

PROJETO DE PESQUISA

SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM UMA SUB-BACIA DO RIO DOCE

*SIMULATION OF THE CONCENTRATION OF SEDIMENTS IN SUSPENSION IN
THE FUNCTION OF DIFFERENT SCENARIOS OF USE AND OCCUPATION OF
SOIL IN A SUB-BASIN OF THE RIO DOCE*

Prof. Dr. David Rafael Quintão Rosa

Coordenador

INSTITUTO FEDERAL DO SUDESTE DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* MANHUAÇU

Instituição Executora do Projeto

MAIO DE 2020
MANHUAÇU – MG

1.RESUMO

O processo erosivo pode causar diversos impactos ambientais, dentre estes se destaca o aumento da concentração de sedimentos em suspensão nos cursos d'água. Este fenômeno possui magnitude variável e dependente do grau de conservação ambiental ao longo da bacia hidrográfica. Neste contexto, objetiva-se com este projeto estimar a concentração de sedimentos em suspensão e analisar a relação com a variação das vazões em uma sub-bacia do rio Doce. Para tal finalidade, será utilizada como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu (sub-bacia do rio Doce). Essa bacia foi escolhida por ser considerada fortemente suscetível ao processo erosivo. Para a devida representação do atual cenário ambiental da área de estudo serão analisados dados de precipitação, vazão e concentração de sedimentos em suspensão disponíveis em estações pluviométricas e fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Mapas temáticos também serão elaborados em ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para visualização do atual cenário ambiental da bacia. Para simulação de variações futuras da concentração de sedimentos em suspensão ao longo da área da bacia do rio Manhuaçu será utilizado o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Os parâmetros de entrada para a utilização do modelo constituirão de dados tabulares e espaciais. Para melhor representação hidrossedimentológica da área de estudo o modelo será calibrado em uma área de drenagem representativa e pertencente a bacia do rio Manhuaçu. Após a calibração o modelo será validado em áreas diferentes da qual foi calibrado. A adequação do modelo será verificada analisando os valores simulados e observados de todas as variáveis a serem avaliadas neste projeto. Neste projeto, serão elaborados dois cenários hipotéticos de uso e ocupação do solo: Cenário I – substituição de 15% de áreas de agricultura por reflorestamento e o Cenário II – substituição de 15% de áreas de pastagens por agricultura. Estes dois cenários serão utilizados para avaliar os efeitos de mudanças no uso e ocupação do solo na variação da concentração de sedimentos em suspensão. Ao final do projeto, além do estudo hidrossedimentológico da bacia do rio Manhuaçu, espera-se obter a relação entre os usos e ocupação do solo ao longo da bacia e dinâmica ambiental da região. Os resultados obtidos poderão ser integrados e direcionados para a geração de tecnologias que permitam a disponibilização de informações técnicas relativas a recomendações de sistemas de manejo do solo, água e culturas agrícolas, na região além de contribuir para a formação científica de estudantes e geração de publicações de trabalhos em congressos e periódicos.

2.ABSTRACT

The erosive process can cause several environmental impacts, among them the increase in the concentration of suspended sediments in the water courses. This phenomenon has variable magnitude and depends on the degree of environmental conservation along the hydrographic basin. In this context, the objective of this project is to estimate the concentration of suspended sediments and to analyze the relationship with the flow variation in a sub-basin of the Doce River. For this purpose, the water catchment area of the Manhuaçu River (River Doce sub-basin) will be used as the study area. This basin was chosen because it was considered strongly susceptible to the erosive process. For the proper representation of the current environmental scenario of the study area will be analyzed precipitation, flow and sediment concentration in suspension available in rainfall and fluviometric stations belonging to the hydrometeorological network of the National Water Agency (ANA). Thematic maps will also be elaborated in an environment of the Geographic Information System (GIS) to visualize the current environmental scenario of the basin. The SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model will be used to simulate future variations of the suspended sediment concentration along the Manhuaçu River basin area. The input parameters for the use of the model consisted of tabular and spatial data. For a better hydrosedimentological representation of the study area the model will be calibrated in a representative drainage area and belonging to the Manhuaçu river basin. After calibration, the model will be validated in different areas from which it was calibrated. The adequacy of the model will be verified by analyzing the simulated and observed values of all the variables to be evaluated in this project. In this project, two hypothetical scenarios of land use and occupation will be elaborated: Scenario I - replacement of 15% of areas of agriculture by reforestation and Scenario II - replacement of 15% of pasture areas by agriculture. These two scenarios will be used to evaluate the effects of changes in land use and occupation on the variation of suspended sediment concentration. At the end of the project, in addition to the hydrosedimentological study of the Manhuaçu River basin, it is expected to obtain the relation between land use and occupation along the basin and environmental dynamics of the region. The results obtained can be integrated and directed to the generation of technologies that allow the availability of technical information regarding recommendations of soil, water and agricultural crop management systems in the region, besides contributing to the scientific training of students and the generation of publications of papers in congresses and periodicals.

3.INTRODUÇÃO

A ação conjunta dos processos de desagregação por impacto, o transporte e a deposição de partículas sólidas, provocadas pelas forças erosivas das gotas de chuva e do escoamento superficial sobre a bacia hidrográfica, resultam na formação do processo erosivo (ARAGÃO et al., 2013). Quando acelerada, principalmente pelo desmatamento, a erosão causa impactos ambientais, econômicos e sociais (BERTOL et al., 2007; PUGLIESI et al., 2011).

A erosão hídrica é um processo complexo que manifesta intensidade variável, dependendo da interação entre os fatores clima, solo, topografia, vegetação, uso do solo e práticas conservacionistas (BEZZERA, 2011). Entre estes, a intensidade da precipitação e a cobertura do solo nas bacias hidrográficas são os fatores determinantes para a erosão hídrica, mas a rugosidade da superfície e as propriedades físicas na camada superficial e subsuperficial do solo também contribuem fortemente para a ocorrência de erosão (MARTINS et al., 2002; PIRES et al., 2006). Para Belinaso (2002), a erosão do solo em bacias hidrográficas desprotegidas é responsável pelo arraste de milhares de toneladas de solo para dentro das calhas dos rios e, logo após, para reservatórios de acumulação, provocando a perda da capacidade produtiva do solo, da capacidade de escoamento pelos rios e da capacidade de armazenamento dos reservatórios.

Os sedimentos produzidos e transportados ao longo da bacia hidrográfica, quando em suspensão nos cursos d'água, podem causar degradação da qualidade da água interferindo assim na disponibilidade de alimento para a fauna aquática, além de diminuir a taxa de fotossíntese das espécies vegetais submersas. Neste contexto, pode-se destacar também, os aspectos relacionados ao aumento dos custos de tratamento de água, a diminuição da capacidade de armazenamento dos reservatórios de distribuição e geração de energia elétrica.

A maior parte dos recursos hídricos está sendo comprometida pela poluição doméstica, industrial e agrícola e por desequilíbrios ambientais resultantes do processo erosivo ocasionado pelo desmatamento e uso indevido do solo.

É fato que as alterações antrópicas causadas pelo uso inadequado do solo e pelo despejo de esgotos sem o devido tratamento causam alterações nos regimes de vazões dos cursos d'água e na qualidade de água, agravando assim, os problemas sociais ao longo da bacia hidrográfica. Este aspecto torna-se ainda mais importante quando desastres ambientais ocasionam drásticas alterações no fluxo normal dos cursos d'água.

Em virtude de o rio Doce apresentar importância nacional, a estimativa adequada da concentração de sedimentos e o estudo da relação entre as vazões e a qualidade de água são de suma importância para subsidiar as tomadas de decisões na gestão do uso do solo e dos recursos hídricos ao longo da bacia, para que o aproveitamento do solo e das águas possa ser otimizado com o menor impacto ambiental possível.

4.OBJETIVOS

4.1.Objetivo geral

Estimar a concentração de sedimentos em suspensão e analisar a relação com a variação das vazões em uma sub-bacia do rio Doce.

4.2.Objetivos Específicos

- Estimar a concentração de sedimentos em suspensão ao longo da rede hidrográfica de uma sub-bacia do rio Doce;
- Analisar o uso do solo e sua relação com a concentração atual de sedimentos em suspensão ao longo de uma sub-bacia do rio Doce;
- Simular a concentração de sedimentos em suspensão em diferentes cenários de uso do solo com a finalidade de avaliar o impacto de possíveis alterações no uso e ocupação do solo na concentração de sedimentos em suspensão ao longo de uma sub-bacia do rio Doce.

5.METODOLOGIA

5.1.Área de estudo

A área hidrográfica objeto de estudo deste projeto será a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu (Figura 1), uma sub-bacia do rio Doce. Ela está localizada no estado de Minas Gerais e Espírito Santo, perfazendo uma área total de 8.977 Km². A porção da bacia pertencente ao estado do Espírito Santo é considerada incremental.

O clima da região, segundo a classificação Köppen, é o Cwb – clima temperado marítimo ou clima tropical de altitude, que apresenta verões brandos com estações chuvosas e estiagem no inverno (ALVARES et al., 2013).



Figura 1 . Localização da bacia do rio Manhuaçu em relação a bacia do rio Doce.
(Fonte: ECOPLAN-LUME, 2010)

As principais atividades econômicas da região são a cafeicultura e a agropecuária. Outros produtos como milho e cana de açúcar também são cultivados em menores proporções, e o extrativismo se resume ao carvão vegetal e madeira, em sua maior parte para indústria de celulose e papel (ECOPLAN-LUME, 2010).

A bacia do rio Manhuaçu foi escolhida por ser fortemente suscetível à erosão, devido a fatores tais como tipo de solo, relevo acidentado e precipitações de elevada intensidade (MANHUAÇU, 2018). Outro fator determinante para a escolha da bacia é o fato de se tratar de uma das quatro sub-bacias do rio Doce em que a atividade agropecuária é mais expressiva que a industrial, ou seja, a economia da região é baseada em setores que reconhecidamente alteram significativamente a cobertura vegetal natural da paisagem.

5.2. Análise das precipitações, vazões, concentração de sedimentos em suspensão ao longo da rede hidrográfica da bacia do rio Manhuaçu.

Para a realização desse estudo serão analisados os dados consistidos das estações pluviométricas e fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional

de Águas (ANA). As estações fluviométricas contêm dados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) coletados em campanhas de campo.

De posse das informações serão feitos diagramas de barras para as estações pluviométricas e fluviométricas situadas na bacia buscando a seleção do período base e das estações que serão efetivamente usadas no estudo. O critério adotado para a seleção das estações será a existência de pelo menos 10 anos de dados sem interrupções.

Com o desenvolvimento desta ação busca-se obter uma análise do comportamento da precipitação sobre a bacia, vazão e concentração de sedimentos em suspensão ao longo do rio Manhuaçu e seus principais afluentes, bem como identificar alterações existentes no comportamento hidrossedimentológico.

Visando proceder às análises o trabalho será elaborado nas etapas descritas a seguir:

5.2.1. Preenchimento de falhas e extensão de séries

Depois da análise dos dados hidrossedimentológicos, àqueles inexistentes ou considerados inconsistentes serão atribuídas falhas para posterior preenchimento. O preenchimento de falhas será realizado por meio de correlações segundo critérios consagrados de escolha de bases para as regressões.

Para um mesmo curso de água dar-se-á preferência pela estação mais próxima, e quando esta condição não puder ser utilizada aplicar-se-á o princípio da semelhança hidrológica, tendo nos coeficientes de correlação a base para a tomada de decisão.

Para o preenchimento de falhas de vazão utilizar-se-á a regressão linear simples.

Para o preenchimento de falhas em séries pluviométricas, será utilizado o método da ponderação regional com base em regressões lineares, que consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com dados a serem preenchidos, Y, e cada um dos postos vizinhos, X₁, X₂,..., X_n. De cada uma das regressões lineares efetuadas será obtido o coeficiente de correlação (r), sendo o preenchimento feito com base na seguinte equação:

$$Y = \frac{r_{yx1} X_1 + r_{yx2} X_2 + \dots + r_{yxn} X_n}{(r_{yx1} + r_{yx2} + \dots + r_{yxn})} \quad (1)$$

Quando não for possível a utilização do método da ponderação regional com base em regressões lineares será utilizado o método da regressão linear simples para preenchimento de falhas de precipitação.

Para a aplicação dos métodos será adotado, como critério mínimo, a obtenção de coeficiente de determinação (r^2) superior a 0,7 e a existência de pelo menos 10 pares de eventos, dos dados mensais, entre as estações consideradas para o estabelecimento da regressão.

Para a extensão da série de dados de concentração de sedimentos fornecida pela ANA, será utilizado o método da curva-chave de sedimentos. Essa curva relacionará a concentração de sedimentos em suspensão com a vazão diária para cada estação fluviométrica. As estações que apresentarem curvas chave de sedimentos com coeficiente de determinação (r^2) iguais ou superiores aos mínimos estabelecidos por Lopes et al. (2005), para a utilização de uma curva chave, serão selecionadas para o estudo.

5.2.2. Elaboração de mapas temáticos da atual situação das precipitações, vazões e concentração de sedimentos ao longo da bacia do rio Manhuaçu.

Para facilitar a visualização do cenário atual das precipitações, vazões e concentração de sedimentos em suspensão ao longo da bacia do rio Manhuaçu serão elaborados mapas temáticos de precipitações, vazões e concentração de sedimentos em suspensão. Os mapas serão elaborados em ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e contemplarão as médias diárias, mensais e anuais de cada um dos parâmetros estudados. Objetiva-se também com a elaboração destes mapas a criação de ferramentas para facilitar a comparação entre os cenários atual e dos diversos cenários alternativos a serem simulados neste projeto.

5.3. Relação entre o uso e ocupação atual do solo e a concentração de sedimentos ao longo da bacia do rio Manhuaçu

Para a classificação da bacia em relação ao uso e ocupação do solo, serão utilizadas imagens do sensor Landsat TM⁺, utilizando o método de classificação supervisionada da máxima verossimilhança em ambiente SIG. Para tal finalidade, serão coletadas amostras de treinamento considerando sete classes uso e ocupação do solo: floresta, agricultura, pastagem, corpos hídricos, eucalipto, solo exposto e área urbana. Após a realização deste procedimento, será realizada uma análise comparativa entre o resultado obtido e a imagem original para correção de possíveis erros de classificação. Após esse procedimento, será gerado o mapa de uso e ocupação do solo.

De posse do mapa de uso e ocupação do solo, cada estação fluviométrica, com dados de concentração de sedimentos utilizadas neste projeto terá este parâmetro comparado ao uso e ocupação atual do solo da área de drenagem a montante da estação. Com essa comparação pretende-se analisar qualitativamente o efeito do uso e ocupação do solo na concentração de sedimentos em suspensão e nas vazões ao longo das áreas de drenagem analisadas.

5.4.Simulação da concentração de sedimentos em suspensão em diferentes cenários de uso do solo ao longo da bacia do rio Manhuaçu.

Para a simulação da concentração de sedimentos em suspensão em função de diferentes cenários de uso do solo será utilizado o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

5.4.1. Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

No modelo SWAT, a heterogeneidade espacial da bacia hidrográfica é representada por meio da sua divisão em sub-bacias com base no relevo, nos tipos e uso do solo. Cada sub-bacia é discretizada em uma série de Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs), que são combinações únicas de uso e tipos de solos, sendo criadas várias combinações para cada sub-bacia.

Para cada HRU, os processos físicos serão simulados e agregados para cada uma das sub-bacias por uma média ponderada. A Figura 2 apresenta as informações de entrada e as saídas geradas pelo modelo SWAT.

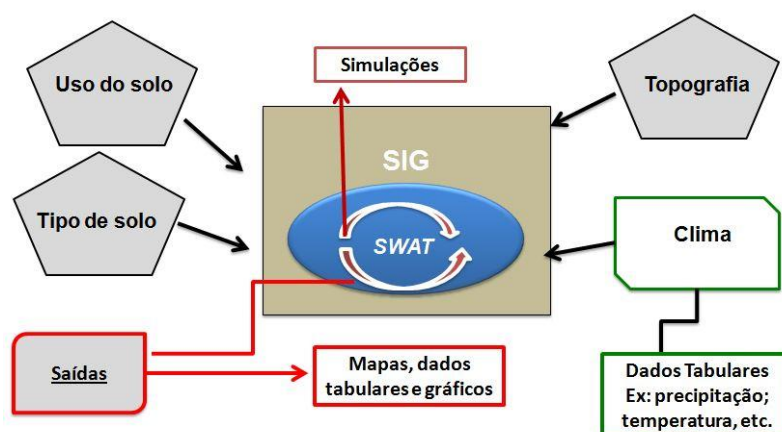


Figura 2. Representação esquemática das informações de entrada e das saídas geradas nas simulações realizadas pelo modelo SWAT.

5.4.2. Componentes do modelo SWAT

Balanço Hídrico

O SWAT considera quatro volumes de controle para fazer o balanço hídrico. São eles: os reservatórios superficial, sub-superficial, subterrâneo raso ou livre e subterrâneo profundo. Com a finalidade de melhorar a precisão das simulações, resultando em uma melhor descrição física dos processos, o balanço hídrico será computado para cada HRU, sendo representado da seguinte forma:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t=1}^t (P - Q_{sup} - Ea - W_{vad} - Q_{sub}) \quad (2)$$

em que:

SW_t = quantidade final de água no solo (L);

SW_0 = quantidade inicial de água no solo (L);

t = tempo (T),

P = precipitação (L);

Q_{sup} = escoamento superficial (L);

E_a = evapotranspiração real (L);

W_{vad} = percolação ou ascensão capilar (L); e

Q_{sub} = fluxo de base (L).

Escoamento superficial

Para cada HRU, o modelo irá simular uma lâmina de escoamento superficial utilizando a precipitação em valores diários com base no método do Número da Curva, desenvolvido pelo Soil Conservation Service (USDA-SCS) e revisado por Boughton (1989).

A escolha do método do Número da Curva foi feita em função dos aspectos relacionados aos dados de precipitação disponíveis para o local de trabalho.

Ocorrido o escoamento superficial, o modelo o propagará entre as sub-bacias e calcula a vazão de pico.

A vazão de pico será simulada pelo SWAT com base no método racional modificado, expresso pela seguinte equação:

$$Q_{\text{pico}} = \frac{\alpha_{tc} \cdot E_{\text{sup}} \cdot \text{Área}}{3,6 \cdot t_{\text{conc}}} \quad (3)$$

em que:

Q_{pico} : vazão de pico em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

α_{tc} - fração da precipitação diária que ocorre durante o tempo de concentração;

E_{sup} - escoamento superficial em mm ;

Área - área da sub-bacia em km^2 ;

t_{conc} - tempo de concentração da sub-bacia em horas; e

3,6 - fator de conversão de unidade.

O tempo de concentração (t_{conc}) da sub-bacia será calculado somando o tempo de concentração do escoamento sobre a superfície do solo (tempo necessário para o escoamento deslocar-se do ponto mais remoto da bacia até o curso d'água) e o tempo de concentração do escoamento no curso d'água (tempo para o escoamento deslocar-se no curso d'água até a sua saída):

$$t_{\text{conc}} = t_{\text{sup}} + t_{\text{canal}} \quad (4)$$

em que:

t_{sup} : tempo de concentração do escoamento sobre a superfície do solo (horas); e

t_{canal} : tempo de concentração do escoamento no curso d'água (horas).

O tempo de concentração do escoamento sobre a superfície do solo (t_{sup}) será calculado usando a equação:

$$t_{\text{sup}} = \frac{L_{\text{enc}}^{0,6} \cdot n_{\text{sup}}^{0,6}}{18 \cdot i_{\text{sup}}^{0,3}} \quad (5)$$

em que:

L_{enc} : comprimento da encosta da sub-bacia em m;

n_{sup} : coeficiente de rugosidade de Manning para condições de superfície do solo; e

i_{sup} : declividade média da sub-bacia em m m^{-1} .

O tempo de concentração do escoamento no curso d'água (t_{canal}) será calculado, por meio da equação:

$$t_{\text{canal}} = \frac{0,62 \cdot L_{\text{canal}} \cdot n_{\text{canal}}^{0,75}}{\text{Área}^{0,125} \cdot i_{\text{canal}}^{0,375}} \quad (6)$$

em que;

L_{canal} : comprimento do curso d'água do ponto mais distante à saída da sub-bacia em km;

n_{canal} : coeficiente de rugosidade de Manning para o curso d'água;

Área : área da sub-bacia em km^2 ; e

i_{canal} : declividade do curso d'água em mm^{-1} .

Escoamento subterrâneo

Serão feitas simulações do escoamento subterrâneo com o SWAT para dois tipos de aquífero: raso (não confinado) e profundo (confinado). O aquífero raso contribui para o escoamento no canal ou em trechos das sub-bacias, enquanto o aquífero profundo contribui para o escoamento fora da bacia hidrográfica (NEITSCH et al., 2005).

O escoamento subterrâneo ou de base somente entra no trecho do canal se a quantidade de água armazenada no aquífero exceder um valor limite especificado pelo usuário, sendo que pode ser calculado de duas formas: quando ocorre recarga e quando não ocorre recarga.

Evapotranspiração

O SWAT permite a simulação da evapotranspiração potencial por meio dos métodos de Penman-Monteith, Priestley-Taylor e Hargreaves. Quando se tem disponibilidade de dados, é aconselhável a utilização do método de Penman-Monteith, por ser considerado padrão entre os métodos indiretos para estimativa da evapotranspiração. Desta forma, este método terá prioridade de utilização, entretanto, caso não seja obtido todos os dados climáticos necessários outro método poderá ser empregado.

Clima

O modelo requer dados diários de precipitação, temperaturas máxima e mínima do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, que podem ser fornecidos ao modelo a partir de registros de dados observados ou podem ser gerados.

Para gerar os dados, o SWAT utiliza o gerador climático WXGEN (SHARPLEY e WILLIAMS, 1990). O arquivo de entrada do gerador climático deve conter dados mensais, necessários para que o modelo simule dados diários representativos para a região. Entretanto, com a finalidade de se refletir de forma adequada o clima da região o gerador climático só será utilizado se este fato for estritamente necessário.

Propagação da vazão sólida no canal

O transporte de sedimentos é simulado como uma função dos processos de degradação e deposição, acontecendo simultaneamente. Tais processos são simulados pelo modelo utilizando uma adaptação do método de Potência de Fluxo. Assim, a concentração máxima de sedimentos que pode ser transportada pelo fluxo em determinado trecho será obtida por:

$$Con_{sed,max} = c_{sp} v_{pc}^{spexp} \quad (7)$$

em que:

$Con_{sed,max}$: concentração máxima de sedimentos (M L⁻³);

v_{pc} : velocidade de pico (L T⁻¹); e

c_{sp} e sp e xp : coeficientes de ajuste.

A concentração de sedimentos é comparada com a concentração de sedimentos existente no início de cada intervalo de tempo. No caso de a concentração no início do intervalo de tempo ser superior à máxima, o processo de deposição predominante é estimado por:

$$sed_{dep} = (c_{sed,0} - c_{sed,max}) v_{pc} \quad (8)$$

em que:

sed_{dep} : quantidade de sedimentos depositada (M); e

$c_{sed,0}$: concentração no início do intervalo de tempo (M L⁻³).

No caso de a concentração atual ser inferior à máxima possível, a erosão no canal é o processo que predomina, sendo estimada por:

$$sed_{ero} = (con_{sed,max} - con_{sed,0}) v_{pc} K_{ca} C_{ca} \quad (9)$$

em que:

sed_{ero} : quantidade de sedimentos erodida em t;

K_{ca} : fator de erodibilidade do canal em $cm\ h^{-1}\ Pa^{-1}$; e

C_{ca} : fator de cobertura do canal.

Uma vez que foram calculadas as quantidades de sedimentos depositadas e erodidas, obtém-se a estimativa final de sedimento existente no trecho, sed_{at} (t), por meio de:

$$sed_{at} = sed_{sed,0} - sed_{dep} + sed_{ero} \quad (10)$$

Por fim, a quantidade de sedimento que sai do trecho do canal será estimada com uso da seguinte equação:

$$sed_{out} = sed_{at} \frac{V_{out}}{V_{ca}} \quad (11)$$

em que:

sed_{out} : concentração de sedimentos que sai do trecho (t);

V_{out} : volume de água que sai no intervalo de tempo (m^3); e

V_{ca} : volume de água no trecho (m^3).

5.4.3. Base de dados necessária para aplicação do SWAT

A entrada de dados no modelo SWAT será feita por meio de uma interface desenvolvida especificamente para comunicar o SWAT e o Sistema de Informações Geográficas (WINCHELL et al., 2012).

As informações necessárias serão fornecidas ao SWAT na forma de tabelas e formas espaciais (modelo digital de elevação - MDE, tipos de solos e uso do solo). A interface subdividirá automaticamente a bacia em sub-bacias a partir do MDE (modelo digital de elevação) e extrairá os dados de entrada com base nas informações espaciais e no banco de dados relacionados para cada sub-bacia.

Modelo digital de elevação e definição do número de sub-bacias utilizadas na simulação

Na primeira etapa do processo de modelagem, o simulador requer como parâmetro de entrada o Modelo Digital de Elevação (MDE), para a delimitação da bacia de drenagem e sua divisão em sub-bacias.

Para a geração do Modelo Digital de Elevação serão utilizadas imagens ASTER obtidas junto a NASA (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>), com resolução espacial de 30 metros.

Utilizando estas imagens como base, será gerado o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, empregando a hidrografia mapeada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), na escala de 1:50.000, para fins de condicionamento da hidrografia obtida no MDE ASTER.

O condicionamento do MDE será feito para garantir a associação da rede de drenagem aos dados altimétricos e conseguir assim melhor representatividade da bacia hidrográfica estudada. Este procedimento consistirá em uma série de mudanças no MDE, como o aprofundamento da calha do rio, a suavização das margens dos rios e a remoção de possíveis depressões espúrias. A Figura 3 mostra os procedimentos que serão utilizados na geração do MDE e no processo de condicionamento.

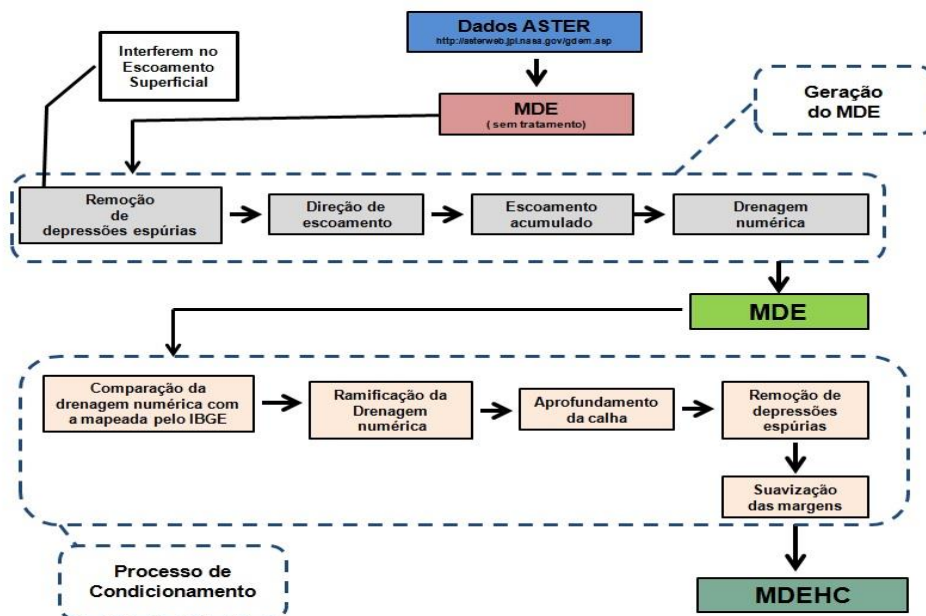


Figura 3. Esquema utilizado no processamento e condicionamento do MDE.

Durante esta etapa, o MDEHC será inserido no modelo SWAT. Para maior confiabilidade, neste projeto será inserida a rede hidrográfica de um arquivo próprio. Esta maior confiabilidade advém do fato da previsão no projeto de uma comparação da hidrografia numérica com a hidrografia mapeada pelo IBGE, tendo como base 30 confluências.

O procedimento de divisão de sub-bacias utilizado pelo SWAT adiciona automaticamente os pontos de confluência da rede hidrográfica, os quais representam os exutórios de cada sub-bacia. Com base no MDEHC, é feita a determinação da direção de fluxo para cada pixel, permitindo, assim, delimitar a área que contribui com o escoamento superficial para cada ponto da rede hidrográfica.

Dados pedológicos

Os dados espaciais de solo, representando a distribuição dos tipos de solo na da bacia do rio Manhuaçu, serão inseridos no modelo. Segundo Faria et al.(2010), ocorrem na bacia do rio Manhuaçu as classes de solo: Neossolo Litólico Húmico + Cambissolo Húmico - Associação de Neossolo Litólico Húmico + Cambissolo Húmico (CH1), Associação de Cambissolo Háplico Tb distróficos + Cambissolo Húmico + Latossolo Vermelho Amarelo Húmico (CH2), Cambissolo Háplico Tb distrófico (CXbd), Associação de Latossolo Vermelho Amarelo Húmico + Cambissolo Húmico + Cambissolo Háplico Tb distrófico(LVA1), Latossolo Vermelho Amarelo Húmico - Associação de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico + Cambissolo Háplico Tb distrófico, Argissolo Vermelho Amarelo distrófico - Associação de Argissolo Vermelho Amarelo distrófico + Cambissolo Háplico Tb distrófico + Gleissolo Háplico Tb distrófico, Neossolo Litólico – Associação de Neossolo Litólico + Afloramento rochoso + Neossolo Litólico Húmico + Neossolo Flúvico Tb distrófico (RL/RLh/RYbd).

Além do mapa de solos, o modelo requer um banco de dados tabulares, o qual deve conter informações das características físico-hídricas destes solos. A Tabela 1 mostra os parâmetros necessários ao modelo.

Tabela 1. Parâmetros relativos aos tipos de solo necessários ao SWAT

Parâmetro	Descrição	Unidade
SNAM	Código referente do tipo de solo inserido no banco de dados	-
NLAYERS	Número de camadas do perfil	-
HYDGRP	Grupo hidrológico	
SOL_ZMX	Profundidade máxima da raiz no solo	Mm
SOL_AWC	Capacidade de água disponível	mm/mm
ANOIN_EXCL	Porosidade do solo	Fração
SOL_Z	Profundidade de cada camada	Mm
SOL_BD	Densidade aparente do solo	g /cm ³
SOL_CBN	Teor de carbono orgânico	% em peso
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada	mm/h
CLAY	Porcentagem de argila	% em peso
SILT	Porcentagem de silte	% em peso
SAND	Porcentagem de areia	% em peso
ROCK	Porcentagem de cascalho	% em peso
SOL_ALB	Albedo do solo	Fração
USLE_K	Fator K da USLE	-

Os parâmetros relativos ao grupo hidrológico, profundidade máxima das raízes e porosidade do solo não necessitam ser especificados para cada uma das camadas do solo, diferentemente dos demais parâmetros. Portanto, serão mantidos constantes.

Os parâmetros relativos a cada uma das camadas são diferenciados dentro das rotinas do simulador, e para isto serão adicionados algarismos referentes ao número da camada, precedidos da sigla de cada parâmetro. Logo, para a capacidade de água disponível da primeira camada de solo, tem-se SOL_AWC₁, para a segunda camada, SOL_AWC₂ e, assim, sucessivamente.

Sartori et al. (2005) fizeram a classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente pelo Método do Serviço de Conversação do Solo dos Estados Unidos (SCS). A metodologia utilizada e os resultados obtidos neste estudo serão utilizados no presente projeto para definir os grupos hidrológicos dos solos pertencentes à bacia em estudo. Para uma estimativa inicial dos valores de condutividade hidráulica do solo saturado, serão utilizados os resultados obtidos por Schuler et al. (2003) e Zonta et al. (2010).

O parâmetro K da USLE será determinado de acordo com a metodologia proposta por Williams (1995), baseando os valores de erodibilidade do solo nas suas características texturais e no teor de carbono orgânico do solo.

Os demais dados referentes aos parâmetros do solo serão obtidos do estudo realizado pelo projeto RADAMBRASIL, na escala de 1:1.000.000 (RADAMBRASIL, 1983).

Dados Climáticos

O processo chave para a modelagem hidrossedimentológica utilizado pelo SWAT é o balanço hídrico. Portanto, a alimentação do modelo com parâmetros climáticos é de extrema importância, por interferirem em todas as etapas do balanço hídrico.

Os dados climáticos relativos à precipitação serão constituídos por séries históricas de todas as pluviométricas que tenham dados disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB), mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Calibração

A calibração do modelo será realizada por comparação entre os valores diários de vazão e de concentração de sedimentos em suspensão no curso d'água principal simulado pelo modelo e os valores observados destas variáveis. Os valores de concentração de sedimentos observados serão gerados pela curva chave de sedimentos.

O período de observações utilizado na calibração será referente a metade do número de anos de dados observados. Será escolhida a seção de calibração em função do maior número de anos da série histórica de concentração de sedimentos em suspensão e de vazão, além de uma boa amplitude de variação de vazões e de concentração de sedimento em suspensão no curso d'água.

Durante esta etapa, será utilizada a calibração manual, com o objetivo de estimar os valores dos parâmetros que melhor representem os valores observados, para que ocorra a maximização da função objetivo "Coeficiente de Nash-Sutcliffe", desenvolvido por Nash e Sutcliffe (1970), e pela minimização da função objetivo "percentual de viés".

O coeficiente de Nash-Sutcliffe será utilizado para a comparação da magnitude relativa da variação dos resíduos comparados com a variação dos dados observados. Já o percentual de viés, segundo Gupta et al. (1999), indica a tendência para os valores previstos serem superiores ou inferiores aos valores observados. Enquanto o coeficiente de Nash-Sutcliffe deve ser o máximo possível, o valor ideal para o percentual de viés é 0%: assim

valores positivos indicam modelos com resultados com tendência de superestimativa e valores negativos indicam modelos com tendência de subestimativa dos valores.

Validação

A validação do modelo SWAT será feita empregando o teste proposto por Kelmets (1986): *split sample test*.

O teste será feito dividindo a série temporal de referência em duas partes: a primeira parte da série é utilizada para a calibração dos parâmetros de entrada, variando seus valores até que os resultados simulados sejam equivalentes aos observados, e a segunda parte da série será utilizada para validar o modelo sem alteração nos parâmetros calibrados (LI et al., 2009). Ainda, de acordo com Salles (2012), objetiva-se com este teste verificar a aderência dos resultados da simulação a um conjunto de dados diferentes dos utilizados para calibrar o modelo. Assim, foi selecionada a segunda metade da série de dados observados para a validação.

Análises estatísticas

O desempenho do modelo SWAT nas etapas de calibração e validação será avaliado por análises estatísticas. Para avaliar a capacidade do modelo em reproduzir a distribuição dos dados observados e a variabilidade entre os dados observados e simulados, serão utilizados médias e desvio padrão. Para analisar o ajuste dos valores preditos pelo modelo aos dados observados, serão utilizados os coeficientes de determinação (r^2) e de eficiência Nash-Sutcliffe (E_{NS}) (NASH; SUTCLIFFE, 1970). Para avaliar a magnitude do erro, será utilizado o Percentual de Tendência (PBIAS). A seguir, são apresentadas as equações para a determinação dos valores do ENS e do PBIAS, respectivamente.

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \cdot 100 \quad (13)$$

em que:

n : número de observações durante o período simulado;

O_i e P_i : valores observados e estimados em cada comparação i , respectivamente; e

\bar{O} : média aritmética dos valores observados.

Viola et al. (2009) e Baltokoski et al. (2010) adotaram critério de que, quando o valor de E_{NS} for maior que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores de E_{NS} entre 0,36 e 0,75, o desempenho é considerado aceitável, enquanto valores de E_{NS} inferiores a 0,36 fazem com que o modelo seja julgado inaceitável. Porém, Moriasi et al. (2007) acrescentam os valores de PBIAS e r^2 na sua avaliação, além de outros intervalos de classe referentes aos valores de E_{NS} . No presente trabalho, a avaliação do desempenho do modelo será feita de acordo com os critérios adotados por Moriasi et al. (2007).

Tabela 2. Classificação de desempenho em função de intervalos de classe de E_{NS} , PBIAS e R^2 , segundo Moriasi et al. (2007)

E_{NS}	PBIAS	R^2	Classificação de desempenho
$0,75 < E_{NS} \leq 1,00$	$PBIAS \leq \pm 10$	$0,75 < R^2 \leq 1,00$	Muito Bom
$0,60 < E_{NS} \leq 0,75$	$\pm 10 < PBIAS \leq \pm 15$	$0,60 < R^2 \leq 0,75$	Bom
$0,50 < E_{NS} \leq 0,60$	$\pm 15 < PBIAS \leq \pm 25$	$0,50 < R^2 \leq 0,60$	Satisfatório
$E_{NS} \leq 0,50$	$PBIAS \leq \pm 25$	$R^2 \leq 0,50$	Insatisfatório

5.4.4. Mudanças no uso e ocupação do solo

Após a calibração e validação do modelo, serão simulados os efeitos de alterações no uso do solo sobre a concentração de sedimentos em suspensão ao longo da bacia do rio Manhuaçu. Serão criados dois cenários alternativos de uso do solo: Cenário I e Cenário II.

O Cenário I constituirá-se da substituição de áreas de agricultura por reflorestamento, prevendo um crescimento de 15% ao ano da área de reflorestamento em um período de 10 anos.

O Cenário II constituirá da substituição de áreas de pastagens por agricultura, prevendo uma porcentagem de 15% ao ano de crescimento e o mesmo período utilizado no Cenário I.

A análise do efeito das mudanças no uso e ocupação do solo sobre a concentração de sedimentos em suspensão será feita comparando os resultados da concentração de sedimentos em suspensão média mensal gerada pelo modelo para estes dois cenários com os valores médios mensais simulados para as condições atuais de uso e ocupação do solo. A comparação

será feita pelas análises de gráficos e de estatísticas simples. Será realizada também uma avaliação da distribuição espacial da concentração de sedimentos nas sub-bacias do rio Manhuaçu para os dois cenários de uso e ocupação do solo e para a situação atual, sendo este último o padrão de comparação.

5.RESULTADOS ESPERADOS

Com a realização do projeto visa-se obter, além do estudo hidrossedimentológico da bacia do Manhuaçu, a relação entre os usos e ocupação do solo ao longo da bacia e a dinâmica ambiental da região. Assim, será possível avaliar o impacto das ações antrópicas, principalmente, devido ampliação gradativa das áreas de agricultura e pastagem nas vazões e concentração de sedimentos em suspensão evidenciadas na bacia, bem como, desenvolver uma análise integrada dos impactos advindos dos diversos uso e ocupações do solo na bacia do rio Manhuaçu.

Os resultados do projeto poderão ser integrados e direcionados para a geração de tecnologias que permitam a disponibilização de informações técnicas úteis relativas à tomada de decisão, elaboração de novos projetos e recomendações de sistemas de manejo do solo, água e culturas agrícolas. Estes também poderão ser utilizados para definição de políticas públicas referentes a uso e ocupação do solo.

Ainda, como benefício dessa pesquisa é esperado: i) a formação de recursos humanos, envolvimento de pelo menos um estudante de Iniciação Científica e, ii) a produção de resumos para apresentação em congresso e publicação artigos. Além disso, será elaborado um material disponibilizando os resultados obtidos na pesquisa e as recomendações dos especialistas da área no “website” do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus Manhuaçu*, que poderá ser acessado por estudantes, pesquisadores e a comunidade agrária interessada no assunto.

Os indicadores de avaliação e acompanhamento do projeto estão vinculados ao cronograma de atividades que se pretende desenvolver na proposta, onde poderão ser acompanhados com os seguintes indicadores: Obtenção de dados georreferenciados da bacia do rio Manhuaçu; geração do MDEHC; análise de consistência de dados pluviométricos em níveis mensal e anual; análise de consistência de dados fluviométricos em nível diário; preenchimento e extensão de séries de dados de precipitação, vazão e concentração de sedimentos em suspensão; individualização das áreas de drenagem das estações fluviométricas; obtenção da precipitação média; obtenção e análise dos dados

hidrossedimentológicos; elaboração de mapas temáticos e previsão do impacto ambiental de alterações no uso e ocupação temporal e espacial do solo ao longo da bacia objeto de estudo.

As dificuldades para a realização do trabalho decorrem de limitações referentes aos dados disponíveis, tanto em termos de densidade da rede pluviométrica, fluviométrica e sedimentométrica, como em relação ao período de observação disponível; além disso, para alcançar os objetivos propostos serão necessários um exaustivo trabalho de análise, interpretação e codificação de grande quantidade de dados, o que torna o trabalho um grande desafio.

6.REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ARAGÃO, Ricardo de et al. Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do Modelo SWAT e Simulação dos processos hidrossedimentológicos em uma bacia no Agreste Nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1091-1102, 2013.

BALTOKOSKI, Valmir et al. Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos Rios Conrado e Pinheiro - Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.253-261, fev. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000100026>.

BELINASSO, T.B. **Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia urbana de encosta**. 2002. 300f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

BERTOL, Oromar João et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p.781-792,2007.

BEZZERA, José Fernando Rodrigues. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís, Maranhão**. 2011. 251 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências, Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BOUGHTON, Wc. A review of the USDA SCS curve number method. **Australian Journal Of Soil Research**, [s.l.], v. 27, n. 3, p.511-523, 1989. CSIRO Publishing. <http://dx.doi.org/10.1071/sr9890511>.

ECOPLAN-LUME, Consórcio -. **Plano de aAção de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Manhuaçu PARH Manhuaçu**. Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan - Lume, 2010. 104 p.

FARIA, André Luiz Lopes de et al. Bacia Hidrográfica do rio Manhuaçuzinho - Manhuaçu (MG): uma análise das áreas susceptíveis à erosão dos solos. **Revista de Geografia**, Recife, v. 2, n. , p.221-235, 2010.

1.GUPPTA, H.V et al. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal of Hydrology**. Amsterdam, v.4, p.135-143. 1999.

LI, Yangyang; SPERRY, John S.; SHAO, Mingan. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environmental And Experimental Botany**, [s.l.], v. 66, n. 2, p.341-346, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.02.001>.

LOPES, Walszon Terllizzie Araújo et al. Análise do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio Iguaçú. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB. **Anais**. Nov. 2005.

MANHUAÇU, Comitê de Bacia do Rio. **A bacia**. 2018. Disponível em: <<http://www.cbhmanhuacu.org.br/a-bacia>>. Acesso em: 09 set. 2018.

MARTINS, Sérgio Gualberto et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p.32-42, 2002.

2.MORIASI, Daniel N et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, v.50, p.885-900, 2007.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models Part I - A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v.10, p.282-290, 1970.

NEITSCH, SL, et al. **Soil and Water Assesment Tool - Documentação Teórica**, Versão 2005. Temple, Texas, EUA. 2005.

PIRES, Lislane Sousa et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p.687-695, 2006.

PUGLIESI, Adriane Cristine Vasconcelos et al. Valoração econômica do efeito da erosão em sistemas de manejo do solo empregando o método custo de reposição. **Bragantia**, [s.l.], v. 70, n.1,p.113121,2011.FapUNIFESP(SciELO).<http://dx.doi.org/10.1590/s000687052011000100017>.

RADAMBRASIL. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro / Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. **Levantamento de Recursos Naturais**, v. 32, Rio de Janeiro, 1983. 775 p.

3.SARTORI, Ana Carolina et al. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SCHULER, Azeneth Eufrausino et al. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.61-70, 2003.

Sharpley, A.N. and Williams, J.R. (1990) **EPIC Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation**. USA Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768, USA Government Printing Office, Washington DC.

VIOLA, Marcelo Ribeiro et al. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.581–590, 2009.

WILLIAMS, J. R. The EPIC model. In: Computer models of watershed hydrology. Highlands Ranch, Co: **Water Resources Publications**, Cap. 25, p. 909-1000, 1995.

WINCHELL, M et al. ARCSWAT 2.3.4 interface for SWAT2005: **User's guide**. Grassland, Soil and Water Research Laboratory/Agricultural Research Service/Blackland Research Center - Texas/Agricultural Experiment Station, 2009. 494p.

ZONTA, João Henrique et al. Adequação dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson em condições de campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1021-1029, 2010.

7.CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

ATIVIDADES	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	ANO: 1												ANO: 2											
		MÊS DE EXECUÇÃO												MÊS DE EXECUÇÃO											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Obtenção de dados georreferenciados da bacia do rio Manhuaçu	X	X	X																					
2	Geração do MDEHC		X	X																					
3	Análise de consistência de dados pluviométricos em níveis mensal e anual				X	X	X																		
4	Análise de consistência de dados fluviométricos em nível diário				X	X	X																		
5	Análise de consistência de dados de concentração de sedimentos em suspensão				X	X	X																		
6	Preenchimento e extensão de séries de dados mensais de precipitação, vazão e concentração de sedimentos em suspensão						X	X	X																
7	Individualização das áreas de drenagem das estações fluviométricas								X																
8	Elaboração de mapas temáticos da atual situação das precipitações, vazões e concentração de sedimentos ao longo da bacia do rio Manhuaçu									X	X	X													
9	Elaboração de mapa de uso e ocupação do solo, e mapa de tipos de solos											X	X	X											
10	Obtenção de dados relativos aos tipos de solo e de uso e ocupação do solo				X	X																			
11	Calibração do modelo SWAT								X	X	X	X													
12	Validação do modelo SWAT											X	X	X											
13	Simulação da concentração de sedimentos em suspensão utilizando o modelo SWAT												X	X											
14	Elaboração de mapa de uso e ocupação do solo para o Cenário I												X	X	X										
15	Elaboração de mapa de uso e ocupação do solo para o Cenário II												X	X	X										
16	Simulação da concentração de sedimentos em suspensão utilizando o modelo SWAT														X	X	X	X							
17	Análise de resultados																			X	X	X	X		
18	Elaboração de mapas temáticos com os resultados finais																			X	X	X	X		
19	Participação em congressos/apresentação de resultados									X										X					
20	Redação e publicação de trabalhos																					X	X	X	

8.EQUIPE

A equipe técnica está estruturada de forma a melhor desempenhar as atividades do presente Plano de Trabalho, contando com especialistas de diferentes instituições com comprovada experiência na condução de trabalhos de recursos hídricos que atuarão nos diversos estudos, conforme apresentados na metodologia. Os trabalhos serão realizados com base nas diretrizes estabelecidas pelo coordenador, que atuará diretamente em todas as ações previstas na presente proposta.

Equipe de execução	Instituição	Titulação	Tipo de participação	CHP
David Rafael Quintão Rosa	IF Sudeste MG – <i>Campus</i> Manhuaçu	Doutor	Coordenador/ Pesquisador/ Colaborador I	8
Donizete dos Reis Pereira	UFV/ <i>Campus</i> Florestal	Doutor	Pesquisador/ Colaborador II	4
Rafael Alvarenga Almeida	UFVJM	Doutor	Pesquisador/ Colaborador III	4
Flávio Neves Celestino	IF Sudeste MG – <i>Campus</i> Manhuaçu	Doutor	Pesquisador/ Colaborador IV	2
Estudantes de Iniciação Científica Junior (*)	IF Sudeste MG – <i>Campus</i> Manhuaçu	Alunos de curso técnico	Colaboradores V	10

CHP = Carga horária semanal a ser destinada ao projeto. (*) Serão selecionados nos processos de seleção dos respectivos Programas.

Coordenador/Pesquisador/Colaborador I: David Rafael Quintão Rosa

- Envolvido em todas as atividades de levantamento e análise de dados que constam na presente proposta.

Currículo: Engenheiro Agrícola e Ambiental e Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Agrícola (2012), área de concentração Recursos Hídricos e Ambientais. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), área de concentração Recursos Hídricos e Ambientais (2016). Atualmente é professor

do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - *Campus* Manhuaçu. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola e Segurança do Trabalho, com ênfase em Meio Ambiente e Engenharia de Água e Solo.

Pesquisador/Colaborador II: Donizete dos Reis Pereira

- Envolvido nas atividades de levantamento, análise de dados hidrológicos e modelagem da bacia do rio Manhuaçu.

Currículo: Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2007), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2009) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2013). Atualmente é professor da Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Florestal. Possui experiência na área de Engenharia Agrícola com ênfase em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento de bacias hidrográficas, balanço hídrico, evapotranspiração, modelagem hidrológica.

Pesquisador/Colaborador IV: Rafael Alvarenga Almeida

- Envolvido nas atividades de levantamento e análise de dados espaciais da bacia do rio Manhuaçu.

Currículo: Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras - UFLA, Minas Gerais. Foi Bolsista de Iniciação Científica do Departamento de Engenharia, setor de Água e Solo atuando principalmente na área de Conservação do Solo e da Água. Mestre e Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - UFV, Minas Gerais. Trabalhando principalmente na área de Conservação do Solo e da Água. É docente na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, no Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - ICET, responsável pela área de Geoprocessamento em Recursos Hídricos, Sistemas de Informações Geográficas e Hidrologia.

Pesquisador/Colaborador VII: Flávio Neves Celestino

- Responsável pela análise de atividades agrícolas ao longo da bacia do rio Manhuaçu.

Currículo: Professor EBTT do Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais - *Campus* Manhuaçu. Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES, 2014). Mestre em Produção Vegetal (UFES, 2011). Engenheiro Agrônomo (UFES, 2008). Técnico em Agropecuária pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES, 2003), *Campus* Alegre. Atua na área de Fitotecnia Geral nos seguintes temas: Cafeicultura, Fertilidade do Solo, Manejo de Irrigação, Agroecologia, Broca-do-café, Manejo Fitossanitário de Pragas, Controle Biológico, Fungos Entomopatogênicos, Parasitoides e Inseticidas Botânicos.

Colaboradores VIII: Estudante de Iniciação Científica

- Envolvido nas diversas atividades demandadas para levantamento de dados da bacia rio Manhuaçu.

9. ORÇAMENTO DETALHADO

Item	Especificação	Und.	Qtde	Custo Unitário	Custo Total	Custo por ANO (R\$)	
				(R\$)	(R\$)	1.º ANO	2.º ANO
Equipamentos e material permanente							
1	Computador completo e impressora	unid	1	R\$ 3.800,00	R\$ 7.700,00	R\$ 7.700,00	-
	Nobreak		1	R\$ 300,00			
	Notebook		1	R\$ 3.600,00			
Material de consumo							
2	Material bibliográfico	unid	1	R\$ 790,00	R\$ 2.290,00	R\$ 1.145,00	R\$ 1.145,00
	Material de papelaria		1	R\$ 300,00			
	Componentes e/ou peças de reposição de equipamentos, instalação, recuperação, manutenção de equipamentos.		1	R\$ 1.200,00			
Software							
3	ArcGis 10.8 com extensão análise espacial	unid		R\$ 10.600,00	12.510,00	R\$ 12.510,00	-
	Sistema Operacional Windows Pro			R\$ 810,00			
	Microsoft Office Professional 2016			R\$ 1.100,00			
Passagem e diárias							
4	Diárias	unid	10	R\$ 120,00	R\$ 1.200,00	R\$ 600,00	R\$ 600,00
Bolsas							
5	Bolsa (modalidade de Iniciação Científica e Tecnológica. Valor mensal de R\$400,00 por um período de 12 meses)	unid	1	R\$ 400,00	R\$ 4.800,00	R\$ 4.800,00	-
6	Despesas Operacionais	unid	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00	R\$ 750,00	R\$ 750,00
CUSTO DO PROJETO NO 1º ANO						R\$ 27.505,00	
CUSTO DO PROJETO NO 2º ANO							R\$ 2.495,00
CUSTO TOTAL DO PROJETO						R\$ 30.000,00	

9.1. Justificativa para aquisição dos materiais

Os materiais permanentes têm por finalidade permitir a execução dos objetivos propostos neste projeto, necessitando para tanto de equipamentos computacionais de alto desempenho, pois eles serão necessários para manipulação de programas de imagens, de aquisição de dados georreferenciados. Por se tratar de um trabalho de simulação e contar com uma equipe multidisciplinar será necessária à aquisição de um notebook para ser usados por diversos pesquisadores membros da equipe em viagens e reuniões de trabalho.

Os materiais de consumo serão necessários para o devido suporte ao projeto. Já foram feitas as especificações de alguns itens classificados como material de consumo e outros classificados como diversos, como: papel, cartuchos/toners para impressora, material diverso de escritório e outros.

As diárias são para auxílio do grupo de pesquisadores, quando do deslocamento para outras localidades/cidades.

O material bibliográfico servirá para dar apoio bibliográfico necessário ao desenvolvimento do projeto de pesquisa.

A aquisição dos softwares é de extrema necessidade neste projeto, haja vista que serão realizados procedimentos computacionais de manipulação de imagens de satélite com dados vetoriais e matriciais que requeem softwares específicos.

As despesas operacionais são para custear a fundação de apoio na administração dos recursos.