrícolas para o estado do Espírito Santo, de pecuária, café, eucalipto, cana de açúcar e banana. O custo de oportunidade médio calculado para estas atividades é de R\$ 739,36 R\$/Ha/Ano (SILVA et al. 2008).

Resumidamente o custo de oportunidade trata-se de perda de receita de um proprietário rural ingresso no programa, pela conversão de áreas destinadas ao sistema produtivo convencional em outras atividades (SILVA et al., 2008).

O valor médio estimado de R\$ 739,36 R\$/ha/ano foi convertido para 200VRTE da seguinte forma (SILVA et al., 2008):

“Através da Lei Estadual nº 8995/08 (ESPÍRITO SANTO, 2008a), o Governo do Estado do Espírito Santo reconhece como passível para pagamento quatro serviços ambientais: [1] conservação e melhoria da qualidade e disponibilidade hídrica; [2] conservação e incremento da biodiversidade; [3] redução de processos erosivos e fixação, e [4] sequestro de carbono para fins de minimização os efeitos das mudanças climáticas globais.

3. Como num primeiro momento o projeto ProdutorES de Água reconhece através do pagamento em espécie somente o serviço de incremento da disponibilidade de recursos hídricos, o valor por hectare por ano será de 1/3 (um terço), ou seja, R\$ 246,34 (duzentos e quarenta e seis reais e trinta e quatro centavos).

4. Para indexar o valor base para pagamento utilizou-se a Unidade de Referência do Tesouro Estadual (VRTE), que calculado a valor presente representaria 137 VRTEs aproximadamente.

5. Sabendo-se que a equação deverá propor, concomitantemente, critérios ambientais capazes de proporcionalizar os valores em função do grau de evolução da cobertura florestal e da declividade da área abrangida, devendo ainda em paralelo, ser capaz de cobrir ao menos parte dos custos de oportunidade dos proprietários rurais, é sugerida uma elevação do valor base para 200 VRTE, para pagamentos nesta modalidade.

6. Logo, na equação de pagamento, entendemos como 200 VRTE, a unidade de referência que engloba parte do custo de oportunidade e a adequação orçamentária do governo estadual para 01 serviço ambiental, estando o mesmo ligeiramente superior aos valores (em dólares) adotados

como referência para valoração dos serviços ambientais em outras experiências, nos níveis: nacional e internacional.”

O índice Z – coeficiente de potencial erosivo referente ao estágio de desenvolvimento da floresta – está em uma escala de 0 (zero) a 1 (um), sendo que quanto maior o coeficiente, maior será o potencial erosivo decorrente da pouca cobertura florestal da área (SILVA et al., 2008).

Os valores para o coeficiente Z são retirados da tabela desenvolvida pela ANA em seu projeto Produtor de Água (CHAVES et al., 2004), Sendo o estágio inicial, o de pastagem degradada e o secundário inicial, capoeira degradada. A tabela 5 mostra os coeficientes com as tipologias de cobertura do solo das áreas de trabalhos propostos por Silva et al. (2008).

Tabela 5: Coeficientes de potencial erosivos das coberturas de solo

ESTÁGIO	VALOR DE Z
Inicial	0,25
Secundária inicial (capoeira, capoeirão)	0,15
Primária, secundária média e avançada	0,01

Fonte: (SILVA et al., 2008).

Segundo Silva et al. (2008) para o coeficiente de ajuste topográfico Kt são estipuladas, três classes de declividade tendo cada uma, um índice resultante da equação de Bertoni e Lombardi Neto (1993) conforme a tabela 6.

Tabela 6: Coeficientes de declividade do sítio

FAIXAS DE DECLIVIDADE	COEFICIENTE
20 - 45% (fortemente ondulado)	0,27
45 -75% (montanhoso)	0,55
>75% (fortemente montanhoso)	0,86

Fonte: (SILVA et al., 2008).

3.6.3. Normas e regulamentos do PSA

Em relação à normatização o programa ProdutorES de Água, está amparado pela lei Estadual nº 5.818/98 (ESPÍRITO SANTO, 1998), que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos. Esta prevê mecanismos de compensação àqueles que, no exercício de atividades econômicas que demandam recursos hídricos, assumem papel pro - ativo e protagonista, possibilitando não só o seu próprio abastecimento como também contribuindo para o aumento da disponibilidade de água, em qualidade adequada, para que se possam realizar também outras atividades produtivas em seu entorno.

A Lei nº. 8995/2008 (ESPÍRITO SANTO, 2008a) instituiu o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais. Em resumo esta lei institui o programa, define os atores envolvidos, define sua finalidade, os objetivos do programa, o valor máximo para pagamento relativo aos serviços prestados entre outras providências.

O Decreto Nº 2168-R/2008 (ESPÍRITO SANTO, 2008b), por sua vez aprova o regulamento da Lei 8995 e apresenta o Regulamento do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais - PSA, de que trata o inciso I do Art. 2º da Lei nº 8.995, de 22 de setembro de 2008. Este dispositivo, entre outras medidas, dá competência ao Órgão Gestor de Recursos Hídricos Estaduais a adoção de procedimentos visando à criação, deliberação e aprovação de projetos que envolvam aplicação de PSA.

3.6.4. Projeto piloto e áreas prioritárias para implantação do Programa ProdutorES de água.

Uma das bacias do estado escolhidas para a implementação do programa piloto dos produtores de água é a Bacia do Benevente. O motivo desta escolha foi devido, entre outras considerações, pelos seguintes aspectos e critérios técnicos existentes:

- A existência da atividade agropecuária na bacia;

- A predominância da propriedade familiar ou da pequena propriedade na estrutura fundiária da bacia a ser analisada;
- A existência de usuários fortemente impactados negativamente pelo aporte de sedimentos em níveis elevados, por exemplo: Companhia Espírito Santense de Saneamento do Estado do Espírito Santo (CESAN);
- A existência de uma pluralidade de usos e de usuários capazes de promover ganhos de escala na criação de um mecanismo de compra por serviços ambientais;
- Uma configuração adequada, na qual eventuais beneficiados se encontrem a jusante de potenciais beneficiários;
- Sobreposição de mapas temáticos de declividade, suscetibilidade a erosão, cobertura vegetal e práticas agrícolas;
- Identificação dos potenciais provedores (produtores rurais) e dos recebedores dos serviços de recursos hídricos;
- Proximidade da calha principal do Rio Benevente.

A figura 10 mostra a codificação das bacias e sub-bacias localizadas no Estado do Espírito Santo, além das bacias do Benevente e suas sub-bacias segundo a Resolução nº 30 de 11 de dezembro de 2002 (ESPÍRITO SANTO, 2002). Destacam-se as ottobacias: 77156 – Rio Benevente – e sua ottobacia – 771568. A área delimitada pela linha vermelha é aproximadamente a área prioritária para a implementação do Programa. Deve-se salientar que o monitoramento quantitativo e qualitativo dos indicadores de qualidade de água abrangeu notadamente esta área.

Figura 10: Bacia hidrográfica do Rio Benevente. A área delimitada em vermelho corresponde à área do projeto do Produtor de Água. Fonte: Gerência de Recursos Hídricos, IEMA.

4. MATERIAL E MÉTODO

Neste item apresentam – se as metodologias e os materiais utilizados para o alcance dos objetivos propostos, tais como, informações da área de estudo, levantamento de dados de qualidade e quantidade de água, descrição detalhada da metodologia de regionalização de vazões e cargas poluidoras, dentre outros.

4.1. Área de estudo

Nesta seção apresenta-se um detalhamento da área de estudo e a caracterização da bacia sobre os diferentes aspectos da região sendo: relevo, geologia, usos e ocupação do solo, clima e localização geográfica.

A bacia hidrográfica do Benevente localizada na região Sul do Estado do Espírito Santo possui uma área superficial de aproximadamente 1260 km², e abrange terras dos municípios de Anchieta, Alfredo Chaves, Iconha, Guarapari e Piuma. Esta é limitada ao norte com a bacia do rio Jucu, a oeste com as bacias do rio Itapemirim e do rio Novo e ao sul com o Oceano Atlântico (CEPEMAR, 1999).

O rio Benevente, principal rio desta bacia, nasce no município de Alfredo Chaves, na localidade de São Bento, a cerca de 800 m de altitude na coordenada UTM datum SAD 69 de aproximadamente: (296.248 E / 7.735.911 N). Os principais afluentes do rio Benevente são: os rios Maravilha, rio Crubixá e rio Pongal; na margem direita os rios Iriritrimirim, Batatal, Caco do Pote, Corindibá, Grande e Salinas na margem esquerda (CEPEMAR, 1999).

Segundo Cepemar (1999) a extensão do rio Benevente entre a cidade de Alfredo Chaves e a sua foz é de 34 km. Na sua foz está localizado um dos maiores manguezais do Estado do Espírito Santo. A tabela 7 mostra algumas informações pertinentes desta bacia.

Tabela 7: Informações gerais sobre a região hidrografia do Rio Benevente: domínio estadual, total da área de drenagem, pluviosidade média anual, vazão média na foz em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, população total em habitantes, entre outros

Região hidrográfica do Rio Benevente					
Domínio Estadual	Total da área de drenagem	Pluviosidade média anual	Vazão média na foz	Número de municípios	População total
Espírito Santo	1260 Km^2	1600 mm	30,76 m^3/s	5	95000
Recortes Territoriais					
Macro-região hidrográfica	Recorte hidrográfico da ANEEL	Recorte hidrográfico estadual	Sub-bacias	Principais afluentes	Obs.
Atlântico - Leste	SB - 56	BH do Rio do Benevente	Rio Benevente	Rio Pongal	-

Fonte: ANA (2008)

A figura 11 contém as seguintes informações: a limitação geográfica da bacia do Benevente, as estações de amostragem de água, as estações fluviométricas e pluviométricas, a localidade da CESAN, do barramento da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) – São Joaquim, as áreas de drenagem de cada ponto de amostragem, a cidade de Alfredo Chaves e o distrito de Matilde.

A tabela 8 mostra informações gerais das estações fluviométricas e pluviométricas e das estações de amostragem de água numerados em ordem crescente no sentido de montante para jusante do Rio Benevente, e a suas respectivas coordenadas georreferenciadas em Projeção Universal Transversa de Mercator Meridiano Central -39° Zona Sul, no Sistema de Coordenadas Planas UTM, Datum de referência SAD 69, bem como algumas descrições relevantes de cada ponto.

Figura 11: Detalhamento da área de estudo mostrando os pontos de interesse, seja: estações de amostragem de água de 1 a 6, a estação de medição de vazões (fluviométrica) e as de medição de chuvas (pluviométricas), a captação de água da CESAN e a cidade de Alfredo Chaves.

Tabela 8: Detalhes dos pontos de interesse, tais como: coordenadas UTM descrição do local dos pontos de amostragem de água, informações disponíveis, tamanho das áreas de drenagem em ha, dentre outros

Pontos de Amostragem	Entidade gestora	Coordenadas UTM		Descrição do local de amostragem de água	Informações Disponíveis	Área de Drenagem (ha)
		X	Y			
1	PCH - São Joaquim	309.942	7.721.556	<i>A montante do reservatório, próximo a ponte rodoviária de madeira</i>	Qualidade	26.513
2	PCH - São Joaquim	311.574	7.720.550	<i>Interior do reservatório</i>	Qualidade	32.338
3	PCH - São Joaquim	313.845	7.719.545	<i>A jusante da casa de força, 100 m a jusante da foz do Rio Iritimirim</i>	Qualidade	37.930
4	IEMA - SUAPA	317.747	7.715.225	<i>Na rodovia ES-146, a 2 km de Alfredo Chaves.</i>	Qualidade	59.155
5	CESAN	324.922	7.711.773	<i>Montante ROD BR 101 50 metros da captação</i>	Qualidade	82.344
6	CESAN	326.050	7.709.086	<i>Jusante ROD BR 101 3 km da captação (Ponte)</i>	Qualidade	82.524
Estações/códigos	Entidade Gestora - distrito e município	Período de operação				
57250000	ANA (Matilde - Alfredo Chaves)	7.727.284	309.335	Em operação desde 1949	Hidrométricas e Fluviométricas	20.600
1p - 02040011	ANA (Matilde - Alfredo Chaves)	7.725.766	311.090	Em operação desde 1949	Pluviométricas	-
2p - 02040020	ANA (Vila nova maravilha - Alfredo Chaves)	7.722.186	296.764	Em operação desde 1964	Pluviométricas	-
3p - 02040017	ANA (Duas Barras - Iconha)	7.706.855	304.015	Em operação desde 1957	Pluviométricas	-

4.1.1. Informações das estações de amostragem de água e de seu entorno

A seguir é descrito com maior detalhe algumas características físicas e de usos e ocupação do solo das estações de amostragem de água e seu entorno. As figuras de 12 a 17 mostram levantamento aéreo fotográfico realizado no ano de 2007, fornecido pelo IEMA, portanto ainda não existia a barragem da PCH. As figuras 18 a 24 mostram relatório fotográfico dos locais das estações de amostragem.

Estação de amostragem 1

Largura aproximada, cerca de 30 metros, profundidade média de 1,5 metros, água sem odor clara e sem despejos sanitários ou industriais próximos ao ponto de coleta. Uso e ocupação do entorno: pequenas plantações e currais em ambas as margens. Leito com predomínio de rochas com alguns depósitos de areia. Margens, direita e esquerda com ausência de vegetação ciliar. Coleta realizada na margem direita. (VISÃO AMBIENTAL, 2008).

Estação de amostragem 2

Largura aproximada entre as margens, maior que 30 metros, profundidade média estimada de 4,5 metros. Água sem odor, turva e sem despejos sanitários ou industriais próximos ao ponto de coleta. Uso e ocupação do entorno: pequenas plantações e atividades agropecuárias (VISÃO AMBIENTAL, 2008).

Estação de amostragem 3

Largura aproximada de 25 metros, profundidade média estimada de 1,5 metros. Água sem odor, clara e sem despejos sanitários ou industriais próximos ao ponto de coleta. Uso e ocupação do entorno: pequenas plantações na margem direita e mata ciliar mais conservada na margem esquerda. Leito com predomínio de rochas com alguns depósitos de areia. A coleta foi realizada na margem direita.

Estação de amostragem 4

Estação de amostragem localizada a 2 km de Alfredo Chaves, município com cerca de 13.983 habitantes (IBGE, 2009). Trecho do Rio Benevente com cerca de 25 metros de largura. Área do entorno com predomínio de pastagens e matas em topo de morros. Algumas propriedades rurais e estradas vicinais ao longo da margem do Rio.

Estação de amostragem 5

Estação de amostragem em um trecho do rio com aproximadamente 30 metros de largura, é localizada próximo ao ponto de captação de água da CESAN.

Trata-se de uma captação direta de água no rio Benevente, no município de Anchieta, com a finalidade de recuperação da capacidade produção do sistema de Sistema de Abastecimento de Água - SAA de Guarapari, que compreende os bairros de Guarapari, Meaípe, Santa Mônica e Maembá (Anchieta).

São captados 374 l/s por meio de três bombas, cada uma com vazão nominal igual a 370 l/s e potência nominal igual a 120 cv. A água é conduzida até a Estação Elevatória de Água Bruta de Jabuti por meio de uma adutora de 18 km. A população abastecida atual é de 105.000 habitantes e a projetada, para o horizonte do projeto de 2019, é de 116.800 habitantes.

No entorno observa-se uma região plana com algumas residências situadas próximas à estação de captação de água, plantações de café e pasto. Uma rodovia passa pelo rio mais jusante.

Estação de amostragem 6

Ponto de amostragem localizado a aproximadamente 3 km do ponto de captação de água da CESAN e do ponto 5. Largura do rio com cerca de 35 metros. No entorno observa-se uma região plana com predomínio de pastagens, plantações e algumas residências.

4.1.1.1. Características de uso e ocupação do solo do entorno dos pontos de amostragem

Segundo estudo da Visão Ambiental (2008) a região compreendida nos pontos de 1 a 3, onde se localiza o barramento da PCH São Joaquim se caracteriza por ser uma região predominantemente agropecuária, com destaque para as pastagens, banana e café. A horticultura aparece como uso representativo, sobretudo nas áreas de maior altitude do município, nos distritos de Matilde e Urânia. O tomate também se apresenta como cultura de importância para o município, apresentando um valor de produção bastante significativo. Segundo informações locais esta cultura tem aumentado sua área de colheita de forma expressiva.

Os lugarejos e distritos localizados diretamente na área do empreendimento não possuem indústrias ou empreendimentos com despejos sanitários significativos, sobre estes pontos (VISÃO AMBIENTAL, 2008).

As fontes de poluição hídrica diretamente relacionada ao reservatório e demais pontos são decorrentes das áreas irrigadas das culturas e dos despejos sanitários provenientes principalmente de propriedades rurais (principalmente currais) e distritos e lugarejos a montante do reservatório, como o distrito de Matilde (VISÃO AMBIENTAL, 2008).

Observam-se ainda expressivas áreas com cobertura vegetal, sobretudo com matas e florestas, porém é visível no município e na bacia de inserção da PCH, a redução das matas e florestas naturais. Estas áreas foram ao longo dos anos substituídas por plantios de café, bananas e por pastagens.

Figura 12: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 1. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Observam-se pequenas propriedades e um barramento.

Figura 13: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 2. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Local da PCH – SÃO JOAQUIM e onde se localiza o presente barramento.

Figura 14: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 3. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Local do primeiro projeto (abandonado) da PCH – SÃO JOAQUIM.

Figura 15: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 4. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Local do município de Alfredo Chaves com cerca de 13.983 habitantes.

Figura 16: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 5. A linha azul mais espessa é a representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes. Local da captação de água da CESAN, com vilarejo em seu entorno.

Figura 17: Foto aérea da região onde se localiza a estação de amostragem 6. A linha azul mais espessa é a Representação cartográfica do Rio Benevente, as mais delgadas os seus afluentes.

Figura 18: Imagem fotográfica da montante da estação de amostragem 1 capturada sobre a ponte de madeira localização – montante do reservatório.

Figura 19: Imagem fotográfica das proximidades da estação de amostragem 1 capturada sobre a ponte de madeira localização – montante do reservatório.

Figura 20: Imagem fotográfica da estação de amostragem 2 antes do enchimento do reservatório.

Figura 21: Imagem fotográfica da estação de amostragem 2 após enchimento do reservatório

Figura 22: Imagem fotográfica da estação de amostragem 3, a jusante da casa de força da PCH - São Joaquim.

Figura 23: Imagem fotográfica da estação de amostragem 5, local de captação de água da CESAN vista de montante.

Figura 24: Imagem fotográfica da estação de amostragem 6, local de captação de água da CESAN vista de jusante.

4.1.2. Clima

O estado do Espírito Santo está localizado na região Sudeste do Brasil e segundo a classificação de Koppen dois tipos climáticos predominam na região hidrográfica do Benevente: o tropical úmido de altitude – nas proximidades da nascente – e o tropical úmido típico das faixas litorâneas.

Enquanto no litoral do Estado o total anual precipitado fica em torno de 1400 mm, na região de serra observa-se valores entre 1200 a 2000 mm. A razão principal dessa diferença deve – se às chuvas orográficas que ocorrem na parte alta da bacia, durante todo ano. Enquanto o período chuvoso se estende de dezembro a março a estação seca compreende de julho a setembro. O mês de setembro é o mais seco, portanto o mês de menor vazão (ANA, 2008).

A precipitação anual média da região - período de 1977 a 1990 - fica em torno de 1600 mm, ocorrendo a maior média mensal no mês de dezembro (232,6 mm), e a menor média mensal no mês de junho (40,0 mm) (CEPEMAR, 1999). Em relação ao comportamento da intensidade das precipitações ao longo do ano, a precipitação máxima de 24 horas mostrou que a chuva diária mais intensa ocorreu no mês de novembro (201,2 mm), e a de menor intensidade ocorreu no mês de junho (39,1) mm (CEPEMAR, 1999).

Em relação à temperatura, a bacia hidrográfica do Benevente apresenta temperaturas elevadas e de baixa oscilação anual, pois está localizada em parte na região litorânea do Espírito Santo. Os meses mais quentes são de novembro a março, quando na média a temperatura máxima está acima de 30 °C, e a mínima, sempre acima de 20°C (CEPEMAR, 1999).

4.1.3. Relevo

Há dois tipos de relevo predominantes na região: o serrano, com altitudes superiores a 1000 m, e as baixadas litorâneas. As serras, apesar de elevada degradação, ainda apresentam remanescentes florestais da Mata Atlântica. Por sua vez as planícies litorâneas são ocupadas, predominantemente, por pastos, plantios agrícolas e vegetação pioneira – capoeira, mangues e restingas (ANA, 2008).

No estudo da Cepemar (1999), foi feito uma análise mais detalhada da geomorfologia da área de influência direta do empreendimento da pequena central hidrelétrica (PCH) São Joaquim e de seu entorno imediato, verificou-se apenas a unidade dos Patamares Escalonados do Sul Capixaba. Para maior detalhamento a área de influencia e seu entorno imediato foi subdividido em 3 regiões, sendo: Vales abertos, Vales encaixados e Elevações e Pontões Rochosos (CEPEMAR, 1999).

A tabela 9 apresenta de forma resumida a compartimentação geomorfológica da área de estudo.

Tabela 9: Geomorfologia e relevo da área de influencia da PCH – São Joaquim a partir de uma hierarquização dos fatos morfológicos em Domínio Morfo-Estrutural, Região Geomorfológica, Unidade Geomorfológica e Subunidades Locais de Relevô

Domínio Morfo - Estrutural	Região Geomorfológica	Unidade Geomorfológica	Subunidades Locais de Relevô
Faixa de desdobramentos Remobilizados	Mantiqueira Setentrional	Patamares Escalonados do Sul Capixaba	Vales Abertos
			Vales Encaixados
			Elevações e Pontões Rochosos

Fonte: CEPEMAR, (1999).

A unidade geomorfológica dos patamares escalonados representa uma das três unidades geomorfológicas da região Geomorfológica da Mantiqueira Setentrional. Apesar de se constituir em uma unidade descontínua, uma vez que é interrompido pela unidade Maciços do Caparaó, recebeu esta denominação por constituir conjuntos de relevos que funcionam como degraus de acesso aos seus diferentes níveis topográficos (CEPEMAR, 1999).

Nos patamares escalonados do Sul Capixaba, distinguem-se três compartimentos morfológicos distintos, que compreendem o patamar ocidental, o topo do planalto e o patamar oriental. Diferenciam-se das outras unidades pela presença pronunciada de sulcos estruturais e falhas menores entrecruzadas, apresentando conseqüentemente maiores extensões de formas diferenciais, contrariando o aspecto preferencialmente homogêneo que prevalece por toda a região (CEPEMAR, 1999).

Neste setor dos Patamares Escalonados do Sul Capixaba, são visíveis os sinais de escorregamento de terra e intensos ravinamentos proporcionados pelas formações superficiais

e pela devastação da vegetação florestal primária, substituída principalmente por pastagens e lavouras (CEPEMAR, 1999).

4.1.4. Geologia

A região hidrográfica do Benevente tem como domínio geológico o Complexo Paraíba do Sul com predominância de rochas gnáissicas, além de uma pequena ocorrência de sedimentos quaternários. A denominação de Complexo Paraíba do Sul ocorre em vários estados, como: Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia. Esta denominação originou-se de um estudo de Lamego em 1936, quando este realizou um levantamento litoestratigráfico no vale do Rio Paraíba do Sul (CEPEMAR, 1999).

A denominação do Complexo Paraíba do Sul abrange um agrupamento de rochas composto predominantemente por gnaisses e migmatitos, incluindo ainda rochas kinzigíticas, charnockíticas e granitóides, além de lentes de quartizitos, calcossilicáticas, anfibolitos, metabásicas e mármore (CEPEMAR, 1999).

O gnaiss aluminoso predomina em grande parte da extensão da bacia do Benevente, aflorando na BR 101 e no distrito de Matilde na região de Alfredo Chaves. Na bacia, a unidade de gnaisses aluminosos ocupa quase a totalidade da área, exceção apenas para os depósitos sedimentares quaternários ao longo de determinado trecho do rio Benevente, ocupando toda a parte mais elevada da área, além do trecho de fundo de vale onde o rio Benevente corre de forma encaixada, escavando as litologias dos gnaisses aluminosos (CEPEMAR, 1999).

Em relação aos sedimentos quaternários estes são relacionados principalmente aos grandes depósitos fluviomarinheiros verificados próximo à linha de costa e distribuídos na planície costeira. No entanto é possível apontar um depósito sedimentar fluvial ao longo do rio Benevente, local de área de drenagem da barragem do AHE Benevente. Esta área constitui

um trecho com baixo gradiente topográfico representando uma pequena planície aluvial ou de inundação, onde o rio deposita parte dos sedimentos que carrega, principalmente na época das cheias (CEPEMAR, 1999).

Esses depósitos constituem-se de sedimentos mal selecionados, inconsolidados, de granulometria muito variada, sendo compostos por areias, siltes, argilas, cascalhos e até mesmo matacões quase métricos, representando materiais fluviais pouco expressivos e de pequena espessura, originados das encostas ou carregados pelo rio (CEPEMAR, 1999).

Esta unidade encontra-se totalmente cercada pela unidade do Complexo Paraíba do Sul, assentando-se diretamente sobre a mesma. Distribui-se desde as proximidades da afluição do córrego São Joaquim, a montante, até o trecho onde o rio Benevente inicia uma descida vertiginosa, a jusante, nas proximidades do eixo da barragem, onde não mais se verifica a presença desta planície de inundação (CEPEMAR, 1999).

A figura 25 mostra o mapa geológico da bacia hidrográfica do Benevente. Observa-se a predominância de rochas ígneas e metamórficas em quase toda a extensão da bacia. Existe uma grande extensão de rochas metamórficas na parte central e as rochas sedimentares e ígneas prevalecem mais a jusante da bacia.

Figura 25: Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Benevente, pontos de amostragem de água e as classes RX1: metamórfica, sedimentar (ou sedimentos), ígnea e ígnea, metamórfica das rochas que compõe a bacia.

4.1.5. Usos e ocupação do solo

A agropecuária é a principal atividade desta bacia hidrográfica, destacando-se a cafeicultura. Mas a paisagem é variada e mescla, nas pequenas e médias propriedades, a pecuária de subsistência e cultivos variados que incluem algumas espécies de frutíferas, soja, feijão, milho, banana, olerícolas (hortaliças, batata baroa, inhame, tomate etc.), silvicultura (com forte predomínio do eucalipto) e fruticultura diversificada (ANA, 2008).

Além da agropecuária existem na bacia diversos segmentos indústrias, sendo: mineração, siderúrgica, metal-mecânica, serviços de inspeção, portos e retro-áreas, dentre outros. A tabela 10 mostra algumas características destas e outras atividades instaladas na bacia.

A figura 26 apresenta o mapa dos principais usos e ocupações do solo para a bacia hidrográfica do Benevente. Observa-se visualmente pelo mapa que existe a predominância de pastagens e floresta natural primária ou secundária avançada ou média.

A contagem e identificação dos usos e ocupação do solo é feita por meio do software ArcGis 9.2 e o mapa apresentado na figura 25 pertencente ao IEMA digitalizado em 1997. Os resultados são apresentados na parte resultados e discussões.

Figura 26: Mapa dos usos e ocupação do solo para a bacia do Benevente, com os pontos de amostragem ao longo do Rio Benevente, visualmente observa-se a predominância de pastagens e floresta natural.

Tabela 10: Principais tipologias industriais instaladas na bacia do Benevente e algumas informações relevantes, como nome da empresa, produção, área ocupada número de funcionários e a vazão de água consumida nos seus processos

EMPRESA	CARACTERÍSTICAS	VAZÃO CONSUMIDA (L.s ⁻¹)
1. Usina Siderúrgica Vitória (C.S.V)	Produção Aço: 5 milhões t/ano (1º fase) 10 milhões t/ano (2º fase) Cons.Esp: 3,73 m³/t aço Área: 1000 ha. (3,8~6,5 mil funcionários).	1200
2. Fábrica de Beitonita (Beitonit União Nordeste IND.COM. Ltda)	Produção de Beitonita para CVRD e Samarco (1º fase: 100.000 t/ano 2º fase: 200.000 t/ano) (Área solicitada: 10 ha. 50 funcionários)	0,55
3. Fluke Engº Ltda	Equipamentos de Caldeiraria e Ancoragem, Testes, Movimentação de cargas para Petrobrás. (Área solicitada: 5 ha. 50 funcionários)	6
4. Depran Manutenção Industrial Ltda	Serviços de Manutenção Industrial, Estruturas, Pintura e Locação de Equipamentos. (Área solicitada: 3 ha. 60 funcionários)	0,04
5. Mariner Serviços Subaquáticos Ltda	Serviços de Inspeção e Manutenção de equipamentos de marinharia, Ancoragem e mergulho. (Área solicitada: 5 ha. __ funcionários)	
6. Columbia Tecnologia em Petróleo e Serviços	Metalmecânica Serviços de Manutenção Industrial, Estruturas e Montagem p/ Petrobrás. (Área solicitada: 5 ha. 120 funcionários)	0,47
7. TRANSILVA Transportes e Log LTDA	Transportes de Cargas em Geral, Logística e Armazenamento. Área solicitada: 5 ha. 120 funcionários)	0,46
8. Porto e Retroarea em UBU	Exportação e Importação de Produtos e Insumos Siderúrgicos e Cargas Gerais Área: ha.	
9. Outros Usuários	Proprietários de terras desapropriadas Área Pleiteada: 90 ha.	
10. Comunidade de UBU e Guarapari (não inseria no Pólo Industrial)	Reserva p/ Ubu /Marataízes: Reserva p/ Anchieta / Guarapari: (sem considerar Conseição e Jabuti)	400 600 (Previsão Cesan)

4.1.6. Pedologia

A figura 27 mostra o mapa pedológico da bacia do Benevente. A classe predominante é a dos latossolos vermelhos distróficos seguidos dos cambissolos distróficos. A tabela 11 mostra a simbologia e os nomes de cada ordem, segundo classificação da EMBRAPA (1999).

A contagem e identificação das classes de solo na bacia e nas sub-bacias analisadas são feitas pelo software ArcGis 9.2 e são apresentados nos resultados deste trabalho.

Tabela 11: Simbologia e classes de solo predominantes na bacia do Benevente

Simbologia	Tipos de solo
AMd2	Alissolo distrófico
Ad1	Alissolo distrófico
Cd1	Cambissolo distrófico
Cd3	Cambissolo distrófico
Lvd12	Latossolo vermelho distrófico
Lvd2	Latossolo vermelho distrófico
Lvd3	Latossolo vermelho distrófico
Lvd4	Latossolo vermelho distrófico
P	Argissolo
R	Neossolo
SM	Planossolos

Figura 27: Mapa pedológico da bacia do Benevente e as estações de amostragem de água, localizadas ao longo do Rio Benevente. Visualmente observa-se a predominância da classe dos latossolos vermelhos distróficos.

4.2. Levantamento e tratamento dos dados de quantidade e qualidade de água

Em relação aos dados quantitativos de água e aos dados meteorológicos foi feito um levantamento de séries históricas relativos a estações pluviométricas, fluviométricas e meteorológicas localizadas na bacia do Benevente.

Para os dados qualitativos foram levantados dados referentes a monitoramentos de qualidade de água realizados em pontos de amostragens estratégicos ao longo do Rio Benevente. Procurou-se encontrar todos os dados disponíveis de monitoramento, tanto de qualidade quanto de quantidade de água.

Os dados das estações pluviométricas e fluviométricas foram levantados no sítio da Agência Nacional de Águas (ANA, 2009). Os dados de monitoramento de qualidade da água foram coletados nas seguintes localidades: laboratório de qualidade de água do IEMA - SUAPA, na Companhia Espírito Santense de Saneamento do Estado do Espírito Santo (CESAN) e em relatórios técnicos efetuados pela empresa São Joaquim Energia S.A., quando do seu processo de licenciamento ambiental, dados estes também fornecidos pelo IEMA.

Os dados meteorológicos foram coletados de uma estação meteorológica digital instalada nas imediações da PCH – São Joaquim pela empresa Construserv. O período de coleta dos dados foi de 19/04/2008 a 22/11/08. A estação digital é a SPECTRUM modelo 2900 ET Watch Dog.

Para a complementação dos dados meteorológicos pesquisou-se o sítio da internet do Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural – INCAPER (INCAPER, 2009). Neste sítio foram encontrados dados mensais de temperatura ocorridos nos anos de 2008 e 2009.

4.2.1. Dados de qualidade da água

A pesquisa dos dados de qualidade de água nas entidades supracitadas mostrou a existência de análise de diversos parâmetros de qualidade de água. Para este trabalho, no entanto foram selecionados os dados de SST, devido ao seu objetivo. Para todos os dados disponibilizados observa-se que foram feitas amostragens em apenas um único dia de cada mês, sendo que em alguns meses e anos não foram realizados amostragens de água.

O período de coleta de amostras de água abrangeu uma faixa correspondente a 04/08/2003 a 09/10/2008, Porém para a regionalização das cargas difusas e a construção das curvas de permanência de qualidade e quantidade de água, utilizaram-se somente dados de concentrações coincidentes com as de estimativas das vazões específica para a seção da estação fluviométrica 57250000. Assim as informações de qualidade de água coletadas dos dias 28/05/08 a 09/10/08 não foram utilizadas para os cálculos das cargas difusas. Observou-se também que nem todos os parâmetros de qualidade de água, mencionados, foram analisados para cada dia de coleta. A tabela 12 mostra as datas de coleta de água, os pontos de coleta e as respectivas instituições que realizaram a gestão deste monitoramento.

Tabela 12: Dados de concentrações de SST coletados nas estações de amostragem de água e suas respectivas datas de amostragem e a entidade responsável pela coleta e análises dos dados

Entidade Gestora	Pontos de Amostragem	1	2	3	4	5	6
	Datas de amostragem	SST (mg.l ⁻¹)	SST (mg.l ⁻¹)	SST (mg.l ⁻¹)	SST (mg.l ⁻¹)	SST (mg.l ⁻¹)	SST (mg.l ⁻¹)
CESAN	5/10/2005					16,0	20,0
CESAN	21/3/2006					38,0	42,0
IEMA - SUAPA	10/5/2006				22,0		
CESAN	27/6/2006					10,0	16,0
PCH - São Joaquim	30/6/2006	1,0	4,0	11,0			
IEMA - SUAPA (4) CESAN (5 E 6)	27/9/2006				109,4	38,0	42,0
PCH - São Joaquim	29/9/2006	13,0	6,0	8,0			
CESAN	18/10/2006					90,0	100,0
PCH - São Joaquim	29/12/2006	42,0	35,5	43,5			
CESAN	29/1/2007					24,0	30,0
IEMA - SUAPA	5/3/2007				1,0		
PCH - São Joaquim	30/3/2007	11,0	8,0	11,0			
CESAN	15/5/2007					9,0	9,0
CESAN	14/8/2007					7,0	5,0
IEMA	30/8/2007				4,0		
PCH - São Joaquim	20/9/2007	1,0	2,0	1,0			
CESAN	4/12/2007					26,0	22,0
PCH - São Joaquim	7/7/2007	2,0	6,0	4,0			

4.2.1.1. Metodologia de coleta e análise dos parâmetros selecionados

Quanto à metodologia de coleta e análises de água informadas pelas entidades gestoras o laboratório do IEMA, Subgerência de Análise de Parâmetros Ambientais (SUAPA), a CESAN e as empresas responsáveis pela elaboração dos relatórios técnicos para a PCH São Joaquim, informaram que as metodologias utilizadas para as análises dos parâmetros foram às mesmas constantes no APHA, (1999) e que a metodologia de coleta de água utilizada seguiu os procedimentos do Guia de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB 1987).

4.2.2. Dados de quantidade de água - Variáveis Hidrológicas

4.2.2.1. Vazões específicas

Para a determinação das cargas e construção das curvas de permanência primeiramente são calculadas as vazões específicas que ocorreram nos dias de amostragem de água na estação fluviométrica de Matilde código 57250000.

Inicialmente estimam-se as vazões por meio da curva – chave da estação 57250000, em seguida estas vazões são divididas pela área de drenagem da estação, obtendo as vazões específicas, de acordo com a equação 7. A tabela 13 mostra as vazões medidas manualmente, as suas respectivas cotas hidrométricas, as cotas hidrométricas medidas nos dias de amostragem de água e as vazões estimadas (curva chave) e suas respectivas vazões específicas.

$$Q^* = \frac{Q}{A} \quad \text{Equação 7}$$

onde:

Q^* = vazão específica $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$;

Q = vazão na data de amostragem l.s^{-1} ;

A = área de drenagem da estação fluviométrica de Matilde em km^2 .

Tabela 13: Parâmetros hidrológicos estimados e observados para a estação 57250000, como vazão estimada e medida em (l.s^{-1}), vazões específicas em ($\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$) e cotas medidas em (cm)

Data de medida das vazões	Cotas médias diárias (cm)	Vazões medidas (l.s^{-1})	Datas de coleta	Cotas médias diárias (cm)	Q estimada (l.s^{-1})	Q* estimada ($\text{l.s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$)
27/1/03	118	8210	5/10/05	80	3874	18,81
25/4/03	88	4600	21/3/06	105	6415	31,14
4/8/03	70	2970	10/5/06	95	5393	26,18
27/11/03	62	2171	27/6/06	83	4176	20,27
24/8/04	84	4552	30/6/06	83	4176	20,27
9/11/04	78	3621	27/9/06	86	4479	21,74
18/7/05	95	5889	29/9/06	74	3272	15,89
25/10/05	79	3865	18/10/06	95	5393	26,18
3/10/06	73	3450	29/12/06	149	10974	53,27
19/5/07	81	4480	29/1/07	105	6415	31,14
24/9/07	68	2930	5/3/07	101	6005	29,15
11/4/08	107	7260	30/3/07	89	4783	23,22
			15/5/07	84	4277	20,76
			7/7/07	74	3272	15,85
			14/8/07	69	2774	13,47
			30/8/07	67	2576	12,50
			20/9/07	71	2973	14,43
			4/12/07	85	4378	21,25

4.2.2.2. Curvas de permanência

A curva de permanência para o Rio Benevente é obtida, conforme metodologia proposta no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (SEAMA, 1996).

Neste estudo foi efetuada a regionalização de curvas de permanência a partir da análise das frequências acumuladas, calculadas para as séries de vazões médias mensais observadas dos 44 postos fluviométricos do estado.

Em seguida, as curvas de permanências foram padronizadas dividindo – se, as séries originais da curva de permanência pela vazão média de longo período da série (Q_{lp}) da seção relativa a cada estação fluviométrica, no período de 1969 a 1990, de acordo com a equação 8.

$$q = \frac{Q}{Q_{lp}} \quad \text{Equação 8}$$

onde:

Q = vazões médias mensais das estações ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

Q_{lp} = vazão média de longo período da série ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

q = vazões padronizadas.

Assim os valores de (q) foram ordenados em ordem decrescente, para a estimativa da frequência acumulada também chamada de permanência (P), de acordo com a equação 9.

$$P = Fq(q \geq q_i) = \frac{i}{N} \quad \text{Equação 9}$$

onde:

i = nº. seqüencial do valor q_i da variável padronizada na série ordenada;

N = nº. total de elementos na série (22 anos x 12 meses/ ano) = 264;

$Fq(q \geq q_i)$ = frequência, maior ou igual, com que o valor q_i é excedido ao longo do traço histórico.

A partir da série ordenada q_i e i/N de cada posto, foram calculadas por interpolação linear os valores de vazões padronizadas (q_p) para uma dada permanência P da variável padronizada q .

Comparando-se os resultados das vazões padronizadas q_p nas diferentes estações fluviométricas estudadas identificou-se 14 regiões com comportamento semelhantes. Com os valores de q_p e pela equação 10 pode-se calcular a vazão média mensal para uma dada permanência.

$$Q_p = q_p \times Q_{lp} = q_p \cdot (a + b \cdot \bar{P}) Ab$$

Equação 10

Para a região hidrográfica do Benevente tem-se:

$$a = -31,96;$$

$$b = 0,034;$$

$\bar{P}$ = precipitação média anual [mm];

Ab = área de drenagem da bacia [Km²];

Q_{lp} = vazão média de longo período [l.s⁻¹];

q_p = vazões padronizadas para uma permanência [adimensional];

Q_p = vazão média mensal para uma dada permanência [l.s⁻¹].

Na figura 28 é apresentada a curva da permanência da variável padronizada q , na ordenada estão os valores da variável padronizada q e na abscissa as permanências de suas vazões p , portanto para saber a vazão que tem uma probabilidade de p por cento de tempo de ocorrer (maior ou igual) basta multiplicar o valor regional de q_p pela vazão média de longo período Q_{lp} . A tabela 14 apresenta os valores de q_p e Q_p para a estação de Matilde 57250000

Figura 28: Curva de permanência padronizada para a estação fluviométrica de Matilde 57250000.

Tabela 14: Valores de q_p (adimensional) e Q_p em $l.s^{-1}$ para a estação de Matilde 57250000, período de medição: de 1969 a 1990.

Fq (q>q_i) (%)	q_p	Q_p (l.s⁻¹)
1	2,77	15700
2	2,52	14300
5	1,92	10886
10	1,49	8448
15	1,34	7598
20	1,24	7031
25	1,14	6464
30	1,08	6124
35	1,04	5897
40	0,97	5500
45	0,91	5160
50	0,87	4933
55	0,83	4706
60	0,8	4536
65	0,77	4366
70	0,75	4253
75	0,7	3969
80	0,67	3799
85	0,64	3629
90	0,62	3515
95	0,58	3289
98	0,51	2892
99	0,49	2778
100	0,46	2608

4.2.2.3. Curva de permanência de vazões específicas e interpolação das vazões estimadas

Os gráficos de curvas de permanência quali-quantitativas são montados com a curva de permanência de vazões específicas. Esta curva é obtida de acordo com a equação 11, para as mesmas permanências P.

$$Q_p^* = \frac{Qp}{A}$$

Equação 11

onde:

Q_p^* = vazões médias mensais específicas em $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$;

Q_p = vazão média mensal para a estação de Matilde para uma dada permanência em l.s^{-1} ;

A = área de drenagem da estação fluviométrica de Matilde em km^2 .

Em seguida as vazões estimadas Q^* foram interpoladas nessa curva, obtendo-se assim suas permanências P . O resultado é mostrado na figura 29.

Figura 29: Curva de permanência específica para os valores de Q_p^* da estação fluviométrica de Matilde e interpolação dos valores de Q^* estimados na curva de permanência, em $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$.

Para a obtenção das vazões em cada estação de amostragem, regionaliza-se as vazões específicas da figura 29 multiplicando estas vazões pela área de drenagem a montante de cada estação, mantendo as mesmas permanências P . A figura 30 mostra o resultado. Observa-se que as curvas de permanências das estações de amostragem 5 e 6 apresentam valores de vazões e permanências muito próximos, pois suas áreas de drenagem têm, praticamente, o mesmo tamanho.

Figura 30: Regionalização das vazões do Rio Benevente pelo método da curva de permanência para as sub-bacias relativas às estações de amostragem de água.

4.2.2.4. Condições sazonais - Precipitação, Índice de umidade antecedente de sete dias IPA_7 , temperatura do ar e radiação solar

Para a determinação das condições sazonais, as datas de amostragem foram agrupadas e separadas por estação climática de cada ano, ou seja, inverno, primavera, verão e outono.

A precipitação média diária ocorrida no período de estudo, para bacia do Benevente é calculada com os dados das estações pluviométricas já descritas, por meio de um polígono de Thiessen. O IPA_7 é calculado com os resultados da precipitação média diária de acordo com metodologia de Shaw (1964).

Os dados meteorológicos considerados para as condições sazonais são: temperatura do ar e radiação solar. Como não foi possível coletar dados destes parâmetros para o período de estudo – 5/10/2005 a 4/12/2007 – são aceitas as seguintes considerações: para os dados coletados na estação meteorológica digital da PCH – São Joaquim é feita a média das estações climáticas, daquele período, e transportados para as estações climáticas do período de estudo.

Os dados mensais de temperatura coletados no Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural INCAPER (2009) – período 1/07/2008 a 26/08/2009 – são considerados os mesmos para os meses do período de estudo.

4.3. Diagnóstico inicial de cargas difusas de SST da Bacia do Benevente

Este tópico é subdividido em dois subitens, sendo: determinação de cargas totais e produção específica de SST; e Variação espacial - determinação da produção específica de SST por fonte geradora.

Para a execução destes itens utiliza-se como eixo central o Rio Benevente e as micro-bacias a montante de cada ponto de amostragem.

4.3.1. Determinação das cargas totais e produção específica de SST

Primeiramente calculam-se as cargas específicas de SST para cada estação de amostragem, sendo que as vazões específicas foram consideradas constantes ao longo do Rio Benevente, assim as cargas específicas são calculadas multiplicando-se as concentrações obtidas em cada ponto de amostragem pela vazão específica correspondente a data de amostragem conforme a equação 12.

$$Y_{i,j} = C_{i,j} \cdot Q_{i,j}^* \quad \text{Equação 12}$$

onde:

$Y_{i,j}$ = carga específica correspondente à i -ésima bacia de drenagem com área A_i , estimada ou observada para uma j -ésima condição sazonal (Kg/ha.ano);

$C_{i,j}$ = concentração do parâmetro (mg.l^{-1});

$Q^*_{i,j}$ = vazão específica para a bacia do Benevente na data correspondente a data de amostragem em ($l.s^{-1}.Km^{-2}$).

Para cada data e estação de amostragem estimam – se as cargas totais multiplicando as cargas específicas pela respectiva área de drenagem da sub-bacia de acordo com a equação 13.

$$L_{i,j} = Y_{i,j}.A_b \quad \text{Equação 13}$$

onde:

$L_{i,j}$ = carga total de SST correspondente à i -éssima bacia de drenagem com área A_i , estimada ou observada para uma j -éssima condição sazonal;

$Y_{i,j}$ = carga específica correspondente à i -éssima bacia de drenagem com área A_i , estimada ou observada para uma j -éssima condição sazonal ($Kg/ha.ano$);

A_b = Área de drenagem a montante da estação de amostragem (Km^2).

4.3.2. Variação espacial de cargas difusas na bacia do Benevente - determinação dos coeficientes de exportação

A metodologia para determinação da produção de cargas difusas por fonte geradora, ou dos coeficientes de exportação, é a mesma utilizada por Mendiondo (2009).

Utiliza-se a contagem de usos e ocupações, do solo desde montante para jusante, a fim de correlacionar com as cargas encontradas.

A equação geral para determinação das cargas monitoradas para cada trecho do rio é a seguinte:

$$\overbrace{C_{i,j} \cdot Q_{i,j}}^{Lrio_{i,j}} = \overbrace{C_{i-1,j} \cdot Q_{i-1,j}}^{Lrio_{i-1,j}} + \sum_{k=1}^M \overbrace{Ybacia_{i,j,k} \cdot A_{i,k}}^{Lbacia_{i,j,k}} \quad \text{Equação 14}$$

Onde: $Ybacia_{i,j,k}$ é a produção ou carga específica potencial ($\text{Kg.ton}^{-1}.\text{ha}^{-1}$), na forma de poluição difusa não-pontual, do k -ésimo uso do solo, na bacia incremental, entre os pontos de controle $i-1$ e i , ambos do rio que limitam esta área incremental, e cujo comportamento pode variar sazonalmente, com “ j ”, $A_{i,k}$ é o tamanho da área com k -ésimo uso e ocupação do solo, nessa mesma bacia incremental. Sendo que os pontos de controle são aqueles onde foram realizadas as coletas de água.

Para a equação 14, as variáveis $Lrio_{i-1,j}$, $Lrio_{i,j}$ e $Lbacia_{i,j,k}$ são as respectivas cargas (Kg. ano^{-1}) a montante e jusante do trecho do rio, e da área de bacia incremental entre ambos pontos. Nessa expressão o somatório de áreas parciais com usos e ocupações distintos deve ser igual ao valor dessa área.

Os valores de i variam de 1 a 6, os valores de j variam de acordo com as condições sazonais consideradas e os valores de k são relativos às áreas dos usos do solo, agropecuário, floresta e urbano.

O comportamento sazonal foi considerado constante para o período de amostragem de água, ou condição sazonal. Assim considera-se o comportamento médio para as condições climáticas da bacia.

No entanto observa-se que a amostragem de água não foi espacialmente completa para todos os pontos em cada data de amostragem. Assim algumas considerações são feitas:

- 1) Para as datas de amostragem de água com amostragens espaciais incompletas considerou-se o período sazonal médio, ou seja, para alguns trechos o balanço de massa foi efetuado em datas diferentes, mas na mesma condição sazonal;

2) Para o balanço de massa em condições sazonais com amostragens de água espacialmente incompletas na bacia considerou-se somente os pontos em que houve amostragem

Portanto de acordo com estas considerações, e considerando que a bacia do Benevente tem predominância de usos mistos do solo, monta – se sistemas lineares com a equação 14 desde montante a jusante, para cada trecho e para cada condição sazonal, a fim de se identificar os coeficientes de exportação ($Y_{bacia_{i,j,k}}$). Para tanto considera – se que os coeficientes de exportação, são constantes em toda a bacia para cada condição sazonal.

Considerando – se os usos e ocupação do solo como agropecuário, florestal e urbano, os Y_{bacia} e as áreas A_k , recebem os seguintes sub-índices, respectivamente: agro, flo e urb. As equações 15, 16 e 17 exemplificam parte dos sistemas de equações montados, sendo que a continuação encontra-se no Apêndice A.

Condição – primavera: data 5/10/05, estações de amostragem com dados de carga: 5 e 6.

$$L_5 = L_6 + A_{agro5-6} * Y_{agro} + A_{flo5-6} * Y_{flo} + A_{urb5-6} * Y_{urb} \quad \text{Equação 15}$$

Condição – outono: datas 21/03/06 e 10/05/06, estações de amostragem com dados de carga: 4, 5 e 6.

$$L_4 = L_5 + A_{agro4-5} * Y_{agro} + A_{flo4-5} * Y_{flo} + A_{urb4-5} * Y_{urb} \quad \text{Equação 16}$$

$$L_5 = L_6 + A_{agro5-6} * Y_{agro} + A_{flo5-6} * Y_{flo} + A_{urb5-6} * Y_{urb} \quad \text{Equação 17}$$

Por meio destes sistemas, dos valores de carga totais (L) para cada ponto de amostragem e do agrupamento e contagem dos usos e ocupação do solo é possível calcular os Y_{bacia} ou coeficientes de exportação, agrupando os sistemas, para cada condição, de forma a se obter o mesmo numero de incógnitas e equações e substituindo os valores dos coeficientes de

exportação encontrados para uso de solos homogêneos, neste caso de jusante para montante, resolvendo, deste modo os sistemas e determinando as incógnitas.

4.3.2.1. Hipóteses da metodologia

As hipóteses da metodologia empregada são:

- a) Independente da forma de transporte de cargas difusas, seja por meios superficiais, sub-superficiais ou subterrâneos, assume-se um regime permanente ou quase permanente de escoamento nas áreas fontes da bacia e nos trechos de rio internos;
- b) A produção de cargas naturais e/ou artificiais, e assim seu impacto em um curso de água, somente é dependente de um balanço de massa a partir de fontes difusas não-pontuais, isto é das áreas ocupadas por usos diferentes e, portanto, sem análise particular de uma modelagem topológica dentro da bacia hidrográfica que drena para o rio;
- c) A produção de cargas para cada tipo de uso e ocupação pode variar sazonalmente para um mesmo tipo de uso, porém é assumido que essas taxas se mantêm relativamente constantes para esse uso ao longo da bacia durante uma dada estação do ano ou para uma certa condição inicial;
- d) Nos casos de existir diferenças significativas no relevo, principalmente entre áreas de cabeceira com altas declividades e as de jusante com declividades menores, estima-se uma redução da produção potencial em virtude dessa mudança no relevo, com coeficientes de ajuste ao balanço de massas;
- e) As taxas de produção de cargas são similares para áreas incrementais localizadas sobre a bacia de margem esquerda, de margem direita e/ou de uma fonte poluidora qualquer localizada em distâncias relativas até o canal principal;

- f) Na hipótese de se ter balanços de massa com aportes negativos, isto é sumidouros de cargas, a metodologia é limitada, e não aplicada para discriminar a produção potencial de cargas nem para os tipos de degradação de cargas durante o transporte. Neste caso, somente estima-se o balanço longitudinal do rio, sem estimar as contribuições parciais de cada área geradora de poluição natural e artificial.

4.3.2.2. Comparação dos Y_{bacia} (coeficientes de exportação) com literatura.

Os coeficientes de exportação encontrados são comparados com resultados de literatura, a fim de verificar possíveis discrepâncias.

Resultados discrepantes da metodologia empregada implicam na utilização de coeficientes de exportação teóricos para a confecção dos cenários ambientais. Para tanto a escolha dos coeficientes envolve três critérios de seleção, sendo: sazonalidade, índice de precipitação antecedente de sete dias e proximidade dos resultados.

Para efeito de comparação utiliza-se, principalmente, o trabalho proposto por Mendiondo (2009). Neste trabalho foram reunidos coeficientes de exportação dos usos do solo: agropecuários, florestal e urbano em função de condições sazonais médias de uma região, determinados no trabalho de Bottino (2008).

Assim de acordo com os critérios citados foi possível comparar os resultados dos coeficientes encontrados pelos autores com os resultados determinados neste trabalho, em função da similaridade das condições sazonais médias da bacia.

A tabela 15 mostra os resultados de produção de SST por fonte geradora (coeficientes de exportação) encontrados por Mendiondo (2009) de acordo com a sazonalidade média da bacia de estudo.

Tabela 15: Faixas de coeficientes de exportação em função de condições sazonais para as bacias do Jucupiranguinha e Canha - SP

Autor	Localização	Área de drenagem (Km ²)	Condição sazonal	Produção de fontes poluidoras (kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)					
				Floresta média [min - max]			Agrícola média [min - max]		Urbana
Mendiondo (2009)	Rios Jacupiranguinha e Canha - Baixo Ribeira do Iguape - SP, Brasil	375 e 125,9	Primavera	T °C	IPA ₇ (mm)	Rad (W.m ⁻²)	2,9 [2,8 - 9,2]	23,4 [4,5 - 498,3]	194,3 ^d
	Verão		27,8	15,6	252	14,8 [3,0 - 61,5]	14,8 [9,8 - 409,3]	502,6 ^d	
	Outono		25,2	0	193	7,2 [5,2 - 17,2]	15,1 [8,2 - 398,2]	26,5 ^d	
	Inverno		16,4	62,6	26	4,7 [3,5 - 11,8]	1147,4 [685,0 - 7147,4]	6723,6 ^d	

Fonte: Adaptado de Mendiondo (2009) e Bottino (2008).

^d média

Em função das condições sazonais e de IPA₇ de cada data de amostragem deste trabalho, escolhe-se as faixas de variação dos coeficientes de exportação para cada uso do solo encontrado na tabela 15.

Os valores de coeficiente de exportação escolhidos são testados na equação 14, de modo a se obter valores de produção específica (Y) de SST próximos dos valores observados, para cada data de amostragem. O teste é otimizado via ferramenta Solver do Excel 2003 definindo deste modo os coeficientes de exportação teóricos.

Pela tabela 14 observam-se os maiores valores de IPA₇ ocorrendo no inverno, fato este atípico para as condições médias vigentes no Estado de São Paulo onde os maiores índices pluviométricos costumam ocorrer nos meses de outubro a março.

Portanto para as datas de amostragem e condições sazonais que ocorreram no inverno e para altos valores de Y observados em outras datas, considera-se para efeito de comparação, e escolha do coeficiente de exportação o IPA₇.

4.4. Regionalização de quantidade e qualidade de água – curva de permanência quali-quantitativa

A regionalização de curvas de permanência quali-quantitativas é feita com os resultados encontrados de produção específica de SST, pela equação 12, e a curva de permanência de vazões específicas, para a bacia do Benevente, figura 29.

As cargas específicas são associadas às permanências das vazões específicas na data de amostragem na respectiva seção do rio conforme a expressão abaixo:

$$Q^*_{i,j}(Prob) \rightarrow qp\% \text{ (curva de permanência)} \rightarrow Y_{i,j}(Prob)$$

Assim o gráfico de abordagem quali-quantitativa para a bacia do Benevente é montado da seguinte forma: a ordenada esquerda apresenta os valores de quantidade em termos de vazões específicas em $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, a abscissa mostra as permanências destas vazões em porcentagem. E a ordenada direita apresenta as cargas específicas em Kg/ha.ano , associadas as mesmas permanências das vazões específicas.

4.5. Cenários ambientais

Os cenários ambientais são determinados de acordo com metodologia proposta em Mendiondo (2009). Esta consiste em propor condições que relacionem o regime fluvial médio esperado regionalmente nas micro-bacias do Benevente, e sua relação com as cargas encontradas.

Assim são dimensionados gráficos em função da curva de permanência quali-quantitativa de água, obtida na regionalização hidrológica, e que permitem relacionar as mudanças de regime fluvial médio, e das respectivas cargas regionais, a partir de variabilidade climática e de possíveis mudanças no uso do solo, assim como possíveis comportamentos mistos.

4.5.1. Determinação dos cenários ambientais

Os cenários ambientais são os seguintes:

Cenário atual:

- Situação atual da bacia da produção de cargas difusas quanto ao uso e ocupação do solo, o regime fluvial médio e as condições climáticas médias;

Cenário 1

- Mudanças no uso e ocupação do solo em decorrência do desenvolvimento do programa ProdutorES de Água com aumento de 20% da cobertura florestal em detrimento das áreas agropecuárias para um horizonte de tempo de 20 anos;

Cenário 2

- A extinção do programa Produtores de Água e suas conseqüências ambientais, com aumento de áreas agropecuárias em 20% em detrimento das áreas com cobertura florestal para um horizonte de tempo de 20 anos.

4.5.1.1. Aplicação de PSA para os cenários atual e 1, cálculo da erosão total na bacia e cálculo do P.A.E.

De posse dos cenários atual e 1 são aplicadas as metodologias de valoração do pagamento de serviços ambientais, dos programas: ProdutorES de Água, Produtor de Água da ANA e o Produtor de Água – PCJ.

Para isto são feitas algumas considerações para a validação dos cálculos, a saber:

- A área de floresta aumentada no cenário 1 em relação ao cenário atual, atende aos critérios e diretrizes propostos pelo Programa do ProdutorES de água;
- Como a metodologia de cálculo do ProdutorES de Água (SILVA et al.2008) não utiliza o P.A.E, e como não foi feito nestes trabalho a caracterização da área de estudo quanto à declividade e delimitação de áreas específicas são propostas três simulações

para três condições, com combinações diferentes dos fatores Z e Kt, sendo que para estas condições as áreas com aumento de floresta localizam – se em faixas ao longo de corpos hídricos com 100 metros de largura para ambas as margens.

- Para a condição 1 sugere-se que toda a área aumentada em 20% por florestas estejam em condições de estágio inicial de desenvolvimento florestal, com $Z = 0,25$ e situadas em áreas com declividade entre 20 e 45%, com $Kt = 0,27$
- Para a condição 2 sugere-se que a área aumentada de floresta esteja em um estágio secundária inicial de desenvolvimento, com $Z = 0,15$ e situadas em áreas com declividades entre 45 a 75%, com $Kt = 0,55$.
- Para a condição 3, para a mesma área, considera-se um estágio mais avançado de regeneração com a predominância de vegetação primária, secundária média e avançada com $Z = 0,01$ e situadas em áreas com declividades maiores que 75%;
- Considera-se que o percentual de abatimento de sedimentação proporcionado por certo manejo ou prática conservacionista, equivale ao abatimento de erosão dentro da propriedade (CHAVES et al. 2004). Para este estudo considera – se o P.A.E da bacia como igual ao P.A.S estimado para a mesma;
- Considera – se que abatimento da poluição difusa na bacia é proporcional ao abatimento da sedimentação e, conseqüentemente, do abatimento da erosão (CHAVES et al. 2004).
- Considera – se as metodologias de cálculo de P.A.E em escala de bacia;

Cálculo do P.A.E

Como não foram calculadas as taxas de perda de solo da bacia durante o estudo, e somente a produção específica de cargas de SST, o cálculo do P.A.E é feito sobre a

quantificação da redução de carga de SST médias na bacia para os cenários antes e 1, ou seja, para antes e depois do reflorestamento.

Para tanto se utiliza a equação 18 adaptada para o presente estudo onde a quantidade de sólidos em suspensão no rio durante eventos erosivos é uma função linear da erosão média na bacia a montante (USDA-NRCS, 1983).

$$S.S. = K_s.A \quad \text{Equação 18}$$

onde:

S.S = Quantidade média de sólidos em suspensão por ano (Kg/ha.ano);

A = Perda de solo média na bacia (Kg/ha.ano);

K_s = Constante menor que 1.

Aplicando a equação 18 para os cenários citados e rearranjando a equação, vem:

$$\frac{S.S._1}{S.S._0} = \frac{A_1}{A_0} \quad \text{Equação 19}$$

onde:

$S.S._0$ = carga média específica de sólidos em suspensão observada na bacia antes do reflorestamento (cenário atual);

$S.S._1$ = carga média específica de sólidos em suspensão estimados na bacia depois do reflorestamento (cenário 1);

A_0 = taxa de perda de solo na bacia antes do reflorestamento (cenário atual);

A_1 = taxa de perda de solo na bacia depois do reflorestamento (cenário 1);

Conhecidos os valores de $S.S._0$ e $S.S._1$ calcula-se a relação A_1/A_0 substituindo - se este valor na equação 20 para o cálculo do P.A.E.

$$P.A.E = 100 \cdot \left(1 - \frac{A_1}{A_0} \right) \quad \text{Equação 20}$$

Para efeito de comparação calcula – se o P.A.E também considerando - se a metodologia proposta para a mudança de uso e ocupação do solo segundo a equação 21:

$$P.A.E = 100 \cdot \left(1 - \frac{Z_1}{Z_0} \right) \quad \text{Equação 21}$$

onde:

P.A.E = Percentual de abatimento de erosão

Z_0 = parâmetro de potencial erosivo (C*P) para o cenário atual;

Z_1 = parâmetro de potencial erosivo (C*P) para o cenário 1;

Considera – se para o a metodologia do Produtor de Água da ANA, como cobertura do solo do cenário atual, a pastagem degradada com $Z_0 = 0,25$ que é substituída, no cenário 1 por reflorestamento denso com $Z_1 = 0,01$ (CHAVES et, al. 2004).

Considera – se a mesma situação de cobertura de solo anterior para o Programa do produtor de água do – PCJ, porém o valor de Z_1 é diferente de 0,05 e o valor de Z_0 é de 0,25 o mesmo para o programa da ANA.

Cálculo da erosão total na bacia

Para efeito ilustrativo calcula – se a perda de solo, considerando - se os valores médios de carga auferidos para a estação de amostragem 6, para os cenários propostos. Estes valores não são considerados para o cálculo do P.A.E e de valoração, pois tratam – se dos valores médios de carga de SST obtidos em um único ponto de amostragem e não para a bacia toda.

A erosão total ou perda de solo na bacia para os cenários atual e 1, é calculada de acordo com a Relação de Aporte de Sedimento (R.A.S) (RENFRO,1975) dado pela equação 22.

$$At = \frac{Y}{R.A.S} \quad \text{Equação 22}$$

onde:

At = a erosão total na bacia (ton/ano);

Y = aporte de sedimento anual a um ponto da bacia (ton/ano);

R.A.S = Relação de Aporte de Sedimento.

Para a determinação de At adotou-se a carga total média estimada na estação de amostragem mais jusante da bacia, ou seja, a estação de amostragem 6, para os cenários: atual 1 e 2.

Segundo o Instituto de Conservação Ambiental (2009) O R.A.S é uma constante (adimensional variando de 0 a 1) que depende de fatores fisiográficos da bacia. Estudos sedimentológicos em vários países indicam que o R.A.S é inversamente proporcional a área da bacia segundo a equação 23.

$$R.A.S = \frac{1}{Ab^{0,2}} \quad \text{Equação 23}$$

onde:

Ab = Área da bacia (ha);

Para este estudo considerou - se como Ab a área de drenagem relativa a estação de amostragem mais a jusante da bacia, ou seja, a estação 6 com área de 82.245 ha.

4.5.2. Mudanças de uso e ocupação do solo

A produção específica de SST sob influência das mudanças de uso e ocupação do solo é calculada de acordo com a equação 24, e com os coeficientes de exportação (Y_{bacia}) obtidos para cada uso de solo.

$$Y_D = \frac{C_D \cdot Q}{A_{\text{bacia}}} = \frac{\sum_{k=1}^M Y_{\text{bacia}_{i,j,k}} \cdot (A_{i,k})}{A_{\text{bacia}}} \quad \text{Equação 24}$$

onde:

Y_D = produção de cargas de origem difusa;

C_D = concentração do poluente de origem difusa;

A_{bacia} = Área da bacia;

Y_{bacia} = produção de cargas difusas por fonte geradora ou coeficiente de exportação;

Portanto, uma variação na produção de cargas difusas no rio (ΔY_D) está associada a uma variação de vazão específica (ΔQ^*) e de novas áreas de uso e ocupação do solo ($\Delta A_k=1$), que introduzem novas cargas específicas, através de uma expressão que relacione a derivada matemática da equação (25 e 26), da forma (para $M_D=2$, onde o sub-índice “D” identifica condição de carga difusa):

$$\Delta Y_d \approx \frac{\partial Y_D}{\partial C_D} \cdot \Delta C_D + \frac{\partial Y_D}{\partial Q} \cdot \Delta Q = \frac{Y_{1(D)} \cdot (A_1 + \Delta A_1) + Y_{2(D)} \cdot (A_2 - \Delta A_1)}{A_{\text{bacia}}} \quad \text{Equação 25}$$

$$\frac{Q_D}{A_{\text{bacia}}} \cdot \Delta C_D + \frac{C_D}{A_{\text{bacia}}} \cdot \Delta Q = \frac{Y_{k=1(D)} \cdot (A_{k=1} + \Delta A_{k=1}) + Y_{k=2(D)} \cdot (A_{k=2} - \Delta A_{k=1})}{A_{\text{bacia}}} \quad \text{Equação 26}$$

4.5.2.1. Alteração no regime fluvial médio com os cenários

A mudança de uso e ocupação do solo propostos pelos cenários ambientais tem como consequência a alteração do regime fluvial médio do Rio Benevente. Esta alteração pode ser estimada conforme metodologia do SCS (Soil Conservation Service) para o modelo de chuva e vazão.

Primeiramente determina-se a precipitação efetiva na bacia, ou seja, a lâmina escoada para a condição atual de uso do solo. Em seguida com este valor calcula-se a Qlp teórica da bacia. Este valor é comparado a Qlp observada pela estimativa do erro entre os valores das Qlps, observada e teórica. Quando este erro é menor do que 1% se aceita a Qlp teórica estimada. Salienta-se que diversos valores de CN são testados até o erro ser menor do que 1%.

Com os valores de CN determinados para a Qlp teórica atual da bacia estima – se a Qlp para o cenário 1 e 2, com as devidas alterações nas porcentagens de uso do solo na bacia. A seguir segue metodologia de cálculo.

A lâmina de água escoada ou precipitação efetiva na bacia para o cenário atual é estimada com a seguinte equação (TUCCI, 1993):

$$Q_{anual} = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad \text{Equação 27}$$

onde:

Q_{anual} = lâmina escoada na bacia ou altura da precipitação efetiva (mm);

P = altura da precipitação total (mm);

Ia = absorção (ou perda) inicial pela bacia (mm);

S = máxima capacidade de absorção da bacia (mm).

Considera como P a precipitação média anual da bacia de 1676 mm, o S é calculado conforme a equação 28 (TUCCI, 1993):

$$S = \frac{25400}{CN_{\text{bacia}}} - 254 \quad \text{Equação 28}$$

onde:

CN_{bacia} = é um parâmetro adimensional associado ao tipo e uso de solo e às condições de umidade antecedente da bacia hidrográfica.

A absorção inicial da bacia I_a é calculada conforme a equação 29:

$$I_a = K.S \quad \text{Equação 29}$$

onde:

$K = 0,2$, fator adimensional

O CN_{bacia} é calculado conforme a equação 30:

$$CN_{\text{bacia}} = CN_{\text{agro}} \cdot A_{\text{agro}} + CN_{\text{flo}} \cdot A_{\text{flo}} + CN_{\text{urb}} \cdot A_{\text{urb}}, \quad \text{Equação 30}$$

onde:

CN_{agro} = é o valor de CN para o tipo de cobertura do solo, agropecuário;

CN_{flo} = é o valor de CN para o tipo de cobertura do solo, florestal;

CN_{urb} = é o valor de CN para o tipo de cobertura do solo, urbano;

A_{agro} = a porcentagem de área agropecuária;

A_{flo} = a porcentagem de área florestal;

A_{urb} = a porcentagem de área urbana.

Os valores de CN para os usos do solo citados são os seguintes: $CN_{\text{agro}} = 39$, $CN_{\text{urb}} = 51$ e $CN_{\text{flo}} = 31$ (TUCCI, 1993). Estes valores são obtidos para umidade antecedente II, porém

neste trabalho considera-se a umidade antecedente I, segundo metodologia do Soil Conservation Service obtido em Tucci (1993). Assim torna-se necessário converter os valores de CN para cada uso do solo de acordo com a equação 31.

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)} \quad \text{Equação 31}$$

onde:

CN(I) = CN para condição de umidade antecedente I;

CN(II) = CN para condição de umidade antecedente II.

Após a aplicação da equação 32 os valores de CN ficam da seguinte forma: $CN_{agro} = 21,17$, $CN_{urb} = 30,42$ e $CN_{flo} = 15,79$.

A Qlp teórica para o cenário atual é calculada de acordo com a equação 32.

$$Qlp = Q_{anual} \cdot Ab \cdot f \quad \text{Equação 32}$$

onde:

Qlp = vazão média de longo período teórica para a condição atual ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q_{anual} = lamina escoada na bacia ou altura da precipitação efetiva (mm);

Ab = área da bacia (km^2);

f = fator de conversão.

Para o cálculo das Qlp dos cenários 1 e 2 é utilizado o mesmo procedimento descrito, porém com a diferença na alteração do tamanho das áreas dos usos agropecuário, floresta e urbano, o que implicará em um novo CN_{bacia} , e, por conseguinte novos valores de Qlp.

Para o cálculo das Qlps considera-se a área de drenagem do ponto mais a jusante da área de estudo, ou seja, a estação de amostragem número seis. De posse das Qlps alteradas para os cenários 1 e 2 e da curva de permanência padronizada do Rio Benevente, calcula-se as novas curvas de permanência. De acordo com a seguinte equação:

$$Q_p^{*} = \frac{q_p \times Q_{lp}'}{Ab} \quad \text{Equação 33}$$

onde:

Q_p^{*} = vazões específicas alteradas pelos cenários ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

Q_{lp}' = vazão de longo período para os cenários propostos ($\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$);

Ab = área de drenagem da bacia (Km^2).

q_p = vazões padronizadas da curva de permanência regionalizada;

4.5.3. Determinação da Carga Máxima Diária Permitida em função do enquadramento do Rio para os cenários ambientais

Nas curvas de permanência quali-quantitativas de água é inserido a curva de permanência de vazões específicas para a carga máxima permitida do poluente em função do respectivo enquadramento do rio.

O Rio Benevente não apresenta enquadramento próprio por isto é considerado classe 2 de acordo com a resolução CONAMA 375/05 (CONAMA, 2005).

Como não existe valor padrão individual de SST na legislação brasileira para rios de classe 2, adota-se, neste estudo, o limite de SDT (Sólidos Dissolvidos Totais) para aquela classe. Como o presente trabalho não apresenta um estudo em relação aos SDT, somente SST, então se determina a relação média de SDT/SST para o Rio Benevente e os valores de SST

observados são convertidos para SDT, pela multiplicação da relação com as concentrações de SST.

Os valores de concentração de SDT foram obtidos no levantamento de dados de qualidade de água já mencionados ao longo do Rio Benevente durante o período de estudo. A tabela 16 mostra os dados de SST e SDT para o Rio Benevente e a relação média de SDT/SST para o rio de 3,60.

De acordo com CONAMA (2005) a concentração padrão de SDT para a classe 1 e 2 é de 500 mg.l⁻¹. De posse deste valor e da curva de permanência de vazões específicas do Rio Benevente é estabelecido a curva do CTMD.

Esta curva é obtida da seguinte forma: primeiramente obtém-se a CTMD de acordo com a equação 34.

$$Y_{cmd} = C_{sdt} \cdot Q^* \quad \text{Equação 34}$$

onde:

Y_{cmd} = carga específica máxima permitida correspondente a qualquer seção do Rio Benevente;

C_{sdt} = concentração do parâmetro (SDT) padrão conforme a CONAMA (2005);

Q^* = vazão específica para a bacia do Benevente.

Em seguida o dimensionamento gráfico é feito associando as cargas específicas (Y_{cmd}) encontradas com as permanências das vazões específicas.

Tabela 16: Concentrações de SST e SDT ao longo do Rio Benevente no período de estudo. Média aritmética destes valores, desvio padrão e relação média SDT/SST para o Rio Benevente

Estação de amostragem	1											2											3											4							
SDT (mg.l ⁻¹)	46	53	71	35	56	61	64	63	8	4		44	43	90	39	31	36	63	60	15	5		39	56	59	54	54	41	74	77	13	5		28	29	56	60				
SST (mg.l ⁻¹)	0	13	42	11	2	1	0	9	8	64		4	6	36	8	6	2	1	6	3	16		11	8	44	11	4	1	1	3	8	51		22	109	0	4				
Estação de amostragem	5							6				Outros pontos de amostragem																	Média	Desvio Padrão	Relação SDT/SST										
SDT (mg.l ⁻¹)	54	72	1510	36	41	41	2				40	48	50	40	61	27	4						36	56	51	32	38	62	62	44	49	43	36	33	59	43	96	39	68	184	3,60
SST (mg.l ⁻¹)	16	38	90	24	9	7	26				20	42	100	30	9	5	22						6	4	47	16	12	4	50	14	0	7	33	7	5	6	27	13	19	24	

5. RESULTADOS

Este tópico é dividido nos seguintes itens principais: Aspectos gerais da área de estudo; Diagnóstico inicial de cargas poluidoras de SST; Regionalização hidrológica de vazões e sua relação com cargas poluidoras de SST e Cenários ambientais.

5.1. Aspectos gerais da área de estudo

Nesta parte apresentam-se os seguintes resultados: contagem e identificação dos usos e ocupação do solo estudo da precipitação da região, determinação das condições sazonais para a bacia e contagem e identificação das classes de solos. Estes servem de base para as posteriores análises deste estudo.

5.1.1. Uso e ocupação do solo

São identificados quinze diferentes tipologias de uso e ocupação do solo para a bacia toda, porém para a área de estudo identificam-se onze usos discriminados e classificados na tabela 17.

Esta apresenta os pontos de amostragem de água e as áreas de drenagem acumulada, o comprimento do rio acumulado e os usos de solo classificados da seguinte forma: U1 – áreas alagadas, U2 – áreas urbanas, U3 – afloramento / solo exposto, U4 – agricultura, U5 – floresta natural / sombra, U6 – Floresta Natural Primária ou Secundária Avançada ou Média, U7 – Floresta Plantada em Crescimento, U8 – Pastagem, U9 – Pastagem / Sombra, U10 – Restinga Arbustiva e Arbórea, U11 – Vegetação Natural Secundária.

Tabela 17: Porcentagem das tipologias de uso e ocupação do solo para a área de estudo. PA, pontos de amostragem; AD, área de drenagem acumulada (ha) e L, comprimento do rio acumulado (Km)

PA	AD (ha)	L (Km)	U1%	U2 %	U3 %	U4%	U5%	U6%	U7%	U8%	U9%	U10%	U11%
1	26.513	35,9	-	0,03	0,41	1,69	0,04	45,21	0,61	34,72	0,18	-	17,13
2	32.338	38,1	-	0,02	0,34	1,59	0,04	41,64	0,51	39,11	0,18	-	16,57
3	37.930	41,6	-	0,03	0,31	1,78	0,16	41,22	0,52	39,31	0,39	2,4E-03	16,28
4	59.155	50,1	0,02	0,12	0,21	2,36	0,61	41,38	0,43	36,96	0,99	1,5E-03	16,92
5	82.344	61,9	0,30	0,09	0,19	2,69	0,46	39,50	0,31	39,28	0,78	1,1E-03	16,40
6	82.524	65,1	0,45	0,09	0,19	2,69	0,45	39,42	0,31	39,24	0,78	1,1E-03	16,37

Em seguida, para o desenvolvimento e simplificação do trabalho, agrega - se as tipologias em três usos simplificados, sendo: agropecuário, urbano e floresta, conforme a tabela 18.

Tabela 18: Usos simplificados, agropecuário, urbano e florestal de acordo com as categorias de uso e ocupação encontrados na área de estudo

Usos Simplificados	Categorias de uso e ocupação do solo da área de estudo
Agropecuário	Áreas Alagadas - U1
	Afloramento / Solo Exposto - U3
	Agricultura - U4
	Pastagem - U8
	Pastagem / Sombra - U9
Urbano	Áreas Urbanas - U2
Floresta	Floresta natural / Sombra - U5
	Floresta Natural Primária ou Secundária Avançada ou Média - U6
	Floresta Plantada em Crescimento - U7
	Restinga Arbustiva e Arbórea - U10
	Vegetação Natural Secundária - U11

Assim para os usos simplificados é feito novamente o cálculo das porcentagens de áreas das tipologias para cada área de drenagem observada na tabela 19.

Tabela 19: Porcentagem das áreas acumuladas para os usos simplificados, comprimento do canal acumulado e estações de amostragem de água

Estações de amostragem	Área de Drenagem Acumulada (ha)	Comprimento do canal acumulado (Km)	Agropecuário %	Urbano %	Floresta %
1	26.513	35,9	36,99	0,03	62,98
2	32.338	38,1	41,22	0,02	58,76
3	37.930	41,6	41,78	0,03	58,19
4	59.155	50,1	40,54	0,12	59,34
5	82.344	61,9	43,24	0,09	56,67
6	82.524	65,1	43,35	0,09	56,55

Também são calculadas – tabela 20 – as porcentagens de área dos usos simplificados para cada área incremental, ou seja, as áreas de drenagem entre trechos do Rio Benevente. Estes trechos são definidos como sendo a distância entre um ponto de amostragem a montante até um ponto de amostragem a jusante.

Tabela 20: Porcentagens das áreas dos usos simplificados para as áreas incrementais e comprimento de cada trecho, o ponto 0 é a nascente do Rio Benevente onde não foram realizadas amostragens de água

Trechos (Entre pontos de amostragem)	Áreas Incrementais (ha)	Comprimento do trecho (Km)	Agropecuária %	Urbano %	Floresta %
0 - 1	26.513	35,9	36,99	0,03	62,98
1 - 2	5.825	2,3	60,41	0,00	39,59
2 - 3	5.592	3,5	45,07	0,05	54,88
3 - 4	21.225	8,4	38,32	0,30	61,39
4 - 5	23.189	11,9	50,13	0,00	49,87
5 - 6	169	3,1	94,37	0,00	0,00

5.1.2. Precipitações, temperatura, radiação solar e IPA₇.

Os totais precipitados na bacia do Benevente são obtidos por meio de um polígono de Thiessen, conforme figura 31.

Figura 31: Polígono de Thiessen da Bacia do Benevente.

Os dados médios diários de precipitação são apresentados nas figuras 32 e 33, para o período de outubro de 2005 a dezembro de 2007, referentes ao período em que houve campanhas de amostragem de água. Como o banco de dados era relativamente extenso, foram inseridos no gráfico, apenas meses considerados próximos às datas de amostragem.

A tabela 21 mostra a precipitação média diária para os dias em que foram realizadas amostragens de água. Estas datas também são evidenciadas nas figuras 32 e 33 com setas vermelhas.

Figura 32: Precipitação média diária para o período de outubro de 2005 à outubro de 2006.

Figura 33: Precipitação média diária para o período de dezembro de 2006 à dezembro de 2007.

A tabela 21 mostra as condições sazonais consideradas à área de estudo. Observa – se que os maiores valores de IPA_7 , e temperatura se encontram no verão. Já os menores valores de IPA_7 e temperatura se encontram no período de inverno.

Tabela 21: Dados das condições sazonais do período de estudo: precipitação média diária, índice de precipitação antecedente de sete dias (IPA₇) e, temperatura média mensal para as datas de amostragem de água. Temperatura e radiação solar média para as estações climáticas.

Estações climáticas	Datas de amostragem de água	Precipitação (mm)	IPA ₇ (mm)	T°C (média mensal do ar)	T°C (média das estações climáticas)	Rad média (Wat/m ²)
Primavera	5/10/05	0,00	1,64	24,3	22,3	155,5
Outono	21/3/06	16,36	11,51	26,4	21	137,3
	10/5/06	0,49	5,36	22,5		
Inverno	27/6/06	0,00	2,02	20,7	19,6	150,4
	30/6/06	0,00	3,19	20,7		
Primavera	27/9/06	12,08	14,22	21,9	22,3	155,5
	29/9/06	0,00	12,18	21,9		
	18/10/06	0,12	8,68	24,3		
Verão	29/12/06	40,77	32,01	24,4	25,6	
	29/1/07	0,00	20,46	26		
	5/3/07	3,52	3,52	26,4		
Outono	30/3/07	0,00	0,65	26,4	21	137,3
	15/5/07	0,00	1,82	22,5		
Inverno	7/7/2007	0,00	0,00	21,7	19,6	150,4
	14/8/07	2,94	6,33	21,6		
	30/8/07	10,60	1,37	22,7		
	20/9/07	0,00	8,21	21		
Verão	4/12/07	4,64	25,08	24,4	25,6	

5.1.3. Pedologia da área de estudo – contagem e identificação

São identificadas 8 classes de solo na área de estudo: Latossolos Vermelhos Distróficos 2, 3 e 4 (Lvd2, Lvd3, e Lvd4) Cambissolos Distróficos 1 e 3 (Cd1, Cd3) Alissolo Distrófico 1 (Ad1), Afloramentos de rocha e Neossolos (R).

Pela tabela 22 observa-se, nas partes mais a montante da bacia da nascente ao ponto 2, a predominância do solo de classe Cambissolo distrófico 1, com 69,76 %, enquanto que nas partes médias e jusantes da bacia – pontos 2 a 6 – predominam as classes dos Latossolos Vermelhos Distróficos, com maiores valores para o Lvd4, 49,02%.

A tabela 23 mostra a contagem e identificação da pedologia para cada área incremental da bacia. Observa-se nos trechos 0 – 1 e 1 – 2 o predomínio de solos com classe Cd1, respectivamente: 73,37% e 53,35%. Os trechos em diante, 2 – 3, 3 – 4 e 4 – 5 apresentam a classe Lvd4 como predominante. No ultimo trecho, 5 – 6, a classe predominante é o Lvd2 com 75,87% de área ocupada.

Tabela 22: Identificação e contagem de classes dos solos para as áreas de drenagem acumuladas das estações de amostragem

Estações de amostragem	Área de drenagem acumulada (Km ²)	Classes de solos %							
		Ad1	Afloramentos de Rocha	Cd1	Cd3	LVd2	LVd3	LVd4	R
1	264	0,00	0,08	73,37	0,00	0,00	0,00	26,42	0,13
2	322	0,00	0,07	69,76	0,00	0,00	0,00	30,07	0,11
3	378	0,00	0,03	35,01	0,00	0,00	2,78	62,12	0,05
4	591	0,01	0,75	40,16	7,08	2,48	3,30	44,07	2,16
5	822	0,55	0,81	29,76	5,28	10,29	2,63	49,13	1,55
6	824	0,60	0,81	29,70	5,27	10,43	2,62	49,02	1,55

Tabela 23: Identificação e contagem de classes dos solos para as áreas incrementais entre as estações de amostragem, trechos, na área de estudo

Trechos	Área Incremental (Km ²)	Classes de solos %							
		Ad1	Afloramentos de Rocha	Cd1	Cd3	LVd2	LVd3	LVd4	R
0 - 1	264,32	0,00	0,08	73,37	0,00	0,00	0,00	26,42	0,13
1 - 2	58,15	0,00	0,00	53,35	0,00	0,00	0,00	46,65	0,00
2 - 3	55,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,16	72,84	0,00
3 - 4	212,26	0,02	1,99	5,70	19,70	6,88	2,02	57,68	6,01
4 - 5	231,34	1,93	0,97	3,23	0,69	30,21	0,92	62,04	0,00
5 - 6	1,80	24,13	0,00	0,00	0,00	75,87	0,00	0,00	0,00

5.2. Diagnóstico inicial de cargas difusas de SST da Bacia do Benevente

O diagnóstico inicial de cargas difusas de SST é dividido em duas partes, sendo: comportamento das cargas difusas de SST ao longo do rio e, variação espacial e temporal da

produção de cargas difusas das áreas parciais discriminando as fontes geradoras por uso e ocupação do solo.

5.2.1. Comportamento das cargas difusas de SST ao longo do Rio Benevente

Este tópico por sua vez é dividido em três seções, sendo: Comportamento de transporte de sedimentos em rios e canais; Regionalização da produção específica; e Variação espacial das cargas específicas de SST.

Para estas análises são utilizados os resultados gerais mostrados na tabela 24 de concentração de SST em mg.l^{-1} e as vazões estimadas em l.s^{-1} para cada data de amostragem.

Na tabela 25 observam-se os resultados de produção de SST em $\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e de cargas totais de SST em ton.ano^{-1} , obtidos em cada estação de amostragem de água com as condições pluviométricas expressas em IPA_7 .

A tabela 26 mostra as médias aritméticas das cargas totais de SST medidas no Rio Benevente e da produção específica para cada ponto de amostragem e para a bacia como um todo.

Tabela 24: Vazões médias diárias estimadas e concentrações de SST observadas para as estações de amostragem e suas respectivas datas de coleta

Pontos de Amostragem	1		2		3		4		5		6	
Datas de amostragem	Q (l/s)	SST (mg.l⁻¹)	Q (l/s)	SST (mg.l⁻¹)	Q (l/s)	SST (mg.l⁻¹)	Q (l/s)	SST (mg.l⁻¹)	Q (l/s)	SST (mg.l⁻¹)	Q (l/s)	SST (mg.l⁻¹)
5/10/2005									15.022	16,0	15.054	20,0
21/3/2006									24.881	38,0	24.935	42,0
10/5/2006							10.791	22,0				
27/6/2006									16.225	10,0	16.260	16,0
30/6/2006	5.224	1,0	6.372	4,0	7.474	11,0						
27/9/2006							12.492	109,4	17.389	38,0	17.427	42,0
29/9/2006	4.087	13,0	4.985	6,0	5.847	8,0						
18/10/2006									20.921	90,0	20.967	100,0
29/12/2006	13.710	42,0	16.722	35,5	19.614	43,5						
29/1/2007									24.881	24,0	24.935	30,0
5/3/2007							16.759	1,0				
30/3/2007	5.974	11,0	7.286	8,0	8.546	11,0						
15/5/2007									16.613	9,0	16.649	9,0
14/8/2007									10.752	7,0	10.775	5,0
30/8/2007							7.194	4,0				
20/9/2007	3.712	1,0	4.527	2,0	5.310	1,0						
4/12/2007									17.001	26,0	17.038	22,0
7/7/2007	4.087	2,0	4.985	6,0	5.847	4,0						

Tabela 25: Produção específica de SST (Y) em (Kg/ha.ano), Carga total de SST em (ton.ano⁻¹) e Índice de precipitação antecedente de 7 dias em (mm), para as estações de amostragem e suas respectivas datas de amostragem de água

Estações de Amostragem	1			2			3			4			5			6		
Datas de amostragem	Y	Carga total	IPA ₇	Y	Carga total	IPA ₇	Y	Carga total	IPA ₇	Y	Carga total	IPA ₇	Y	Carga total	IPA ₇	Y	Carga total	IPA ₇
5/10/05													94,8	7.806	1,64	118,5	9.778	1,64
21/3/06													372,9	30.705	11,51	412,1	34.012	11,51
10/5/06										181,5	10.738	5,36						
27/6/06													64,0	5.269	2,02	102,4	8.449	2,02
30/6/06	6,4	170	3,19	25,6	828	3,19	70,4	2.670	3,19									
27/9/06										750,3	44.384	14,22	260,6	21.460	14,22	288,0	23.771	14,22
29/9/06	65,1	1.725	12,18	30,0	971	12,18	40,0	1.519	12,18									
18/10/06													742,6	61.151	8,68	825,1	68.094	8,68
29/12/06	705,3	18.701	32,01	596,2	19.279	32,01	730,5	27.709	32,01									
29/1/07													235,5	19.393	20,46	294,4	24.294	20,46
5/3/07										9,2	544	3,52						
30/3/07	80,5	2.134	0,65	58,5	1.893	0,65	80,5	3.053	0,65									
15/5/07													59,0	4.856	1,82	59,0	4.866	1,82
7/7/07	10,0	265	0,00	30,0	971	0,00	20,0	760	0,00									
14/8/07													29,7	2.444	6,33	21,2	1.750	6,33
30/8/07										15,8	935	1,37						
20/9/07	4,5	121	8,21	9,1	294	8,21	4,5	172	8,21									
4/12/07													174,3	14.356	25,08	147,5	12.174	25,08

Tabela 26: Valores médios de carga e produção específica de SST para a sub-bacias e para a bacia toda

Estações de amostragem	Média Ton.ano ⁻¹	Média Kg/ha.ano
1	3.853	145
2	4.039	125
3	5.980	158
4	14.150	239
5	18.604	226
6	20.799	252
Média da Bacia	11.238	194

5.2.1.1. Comportamento do transporte de sedimentos em rios e canais

A figura 34 apresenta a variação das cargas totais de SST ao longo do rio Benevente para as datas de amostragem em análise. A abscissa mostra a componente de escala regional, representada pelo tamanho da bacia a montante do ponto monitorado. E na ordenada os resultados de cargas em ton.ano⁻¹. Observa-se que há uma variação temporal, para cada trecho da bacia, e espacial ao longo do rio.

Figura 34: Variação temporal e espacial das cargas totais de SST ao longo do Rio Benevente. A abscissa corresponde a área acumulada a montante de cada estação de amostragem, a ordenada os valores de Carga total em escala logarítmica.

Para a área de drenagem (265 Km^2) a montante da estação de amostragem 1, trecho 0 a 1, observa-se, que a menor carga observada é de 121 ton.ano^{-1} (data 29/09/2007), sendo a maior de $18.701 \text{ ton.ano}^{-1}$ (data 29/12/06), ou seja, uma variação de $18580 \text{ ton.ano}^{-1}$.

Para a estação de amostragem 2 com área de drenagem de 323 Km^2 a variação de cargas totais ao longo do tempo foi um pouco maior, de 294 ton.ano^{-1} (data 20/09/2007) a $19.279 \text{ ton.ano}^{-1}$ (data 29/12/06), ou seja, $18.985 \text{ ton.ano}^{-1}$. Este último valor de carga ocorreu em condições de alta umidade inicial com um valor de IPA_7 de 32,01 mm, sendo que para o menor valor de carga este índice cai para 8,21 mm com uma precipitação média diária de 0,0 mm.

A figura 34 mostra que os valores de cargas medidos na estação de amostragem 3 apresentam uma variação de cargas ao longo do tempo de 172 ton.ano^{-1} (data 20/9/07) a $27.709 \text{ ton.ano}^{-1}$ (data 29/12/06), ou seja, uma variação de $27.535 \text{ ton.ano}^{-1}$. Esta maior que as variações das áreas a montante. Novamente o maior valor de carga encontrado ocorreu em altas condições de umidade e o menor valor na mesma data em que ocorreram as menores cargas nas áreas de montante, com 0,0 mm de precipitação média diária.

A figura 34 mostra que foram encontrados valores de cargas na estação de amostragem 4 na ordem de 544 ton.ano^{-1} a $44.384 \text{ ton.ano}^{-1}$, ou seja, uma variação de $43.840 \text{ ton.ano}^{-1}$. O maior valor de carga é encontrado para a data de 27/09/06 com as seguintes condições sazonais: IPA_7 de 14,22 mm, T média da estação de $22,3 \text{ }^\circ\text{C}$ e Rad de 155 Wat/m^2 . O menor valor encontra-se na data de 5/3/07 com IPA_7 de 3,52 mm, e T média da estação de $25,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Na figura 34 o ponto de amostragem 5 com área de drenagem de $823,44 \text{ km}^2$ apresenta uma variação de carga na ordem de $2.444 \text{ ton.ano}^{-1}$ (data – 14/8/07, IPA_7 de 6,33 mm, T média da estação de $19,6 \text{ }^\circ\text{C}$ e Rad de $150,4 \text{ Wat/m}^2$) a $61.151 \text{ ton.ano}^{-1}$ (data – 18/10/06, IPA_7 de 8,68 mm, T média da estação de $22,3 \text{ }^\circ\text{C}$ e Rad de $155,5 \text{ Wat/m}^2$).

Para a última estação de amostragem (6) com área de drenagem de 825,24 Km², similar ao ponto 5, observa-se praticamente o mesmo comportamento de carga do ponto 5. A figura 34 mostra que houve uma variação de 1750 ton.ano⁻¹ (data - 14/8/07) a 68.094 ton.ano⁻¹ (data - 18/10/06), ou seja, de 66.344 ton.ano⁻¹.

A figura 35 mostra a variação de cargas totais ao longo do tempo para o trecho de 0 a 1, a ordenada em escala logarítmica, e as datas de amostragem identificadas para cada valor. Pelo gráfico pode-se supor que houve uma grande variação de cargas dentro de um ciclo sazonal, sendo um aumento dos valores de cargas de 170 ton.ano⁻¹ para 18.701 ton.ano⁻¹ e posterior declínio a 121 ton.ano⁻¹. Neste intervalo o IPA₇ variou de respectivamente: 3,19, 32,01 e 8,21, correlacionando com os valores de carga.

Figura 35: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 0 – 1 com área incremental 265,1 Km². A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.

A figura 36 mostra as cargas totais produzidas pelo trecho (1 – 2) com área incremental de 58,25 Km². Na ordenada estão os valores de cargas para o balanço de massa e na abscissa o período de amostragem. Observa-se que para as datas 29/09/06, com IPA₇ de 12,18 mm, e 30/03/07 com IPA₇ de 0,65 mm, o balanço de massa deste trecho (jusante) com o

trecho de montante estimou uma diminuição de cargas de SST no rio de, respectivamente, para aquelas datas: $(-754 = 971 - 1725)$; $(-241 = 1893 - 2.134)$.

Observa-se também que houve um aumento espacial de carga para as outras datas, em relação à seção de montante (trecho 0 – 1), ou seja, houve uma contribuição de carga de SST oriunda da área incremental em análise.

Figura 36: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 1 – 2 com área incremental $58,25 \text{ Km}^2$. A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.

A figura 37 mostra as cargas totais produzidas pelo trecho (2 – 3) com área incremental de $55,92 \text{ Km}^2$. Na ordenada está o valor de cargas para o balanço de massa e na abscissa o período de amostragem. Observa-se que para as datas 07/07/07 (IPA₇ de 0,0 mm), e 20/09/07 (IPA₇ de 8,21 mm), o balanço de massa deste trecho (jusante) com o trecho de montante estimou uma diminuição de cargas de SST no rio de, respectivamente, para aquelas datas: $(-212 = 760 - 971)$; $(-122 = 172 - 294)$.

Para as outras datas observa-se um aumento espacial de carga em relação à seção de montante (trecho 1 – 2), ou seja, houve uma contribuição de carga de SST oriunda da área

incremental em análise. Novamente observa-se um comportamento cíclico sazonal em relação a este trecho, parecido com o encontrado no trecho de 0 a 1, com os valores de carga decrescendo de 1.842 a 548 ton.ano^{-1} , por conseguinte elevando a 8.430 ton.ano^{-1} e em seguida caindo a 1160 ton.ano^{-1} e em seguida decrescendo a valores negativos nas datas subseqüentes.

O maior valor encontrado pode ser explicado pelas condições sazonais, já que para esta data foi relatado o maior IPA_7 de 32,01 mm.

Figura 37: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 2 – 3 com área incremental 55,92 Km^2 . A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.

A figura 38 mostra as cargas totais produzidas pelo trecho (3 – 4) com área incremental de 221,25 Km^2 . Observa-se que para o período entre as datas 29/12/067 e 5/3/07 o balanço de massa é negativo ($-27165 = 544 - 27709$). Sendo que as condições sazonais para estas datas são, respectivamente de: $\text{IPA}_7 = 32,01$ mm e $\text{IPA}_7 = 3,52$ mm.

Para as outras datas observa-se um aumento espacial de carga em relação à seção de montante (trecho 3 – 4), ou seja, houve uma contribuição de carga de SST oriunda da área

incremental em análise. A grande contribuição observada entre as datas 27/09/06 e 29/09/06, pode ser pelo fato de que o balanço de massa não foi realizado para a mesma data de amostragem, sendo que o valor de precipitação para a data de 27/09/06 foi de 12,08 mm e de 0,0 mm para a segunda, apesar de que os IPA₇ são parecidos, sendo de: 14,22 mm e 12,18 mm.

O maior valor de carga pode ser devido ao fato de que o ponto 4 está situado a jusante do município de Alfredo Chaves, onde eventuais cargas pontuais de esgotos domésticos podem elevar os resultados de SST de cargas difusas.

Figura 38: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 3 – 4 com área incremental 221,25 Km². A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.

O balanço de massa para o trecho 4 – 5, com área incremental de 231,89 Km² (figura 39) mostra uma diminuição de cargas de SST no rio de - 22.924 ton.ano⁻¹ para a data de 27/09/06 (IPA₇ de 14,22), para outras datas o balanço de massa evidencia um aporte de cargas neste trecho. Sendo que os maiores valores 21/3/06 a 10/5/6 e 29/1/07 a 5/3/07, ocorreram nas

seguintes condições sazonais, respectivamente: outono e verão. Em seguida na ultima data ocorre uma queda de $18.849 \text{ ton.ano}^{-1}$ a $1.510 \text{ ton.ano}^{-1}$ (datas 30/08/07 a 20/09/07 - inverno).

Figura 39: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 4 – 5 com área incremental $231,89 \text{ Km}^2$. A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.

A figura 40 mostra o comportamento temporal das cargas produzidas no trecho de 5 a 6. Observa-se que as cargas totais obedecem um certo comportamento cíclico, com um aumento no início de $1.973 \text{ ton.ano}^{-1}$ (data 5/10/05 – IPA₇ de 1,64 mm) a $3.306 \text{ ton.ano}^{-1}$ (data 21/3/06 - IPA₇ de 11,51 mm). Depois um posterior declínio a $2.311 \text{ ton.dia}^{-1}$ (data 27/9/06 - IPA₇ de 14,22 mm, em seguida a carga aumenta no seu valor máximo a 6.943 (data 18/10/06 - IPA₇ de 8,68 mm) para em seguida despencar a até atingir um valor de 11 ton.ano^{-1} (data 15/5/07 - IPA₇ de 1,82 mm). Em continuação observa-se balanços de massa negativos, com os seguintes resultados: $- 695 \text{ ton.ano}^{-1}$ e $- 2182 \text{ ton.ano}^{-1}$, para as respectivas datas: 14/8/07 - IPA₇ de 6,33 mm e 4/12/07 - IPA₇ de 25,08 mm.

Figura 40: Variação temporal das cargas totais para o trecho de 5 – 6 com área incremental 1,69 Km². A abscissa corresponde ao período de monitoramento e a ordenada os valores de carga apresentados em escala numérica.

5.2.1.2. Regionalização da produção específica de cargas de SST na bacia.

A figura 41 mostra a variação temporal e espacial da produção específica de cargas de SST ao longo do Rio Benevente. Na abscissa estão as áreas de drenagem acumuladas em Km², de montante a jusante da bacia, e na ordenada, em escala logarítmica, a produção de sedimentos específicas (Kg/ha.ano) em termos de SST.

Figura 41: Variação espacial e temporal da produção específica de SST ao longo do Rio Benevente. A abscissa é a área acumulada de cada ponto de amostragem em Km² e a ordenada, em escala logarítmica, a produção específica de SST.

A figura 42 mostra a variação temporal da produção específica de SST para cada estação de amostragem. Na abscissa estão os períodos de amostragem e na ordenada em escala logarítmica os valores de produção específica em Kg/ha.ano.

A análise temporal da bacia pela figura 42 mostra que a produção específica regionalizada tende obedecer a um ciclo sazonal, com os maiores valores de Y ocorrendo nas datas com maiores IPA₇ e os menores valores de Y para menores IPA₇.

O comportamento da produção específica nos pontos 1, 2 e 3, é semelhante, sendo que a variação temporal se inicia no dia (30/6/06, IPA₇ = 3,19 mm) com os respectivos valores de Y de: 6,4, 26 e 70 Kg/ha.ano subindo em seguida a valores máximos de até, respectivamente 705, 596 e 731 Kg/ha.ano, na data de 29/12/06 com IPA₇ de 32,01 mm. Em seguida estes valores caem para 5, 9 e 5 Kg/ha.ano na data de 20/9/07 com IPA₇ de 8,21 mm.

A estação de amostragem 4 apresenta o menor volume de dados, sendo difícil evidenciar algum comportamento cíclico da produção de sedimentos. Porém observa-se que o

maior valor de Y, 750,3 Kg/ha.ano ocorre na data de amostragem 27/9/06 com o maior valor de IPA₇ 14,22 mm para esta estação. O menor valor de produção específica de SST, 9 Kg/ha.ano encontra-se para um IPA₇ de 3,52 mm.

As estações de amostragem 5 e 6 apresentam maior volume de dados de produção de sedimentos. Observa-se uma tendência cíclica sazonal com os valores de carga possivelmente correlacionados com os de IPA₇.

Os valores iniciais de Y, para as estações 5 e 6, são de respectivamente: 95 e 118 Kg/ha.ano – data 5/10/05 e IPA₇ = 1,64 mm, no decorrer do tempo observa-se um aumento destas cargas para respectivamente: 372,9 e 412 Kg/ha.ano – data de, 21/3/06, IPA₇ = 11,51 mm. Em seguida observa-se uma leve queda destes valores para, respectivamente: 64 e 102 Kg/ha.ano – data de 27/6/06, IPA₇ = 2,02 mm. Depois tem-se um posterior aumento para os valores máximos de Y de respectivamente: 743 e 825 Kg/ha.ano – data de 18/10/06, IPA₇ de 8,68 mm. Em seguida posterior queda até a data de 14/8/07 com IPA₇ de 6,33 mm a valores de respectivamente: 30 e 21 Kg/ha.ano. Por fim os valores de Y sobem novamente aos valores de 174 e 148 Kg/ha.ano na data de 4/12/07 com IPA₇ de 25,08 mm.

Figura 42: Variação temporal da produção de SST (Y) ao longo do rio Benevente. Na abscissa estão os períodos de amostragem de água e na ordenada os valores de Y, em escala logarítmica para cada estação de amostragem (EA), a linha tracejada indica o comportamento cíclico da produção específica regional de SST na bacia.

5.2.1.3. Variação espacial das cargas específicas de SST

A figura 43 mostra a variação espacial da produção específica de SST em Kg/ha.ano desde montante à jusante para as datas em análise. Por este gráfico é possível propor três tipos de cenários regionais de produção, sendo: Cenário 1: com um limite máximo regional de produção específica variando de 731 a 825 Kg/ha.ano; Cenário 2: aumento regional da produção específica de 60 a 825 Kg/ha.ano; e Cenário 3: limite mínimo regional (moderadamente crescente) de produção específica de, 5 a 20 Kg/ha.ano (para Áreas menores que 400 e 600 Km²). Todos os cenários apresentam resultados relativos a diversas datas de amostragem.

Figura 43: Variação espacial das cargas específicas de SST ao longo do Rio Benevente e os possíveis cenários que governam a produção regional de cargas.

5.2.2. Variação espacial e temporal da produção de cargas difusas por uso e ocupação do solo – coeficientes de exportação observados

As figuras de 44 a 51 apresentam a variação espacial da produção potencial de SST, desde uma zona de montante (esquerda) para uma de jusante (direita do gráfico), para as datas de amostragem sob análise com a condição sazonal expressa em termos de IPA₇, temperatura média da estação climática (T em °C) e radiação solar média da estação climática (Rad em Wat/m²).

Nas abscissas desses gráficos aparece a expressão do quociente entre o tamanho da bacia incremental entre os pontos amostrados e o tamanho da bacia de drenagem acumulada até o mesmo ponto, chamada de relação Sub-bacia/Bacia acumulada (S/B).

Para as figuras de 44 a 51 observa-se que a produção de SST para os três tipos de uso do solo é considerada constante para toda a bacia.

As figuras 44, 45 e 46 mostram que a maioria dos trechos apresenta resultados de produção nulos. Nestas datas não ocorreu amostragem de água e medição de SST nos pontos de 1 a 4 não permitindo assim a realização do balanço de massa e posterior estimativa dos coeficientes de exportação.

Para as figuras 44 e 46 observa-se que as bacias mais a jusante, com relação S/B de 1,7/825, apresentam valores de produção total de respectivamente, 11.613 e 40.873 Kg/ha.ano. Nesta sub-bacia o uso do solo é predominantemente agropecuário.

A figura 45 apresenta produção de carga de SST de fontes agropecuárias constantes para as sub-bacias a jusante, com um valor de 19.464 Kg/ha.ano. A produção específica de SST oriunda da floresta é negativa com um valor de -17840 Kg/ha.ano.

Para a figura 47, naquelas condições sazonais, não foi realizada nenhuma amostragem de água para o ponto 4 então para a realização do balanço de massa é considerado o trecho de 3 a 5 com relação S/B de 268,2/647.

Para as figuras 47 a 51 os resultados nulos de produção são devidos a balanços de massa negativos nos trechos. Observa-se nestas figuras que a grande parte da produção de carga é de origem urbana, e que todos os resultados encontrados para floresta são negativos e as cargas de origem agropecuária apresentam magnitude menor que as de origem urbana.

Para todas as condições consideradas, os resultados de produção de carga de origem agropecuária variam de 1402 a 40.873 Kg/ha.ano, a variação para produção de origem urbana é de 257.928 a 31.415.211 Kg/ha.ano e por fim a produção de origem florestal varia de - 2064 a - 41,758 Kg/ha.ano.

Em relação às condições sazonais o maior valor de produção de carga de SST de origem agropecuária (40.873 Kg/ha.ano) ocorre na data de 18/10/06, estação climática primavera, com IPA₇ de 8,68 mm. O menor valor (1402 Kg/ha.ano) ocorre nas datas de 14/8/07, 20/09/07 com o IPA₇ variando de 1,37 a 8,21 mm na estação de inverno. A produção das cargas totais de origem urbana tem o seu maior valor, 31.415.211 Kg/ha.ano entre as datas de 27/09/06 e 29/09/06 com o IPA₇ para estas datas de, respectivamente 14,2 a 12,18 mm na estação da primavera. O menor valor de produção de carga de 257.938 Kg/ha.ano encontra-se nas mesmas condições em que se observa o menor valor de cargas de origem agropecuário.

Para a produção de cargas de origem florestal o menor valor (- 41.758 Kg/ha.ano) ocorre na mesma condição sazonal encontrada para o maior valor de produção de origem urbana entre as datas de 27/09/06 e 29/09/06. O maior valor, - 2064 Kg/ha.ano encontra-se nas mesmas condições sazonais que se encontra o menor valor de produção de SST de origem agropecuária, ou seja, para as datas de 14/8/07 e 20/09/07.

Figura 44: Variação espacial de Y para usos do solo - data 5/10/05

Figura 45: Variação espacial de Y para usos do solo - data 21/3/06 e 10/5/06

Figura 47: Variação espacial de Y para usos do solo - data 18/10/06

Figura 46: Variação espacial de Y para usos do solo - data 27/06/06 a 30/06/06

Figura 48: Variação espacial de Y para usos do solo - data 27/09/06 a 29/09/06

Figura 49: Variação espacial de Y para usos do solo - data 29/12/06, 29/01/07 e 5/3/07

Figura 50: Variação espacial de Y para usos do solo - data 30/03/07 a 15/05/07

Figura 51: Variação espacial de Y para usos do solo - data 14/8/07 a 20/9/07

5.2.3. Obtenção dos coeficientes de exportação teóricos

Os coeficientes de exportação teóricos aplicados na bacia do Benevente em cada sub-bacia analisada para os usos de solo, agropecuário, floresta e urbano em função das condições sazonais e da produção específica de SST observados são apresentados na tabela 27.

Tabela 27: Coeficientes de exportação teóricos, para os usos de solo de floresta, agropecuário e urbano aplicados para a bacia do Benevente em função dos valores de produção específica de SST e das condições sazonais para cada data de amostragem

Estação de amostragem AD (Km ²)	Data de amostragem	Estação climática	IPA ₇ (mm)	T°C (média mensal)	Rad média (Wat/m ²)	Produção por fonte gradadora (Kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)			Produção específica (Kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
						Floresta	Agropecuária	Urbana	
1 (265)	29/9/06	Primavera	12,18	21,9	155,5	9,20	159,90	194,30	65,00
	29/12/06	Verão	32,01	24,4		11,80	1880,69	6723,60	705,00
	30/3/07	Outono	0,65	26,4	137,3	17,20	167,49	26,50	80,00
	7/7/07	Inverno	0,00	21,7	150,4	9,55	10,75	26,50	10,00
2 (323)	29/9/06	Primavera	12,18	21,9	155,5	2,80	68,69	194,30	30,00
	29/12/06	Verão	32,01	24,4		11,80	1425,57	6723,60	596,00
	30/3/07	Outono	0,65	26,4	137,3	17,20	118,61	26,50	59,00
	7/7/07	Inverno	0,00	21,7	150,4	17,20	48,25	26,50	30,00
	20/9/07	Inverno	8,21	21	150,4	9,02	8,87	194,30	9,00
3 (379)	29/9/06	Primavera	12,18	21,9	155,5	9,20	82,79	194,30	40,00
	29/12/06	Verão	32,01	24,4		11,80	1728,73	6723,60	731,00
	30/3/07	Outono	0,65	26,4	137,3	17,20	167,49	26,50	80,00
	7/7/07	Inverno	0,00	21,7	150,4	17,20	23,79	26,50	20,00
4 (592)	10/5/06	Outono	5,36	22,5	137,3	9,20	434,89	194,30	182,00
	30/8/07	Inverno	1,37	22,7	150,4	17,20	14,21	26,50	16,00
	27/9/06	Primavera	14,22	21,9	155,5	11,80	1701,27	6723,60	705,00
5 (823)	5/10/05	Primavera	1,64	24,3	155,5	9,20	207,24	194,30	95,00
	27/6/06	Inverno	2,02	20,7	150,4	17,20	125,41	26,50	64,00
	18/10/06	Primavera	8,68	24,3	155,5	11,80	1689,02	6723,60	743,00
	15/5/07	Outono	1,82	22,5	137,3	17,20	113,85	26,50	59,00
	4/12/07	Verão	25,08	24,4		61,50	320,77	502,60	174,00
6 (825)	5/10/05	Primavera	1,64	24,3	155,5	9,20	259,79	194,30	118,00
	27/6/06	Inverno	2,02	20,7	150,4	17,20	212,79	26,50	102,00
	18/10/06	Primavera	8,68	24,3	155,5	11,80	1873,88	6723,60	825,00
	15/5/07	Outono	1,82	22,5	137,3	17,20	113,61	26,50	59,00
	4/12/07	Verão	25,08	24,4		61,50	260,14	502,60	148,00

5.3. Regionalização hidrológica de vazões e sua relação com de cargas poluidoras de SST – cenário atual

A figura 52 mostra o gráfico de abordagem quali-quantitativa para o comportamento das cargas regionais referentes a SST para a bacia do Rio Benevente. Na ordenada esquerda estão os valores de vazões específicas e na ordenada direita os valores de cargas específicas, em escala logarítmica, para qualquer seção do Rio, relacionadas com as permanências das vazões nas datas de amostragem. A abscissa mostra as permanências destas vazões em porcentagem. A linha tracejada indica a tendência média dos resultados de cargas específicas.

Os pontos encontrados referem-se às cargas específicas estimadas para cada ponto de amostragem e suas respectivas áreas de drenagem, sendo A1, A2, A3, A4, A5 e A6. Estas áreas têm os respectivos tamanhos, em km²: 265, 323, 379, 591, 823, 825.

Figura 52: Gráfico de abordagem quali-quantitativa de água para SST. A linha de traço pontilhado mostra a tendência média de cargas específicas associadas às permanências de vazões do Rio Benevente.

Para a figura 52 adotam-se as cinco faixas de permanência em função das condições hidrológicas propostas por (USEPA, 2007). Desta maneira os valores de cargas encontrados se distribuem da seguinte forma: na 1ª faixa de 90% a 100% ($90\% < P < 100\%$), de 4,54 a

65,08 Kg/ha.ano; na 2ª faixa de 60 a 90% ($60\% < P < 90\%$), de 6,40 a 750,30 Kg/ha.ano; na 3ª faixa de 40% a 60% ($40\% < P < 60\%$) de 58,54 a 825,14 Kg/ha.ano, na 4ª faixa de 10% a 40% ($10\% < P < 40\%$) de 9,20 a 412,14 Kg/ha.ano, e na 5ª faixa de 0% a 10% ($0\% < P < 10\%$) de 596,18 a 730,53 Kg/ha.ano.

5.3.1. Carga Total Máxima Diária Permitida (CTMD)

A figura 53 mostra o comportamento das cargas específicas de SDT associadas às permanências de vazões específicas para a bacia do Benevente e a curva da Carga Total Máxima Diária permitida, em função da concentração permitida de SDT para o enquadramento do Rio Benevente.

Observa-se que todas as cargas observadas estão abaixo da curva de CTMD indicando que: para as condições atuais da bacia, para os dados observados e em relação à concentração de SDT, o Rio Benevente está dentro da faixa do enquadramento do rio para classe 2.

Três valores de cargas estão mais próximos de ultrapassar a curva de CTMD sendo: 2701 Kg/ha.ano, associado a vazões específicas maiores ou iguais $21,75 \text{ l.s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$ (prob = 61,6%) naquela seção do rio, com uma CTMD de: 3429 Kg/ha.ano; e 2.970 e 2.673 Kg/ha.ano ambos associados a vazões específicas maiores ou iguais a $26,2 \text{ l.s}^{-1}.\text{Km}^{-2}$ (prob = 41,6%) com uma CTMD de 4.125 Kg/ha.ano em suas respectivas seções.

Figura 53: Gráfico de abordagem quali-quantitativa de água para SDT. A linha vermelha CTMD, corresponde ao valor máximo permitido segundo de carga, segundo enquadramento do Rio.

5.4. Cenários ambientais

Neste item apresentam-se os cenários ambientais propostos sobre os resultados apresentados na figura 52 e 53.

5.4.1. Cenário ambiental 1 – Aumento de 20% das áreas de floresta

A figura 54 mostra um cenário ambiental sobre mudança de uso e ocupação do solo para a bacia do Benevente. O aumento de 20 % das áreas de florestas em detrimento da diminuição de 20% das áreas agropecuárias indica que há uma diminuição média das cargas regionais específicas para área de estudo.

Figura 54: Simulação para SST, cenário com mudança de uso e ocupação do solo relativo ao aumento de 20% de áreas florestais em detrimento da diminuição de 20% de áreas agropecuárias. A linha tracejada escura é a tendência média atual de cargas, a linha tracejada azul é a tendência média futura.

Observa-se também a alteração no regime fluvial médio do Rio e consequentemente o abaixamento da curva de permanência proporcionado pela diminuição da Q_{lp} da Bacia em função da variabilidade do uso do solo.

Toma-se como exemplo, considerando a mesma permanência de vazões de 53,4%, para os cenários: atual e futuro, uma redução de carga específica de 80,0 a 49,6 Kg/ha.ano com uma redução na vazão de 23,2 a 20,0 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$.

Em se tratando de valores médios, as médias regionais de cargas específicas do cenário atual e futuro são de, respectivamente: 193,9 e 122,3 Kg/ha.ano . Isto mostra uma diminuição das cargas médias em cerca de 36,9 %, com um ΔY de - 71,6 Kg/ha.ano .

A Q_{lp} específica por sua vez variou de 27,5 para 25,2 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, ou seja, uma variação de - 8,4%.

A figura 55 mostra o cenário em questão e a influência da mudança de uso e ocupação do solo sobre cargas de SDT. Como os valores de SDT são oriundos da multiplicação dos

valores de SST por um fator, a variação de cargas específicas entre o cenário atual e futuro é o mesmo que o observado para as cargas de SST.

Figura 55: Cenário com mudança de uso e ocupação do solo relativo ao aumento de 20% de áreas florestais em detrimento da diminuição de 20% de áreas agropecuárias. Simulação para SdT. A linha tracejada escura é a tendência média atual de cargas, a linha tracejada azul é a tendência média futura para a mudança de cenário.

Observa-se também a curva de CTMD permitida, em função do enquadramento do rio. Alguns valores de carga, que estavam próximos de ultrapassar a CTMD, diminuiram do cenário atual para o proposto. Por exemplo, considerando a mesma permanência de vazões para os dois cenários, de 61,65%, a carga específica para o cenário atual é de 2701,1 Kg/ha.ano e para o cenário futuro é de 1321,4 Kg/ha.ano , ou seja, uma redução de 51% na carga.

Para a permanência de 61,65% a vazão específica variou de 21,74 a 20,0 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, ou seja uma diminuição de 8%.

5.4.2. Cenário ambiental 2 – Aumento de 20% das áreas agropecuárias

Observa-se pela figura 56 um aumento das cargas específicas regionais de SST para o cenário com aumento das áreas agropecuárias de 20%. A tendência média regional representada pela linha delgada escura, após a mudança de uso do solo, passa a ser a linha tracejada em vermelho.

Figura 56: Simulação para SST, cenário com mudança de uso e ocupação do solo relativo ao aumento de 20% de áreas agropecuárias em detrimento da diminuição de 20% de áreas florestais. A linha tracejada escura é a tendência média atual de cargas, a linha tracejada vermelha é a tendência média futura para a mudança de cenário.

No entanto a mudança de uso do solo pouco afeta o regime fluvial médio da bacia. Sendo que a Qlp em termos específicos na situação atual é de $27,5 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ e na condição futura é de $27,75 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, ou seja, um aumento de 0,9%.

Porém as cargas específicas médias da bacia para a condição atual e futura, de respectivamente: 193,9 e 319,0 Kg/ha.ano tem uma variação maior na ordem de 39,2%.

Considerando como exemplo a mesma permanência de vazões de 53,4%, para o cenário atual e futuro, tem-se, respectivamente, os seguintes valores de carga específica: 80,0 e 110,05 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, portanto observa-se um aumento na produção específica de SST de 27%.

A figura 57 mostra a variação de cargas de SDT para um cenário de mudança de uso do solo com um aumento de 20% das áreas agropecuárias, sobre as condições atuais da bacia.

Figura 57: Cenário com mudança de uso e ocupação do solo relativo ao aumento de 20% de áreas agropecuárias em detrimento da diminuição de 20% de áreas florestais. Simulação para SDT. A linha tracejada escura é a tendência média atual de cargas, a linha tracejada vermelha é a tendência média futura para a mudança de cenário.

Observa - se um aumento das cargas específicas de SDT com alguns valores maiores ou iguais aos valores de cargas permitidas – CMTD –. Estes valores ocorrem para as seguintes permanências, considerando a mesma para os dois cenários, 61,6% e 41,6%.

Em relação a permanência de vazões de 61,6% têm-se os seguintes valores de carga de SDT, para as condições atuais e futuras, 2701,1 e 3754,0 Kg/ha.ano, respectivamente,

portanto, uma variação de 28,0%. Salienta-se que o valor da CTMD para esta permanência é de 3371,25 Kg/ha.ano, desta forma esta é superada em 10,2%.

Sobre a permanência de vazões de 41,6% têm-se os seguintes valores de carga de SDT, para as condições atuais e futuras, 2970,5 e 4308,2 Kg/ha.ano, respectivamente, portanto, uma variação de 31,0 %. Para esta permanência o valor da CTMD é de 4056,35 Kg/ha.ano, desta forma esta é superada em 5,8%.

A variação da Qlp entre os cenários, no entanto é a mesma observada para as cargas de SST, ou seja, de 0,9%.

5.4.3. Síntese dos cenários ambientais propostos e aplicação da metodologia do PSA

A tabela 28 mostra uma síntese das informações obtidas dos cenários ambientais com mudança de uso e ocupação do solo. Observam-se os valores médios de produção específica de SST, as vazões médias de longo período e cada porcentagem e tamanho do uso do solo, além da estimativa de perda de solo no ponto mais a jusante da área de estudo.

Também são expressos nesta tabela, variações de produção específica de SST e da vazão de longo período dos cenários 1 e 2 em relação ao cenário atual.

Tabela 28: Informações dos cenários ambientais sobre a produção média específica de SST, alterações nas áreas por uso e ocupação do solo e variações na produção específica de SST e na vazão de longo período da bacia

Ano	Aflo		Aagro		Aurb		YSST médio		Qlp	ΔYSST	ΔQlp	Perda de solo(EA 6)
	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(Kg/ha.ano)	(l/s.km²)	(%)	(%)	Ton/ano	
Cenário inicial - condições atuais												
2006 - 2007	56,5	46.665	43,3	35.776	0,09	73	193,9	27,5	0	0		200.123
Cenário 1: aumento de 20% de florestas												
2030	76,55	63.169	23,36	19.271	0,09	73	122,3	24,3	-36,9	-4,30		116.172
Cenário 2: aumento de 20% de áreas agropecuárias												
2030	63,31	30.197	36,60	52.243	0,09	73	318,9	26,8	39,2	-2,54		281.394

A perda de solo média estimada para a estação de amostragem mais a jusante da bacia foi de 200.123 ton/ano para o cenário atual, 116.172 ton/ano para o cenário 1 e 281.394 ton/ano, para o cenário 2.

Com os valores médios de produção de SST são aplicadas metodologias de PSA, considerando a simulação sobre o cenário atual e o cenário 1. Ou seja, é considerado somente, para efeito de cálculo o percentual de aumento de florestas e a variação de produção de SST entre os cenários citados. Não é considerado o uso e ocupação já existente.

Pela tabela 29 observa-se o P.A.E. em função do P.A.S. para as metodologias discutidas.

O P.A.E estimado com a metodologia do Produtor de Água da ANA (CHAVES et al. 2004) é de 36,9%, e o valor a ser pago do PSA, expresso em Valor de Pagamento Incentivado (VPI), é de 50 R\$/ha/ano. Refletindo assim um valor arrecadado pela bacia de 825.195 R\$/ano.

Ao aplicar a metodologia de valoração de PSA do produtor de Água do PCJ (INSTITUTO DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL, 2009) sobre o mesmo valor de P.A.E de 36,9 % tem-se um VPI de 25 R\$/ha/ano e um valor total para bacia de 412.598 R\$/ano.

A metodologia de cálculo do ProdutorES de Água (SILVA et al.2008), no entanto não utiliza o P.A.E. Portanto são propostas três simulações para três condições com combinações diferentes dos fatores Z e Kt, sendo que para estas condições as áreas com aumento localizam – se em faixas ao longo de corpos hídricos com 100 metros de largura para ambas as margens.

Para a condição 1, o valor a ser pago do PSA expresso em Vsrh é de 78 R\$/ha/ano, gerando uma receita para a bacia de 1.288.022 R\$/ano.

Para a condição 2 o Vsrh para esta simulação é de 180 R\$/ha/ano e a receita gerada na bacia é de 2.973.582 R\$/ano.

Por fim a condição 3, O Vsrh estimado para esta simulação é de 328 R\$/ha/ano com uma receita total na bacia de 5.415.417 R\$/ano.

Tabela 29: Aplicação de metodologias de PSA sobre a mudança de uso do solo do cenário atual para o cenário 1, considerando o P.A.E calculado em função do P.A.S.

Metodologias de PSA	Metodologias de Calculo		Total arrecadado na bacia
	P.A.E (%)	V.P.I (R\$/ha/ano)	(R\$/ano)
Produtor de Água - ANA	36,9	50	825.195
Produtor de Água – PCJ (novos projetos)	36,9	25	412.598
ProdutorES de água	Z	Kt	Vsrh ^a (R\$/ha/ano)
Condição 1	0,25	0,27	78
Condição 2	0,15	0,55	180
Condição 3	0,01	0,86	328

^a Vsrh calculado para O VRTE de 2009 de 1,9270, fonte: SEFAZ (2009).

A tabela 30 mostra o cálculo do P.A.E obtidos para os programas da ANA e do PCJ em função dos valores de Z admitidos para os cenários. Observa-se que os V.P.Is estimados são de 100 R\$/ha/ano (ANA) e 75 R\$/ha/ano (PCJ), o que equivale um total arrecadado para área de estudo de R\$ 1.650.390,00 e R\$ 1.237.793,00 para os programas da ANA e do PCJ respectivamente. A diferença arrecada entre os dois programas é de R\$412.597,00.

Tabela 30: Aplicação de metodologias de PSA sobre a mudança de uso do solo do cenário atual para o cenário 1, considerando a mudança nos valores de Z.

Metodologias de PSA	PAE (%)*	V.P.I (R\$/ha/ano)	Total arrecadado na bacia (R\$/ano)
ANA	96	100	R\$ 1.650.390,00
Produtor de Água - PCJ	80	75	R\$ 1.237.793,00

PAE (%)* determinado com valores de Z.

6. DISCUSSÕES

Neste item são discutidos os seguintes aspectos: comportamento das cargas de SST na bacia, regionalização hidrológica quali-quantitativa, a aplicação dos cenários propostos, as metodologias de PSA aplicadas, entre outras análises.

6.1. Comportamento do transporte de sedimentos em rios e canais

Os altos valores de carga totais e de produção específica de SST encontrados em condições de alta umidade antecedente podem ser explicados pelos processos que governam a erosão hídrica do solo e seu conseqüente transporte e sedimentação aos rios.

Segundo Meirrt (2003) o desprendimento de sedimentos do solo se inicia com impacto de gotas de chuva, com posterior transporte destas partículas, pelo escoamento superficial formado e a sedimentação nos rios.

Segundo Silva (2004) 58,4% da área do Brasil apresenta índice de erosividade – capacidade das chuvas de causar a erosão do solo – muito forte sendo que 80% da variação de perda de solo é causada pela erosão da precipitação (Wischmeier e Smith, 1978).

Segundo Wolman (1975) a intensidade de chuva é fortemente correlacionada com a erosão, além disso, a produção de sedimentos de um único evento de chuva pode equivaler, em alguns casos, a produção anual de sedimentos.

Schreiber (2000) realizou um estudo da dinâmica de cargas difusas em bacias a montante do Mississippi – EUA com áreas de drenagem variando de 2 a 9 ha. Este encontrou valores de carga total de sedimentos provocados pelas maiores precipitações de cada ano de estudo de: 1849, 3402, e 2883 kg/ha, respectivamente 13, 40, e 28% das cargas totais. Neste estudo os maiores valores de produção específica de sedimentos suspensos foram de 19.273

Kg/ha.ano e 11.073 Kg/ha.ano para condições de precipitação anual de, respectivamente 1431 e 1100 mm.

Ainda segundo Seeger et al. (2004) as condições antecedentes de uma bacia, tais como, umidade do solo ou índice de precipitação antecedente, tem uma importante influência na produção de sedimentos suspensos.

Para condições sazonais máximas de umidade ($T = 16,4^{\circ}\text{C}$, IPA_7 de 62,6 mm e Rad de 26 Wat/Km^2) Mendiondo (2009) encontrou valores de carga totais de SST de $4.928,4\text{ ton.dia}^{-1}$, em condições sazonais mais secas ($T = 18,6^{\circ}\text{C}$, IPA_7 de 9,7 mm e Rad de 101 Wat/Km^2) encontrou valor de carga total de SST de $76,23\text{ ton.dia}^{-1}$.

Em trabalho recente Bottino (2008) encontrou as maiores concentrações de SST, para o Rio Canha em períodos chuvosos, resultado também encontrado por Mocellin (2006) no Rio Jucupiranguinha, fato este atribuído à lixiviação dos solos. Ambos os rios situavam-se na região do Baixo Ribeira do Iguape, SP.

Em um estudo realizado na Bacia de Água Fria no Município de Palmas, no estado do Tocantins, os maiores valores de concentração de Sólidos Totais medidos em diversas estações de amostragem para varias sub-bacias ocorreram nos períodos de chuva (SILVA et al. 2005).

Porem o processo de erosão e transporte de sedimentos, com consequente aporte de cargas difusas aos corpos hídricos não depende somente das precipitações, fato este que pode explicar altas cargas totais encontrados em índices de precipitação relativamente baixos, além das cargas encontradas em condições mais secas.

Por ser uma bacia com porcentagens de usos do solo agrícolas, a irrigação destas áreas pode provocar o escoamento superficial e o transporte destas cargas ao rio.

Segundo estudo da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2003) nos dias sem chuva as cargas afluentes aos rios são oriundas do escoamento de base (lençol

freático) que alimenta permanentemente o corpo d'água, acrescida de uma parcela devida ao manejo da água na bacia, como lançamento de esgotos domésticos, lavagem de superfícies entre outros.

Os balanços de massas negativos de cargas totais encontrados nos trechos em análise podem indicar deposição das cargas na calha ao longo do rio. Fato este também evidenciado em estudo de Silva et al. (2005).

Segundo Gao et al. (2007) os processos de erosão tendem a ocorrer mais em áreas de drenagem localizadas a montante enquanto que os processos de deposição se concentram mais a jusante.

Na bacia sob análise observa-se que a partir do ponto de amostragem 1 todos os trechos apresentam deposição, até o ponto 2 estes valores estão na ordem de até 1000 ton/dia, porém nos trechos mais a jusante estes valores são maiores, na ordem de 20.000 ton/dia.

O tipo de solo também influencia na infiltração ou deposição, e no escoamento superficial ou transporte dos sedimentos aos rios. O volume e a taxa de escoamento em solos mais arenosos, por exemplo, geralmente são mais baixos do que as taxas de infiltração e deposição de partículas desprendidas. No entanto as taxas de desprendimento com as chuvas destes tipos de solos são maiores (LAFEN et al. 1997).

Observa – se no presente estudo que as áreas mais a jusante, normalmente com declividades menores apresentam predominância de solos tipo latossolos. Segundo Ferreira e Francisco (2009) essa classe de solos quando combinada ao relevo plano ou suave ondulado, apresenta baixos índices de erosão por manterem boa drenabilidade. Este fato pode explicar em parte os balanços de massa negativos de cargas nos trechos mais a jusante da bacia.

Ao compararmos os resultados médios de carga total e produção específica de SST estimados para a bacia do Benevente – respectivamente, 11.238 ton/dia e 193,9 Kg/ha.ano – encontramos os seguintes resultados, para produção de sedimentos: 6.120 Kg/ha.ano em rios

da região amazônica; 660 a 2050 Kg/ha.ano em rios do Paraguai (SILVA, 1999) e 8270 Kg/ha.ano na Bacia Água fria – Palmas – TO (SILVA et al. 2005).

Assumindo que para grandes áreas, a produção de sedimentos equivale a perda de solo na bacia (WOLMAN, 1975) encontra-se uma perda de solo média em termos de SST de 11.238 ton/dia durante o período de estudo.

6.2. Variação espacial e temporal da produção de cargas difusas por uso e ocupação do solo – coeficientes de exportação observados

Em relação aos coeficientes de exportação encontrados na bacia do Benevente observa-se que há certa correlação com os índices de precipitação antecedente empregados.

De um modo geral, para os usos do solo de floresta, agropecuária e urbana os valores variam respectivamente da seguinte forma: de - 41.758 a - 2.064 Kg/ha.ano; de 1.402 a 40.873 Kg/ha.ano e de 257.938 a 31.415.211 Kg/ha.ano.

Segundo SILVA et al. 2005 os altos valores de produção de SST encontrados em áreas urbanas podem ser explicados pela alta capacidade erosiva destas áreas devido à impermeabilização do solo. Além disso, a influência antrópica, sobretudo pela construção civil, permite que estas tenham um alto poder erosivo e de transporte de sedimentos.

Prandini e Nakagawa (1995) demonstraram que as concentrações de silte nos rios da região metropolitana de São Paulo são originários quase que exclusivamente de erosão de áreas urbanas, mesmo que mais da metade da bacia seja de uso e ocupação rural. Constataram que apenas 12% da área em estudo era urbana, e que esta produziu uma contribuição anual de três milhões de metros cúbicos de sedimentos nos rios.

No entanto os valores encontrados neste estudo apresentam magnitude e variação bem maiores do que resultados encontrados na literatura.

Mendiondo (2009) encontrou valores diferentes de produção específica de SST para usos de solo de floresta, agrícola e urbano. Para floresta a variação de produção foi de 2,8 a 61,5 Kg/ha.ano; para agrícola foi de 4,5 a 7147,4 Kg/ha.ano e para áreas urbanas foi de 194,3 a 6723,6 Kg/ha.ano. Estes valores foram encontrados para diversas condições sazonais e para bacias com áreas de drenagem totais de 125,9 Km² e 375 Km². Observou – se neste estudo que houve uma variação espacial das cargas específicas por fonte ao longo dos rios, fato este que não foi observado quando da aplicação da metodologia proposta.

Em outros estudos constata-se os seguintes valores de coeficientes de exportação: para áreas de floresta: 183 Kg/ha.ano (SCHREIBER et al. 2000); para áreas agrícolas: 504, 3342, 11073 e 19.273 Kg/ha.ano (SCHREIBER et al. 2000); e urbana, respectivamente: 4100 Kg/ha.ano (KINOSITA E YAMASAKI,1974), 300 a 600 Kg/ha.ano (MEDEREY, 1974), 3000 a 22.000 Kg/ha.ano Wolman (1975).

Esta diferença de valores principalmente os resultados das áreas urbanas e das áreas de floresta podem ser explicados pela limitação da metodologia empregada.

Esta metodologia supõe taxas de produção de erosão do solo para cargas difusas, espacialmente distribuídas na bacia, sem considerar os seguintes pontos: a distância do ponto de origem do sedimento até o local de observação, o tipo de solo para cada sub-bacia, a declividade, e a erosividade da chuva. Isto é, não considera as etapas de produção, transporte na bacia, incorporação no escoamento do canal, transporte no canal, processos intermediários, até o local de amostragem de água.

Uma das consequências desta limitação no presente estudo é que não é possível correlacionar e distinguir os resultados dos coeficientes de exportação de SST por fonte geradora em cada sub-bacia analisada, pois os coeficientes encontrados têm o mesmo valor na bacia toda para cada data de amostragem.

Para contornar este problema pesquisas futuras indicam a proposição de outras técnicas para se estimar a perda de solo, ou produção de cargas de SST por fonte geradora.

Para a Bacia do Benevente a equação universal de perda do solo (EUPS) pode ser uma solução. Determinando glebas de interesse para diversas sub-bacias, desde montante a jusante, para práticas de conservação e usos do solo em que se pretende distinguir a perda de solo.

Porém segundo Costa et al. (2009) a EUPS correlaciona a perda de solo com a capacidade erosiva de chuvas intensas, com a erodibilidade do solo com a declividade contínua da rampa com o grau de proteção da cobertura/uso da terra, exigindo o levantamento do perfil de solos, análise mineralógica e de infiltração para o cálculo da erodibilidade, o que torna a sua aplicação, geralmente inviável para áreas extensas.

Uma das soluções para este problema é a combinação da EUPS com SIG. Segundo trabalho Silva et al. (2005) a equação foi combinada com Sistemas de Informações Geográficas para a montagem de mapas de perda de solo para a Bacia Água fria – Palmas – TO, com área de drenagem de 167,6 Km². As informações obtidas destes mapas foram correlacionadas com dados de qualidade de água em pontos estratégicos localizados na bacia.

Neste estudo não houve a necessidade de montagem de glebas sendo que os fatores da EUPS foram obtidos teoricamente. Por exemplo, o fator topográfico L e S foi obtido por meio de modelos numéricos de terreno da área de estudo; o fator K de erodibilidade do solo foi obtido por meio de mapas de solo digitalizados e georreferenciados, com a erodibilidade de cada solo estimada por a metodologia de Mitchell e Bubenzer (1980) e atribuídas com a ferramenta IDRISI versão 2.0.

A aplicação teórica da EUPS pode ser utilizada também para escalas menores, Costa et al (2009) utilizaram a EUPS e ferramentas de SIG para a análise de vulnerabilidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Por exemplo, este estimou o fator R – mede a intensidade da energia cinética da chuva – por meio de valores mensais do índice de erosividade em

MJ.mm/ha.h.mês obtidos pela equação recomendada por Lombardi (CARVALHO, 1985) para as condições do estado do Rio de Janeiro.

Neste trabalho não foi possível distinguir e determinar os seguintes itens: as fontes de erosão na bacia, onde ocorre deposição, se na bacia ou no rio, e onde prevalece o transporte e a sedimentação no rio Benevente.

Assim uma ferramenta que pode auxiliar a elucidar estas questões é o modelo computacional WEPP. Este modelo pode estimar a perda total de solos distinguindo a contribuição da erosão da bacia e da erosão da calha do rio. Também pode estimar a deposição nos campos (bacia) e canais (rio) (LAFEN et al. 1997).

O modelo WEPP estima a perda de solo para diferentes usos e ocupação do solo, como por exemplo, áreas agrícolas, florestas e áreas urbanas. No entanto o modelo requer um extenso banco de dados com informações da área de estudo como condições climáticas, tipos de solos, cultivos e relevo (LAFEN et al. 1997).

6.3. Regionalização hidrológica de vazões e sua relação com cargas poluidoras de SST – cenário atual

Em relação aos resultados da regionalização hidrológica de vazões e das cargas de SST, observa-se a ocorrência das cargas em diversas faixas de permanência de vazões, para as condições atuais da bacia.

Os resultados das duas primeiras faixas são provavelmente governados por fontes de poluição com descargas constantes, tais como, sistemas de irrigação, estações de tratamento de água ou esgoto e o escoamento de base (UDEQ 2004).

A primeira faixa de permanências mostra um resultado esperado para baixas vazões em que a magnitude das cargas é menor. Já a segunda faixa apresenta um valor muito alto de carga para o valor máximo, se comparado com faixas de permanência com condições

hidrológicas mais úmidas. Isto pode ser devido ao despejo de cargas pontuais de efluentes domésticos, já que o ponto de amostragem deste valor se localiza cerca de 2 km a jusante da cidade de Alfredo Chaves.

A terceira faixa também apresenta um valor máximo de cargas discrepante de 825,14 Kg/ha.ano. Isto pode ter sido provocado pelas condições pluviométricas no dia da amostragem de água ou mesmo em dias anteriores. Para esta data observou – se uma precipitação média de pequena magnitude de 0,12 mm. Porém nos sete dias anteriores somaram – se uma precipitação média acumulada na ordem de 33,50 mm.

A quarta faixa de vazões apresenta um resultado inesperado de carga para condições úmidas. O valor de 9,20 Kg/ha.ano pode ser devido às baixas precipitações na data de coleta de água e em dias anteriores a esta. No dia da coleta a precipitação média na bacia foi de 3,53 mm e a precipitação média antecedente de 7 dias foi de 3,69 mm.

A quinta faixa por sua vez mostrou resultados de cargas condizentes com as condições hidrológicas vigentes. Observaram-se, neste período altos valores de precipitação média. No dia de amostragem de água para aqueles pontos observou-se uma precipitação média de 40,77 mm com um IPA₇ de 32,01 mm.

Nesta faixa pode ocorrer também a erosão da calha do rio, devido às altas vazões, e, por conseguinte a suspensão de sedimentos do leito e o aumento da concentração de SST (CLELAND, 2003).

Os altos valores de cargas encontrados em faixas de permanência com condições hidrológicas mais úmidas e, consequentemente com solos mais saturados, podem estar associados a maiores taxas de transporte de sedimentos que ocorrem nestas condições (CLELAND, 2003).

Segundo (CLELAND, 2003) os resultados encontrados em faixas de permanência de 10 a 70% refletem condições de alta umidade e contribuições associadas a erosão superficial e de voçorocas, processos de lavagem e potencialmente erosão de calha de rio.

A avaliação da produção de cargas em curvas de permanência, estabelecendo faixas de permanências, permite associar estas com potenciais áreas fontes de entrega de cargas. A tabela 31 mostra o potencial de produção de cargas por área fonte sob diversas faixas de vazões na curva de permanência (CLELAND, 2003). Por exemplo, as cargas oriundas de fontes pontuais têm um potencial médio e alto de ocorrer em condições de secas e baixas vazões respectivamente.

Tabela 31: Contribuição potencial de cargas por área fonte sob condições hidrológicas distintas

Contribuição das áreas fontes	Zonas da curva de permanência				
	Altas vazões	Condições úmidas	Vazões médias	Condições secas	Baixas vazões
Fontes pontuais				M	A
Sistemas de tratamento de água e esgotos			A	M	
Zonas Ripárias		A	A	A	
Tempestades em áreas impermeáveis		A	A	A	
Rede de drenagem de água e esgoto	A	A	A		
Tempestades em solos com pouca cobertura	A	A	M		
Erosão de calha	A	M			

Nota: potencial relativo das áreas fontes em contribuir com cargas sob diferentes condições hidrológicas A: Alta; M: Média; B: Baixa

Fonte: adaptado de (CLELAND, 2003).

6.3.1. Carga Total Máxima Diária Permitida (CTMD)

A curva de CMTD desenvolvida sobre o gráfico de regionalização, para o rio Benevente, mostra que todos os valores de carga específica observados, associados às

respectivas permanências, estão dentro do padrão de qualidade de água em relação aos SDT segundo a resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005).

O valor meta de concentração de SDT de 500 mg/l se mostrou pouco restritivo para o cenário atual, uma vez que somente os valores discrepantes de carga se encontram próximos de atingir a CMTD. Estes valores ocorreram na faixa de permanência de vazões de 40 a 60%, ou seja, condições úmidas e na faixa de 60 a 90% condições de baixas vazões provavelmente por descarga de fontes pontuais de poluição.

Uma das explicações é que segundo o Artº 10 da resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005) os parâmetros relacionados em cada uma das classes devem ser obedecidos nas condições de vazão de referência.

Em face dos resultados o estabelecimento de outros valores meta para a confecção de CMTD se torna interessante.

Uma das propostas seria a definição de concentração meta em função de resultados esperados quando da implementação de práticas agrícolas conservacionistas ou mudanças de cobertura do solo, proporcionados por programas de PSA na bacia, por exemplo.

6.4. Cenário ambiental 1 – Aumento de 20% das áreas de floresta

O aumento em 20% da cobertura florestal da bacia do Benevente para o cenário 1 em detrimento do cenário atual da bacia trouxe como, principal consequência o abaixamento da tendência média regional da produção de cargas específicas de SST para a bacia.

Observa-se também o deslocamento da curva de permanência para valores menores de vazões do cenário atual para o futuro, considerando a mesma permanência de vazões entre os cenários.

A diminuição regional das cargas específicas de SST pode ser explicada pela alteração do uso do solo agropecuário para o de floresta. Este tipo de cobertura do solo retarda a taxa de

escoamento superficial na bacia, aumenta a infiltração direta de água no solo, retém o solo mais firmemente no lugar resistindo aos deslizamentos e reduzindo os níveis de sedimentação nos rios, dentre outros (FALKENMARK et al., 1999).

Além disso, os coeficientes de exportação de origem florestal aplicados para a bacia apresentam valores menores de taxa de produção do que os de origem agropecuários, para qualquer condição sazonal (SCHREIBER et al., 2000; MENDIONDO, 2009).

Por outro lado a mudança de uso do solo também interfere no regime fluvial médio da bacia. A diminuição e o retardamento do escoamento superficial provocam uma diminuição na vazão média de longo período e, portanto nos valores adimensionais da curva de permanência regional para todas as probabilidades estimadas originalmente na curva de permanência rebaixando assim a curva de permanência do rio.

Isto ocorre porque o valor CN da cobertura do solo de floresta adotado é menor do que o CN para áreas agropecuárias. De acordo com o método número da curva proposto pelo SCS (Soil Conservation Service) quanto maior o valor de CN maior o escoamento superficial. E como a mudança de cenário envolveu um aumento das áreas de floresta, conseqüentemente houve uma diminuição na vazão escoada superficialmente na bacia.

Os baixos valores de CN utilizados neste trabalho são explicados pelo fato de utilizar a metodologia para valores médios anuais, ao contrário de utilizar para eventos de chuva isolados, como é proposta. No primeiro caso o efeito da evapotranspiração é mais evidente, pois não é durante uma tormenta, e, portanto faz com que os valores de CN's estimados sejam menores isto é, menor potencial de escoamento.

Observa-se pelos resultados de SDT que os valores encontrados para mudança de uso do solo provoca uma redução nas cargas específicas de SDT do cenário atual para o cenário 1.

Cleland (2003) cita a adoção de algumas práticas conservacionistas e mudanças de usos do solo para o controle da produção de cargas difusas com a curva de CTMD. Este por

exemplo, indica as seguintes soluções para valores que ultrapassam a curva de CTMD: para faixas de permanência de vazões úmidas ($10\% < P < 60\%$), adoção de zonas ripárias, cultivo conservacionista e zonas de contorno.

6.5. Cenário ambiental 2 – Aumento de 20% das áreas agropecuárias

O cenário 2 mostra um aumento na produção específica de SST provocado pela mudança de uso do solo. A retirada de 20% da cobertura de floresta para o aumento de 20% das áreas agropecuárias trouxe como uma das conseqüências, a perda de benefícios e proteção que a cobertura florestal proporciona aos corpos hídricos, já citados anteriormente.

Além disso, os coeficientes de exportação utilizados para o tipo de uso do solo agropecuários apresentam magnitudes maiores do que os utilizados para as áreas de floresta, o que pode ser percebido em outros trabalhos (MENDIONDO, 2009; SCHREIBER et al., 2000; MARQUES, 2004). Esta diferença eleva o valor total das cargas específicas de um cenário a outro.

Outro motivo para o aumento das cargas pode ter sido provocado pelo aumento da atividade e intensidade de trabalhos agrícolas, remoção do solo e uso de produtos agrícolas, como fertilizantes (MENDIONDO, 2009).

Costa et al (2009) afirmam que a agricultura é um dos principais fatores de degradação, devido ao manejo inadequado que expõe o solo à erosão hídrica afetando a sua estrutura e reduzindo a matéria orgânica. As pastagens por sua vez constituem outro fator de vulnerabilidade do solo a erosão, pois em manejos inadequados e em áreas inaptas são causas de compactação e perda de fertilidade do solo, resultando em processos erosivos, como ravinamento, erosão laminar e voçoramentos.

Segundo Marques (2004) solos com uso e ocupação agrícola e de pastagens são mais susceptíveis a erosão e perda de solos do que solos com cobertura florestal. Neste estudo para

a bacia do Atibaia, SP a perda de solo total de áreas agrícolas, com culturas anuais, e de pastagem foi de respectivamente: 176.475 ton/ano, 36.960 ton/ano. Enquanto que a perda de solo registrada em áreas florestadas foi de 2.544 ton/ano. Sendo que as áreas das culturas citadas da referida bacia são de: 26.825 ha, para lavoura, 103.718 ha para pastagens e 37.566 ha para florestas.

Alem disso a tecnologia de produção em uso, para a agricultura, provoca erosão do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Em relação ao comportamento proposto para os SDT observa-se o aumento da produção média deste parâmetro a valores que ultrapassam, em alguns casos, a CTMD estabelecida.

Isto indica que estes valores estão acima dos padrões estabelecidos de SDT para o enquadramento do rio como classe 2. Então conclui-se que a retirada de florestas pela provável não execução do programa produtorES de Água, pode deteriorar a qualidade de água do Rio Benevente.

A curva de permanência de vazões pouco se alterou com a mudança proposta pelo cenário. O pequeno aumento observado da curva pode ter sido influenciado pelos CN aplicados para este cenário. Sendo que os CN para as áreas agropecuária e florestal são de, respectivamente: 21,2 e 15,8.

Como houve um aumento da porcentagem de áreas agropecuárias em relação ao cenário atual, o CN da bacia aumenta, pois o CN do uso do solo agropecuário é maior, ou seja, maior é a vazão escoada.

6.6. Síntese dos cenários ambientais propostos e aplicação da metodologia do PSA

A aplicação das metodologias de PSA citadas para a área de estudo indicam uma diferença relativamente grande entre os valores monetários estimados para cada metodologia, quando é considerado como critério de cálculo do P.A.E, equivalente ao P.A.S.

Para a situação referida a comparação entre as metodologias aplicadas do ProdutorES de água com a do Produtor de Água da ANA, considerando que a área aumentada atende a condição 1 de cobertura do solo e declividade, mostra uma diferença do valor monetário arrecadado anualmente na área de R\$ 462.827,12 entre as metodologias. Para a condição 3 esta diferença aumenta para R\$ 4.590.222,45.

Já a comparação entre metodologia de pagamento do ProdutorES de água com a do Produtor de Água – PCJ mostra diferenças mais significativas. Para a condição 1 a diferença do valor arrecadado anualmente entre as duas metodologias é de R\$ 875.425,00 Para a condição 3 esta diferença é muito maior, de: R\$ R\$ 5.002.820,00.

Estas diferenças podem ser devidas às metodologias de cálculo de valoração do PSA de cada programa. Salienta – se que a metodologia do ProdutorES de Água não leva em conta o P.A.E como as demais.

Deve – se salientar que não foi feito a caracterização da área de estudo em relação às declividades, e supõe - se que a porcentagem das áreas aumentadas de cobertura florestal atendem as diretrizes propostas no PSA do ProdutorES de Água.

Porém a metodologia aplicada para os cenários ambientais envolve a aplicação de coeficientes de exportação na bacia sem distinguir declividades ou localidades específicas na bacia, e as agregações feitas para os usos do solo consideradas, o que pode ter subestimando os resultados de P. A. E. em comparação com os resultados auferidos dos ProdutorES de Água.

Há que se considerar que o cálculo do P.A.E em função do P.A.S é calculado em escala de bacia e que a metodologia de valoração dos produtorES de Água, originalmente calculada na escala de propriedade, foi calculada em escala de bacia, portanto essa consideração pode ter superestimado os resultados.

Ao compararmos as metodologias de valoração dos incentivos financeiros aos produtores participantes dos programas do ProdutorES de Água e do Produtor de Água da ANA, temos os seguintes quadros:

A metodologia de valoração de PSA do ProdutorES de água tem como variável econômica, 200.VRTE R\$/ha/ano, relativo ao custo de oportunidade do Estado do Espírito Santo (SILVA et al. 2008). Dado que um VRTE equivale ao Valor de Referência do Tesouro Estadual de 1,9270 para o ano de 2009 (SEFAZ, 2009). Ou seja, este valor é de 385,4 R\$/ha/ano.

O programa do Produtor de Água da ANA tem como critério de valoração o custo de oportunidade da implantação do plantio direto. Esta prática reduz em cerca de 90% da erosão (e da sedimentação), relativamente ao sistema convencional (DERPSCH, 2002), com um custo de implantação médio de R\$ 100/ha (MELO FILHO; MENDES, 1999).

Ou seja, o custo de oportunidade utilizado pelo programa do ProdutorES de Água é muito maior do que o utilizado pelo programa da ANA, sem considerar os outros parâmetros envolvidos na valoração.

Ao considerar os outros parâmetros envolvidos para a valoração do V.P.I do produtorES de água, apenas para a pior situação de ($Z = 0,25$ e $Kt = 0,27$) observa – se um valor menor (78 R\$/ha/ano) do que o V.P.I pago pelo programa da ANA em condição ótima de valoração, ou seja para um P.A.E entre 75 a 100% a um custo de 100 R\$/ha.

Ao analisar os resultados de P.A.E e de valoração das metodologias de PSA utilizando as mudanças do parâmetro Z para os cenários e considerações almejadas, os resultados são um pouco diferentes.

Observa-se para o programa da ANA um P.A.E de 96% entre os cenários atual e 1, com valores de Z aplicados de respectivamente: 0,25 e 0,01 e um V.P.I de 100 R\$/ha com um valor arrecadado anual na bacia de R\$ 1.650.390,00.

Para o programa do PCJ para as mesmas condições citadas, o P.A.E. é um pouco menor de 80%, com um V.P.I de 75 R\$/ha/ano e com uma quantia arrecadada para a bacia de R\$ 1.237.793,00.

Estes valores indicam uma diferença menor ao comparar com os resultados auferidos para as simulações feitas do ProdutorES de água.

O valor de V.P.I do programa da ANA é 22 R\$/ha/ano maior que o do ProdutorES de Água (condição 1), assim como o total arrecadado de 362.368,00 R\$/ano, maior.

Os valores obtidos para o programa da ANA somente são maiores que os obtidos do produtorES de água para a condição 1, em relação às outras condições, os valores arrecadados do ProdutorES de Água são maiores.

Porém o mesmo não é observado ao comparar a metodologia de cálculo do programa do PCJ com o do ProdutorES de Água, onde todos os valores são menores, do primeiro em relação ao segundo.

Nesta os valores de V.P.I e total arrecadado são similares somente ao comparar com a simulação para a condição 1 do ProdutorES de água, onde observa-se uma diferença negativa de R\$ 50.229,00 por ano arrecadado para a bacia e uma diferença negativa de V.P.I de 3,00 R\$/ha/ano.

A comparação dos resultados de valoração das metodologias de cálculo dos programas da ANA e do PCJ, utilizando o P.A.E* em função das mudanças de Z, com os resultados

obtidos destas metodologias utilizando o P.A.S para o cálculo de P.A.E. também foi discrepante.

Por exemplo, para a metodologia da ANA, o cálculo do P.A.E* é de 96% com um V.P.I de 100 R\$/ha.ano e um valor arrecadado para a bacia de 1.650.390,00 R\$ /ano. No caso do cálculo do P.A.E em função do P.A.S os valores são menores, com um P.A.E de 36,6 %, um V.P.I de 50 R\$/ha.ano e um valor arrecadado total de 825.195,00 R\$/ano.

A explicação desta diferença pode residir no fato de que a metodologia de valoração de PSA da ANA, como já dito, é originalmente calculada em nível de propriedade e não de bacia o que pode ter superestimado os valores.

Chaves et al. (2004a) aplicou a metodologia do programa do Produtor de Água da ANA em uma bacia rural localizada no distrito federal com uma área total de 18.884 ha com usos predominantes, da agricultura convencional (grãos), pastagens degradadas, agricultura irrigada, horticultura e fruticultura (pomares), bem como áreas de vegetação nativa (cerrado, campo e matas ciliares). A área média das propriedades na bacia é de 130 ha. Para cada uso do solo foi escolhida uma prática conservacionista a ser implantada e o resultado foi de um o abatimento médio da sedimentação e erosão na bacia seria de 73%, com um V.P.I médio de 89 R\$/ha.

Neste estudo o valor médio a ser pago a cada produtor participante seria de R\$ 11,6 mil. Em termos globais, o pagamento incentivado somaria R\$ 1,19 milhão, a serem pagos durante o horizonte de implantação do projeto (CHAVES et al., 2004a).

Em relação à taxa de perda de solos, estudos recentes no Brasil e no mundo mostram diversas magnitudes de taxas de perda de solo para diferentes regiões e condições. No presente estudo a taxa média de perda de solo na condição atual da bacia é estimada em 2,42 ton/ha/ano.

Cita – se como exemplo um estudo realizado por Ferreira e Francisco (2009) onde foram avaliados os processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu, situada no Estado do Rio de Janeiro. O Rio Caceribu é um dos mais importantes, abrangendo uma área continental de aproximadamente 4600 km² e 400 km² de espelho d água. Foi utilizada a equação da EUPS associado com SIG e encontrou – se o resultado de 5,0 ton/ha/ano produzido em maior parte de bacia. O valor médio encontrado na bacia foi de 57,9 mil toneladas por ano.

7. CONCLUSÕES

Neste item são descritos as conclusões levantadas neste estudo. Primeiramente são apresentadas, as conclusões obtidas em relação ao objetivo geral e em seguida aos objetivos específicos.

7.1. Regionalização hidrológica de vazões e cargas de SST para os sistemas de PSA e o Programa ProdutorES de água

A Regionalização hidrológica de vazões e de cargas de SST na área de estudo, e aplicação das metodologias de sistemas de PSA, foram válidas para auxiliar o programa do ProdutorES de Água, com informações relevantes, tais como: a produção específica regional de SST, seu comportamento regional na bacia sob diferentes condições hidrológicas e a taxa média de perda de solos na bacia.

Observou – se que os dados de concentração de SST e os dados de vazões e precipitações levantados ao longo do Rio Benevente e na bacia são suficientes para aplicar a metodologia de regionalização hidrológica de vazões e de qualidade de água em termos de SST e para a análise das metodologias de PSA. Observa – se que a curva de permanência adotada para a bacia apresenta uma Qlp de 5.668 l/s e os valores de concentração de SST variam de 1,0 a 109,4 mg/l. As vazões regionalizadas por sua vez variaram de 3.224 a 46.758 l/s.

Quanto às condições sazonais o IPA₇ foi obtido das precipitações médias diárias, durante o período de estudo, das estações pluviométricas da bacia do Benevente e mostrou boa correlação com as cargas específicas observadas. A radiação solar média e a Temperatura média das estações climáticas obtidas em períodos diferentes do período de estudo, no entanto

não se mostraram tão adequadas para a análise dos comportamentos sazonais das cargas difusas.

Constatou – se a necessidade de um maior número de dados de concentração de SST e de vazões, uma maior periodicidade nas amostragens e um maior número de estações de amostragens de água ao longo do Rio, para melhor avaliar o comportamento de transporte e sedimentação de SST na bacia.

7.2. Diagnóstico inicial da produção de cargas poluidoras em termos de SST para a bacia do Benevente;

Foi possível diagnosticar as cargas poluidoras de SST da bacia sob três aspectos: i) Comportamento temporal e espacial das cargas totais de SST na bacia, ii) Produção específica regionalizada e iii) Variação espacial e temporal da produção de cargas difusas por uso e ocupação do solo – coeficientes de exportação observados e teóricos.

- Comportamento temporal e espacial das cargas totais de SST na bacia

Observou - se boa correlação com índices de umidade antecedente de sete dias. A variação espacial de cargas para os trechos de análise mostra uma variabilidade maior dos resultados ao longo do Rio, com alguns balanços de massa negativos entre os trechos sob análise, o que pode indicar deposição de sedimentos ao longo do rio, ou sumidouros de cargas na bacia, por exemplo, para solos com maior drenabilidade, em declives mais suaves.

- Produção específica regionalizada

A produção específica regionalizada mostra também um comportamento cíclico sazonal com boa correlação com IPA₇. A variação espacial desta produção indica que a bacia possui três comportamentos: uma variação de limite mínimo regional (moderadamente

crescente) de produção específica de, 5 a 20 Kg/ha.ano (para áreas menores que 400 e 600 Km²); um aumento regional da produção específica de 60 a 825 Kg/ha.ano e um limite máximo regional de produção específica variando de 731 a 825 Kg/ha.ano.

- Variação espacial e temporal da produção de cargas difusas por uso e ocupação do solo – coeficientes de exportação observados e teóricos.

Os resultados estimados da produção específica de SST por fonte geradora mostram que a metodologia empregada para o cálculo não é satisfatória, quando comparados os resultados de coeficientes de exportação obtidos em outros estudos.

A escolha dos coeficientes de exportação teóricos do estudo de Mendiondo (2009), selecionados por critérios sazonais e aplicados na metodologia sugerida de estimativa de cargas difusas, mostra resultados muito próximos dos observados para as cargas específicas de SST. Então foi possível montar os cenários ambientais sugeridos com boa aproximação para intervalos de longo período.

No entanto conclui – se que há necessidade de outros estudos para a determinação da produção de cargas específicas de SST por fonte geradora para a bacia do Benevente.

7.3. Aplicação da regionalização hidrológica de vazões e sua relação com cargas poluidoras de SST no estudo de caso;

A regionalização hidrológica de vazões e das cargas de SST por meio das curvas de permanência quali-quantitativas, para a bacia do Benevente mostrou – se uma metodologia adequada para estudos em áreas com poucas informações hidrológicas e de qualidade de água. Por meio desta ferramenta foi possível avaliar o comportamento das cargas específicas de SST em função das condições hidrológicas vigentes nas datas de amostragem. Ou seja, foi possível distinguir em geral que as cargas específicas maiores de SST foram encontradas em

permanências menores enquanto que as cargas específicas menores foram encontradas em permanências maiores.

Com a curva foi possível apontar resultados de cargas de SST discrepantes com a permanência vigente, indicando que para estas situações a poluição no Rio Benevente não está apenas associada a fontes difusas, mas também a fontes pontuais não levantadas neste trabalho.

As curvas de permanência quali-quantitativas se mostraram adequadas para a determinação da curva de Carga Total Máxima Diária permitida (CTMD) e dos cenários ambientais.

7.4. Carga Total Máxima Diária Permitida (CTMD) para o rio Benevente em função de seu respectivo enquadramento e permanência;

Foi possível estabelecer a curva de CTMD em função do valor máximo permitido de SDT segundo o enquadramento do Rio Benevente para classe 2. Este valor foi de 500 mg.l^{-1} de SDT, observa-se que é o mesmo valor para classe 1 da resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005).

Conclui-se que a curva de CTMD não se mostrou muito restritiva para os valores de carga específica de SDT observados. Somente em algumas permanências os valores de cargas aproximaram-se do máximo permitido de carga.

7.5. Cenários Ambientais

A metodologia proposta para os cenários ambientais utilizando as curvas de permanência quali-quantitativas de SST foi válida para estimar a redução e o aumento das

cargas específicas regionais de SST em relação ao cenário atual da bacia do Benevente, sob diferentes condições hidrológicas.

A aplicação da curva de CTMD nos cenários indicou que um aumento nas cargas específicas de SST ultrapassa, em alguns casos, os valores da curva CTMD, em função do enquadramento do rio. Este tipo de informação pode ser útil no estabelecimento de metas e programas para reduzir a poluição difusa, por exemplo, como o programa Produtor de Água.

A metodologia do Número da curva CN do Soil Conservation Service do EUA, com algumas adaptações, se mostrou adequada para a determinação da mudança do regime fluvial médio do Rio Benevente em face da mudança dos usos do solo estabelecidos nos cenários propostos.

Os resultados médios de SST da Bacia obtidos nos cenários foram adequados para estimar o Percentual de Abatimento de Sedimentação (P.A.S) e consequentemente o P.A.E. entre os cenários atual e 1 (aumento de 20% de florestas). Com a aplicação das metodologias de cálculo de P.A.E dos programas de PSA, do Produtor de Água da ANA e do Produtor de Água do PCJ.

Em escala de bacia concluiu – se que o montante arrecadado quando da aplicação da metodologia de valoração de PSA do programa da ANA, em função do P.A.S foi de 825.195,00 R\$/ano. Menor que os valores estimados pela metodologia de cálculo proposta do ProdutorES de Água, de 1.288.022,00 R\$/ano, com $Z = 0,25$ e $Kt = 0,27$.

Apesar dos programas de PSA citados apresentarem metodologias diferentes para a valoração do pagamento de PSA conclui – se que há necessidade de avaliar estas metodologias comparando com o real abatimento de sedimentação proporcionado no rio. Ao aplicar a metodologia do programa do Produtor de Água da ANA utilizando valores de Z em um caso, e valores de P.A.S em outro, a diferença foi de 50% no valor arrecado na bacia, sendo maior para o primeiro caso.

Sobre a perda de solo no cenário atual da bacia a metodologia se mostrou válida ao estimar, no ponto mais a jusante da bacia, uma taxa de perda de solo de: 200.123 ton/ano.

8. RECOMENDAÇÕES

Nesta etapa apresentam – se as recomendações propostas, como encaminhamento de futuras linhas de pesquisa para a região de estudo.

- Estabelecer um programa de monitoramento ao longo do Rio Benevente, de parâmetros de qualidade de água, como por exemplo, DBO, DQO, série de nitrogênio, fósforo, turbidez e série de sólidos.
- A fim de verificar a perda de solo por fonte geradora, recomenda-se a aplicação da EUPS, com a instalação de glebas sob diferentes condições de declividade, cobertura do solo e pluviosidade em diferentes localidades da bacia.
- A confecção de mapas de potencial de perda de solos, para a bacia do Benevente construídos com EUPS associadas à SIGs, de acordo com a metodologia proposta por Silva et al. (2005).
- Recomenda-se a aplicação do modelo de predição de erosão hídrica WEPP na bacia do Rio Benevente, pois este estima com boa precisão, a produção, o transporte e deposição de sedimentos e distingue as localidades de suas ocorrências, tanto na bacia como no rio.
- Aplicação das curvas de permanência quali – quantitativas, para o diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e a definição de metas de racionalização de uso,

para o aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos, conforme o plano de bacia;

- Em conformidade com o Plano de Bacia, recomenda-se o estudo das demandas hídricas da região;
- É recomendada a utilização da metodologia das curvas de permanência qualitativas e das curvas de CTMD, para o enquadramento do Rio Benevente, e a proposição de metas, para diversos parâmetros de qualidade de água, como DBO, PO₄, SST, SDT, entre outros, conforme planos de bacia.
- Estabelecer a valorização dos serviços ambientais prestados pela bacia e dos programas de PSA, como parte integrante das diretrizes propostas no plano de bacia para proteção das áreas marginais dos corpos d'água a serem implementadas pelas Agências de Bacias Hidrográficas (ABH).
- Outra forma de valorizar os serviços ambientais, além da continuação do programa produtorES de água na bacia, seria a implementação de outros sistemas de PSA, como por exemplo, a cobrança de impostos ou taxas, e a cobrança pelo uso da água,
- Recomenda – se um estudo da água Virtual da Região e da Pegada Hídrica em função da aplicação de diferentes programas de PSA e do ProdutorES de Água na bacia.

- A fim de verificar alterações no regime hídrico na bacia recomenda-se melhorar e aprofundar os estudos sobre a metodologia empregada do método do número da curva CN, em vista das limitações verificadas neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS – ANA (2008). *Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul, trecho leste*. Sinopse de Informações do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Sergipe. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/doc/BHASLeste/index.htm>>. Acessado em 10 de outubro de 2008. n^o

AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS – ANA (2009). *Estações pluviométricas e fluviométricas*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acessado em 10 de março de 2009.

ALEXANDER, R. B., ELLIOTT, A. H., SHANKAR, U., MCBRIDE, G. B. (2002). *Estimating the source and transport of nutrients in the Waikato River Basin, New Zealand*. Water Resources Research 38, 1268e1290.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed, Washington, D. C.

ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M. (1996). *Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds*. Journal of Hydrology 176, 57 e 77.

BEASLEY, D. B.; HUGGINS, L. F.; MONKE, E. J. (1980). *ANSWERS: A model for watershed planning*. Transaction of the ASAE 23 (4), 938 e 944.

- BEAULAC, M. N.; RECKHOW, K.H. (1982). *An examination of landuse-nutrient export relationships*. Water Resources Bulletin 18, 1013e1024.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, A. (1999). *Conservação do solo*. 3. ed. São Paulo: Icone, 1999. 355 p.
- BOTTINO, F. (2008). *Estudo experimental e matemático de qualidade da água com base na ecohidrologia fluvial de pequenas bacias: Estudo de caso do rio Canha, Baixo Ribeira do Iguape*. 2008. 208 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BRASIL, (2005). Resolução CONAMA 375/05. *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, e dá outras providências*. Diário Oficial da república federativa do Brasil, Brasil.
- CARVALHO, J. W. (1985). *Modelos de planejamento agrícola conservacionista com suporte de geoprocessamento*. Estudo de caso, municípios de Paty de Alferes e Miguel Pereira – RJ. 1985 – 104 f. Dissertação (mestrado em geoprocessamento) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1985.
- CECÍLIO, R. A. (2007). *Estimativa da erosão*. Material didático.
- CEPEMAR (1999). *Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Aproveitamento hidrelétrico - AHE Benevente*. Vitória. Mar. 1999.

CETESB. (1987). *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. Coord. Edmundo Garcia Agudo (et al.). São Paulo. 150 p.

CHAVES, H. M. L.; BRAGA, J. R. B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. (2004). *Quantificação dos benefícios e compensações do “programa do produtor de água” (ANA): i. Teoria*. Revista Bras. de Recursos Hídricos, Vol. 9(3):5-14, 2004.

CHAVES, H. M. L.; BRAGA, J. R. B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. (2004). *Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): II. Aplicação*. Revista Bras. de Recursos Hídricos, vol 9(3):15-21, 2005.

CLELAND, B. R. (2002). *TMDL Development From the “Bottom Up” – Part II: Using Duration Curves to Connect the Pieces*. National TMDL Science and Policy 2002 -- WEF Specialty Conference. Phoenix, AZ.

CLELAND, B. R. (2003). *TMDL Development From the “Bottom Up” -- Part III: Duration Curves and Wet-Weather Assessments*. National TMDL Science and Policy 2003 -- WEF Specialty Conference. Chicago, IL.

COHN, T.; CAULDER, D. L.; GILROY, E. J.; ZYNJUK, L. D.; SUMMERS, R. M.; (1992). *The Validity of a Simple Statistical Model for Estimating Fluvial Constituent Loads: An Empirical Study Involving Nutrient Loads Entering Chesapeake Bay*. Water Resources Research 28 (9), 2353e2364.

- COMMISSION FOR ENVIRONMENTAL COOPERATION. (2003). *Background Paper: Market-Based Mechanisms for Carbon Sequestration, Energy Efficiency and Renewable Energy in North America—What Are the Options?* Montreal: CEC, December.
- COSTA, T. C. C.; FIDALGO, E. C. C.; NAIME, U. J.; GUIMARAES, S. P.; ZARONI, M. J.; UZEDA, M. C. (2009). *Vulnerabilidade de sub-bacias hidrográficas por meio da equação universal de perda de solo e da integração de parâmetros morfométricos, topográficos, hidrográficos e de uso/cobertura da terra do Estado do Rio de Janeiro, Brasil*. Revista ambiente e água. An Interdisciplinary Journal of applied Science: V. 4, n1, 2009.
- CUDDY, S. M.; LETCHER, R.; CROKE, B.; SAGUANTHAM, P.; SAIFUK, K. (2005). *IWRAM DSS da modelling approach for integrated water resources assessment and management in northern Thailand*. In: Kachitvichyanukul,
- De MARIA, I. C.; LOMBARDI NETO, F. (1997). *Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho*. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, V 21(2):263-270, 1997.
- DERPSCH, R. (2002). *Sustainable agriculture, in Saturnino & Landers (eds.): The environment and zero tillage*. APDC-FAO, Brasília, P. 31-53, 2002.
- DONIGIAN, A. S.; BICKNELL, B. R.; IMHOFF, J. C.; (1995). *Hydrological simulation programdFortran (HSPF)*. In: Singh, V.P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology. WRP, Highlands Ranch, CO, USA, pp. 395e 442.

EMBRAPA (1999). *Centro Nacional de Pesquisa de Solos* (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 1999. 412 p.

ERSKINE, W. D.; MAHMOUDZADEH, A.; MYERS, C. (2002). *Land use effects on sediment yields and soil loss rates in small basins of Triassic sandstone near Sydney*. NSW, Austrália. *Catena* 49, 271–287.

ESPÍRITO SANTO (1998). *Lei nº 5818 de 29 de dezembro de 1998. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos*. Diário Oficial do Estado do Espírito Santo. Vitória, ES 30 de dezembro de 1998.

ESPÍRITO SANTO (2008a). *Lei nº 8995 de 22 de setembro de 2008 instituiu o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais*. Diário Oficial do Estado Santo, Vitória, ES 23 de set. de 2008.

ESPÍRITO SANTO (2008b). *Decreto Nº 2168-R de 09 de dezembro de 2008 aprova o regulamento da Lei 8995 e apresenta o Regulamento do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais – PSA*. Diário Oficial do Estado Santo, Vitória, ES 10 de dez. de 2008.

FAO. (2000). *Land water linkages in rural watersheds electronic workshop – synthesis*.

Report p 16. Disponível em:

<<http://www.fao.org/ag/agl/watershed/watershed/papers/paperewk/pewrken/synthesis.df>> . Acessado em 4 de maio de 2008.

- FALKENMARK, M.; ANDERSSON, L.; CASTENSSON, R.; SUNDBLAD, K.; BATCHELOR, C.; GARDINER, J.; LYULE, C.; PETERS, N.; PETTERSEN, B.; QUINN, P.; ROCKSTROM, J.; YAPIJAKIS, C. (1999). *Water: A Reflection of Land Use*. Swedish Natural Science Research Council. Stockholm, Sweden.
- FERREIRA, A. S.; FRANSISCO, N. C. (2009). *Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para avaliação de processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu RJ*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3777-3784.
- GARDE, R. J.; RANGA RAJU, K. G. (1985). *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. Wiley Eastern Limited, New Delhi, India.
- GRIEG-GRAN, M.; BANN, C. (2003). *A closer look at payments and markets for environmental services*. in Gutman, P. (editor): From goodwill to payments of environmental services, a survey of financing options for sustainable natural resource management in developing countries, WWF MPO.
- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (1999). *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- HILU, A. (2003). *Erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Marumbi no Estado do Paraná, Curitiba*. 115 p. Dissertação (Mestrado). Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. 2003.

HODGE, T. A.; ARMSTRONG, L. J. (1993). *Use of a Multiple Linear Regression Model to Estimate Stormwater Pollutant Loading*. In: James, W. (Ed.), *New Techniques for Modelling the Management of Stormwater Quality Impacts*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 201e214.

HOWARTH, R.; ANDERSON, D.; CLOERN, J.; ELFRING, C.; HOPKINSON, C.; LAPOINTE, B.; MALONE, T.; MARCUS, N.; MCGLATHERY, K.; SHARPLEY, A.; WALKER, D. (2000). *Nutrient pollution of coastal rivers, bays, and seas*. *Issues Ecology* 7, 1e16.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. (2009). *Cidades – Município de Alfredo Chaves*. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topowindow.wtm?1> > . Acessado em 4 de julho de 2009.

ICWE. (1992). *The Dublin Statement and report of the conference*. International Conference on Water and the Environment: Development Issues.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. (2009). *Boletim agroclimático de Alfredo Chaves-Es*. Disponível em: http://cecam.incaper.es.gov.br/index.php?a=alfredochaves_bol. Acessado em: 01 de agosto de 2009.

INSTITUTO DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL. (2009). *Pagamento de serviços ambientais a proprietários rurais*. Edital nº1/2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. (1986). *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo: Bacia do Peixe-Paranapanema*. 6 vol. São Paulo

JOHNES, P. J. (1996). *Evaluation and management of the impact of land use change to the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modelling approach*. Journal of Hydrology 183, 323 e 349.

KIM, S. H.; DIXON, J. A. (1990). *Economic valuation techniques for the environment: a case study workbook*. Baltimore: The Johns Hopkins University, 1990. 203 p.

KINOSITA, T.; YAMAZAKI, Y. (1974) *Increase of sediment transport due to large – scale urbanization. Effects of man on the interface of hydrological cycle with the physical environment*, pp. 127-129: IAHS Publ. No. 113.

KNISEL, W. G., (1980). *CREAMS, A field scale model for chemical, runoff and erosion from agricultural management systems*. Conservation Report Number 26, US Department of Agriculture, Tucson, AZ.

KOBIYAMA, M. (2009). *Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais*. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro.

- LAFLEN, J. M.; ELLIOT, W. J.; FLANAGAN, D. C.; MEYER, C. R.; NEARING, M. A. (1997). *WEED- predicting water erosion using a process-based model*. Journal of soil and water conservation
- LANDELL-MILLS, N. (2002). *Marketing Forest Environmental Services—Who Benefits?* Gatekeeper Series no.104, London: Institute for Environmental and Development (IIED).
- LEONARD, R. A.; KNISEL, W. G.; STILL, D. A.; (1987). *GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems*. Transactions of ASAE 30 (5), 1403 e 1418.
- LEOPOLD, L. B. (1994). *A View of the River*. Harvard University Press. Cambridge, MA.
- LEWIS, J. (1996). *Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation*. Water Resources Research, 32 (7), 2299–2310.
- MARQUES, J. F. (1998). *Custos da erosão do solo em razão dos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola*. RER, v. 36, n. 1, jan./mar.1998.
- MAYRAND, K.; PAQUIN, M. (2004). *Payments for Environmental Services: A Survey and Assessment of Current Schemes*. Unisféra International Centre, Montreal. 60p.
- MICHELLON, E. (2002). *Políticas públicas, mercado de terras e o meio ambiente: uma análise a partir do Paraná*. 2002. Tese (Doutorado em Economia). Instituto Economia/UNICAMP, Campinas, 2002.

- MOCCELLIN, J. (2006). *A microbacia do Rio Jucupiranguinha como unidade de estudo para a sustentabilidade dos recursos hídricos no Baixo Ribeira do Iguape*. 2006. 151 p – SP. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2006.
- MARGOLIS, E.; SILVA, A. B.; JAQUES, F. O. (1985). *Determinação dos fatores da EUPS para as condições de Caruaru (PE)*. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 9 (2):165-169, 1985.
- MARQUES, J. F. (2004). *Valoração econômica dos efeitos da erosão: estudo de caso em bacias hidrográficas* / João Fernandes Marques, Lauro Charlet Pereira.-- Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.
- MATTHIES, M.; BERLEKAMP, J.; LAUTENBACH, S.; GRAF, N.; REIMER, S.; (2006). *System analysis of water quality management for the Elbe river basin. Environmental Modelling and Software* 21 (9), 1309 e 1318.
- MAYRAND, K.; PAQUIN, M. (2004). *Payments for Environmental Services: A Survey and Assessment of Current Schemes*. Unisféra International Centre, Montreal. 60p.
- MCFARLAND, A. M. S.; HAUCK, L. M.; (2001). *Determining nutrient export coefficients and source loading uncertainty using in-stream monitoring data*. Journal of the American Water Resource Association 37 (1), 223e236.

- MEDEREY, L. E. (1974). Effet de la croissance de la partie ouest de la ville de Mexico sur les processus hydrodynamiques. *Effects of man on the interface of the hydrological cycle with the physical environment*, pp. 130-136: IAHS Publ. No. 113.
- MELO FILHO, G. A.; MENDES, D. S. (1999). *Estimativa de custo de produção de milho, nos sistemas convencional e direto, safra 1999/2000*. Comunicado Técnico No. 3, Embrapa Agrop. Oeste, Dourados, MS, 3 p., 1999.
- MENDIONDO, E. M. (2005). *An overview on urban flood risk management.*, Minerva 2(1), 102-131.
- MENDIONDO, E. M. (2008). *Challenging issues of urban biodiversity related to ecohydrology*. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP.
- MENDIONDO, E. M. (2009). *Regionalização hidrológica de quantidade e qualidade d'água em ambientes fluviais*. SHS 5890 2009; Material de apoio VWP6.
- MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. (1997). *Escalas hidrológicas I, II, III: conceitos, diversidade de processos, e hipótese integradora de processos na bacia vertente.*, Rev. Bras. Rec. Hídricos, v. 2, n. 1, p. 53-122 (três artigos).
- MERRITT W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. (2003). *A review of erosion and sediment transport models Environmental Modelling & Software* 18 (2003) 761–799.

- NEWHAM, L. T. H.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J.; KOBAYASHI, T., (2004). *A framework for integrated hydrologic, sediment and nutrient export modeling for catchment-scale management*. Environmental Modelling and Software 19, 1029 e 1038.
- NOVOTNY, V. (1999). *Integrating diffuse/nonpoint pollution control and water body restoration into watershed management*. Journal of the American Water Resources Association 35 (4), 717 e 727.
- NOVOTNY, V. (2003). *Water quality: Diffuse pollution and watershed management*. 2.ed. New York: J. Wiley, 2003. 864 p.
- ODUM, E. P. (2001). *Fundamentos da Ecologia*. Rio de Janeiro, Guanabara.
- ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2005). *Relatório-Síntese da Avaliação Ecológica do Milênio, Minuta Final — para ser copiada e editada*. 57 p. Scenarios, v.2, Island Press, Washington (disponível em: www.MAweb.org). Acesso em: 20 de março de 2009.
- PAGIOLA, S. et al. (2003a). *Can Payment for Environmental Services Help Reduce Poverty? An Exploration of the Issues and the Evidence to Date*. Washington, DC: World Bank.
- PAGIOLA, S. et al. (2003b). *Paying for the Environmental Services of Protected Areas: Involving the Private Sector*. Durban, South Africa, 8–17 September 2003: Fifth World Parks Congress: Sustainable Finance Stream. p. 2.

PAGIOLA, S.; PLATAIS, G. (2002). *Payments for Environmental Services*. Washington, DC: The World Bank Environment Department, Environment Strategy Notes (3). p. 2.

PAVANELLI, D.; BIGI, A. (2004). *Indirect Methods to Estimate Suspended Sediment Concentration: Reliability and Relationship of Turbidity and Settleable Solids*. Biosystems Engineering .90 (1), 75–83.

PAVANELLI, D.; PAGLIARANI, A. (2002). *Monitoring Water Flow, Turbidity and Suspended Sediment Load, from an Apennine Catchment Basin - Italy*. Biosystems Engineering (2002) 83 (4), 463–468.

PEREIRA, S. B. (2000) *Desprendimento e arraste do solo em decorrência do Escoamento superficial*. 95 p. Dissertação (Mestrado), Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2000.

PORTAL DA MADEIRA MANEJADA. (2009). *Projeto Floresta Viva*. Disponível em:

http://www.florestavivaamazonas.org.br/servicos_ambientais.php. Acesso em: 31 de maio de 2009

PRANDINI, F. L.; NAKASAWA, V. A. (1995). *A erosão urbana, algumas considerações*. 5o Simpósio Nacional de Controle de Erosão. ANAIS. Bauru - SP. pp. 95–96.

PRUSKI, F. F. (1997). *Aplicação de modelos físico-matemáticos para a conservação de água e solo*. In: SILVA, D. D., PRUSKI, F. F. (Eds.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Brasília, DF: MMA, SRH, ABEAS; Viçosa, MG: UFV, 1997. p. 129-171.

- PURINTRAPIBAN, V.; UTAYOPAS, P. (2005). *Proceedings of the 2005 International Conference on Simulation and Modelling*, Bangkok, Thailand, 17e 19 January 2005.
- RECKHOW, K. H.; BEAULAC, M. N.; SIMPSON, J. T.; (1980). *Modeling phosphorus loading and lake response under uncertainty: A manual and compilation of export coefficients*. U.S. Environmental Protection Agency, Clean Lake Section, Washington, D.C, EPA 440/5-80-011, 214 pp.
- RENFRO, G. W. (1975). *Use of erosion equation and sediment delivery ratio for predicting sediment yield*. Proc. Sed. Yield Workshop, USDA-ARS-40, Oxford, MS, 1975.
- ROEHL, J. W. (1962). *Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors*. IASH Commission on Land Erosion, Publ. No, 59, p. 202-213, 1962.
- SALA, M.; FARGUELL, J. (2002). *Exportación de agua y sedimento en dos pequeñas cuencas mediterraneas bajo diferentes usos del suelo*. Sistema Costero Catalán. Rev. C. y G., vol. 16 (1-4), pp. 97-109.
- SEAMA, (1996). *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Estado do Espírito Santo.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2003). *Avaliação da poluição por fontes difusas afluentes ao reservatório Guarapiranga – Relatório Final Vol. 1 PRIME Engenharia*. São Paulo, 2003.

SEEGER, M.; ERREA, M. P.; BEGUERÍA, S.; ARNÁEZ, J.; MARTÍ, C.; GARCÍA-RUIZ, J. M. (2004). *Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factor four discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish pyrennes*. Journal of Hydrology 288, pp. 299 – 311.

SECRETÁRIA DA FAZENDA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – SEFAZ. (2009). *Índices de Valor de Referência do Tesouro Estadual (VRTE)*. Disponível em: http://www.sefaz.es.gov.br/indices_vrte.htm. Acessado dia 15 de agosto de 2009.

SCHERR, S.; WHITE, A.; KHARE, A.; INBAR, M.; MOLAR, A. (2004). *The current status and future potential of markets for the ecosystem services provided by tropical forests*. ITTO Technical Series No 21 International Tropical Timber Organization.

SCHREIBER, J. D.; REBICH, R. A.; COOPER, C. M. (2001). *Dynamics of diffuse pollution from us southern watersheds*. Wat. Res. Vol. 35, No. 10, pp. 2534–2542, 2001.

SHAW, R. H. (1964). *Prediction of soil moisture under meadow*. Agronomy Journal, v.56, p.320-324, 1964.

SHEN, J.; PARKER, A.; RIVERSON, J. (2005). *A new approach for a windows-based watershed modeling system based on a database-supporting architecture*. Environmental Modelling and Software 20, 1127e1138.

- SHRESTHA, S.; KAZAMA, F.; NEWHAM, L.T.H. (2008). *A framework for estimating pollutant export coefficients from long-term in-stream water quality monitoring data*. Environmental Modelling & Software 23 (2008) 182-194
- SILVA, A. M. (1999), *Aplicações de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica*. São Carlos. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 249 p.
- SILVA, M. A.; SCHULZ, H. E.; MENDIONDO, E. M. (2005). *Urban drainage and total solids: a study of erosion in Palmas-Tocatins (Brazil)*, Invited Paper In: C. Tucci & J. Goldenfum (orgs.) Workshop on Integrated Urban Water Managmt. in Humid Tropics, UNESCO IHP-VI (Int. Hydrol. Program), 2-3 April 2005, Foz de Iguaçu, Brazil.
- SILVA, T. B.; SANTOS, R. M.; JUNIOR, J. A. M. (2008). *Projeto produtores de água: uma nova estratégia de gestão dos recursos hídricos através do mecanismo de pagamento por serviços ambientais*. OLAM - Ciência & Tecnologia, Rio Claro, SP, Brasil – eISSN: 1982-7784
- SMITH, M. GROOT, D. BERGKAMP, G. P. (2006). *Establishing payments for watershed services*. IUCN, Gland, Switzerland, 109 pp.
- TUCCI, C. E. M. (1993). *Escoamento Superficial*, in TUCCI, C. E. M. (ed.), Hidrologia - ciência e aplicação. Editora da Universidade, EDUSP e ABRH, Porto Alegre, p.391-441, 1993.

UDEQ. (2004). *TMDL Water Quality Study of the Middle and Lower Sevier Watersheds*.
March 30, 2004. Prepared by Tetra, inc.

USDA-NRCS. (1983). *National Engineering Handbook – Section 3: Sedimentation Sediment Sources, yields and delivery ratios*. Washington, 1983, p. 6.1-6.14.

USEPA (2007). *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*. Disponível em: <http://www.epa.gov/owow/tmdl/techsupp.html>, data de acesso: 01/07/09.

VISÃO AMBIENTAL (2008). *Relatório semestral qualidade das águas da PCH – São Joaquim município de Alfredo Chaves/ES*.

WALLING, D. E. (1988). *Measuring sediment yield from river basins*, in R. Lal (ed.): *Soil erosion research methods*. Soil & Water Cons. Soc., Ankeny, p. 39-74, 1988.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide for conservation planning*. USDA Handbook No. 537. Washington, 57 p.

WOLMAN, M. G. (1975). *Erosion in the Urban Environment*. *Hydrological Sciences, Bulletin des Science Hydrologiques*, XX, 1975.

WUNDER, S. (2005). *Payments for environmental services: Some nuts and bolts*. Center for International Forest Research (CIFOR) Occasional Paper No. 42.

WUNDER, S.; THE, B. D.; IBARRA, E. (2005). *Payment is good, control is better: why payments for environmental services so far have remained incipient in Vietnam (draft)*.

In CIFOR. Bogor.

YOUNG, R. A.; ONSTAD, C. A.; BOSCH, D. D.; ANDERSON, W. P. (1989). *Agricultural non-point source pollution model for evaluating agricultural watersheds*. Journal of Soil and Water.

ZOBRIST, J.; REICHERT, P. (2006). *Bayesian estimation of export coefficients from diffuse and point sources in Swiss watersheds*. Journal of Hydrology (2006) 329, 207– 223.

APÊNDICE A – Continuação dos sistemas de equações para determinação dos coeficientes de exportação

Condição – primavera: data 18/10/06, estações de amostragem com dados de carga 5 e 6

$$L_5 = L_6 + A_{\text{agro}5-6} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}5-6} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}5-6} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A1}$$

Condição – inverno: 27/06/06 e 30/06/06 estações de amostragem com dados de carga 1, 2, 3, 5 e 6. Observação: para esta condição considera-se o trecho 3 a 5

$$L_0 = L_1 + A_{\text{agro}0-1} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}0-1} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}0-1} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A2}$$

$$L_1 = L_2 + A_{\text{agro}1-2} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}1-2} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}1-2} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A3}$$

$$L_2 = L_3 + A_{\text{agro}2-3} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}2-3} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}2-3} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A4}$$

$$L_3 = L_5 + A_{\text{agro}3-5} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}3-5} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}3-5} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A5}$$

$$L_5 = L_6 + A_{\text{agro}5-6} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}5-6} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}5-6} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A6}$$

Condição – primavera: 27/09/06 e 29/09/06 – estações de amostragem com dados de carga 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

$$L_0 = L_1 + A_{\text{agro}0-1} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}0-1} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}0-1} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A7}$$

$$L_1 = L_2 + A_{\text{agro}1-2} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}1-2} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}1-2} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A8}$$

$$L_2 = L_3 + A_{\text{agro}2-3} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}2-3} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}2-3} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A9}$$

$$L_3 = L_4 + A_{\text{agro}3-4} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}3-4} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}3-4} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A10}$$

$$L_4 = L_5 + A_{\text{agro}4-5} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}4-5} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}4-5} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A11}$$

$$L_5 = L_6 + A_{\text{agro}5-6} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}5-6} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}5-6} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A12}$$

Condição - verão: 29/12/2006 e 29/1/07 estações de amostragem com dados de carga: 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

$$L_0 = L_1 + A_{\text{agro}0-1} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}0-1} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}0-1} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A13}$$

$$L_1 = L_2 + A_{\text{agro}1-2} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}1-2} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}1-2} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A14}$$

$$L_2 = L_3 + A_{\text{agro}2-3} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}2-3} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}2-3} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A15}$$

$$L_3 = L_4 + A_{\text{agro}3-4} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}3-4} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}3-4} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A16}$$

$$L_4 = L_5 + A_{\text{agro}4-5} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}4-5} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}4-5} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A17}$$

$$L_5 = L_6 + A_{\text{agro}5-6} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}5-6} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}5-6} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A18}$$

Condição outono: datas 30/3/2007 e 15/05/07 estações de amostragem com dados de cargas 1, 2, 3, 5 e 6. Observação: para esta condição considera-se o trecho 3 a 5.

$$L_0 = L_1 + A_{\text{agro}0-2} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo}1-2} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb}1-2} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A19}$$

$$L_1 = L_2 + A_{\text{agro1-2}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo1-2}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb1-2}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A20}$$

$$L_2 = L_3 + A_{\text{agro2-3}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo2-3}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb2-3}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A21}$$

$$L_3 = L_5 + A_{\text{agro3-5}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo3-5}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb3-5}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A22}$$

$$L_5 = L_6 + A_{\text{agro5-6}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo5-6}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb5-6}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A23}$$

Condição – inverno: datas 14/8/2007 e 30/8/07 estações de amostragem com dados de cargas 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

$$L_0 = L_1 + A_{\text{agro0-1}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo0-1}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb0-1}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A24}$$

$$L_1 = L_2 + A_{\text{agro1-2}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo1-2}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb1-2}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A25}$$

$$L_2 = L_3 + A_{\text{agro2-3}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo2-3}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb2-3}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A26}$$

$$L_3 = L_4 + A_{\text{agro3-4}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo3-4}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb3-4}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A27}$$

$$L_4 = L_5 + A_{\text{agro4-5}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo4-5}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb4-5}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A28}$$

$$L_5 = L_6 + A_{\text{agro5-6}} * Y_{\text{agro}} + A_{\text{flo5-6}} * Y_{\text{flo}} + A_{\text{urb5-6}} * Y_{\text{urb}} \quad \text{Equação A29}$$