

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

LEONARDO NAZÁRIO SILVA DOS SANTOS

**MODELAGEM HIDROLÓGICA EM MICROBACIA DO SUL DO
ESPÍRITO SANTO: TESTE DO MODELO HIDROBACIA**

**ALEGRE, ES
2010**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

LEONARDO NAZÁRIO SILVA DOS SANTOS

**MODELAGEM HIDROLÓGICA EM MICROBACIA DO SUL DO
ESPÍRITO SANTO: TESTE DO MODELO HIDROBACIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio

ALEGRE, ES
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Santos, Leonardo Nazário Silva dos, 1984-

S237m Modelagem hidrológica em microbacia do sul do Espírito Santo: teste do modelo HidroBacia / Leonardo Nazário Silva dos Santos. – 2010.

103 f. : il.

Orientador: Roberto Avelino Cecílio.

Co-orientador: Sidney Sára Zanetti.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Recursos hídricos – Espírito Santo (Estado). 2. Bacias hidrográficas – Manejo – Espírito Santo (Estado). 3. Escoamento - Hidrologia. 4. Modelagem – Hidrologia. I. Cecílio, Roberto Avelino. II. Zanetti, Sidney Sára. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63


LEONARDO NAZARIO SILVA DOS SANTOS

MODELAGEM HIDROLÓGICA EM MICROBACIA DO SUL DO ESPÍRITO SANTO: TESTE DO MODELO HIDROBACIA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 05 de fevereiro de 2010

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
Centro de Ciências Agrárias - UFES
Orientador



Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
Centro de Ciências Agrárias - UFES



Prof. Dr. Sidney Sára Zanetti
CEUNES - UFES



Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel
IFES – Campus de Alegre

Ao meu Avô Lico
(*in memoriam*),
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Ana Maria e José Antônio, ao meu irmão Lucas, a minha avó Maria, aos meus Tios, Zé e Chico, e Tia Cirlene pelas ajudas, pelo crescimento moral, familiar e compreensão em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio, meu orientador, pela confiança, pelos valiosos ensinamentos, conselhos, enorme cooperação e confiança depositada.

Ao Prof. Dr. Sidney Sára Zanetti, meu conselheiro, pelo apoio, pelos inúmeros conhecimentos transmitidos e incondicional disponibilidade para me atender.

Aos amigos e companheiros de República: Victor e João Victor, e agregados: Hugo Natan, Meline, Isadora, Gina e Raoni. Certamente, a República do Rodo (*in memoriam*) nunca deixará de existir em nossos pensamentos!

A Weslei, Huezer e Cássio pela colaboração na condução do projeto de pesquisa. Em especial ao amigo Maycon, que sempre demonstrou muita determinação e disposição, tornando-se fundamental no desenvolvimento deste projeto.

Ao Prof. Dr. Sebastião Martins Filho, pois foi graças a ele que iniciei minha caminhada na pesquisa científica.

Ao Programa de Pós-Graduação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) pela formação e oportunidade concedida.

À FAPES pela concessão da bolsa de estudos no decorrer do mestrado.

Ao CNPq – Brasil, pelo financiamento do projeto de pesquisa que originou esta dissertação (Edital MCT/CNPq 15/2007 – Universal; Projeto: "Análise de modelos para estimativa do comportamento hidrológico de microbacia hidrográfica no Espírito Santo").

Aos professores Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane e Dr. Otacílio José Passos Rangel pelas sugestões.

Aos Professores Dr. Renato Ribeiro Passos e Dr. Edvaldo Fialho dos Reis por cederem o Laboratório de Física do Solo (CCA-UFES) e LAFARSOL (NedTec) para realização de análises físicas, respectivamente. Em especial, aos servidores Soninha e Luís.

A Newton Barboza Campos ("mano Newton"), pela concessão da área experimental – microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre – ES.

Aos amigos da República Toca dos Gatos, Pablo Madeira, Alessi e Gabriel Mortinho.

Aos eternos amigos: Gustavo Soares, Willian Bucker, Fernando Carrara, Samuel de Assis e Rogério Alvarez.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esse trabalho tivesse êxito, obrigado por poder contar com vocês e perdão àqueles de quem eu tenha me esquecido...

BIOGRAFIA

LEONARDO NAZÁRIO SILVA DOS SANTOS, filho de José António dos Santos e Ana Maria da Silva Santos, nasceu em Guaçuí, Espírito Santo, em 26 de abril de 1984.

Concluiu o segundo grau (ensino médio) em 2001, no Colégio Jesus Cristo Rei, em Cachoeiro de Itapemirim – ES.

No primeiro semestre de 2003, ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo, concluindo o curso de agronomia em agosto de 2007.

Em fevereiro de 2008, iniciou o curso de mestrado em Produção Vegetal, área de concentração Manejo e Conservação do Solo e Água, na Universidade Federal do Espírito Santo, concluindo-o em fevereiro de 2010.

RESUMO

SANTOS, Leonardo Nazário Silva dos, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, fevereiro de 2010. **Modelagem hidrológica em microbacia do sul do Espírito Santo: Teste do modelo HydroBacia**. Orientador: Roberto Avelino Cecílio. Conselheiro: Sidney Sára Zanetti.

A atual deterioração do ambiente agropecuário provocada pelo desmatamento e utilização de práticas agrícolas inadequadas faz com que os recursos hídricos fiquem cada vez mais ameaçados. Com isso, a simulação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas consiste numa das principais ferramentas na gestão dos recursos hídricos, pois visa minimizar o processo de degradação ambiental em bacias hidrográficas (BH), devido à possibilidade de predição do impacto do manejo da BH sobre a produção de água e simula o comportamento das fases do ciclo hidrológico. Neste trabalho, objetiva-se avaliar a aplicação do modelo hidrológico HydroBacia em uma microbacia hidrográfica no município de Alegre – ES, uma vez que este modelo possibilita a realização do balanço hídrico e a obtenção do hidrograma de escoamento superficial, da vazão máxima e do volume escoado para qualquer posição em uma BH. Para isso, caracterizaram-se a situação ambiental e a quantidade dos recursos hídricos na bacia experimental. As informações referentes às características físicas do solo e cobertura vegetal foram inseridas no modelo na forma de imagens, levando-se em consideração a distribuição espacial das mesmas. O modelo necessita, ainda, de imagens referentes ao modelo digital de elevação do terreno, às direções de

escoamento e à rede de drenagem numérica, obtidas a partir do processamento de dados topográficos e manipuladas em ambiente de sistema de informações geográficas. O processo de infiltração de água no solo no HidroBacia é representado pela equação de Green-Ampt modificada por Mein e Larson (GAML) que necessita dos parâmetros: potencial matricial na frente de umedecimento (Ψ_f), condutividade hidráulica na zona de transmissão (K_w) e umidade do solo, também, na zona de transmissão (θ_w). Dessa forma, são avaliadas 72 combinações distintas de dados de entrada para Equação de GAML. Por fim, são comparados os dados reais (obtidos no exutório da microbacia) de lâmina de escoamento superficial (LES) e vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) com os simulados pelo HidroBacia. Além disso, procedeu-se à comparação dos resultados observados com método racional (MR) e o método número da curva (MNC). Verifica-se que 7 combinações apresentam melhor desempenho na estimação da LES e $Q_{m\acute{a}x}$ por meio de simulações realizadas com o HidroBacia. Essas combinações são a Equação de Mein e Larson (1973) associada a K_w correspondente a $T_{ie}/3$ e θ_w equivalente a $0,90 \theta_s$ ou $0,85 \theta_s$ ou associada a K_w correspondente a $T_{ie}/4$ e θ_w equivalente a θ_s ; e a Equação de Cecílio (2005) associada a K_w correspondente a $T_{ie}/4$ a todas as opções de θ_w (θ_s , $0,90 \theta_s$, $0,85 \theta_s$ ou $0,80 \theta_s$). Os dados simulados pelo MR e MNC superestimaram a $Q_{m\acute{a}x}$ e a LES, respectivamente. Portanto, para a condição experimental, recomenda-se a utilização do modelo hidrológico HidroBacia para estimação tanto da LES quanto da $Q_{m\acute{a}x}$.

Palavras-chave: Recursos hídricos; Escoamento superficial; Equação de Green-Ampt-Mein-Larson; Modelagem hidrológica; Manejo de bacias hidrográficas.

ABSTRACT

SANTOS, Leonardo Nazário Silva dos, M.Sc., Federal University of Espírito Santo, February 2010. **Hydrological modeling in the watershed south of the Espírito Santo: Testing the model HidroBacia**. Adviser: Roberto Avelino Cecílio. Co-adviser: Sidney Sára Zanetti.

The current deterioration of the environment caused by deforestation and use of inappropriate farming practices seriously affect water resources. Thus, the simulation of the hydrological behavior on the drainage basin (DB) is a major tool for managing water resources. It aims to minimize environmental degradation in the DB, due to the impact on the water production from DB which simulates the behavior of the hydrological cycle. The aim of this work was to evaluate the application of HidroBacia hydrologic model in a small watershed from Alegre – ES. This model allows the performance of water balance, runoff hydrogram, the maximum flow rate and the runoff volume for any position in a DB. Therefore, the environmental situation and the amount of water in the experimental basin are characterized. The Information about the physical characteristics of soil and vegetation cover were entered into the image model according to their spatial distribution. The model still needs pictures from digital elevation model, flow direction and drainage network numbers obtained and manipulated from the processing topographic data and a geographic information system. The process of water infiltration into the HidroBacia soil is represented by the Green-Ampt equation modified by Mein and Larson (GAML) whose main parameters are: matric potential at the wetting front (Ψ_f), hydraulic conductivity (K_w) and soil

moisture (θ_w) in the transmission zone. Here, we evaluated 72 different combinations of input data for GAML Equation. Finally, we compare the actual data (obtained in the small watershed) from surface runoff and peak flow rate ($Q_{m\acute{a}x}$) with the HidroBacia simulated data. The results observed with the rational and curve number method were also compared. There are seven combinations which exhibit the best performance carried out by HidroBacia simulations. These combinations are: the Mein and Larson equation (1973) is associated K_w with the corresponding $T_{ie}/3$ and θ_w equivalent to $0.90 \theta_s$ or $0.85 \theta_s$. It is also K_w associated with the corresponding $T_{ie}/4$ and θ_w equivalent to θ_s . The Cecílio equation (2005) is associated K_w with the corresponding $T_{ie}/4$ to all θ_w options (θ_s , $0.90 \theta_s$, $0.85 \theta_s$ or $0.80 \theta_s$). The data simulated by rational and curve number method overestimated surface runoff and $Q_{m\acute{a}x}$, respectively. Thus, for this experimental condition, we recommend the HidroBacia hydrologic model to estimate both surface runoff and $Q_{m\acute{a}x}$.

Keyword: Water resources; Runoff; Equation of Green-Ampt-Mein-Larson; Hydrologic modelling; watershed management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Bacia hidrográfica	17
2.2 Ciclo hidrológico.....	18
2.3 Infiltração de água no solo	20
2.3.1 Métodos de determinação da infiltração de água no solo.....	21
2.3.2 Modelagem físico-matemática da infiltração.....	21
2.3.2.1 Adequação da umidade da zona de transmissão (θ_w)	25
2.3.2.2 Adequação da condutividade hidráulica na zona de transmissão (K_w)	26
2.3.2.3 Adequação do potencial matricial na frente de umedecimento (Ψ_f)....	26
2.4 Escoamento Superficial.....	29
2.4.1 Cobertura vegetal como forma de amenizar a ocorrência de escoamento superficial.....	31
2.5 Modelos hidrológicos.....	32
2.5.1 Método Racional.....	35
2.5.2 Método do Número da Curva	36
2.5.3 HidroBacia	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1 Caracterização da área em estudo	39
3.1.1 Localização e histórico	39

3.1.2	Delimitação da bacia hidrográfica.....	40
3.1.3	Caracterização e delimitação do uso e ocupação do solo.....	41
3.2	Imagens temáticas	45
3.2.1	Características físicas da cobertura vegetal	45
3.2.2	Determinação das características físicas dos solos	47
3.2.2.1	Análise granulométrica.....	48
3.2.2.2	Densidade do solo (D_s) e densidade de partículas (D_p)	50
3.2.2.3	Porosidade total, macro e microporosidade	51
3.2.2.4	Curva de retenção de água no solo	52
3.2.2.5	Taxa de infiltração estável de água no solo	53
3.3	Monitoramento dos elementos climáticos	54
3.4	Monitoramento da vazão do curso d'água	55
3.4.1	Calibração do vertedor	56
3.4.2	Construção dos hidrogramas de escoamento superficial	58
3.5	Aplicação do HidroBacia	59
3.5.1	Umidade inicial do solo (θ_i)	59
3.5.2	Simulações aplicando o modelo HidroBacia.....	61
3.6	Aplicação do Método Racional e Método Número da Curva.....	62
3.7	Análises estatísticas.....	65
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1	Imagens temáticas obtidas.....	67
4.2	Simulações realizadas com o HidroBacia	69
4.3	Resultados das simulações obtidas pelo Método Racional e Método Número da curva	81
5.	CONCLUSÕES.....	84
6.	REFERÊNCIAS	85
7.	ANEXOS.....	93

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico, o aumento populacional e da demanda por produtos agrícolas e industrializados geram crescente incremento na utilização de água pela agricultura. A evolução humana sempre esteve atrelada ao uso da água doce, que por muito tempo, foi considerada como um recurso inesgotável. Mesmo que, frequentemente, não exista crescimento econômico agrícola sem deterioração do ambiente, seja pelo desmatamento ou pela utilização de práticas agrícolas inadequadas, os recursos hídricos estão cada vez mais ameaçados pelo uso irracional do ambiente agropecuário.

A água consiste em um dos recursos naturais mais necessários e indispensáveis para a continuidade das gerações atual e futuras, o que se deve às diversas funções por ela desempenhadas, tais como: navegação fluvial; elemento representativo de valores sócio-culturais e religiosos; habitat natural de diversas espécies; desenvolvimento do ecoturismo, paisagismo e recreação; componente biótico de seres vivos; abastecimento doméstico; abastecimento industrial; irrigação; insumo de produção de diversos bens de consumo; geração de energia elétrica; elemento termorregulador das variações diárias na temperatura do ar; e assimilação, diluição e transporte de resíduos.

Apesar de sua enorme importância, o total de água doce existente na Terra não ultrapassa 2,5% do total de 1.386 milhões de quilômetros cúbicos, sendo o restante desse montante (97,5%) representado pelas águas com maiores teores de sais dissolvidos. A maior parte da água doce (68,7%) encontra-se presente nas

calotas polares e geleiras. Outro grande montante, 29,9%, consiste em água subterrânea presente nos aquíferos. Apenas 0,26% da quantidade total de água doce da Terra estão concentradas em lagos, represas e sistemas de cursos d'água superficiais, que são mais acessíveis para as atividades humanas e absolutamente vitais para a manutenção de grande parte dos ecossistemas terrestres (SHIKLOMANOV, 1998).

Quanto à disponibilidade hídrica, o Brasil apresenta situação privilegiada em relação à maioria dos países, mas a distribuição temporal e espacial desse recurso não é uniforme em todo território, resultando num abastecimento precário para algumas regiões. Existem regiões com excedente hídrico durante todo o ano (caso da Amazônia), enquanto outras sofrem com escassez (caso do Nordeste). Além disso, em algumas épocas do ano, observa-se alta disponibilidade de água, ocorrendo precipitações que ocasionam eventos catastróficos de cheias; porém, em outros períodos são marcados por fortes estiagens, ocasionando problema à agricultura e abastecimento urbano.

Atrelado ao crescimento demográfico há uma maior necessidade de produção de alimentos, fato que, conseqüentemente, tende a forçar o aumento das áreas agricultáveis e da produtividade. Entretanto, o clima dessas áreas nem sempre é propício à produção agrícola, o que determina o aumento da agricultura irrigada. No Brasil, o consumo de água pelo setor agropecuário na década de 80 era cerca de 29,5% do consumo total (BARTH, 1987), valor que atualmente é de 69% do total consumido (ANA, 2009). Dada a grande quantidade de água utilizada pela agricultura irrigada, esta precisa ser eficiente, a fim de se manter sustentável em termos ambientais, cabendo ao profissional ligado às Ciências Agrárias atuar na estrutura da irrigação existente, em termos de seleção adequada de tipos de cultivo; adequação de sistemas e manejo de irrigação; e gestão racional e integrada do uso de água.

A utilização de modelos capazes de prever e gerenciar o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas e estimar as perdas de solo em função de modificações no uso da terra se tornou ferramenta indispensável para a sustentabilidade da produção agrícola. Portanto, técnicos e cientistas ligados à produção vegetal devem desenvolver e divulgar novos conhecimentos para que haja

um aproveitamento sustentável dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, sendo que estes deverão ser utilizados de forma mais harmônica com o meio (FERREIRA, 2004), consistindo em objetivo principal do manejo de bacias hidrográficas.

Os modelos hidrológicos de simulação se apresentam como uma ótima opção para o manejo em bacias hidrográficas, entretanto, percebe-se que alguns modelos possuem limitações, principalmente por não considerarem os diversos fatores que influenciam na produção de escoamento superficial e, conseqüentemente, na ocorrência de erosão hídrica. Esses fatos são ainda mais agravantes quando se deseja avaliar determinadas regiões tropicais, pois, segundo Zanetti (2007), os modelos desenvolvidos no exterior apresentam limitações quanto ao seu uso para as condições edafoclimáticas brasileiras.

Com o intuito de contornar tal problema, Silva et al. (2009b) desenvolveram um modelo hidrológico e, também um software associado, denominado HidroBacia, posteriormente aprimorado por Zanetti et al. (2009b), que permite a realização do balanço hídrico e a obtenção do hidrograma de escoamento superficial, da vazão máxima e do volume escoado para qualquer posição de uma bacia hidrográfica agrícola, considerando, para isso, os diversos processos constituintes do ciclo hidrológico (ZANETTI, 2007). Entretanto, como os estudos referentes ao HidroBacia são recentes e limitados a estas duas avaliações, não se tem, ainda, uma idéia consistente do seu comportamento para as diversas condições edafoclimáticas presentes no Brasil, havendo necessidade de realização de trabalhos de avaliação de seu desempenho em outras bacias hidrográficas.

Nesse contexto, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a aplicabilidade do modelo hidrológico HidroBacia em uma microbacia hidrográfica no município de Alegre, no Estado do Espírito Santo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia hidrográfica

Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem (Figura 1) é uma área definida topograficamente, delimitada pelos divisores de águas (linhas que unem os pontos de cotas mais elevadas), cuja drenagem das águas pluviais ocorre por um curso d'água ou por um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda vazão efluente seja descarregada por uma simples saída (exutório ou foz).

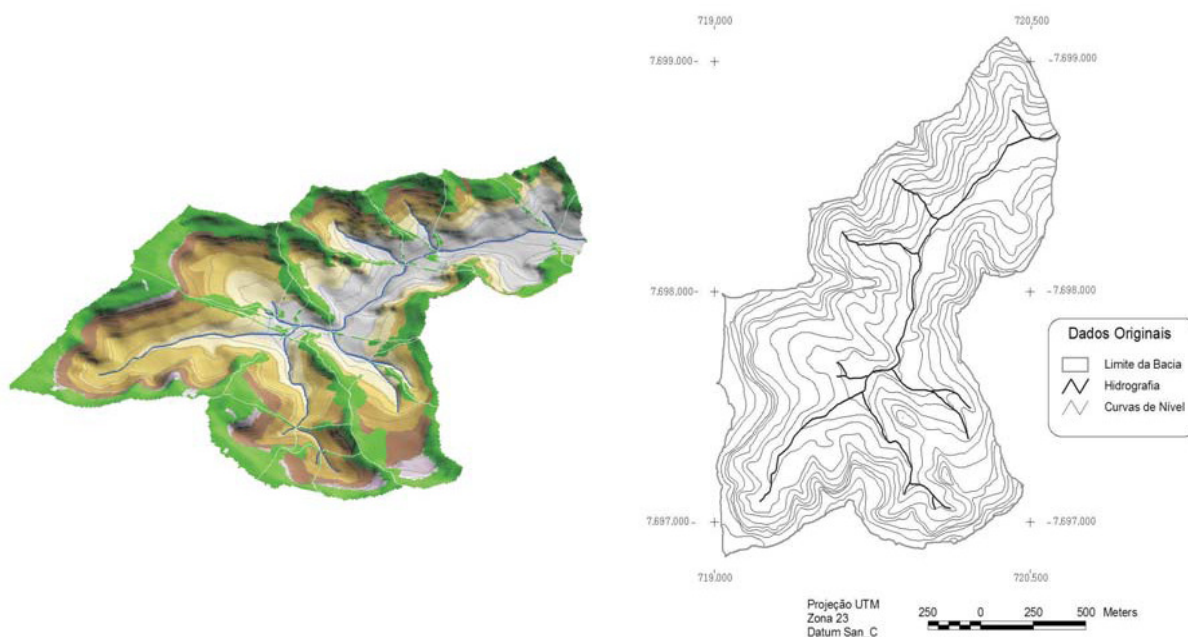


Figura 1 – Representação de uma bacia hidrográfica (Fonte: Ribeiro et al., 2005).

Numa visão integrada, a bacia hidrográfica deve ser a unidade de caracterização, diagnóstico, planejamento e gestão ambiental, com vistas ao desenvolvimento regional sustentável, pois consiste na unidade geográfica na qual os impactos ambientais podem ser mensurados e corrigidos mais facilmente (ARAÚJO et al., 2009). Dessa forma, delimitar uma bacia hidrográfica se torna um dos primeiros e mais comuns procedimentos a serem executados para efetuar análises hidrológicas ou ambientais.

Em geral, a delimitação de bacias hidrográficas é feita a partir de mapas que contenham a rede de canais naturais de drenagem e a topografia do terreno (SANTOS, 2007). Os divisores de água são identificados pelas cristas das elevações do terreno que separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes; formando uma linha fechada, a qual é ortogonal às curvas de nível do mapa, sendo traçada a partir da seção de deságue em direção às maiores cotas ou elevações.

O processo de delimitação de bacias hidrográficas avançou muito com o advento dos sistemas de informações geográficas (SIG). Antes do aparecimento dessa ferramenta, uma bacia hidrográfica era demarcada de forma manual, o que frequentemente não trazia precisão ao processo. Assim, com o surgimento de representações digitais do relevo, a demarcação dos limites de uma bacia hidrográfica se tornou extremamente consistente e precisa (ARAÚJO et al., 2009).

2.2 Ciclo hidrológico

Ciclo hidrológico (Figura 2) pode ser definido como a sequência fechada de processos de movimentação da água desde a sua passagem da atmosfera para a superfície terrestre, até o seu retorno sob a forma de vapor d'água (evapotranspiração), sendo impulsionado pela energia solar e pela ação da força da gravidade. Portanto, inclui todos os outros processos de movimentação da água: interceptação pela cobertura vegetal, infiltração, armazenamento superficial, escoamento superficial, escoamento de cursos d'água, escoamento subterrâneo e percolação profunda (CECÍLIO et al., 2007a).

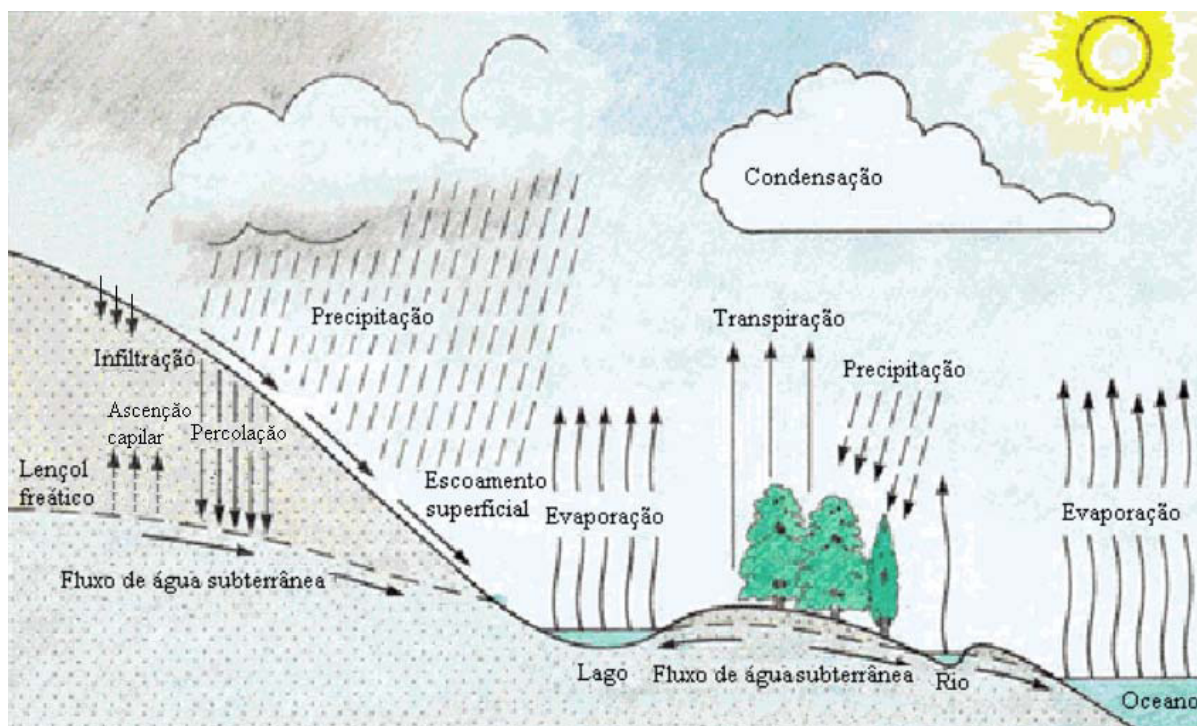


Figura 2 – Ilustração do ciclo hidrológico (Fonte: Silva, 2002).

A água que precipita nos continentes pode tomar vários destinos. A maior parte é devolvida diretamente à atmosfera por evaporação; a outra, infiltra, ou seja, penetra no interior do solo, sendo posteriormente absorvida pelo sistema radicular das culturas ou abastecendo os aquíferos. A água que não é capaz de infiltrar no solo, seja pela saturação, obstruções e, ou pela intensidade de precipitação maior que a capacidade de infiltração, começa a preencher as depressões do solo. Assim que estas forem totalmente preenchidas, a força da gravidade impulsiona o excesso de água e se dá início ao escoamento superficial. A água que infiltra no solo, além de umedecê-lo, abastece os aquíferos e cria um fluxo de água subterrânea. Esta água juntamente àquela proveniente do escoamento superficial alimenta os canais fluviais que tendem a desaguar em grandes lagos ou nos oceanos (BARNETCHE, 2006; COLLISCHONN e TASSI, 2008).

O escoamento superficial constitui uma resposta rápida à precipitação e cessa pouco tempo depois que ela acaba. Entretanto, o escoamento subterrâneo ocorre com lentidão e continua a alimentar os cursos d'água por longo tempo após o término da precipitação que o originou.

2.3 Infiltração de água no solo

A infiltração é definida como a passagem de água da superfície para o interior do solo (BRANDÃO et al., 2006). Inicialmente, seu valor é elevado, visto que a taxa de infiltração (lâmina de água que infiltra por unidade de tempo, T_i) é alta. Com o passar do tempo e sob precipitação ou irrigação, a infiltração tende a um valor constante, conhecido como taxa de infiltração estável (T_{ie}).

Sabe-se que o processo de infiltração se constitui em uma das fases mais importantes do ciclo hidrológico, já que é fator determinante da disponibilização de água para as culturas, da recarga dos aquíferos subterrâneos, da ocorrência e magnitude do escoamento superficial e, sobretudo, para o manejo e conservação do solo e da água.

A infiltração é um processo que depende, em maior ou menor grau, de diversos fatores, os quais podem ser divididos em: fatores relacionados ao solo, à superfície, ao preparo e manejo do solo e outros fatores (RAWLS et al., 1996, citado por BRANDÃO et al. 2006).

Os fatores relacionados ao solo incluem as características e propriedades físicas, químicas e mineralógicas do mesmo, tais como: textura; estrutura; densidade do solo; porosidade; umidade; matéria orgânica.

Os fatores relacionados à superfície interferem no movimento de água através da interface ar-solo, atuando no sentido de modificar as propriedades do solo. Observa-se, por exemplo, um contraste entre áreas rurais e urbanas, sendo que a impermeabilização fica evidente nessa última, devido aos calçamentos e pavimentações. Além disso, quando se aumenta a proteção do solo, ou seja, aumenta a cobertura vegetal, há uma redução no encrostamento e aumento na macroporosidade e condutividade hidráulica, o que favorece a infiltração.

O tipo de preparo e manejo do solo afeta a infiltração, à medida que interfere nas suas propriedades e condições de superfície, por meio de práticas como o cultivo agrícola e a irrigação. Inicialmente, o preparo convencional do solo (aração seguido de gradagem) tende a aumentar a infiltração, isso por que há um aumento de macroporos; entretanto, logo após pode ocorrer o encrostamento do solo, o que leva à redução da infiltração. No entanto, o tráfego intenso de máquinas e a super

lotação de áreas para pastoreio também são formas de manejo inadequadas, quando se deseja evitar o escoamento superficial e aumentar a infiltração.

Outros fatores incluem os processos naturais, tais como a precipitação e o congelamento do solo e as propriedades da água. Dessa forma, estes fatores variam com o passar do tempo e interagem com os demais fatores que também afetam a infiltração.

2.3.1 Métodos de determinação da infiltração de água no solo

Existem diversos métodos para se determinar a taxa de infiltração de água no solo, dentre eles: o infiltrômetro de cilindro único (ICU); o infiltrômetro de anéis concêntricos (IAC); e o infiltrômetro de aspersão (IA).

Em geral, os valores de taxas de infiltração determinados por meio de IAC superestimam àqueles determinados pelo método do IA em torno de 1,5 a 6 vezes (PRUSKI et al., 1997b; COSTA et al., 1999; GARCIA, 2005; BRANDÃO et al., 2006). Isso ocorre devido ao encrostamento da superfície do solo sob chuva simulada, situação em que não ocorre no IAC, uma vez que neste método não existe o impacto das gotas de precipitação contra a superfície do solo. Outro fator que contribui para a superestimação da T_{ie} pelo IAC é a presença da lâmina de água sobre a superfície do solo, fazendo com que o gradiente hidráulico seja maior. Além disso, ao se cravar os anéis no solo ocorre uma alteração do mesmo, o que contribui para aumentar o volume infiltrado, seja pela deformação da estrutura do solo ou pelo caminho preferencial que a água terá nas paredes dos anéis. Devido a tais fatos, Vieira (1977) citado por Costa et al. (1999), afirma que o IAC possui limitação quando é utilizado para avaliação de trabalhos em que os dados gerados se dêem através de precipitação.

2.3.2 Modelagem físico-matemática da infiltração

A descrição físico-matemática do processo de infiltração é muito complexa, mesmo quando há homogeneidade do solo e da umidade inicial (ZANETTI, 2007). Inicialmente, ao precipitar, ocorre a infiltração de toda a precipitação, o que inicia um processo de umedecimento no sentido de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade (CECÍLIO, 2005). Posteriormente, com a

continuação da chuva, a capacidade de infiltração da água no solo se reduz gradativamente, podendo se tornar menor que a intensidade de precipitação. A partir deste momento, a água começa a se acumular sobre a superfície do solo, podendo ocorrer o escoamento superficial (MEIN e LARSON, 1973).

Rodrigues e Pruski (1997) afirmam que dentre os vários modelos disponíveis para estimar a infiltração da água no solo, o de Green-Ampt é um dos que apresentam maior potencial de utilização, devido à sua simplicidade e por estar fundamentado no processo físico da infiltração. Esse modelo foi desenvolvido, considerando-se que desde o início do processo de infiltração a superfície do solo se encontra saturada e que existe uma carga hidráulica sobre a superfície do solo. Esta situação, entretanto, não corresponde às condições de infiltração que ocorrem sob condições de precipitação, pois dificilmente ocorre empocamento de água sobre a superfície do solo durante toda a chuva.

Para determinar a infiltração que ocorre antes de a superfície do solo atingir a saturação, Mein e Larson (1973) modificaram o modelo de Green-Ampt e este novo modelo passou a ser denominado de Green-Ampt modificado por Mein e Larson, ou modelo de Green-Ampt-Mein-Larson (GAML).

No modelo GAML, os autores consideram o comportamento da infiltração em três estágios distintos (Figura 3). Considerando que uma precipitação de intensidade i_p é aplicada em um solo com condutividade hidráulica K_s e capacidade de infiltração Cl , os três estágios podem ser assim caracterizados:

Estágio A: $i_p < K_s$. Para esta condição não há ocorrência de escoamento superficial, pois toda a água precipitada infiltra no solo, portanto $T_i = i_p$. Este estágio é representado na Figura 3 pela linha A.

Estágio B: $K_s < i_p \leq Cl$. Durante este estágio toda a água infiltra no solo, ocorrendo elevação do teor de umidade próximo à superfície do solo. Este estágio é representado pelo trecho retilíneo B da curva BC, em que $T_i = i_p$.

Estágio C: $K_s < Cl \leq i_p$. A taxa de infiltração da água no solo ocorre conforme a capacidade de infiltração do solo e começa a diminuir com o tempo, portanto $T_i = Cl$. O escoamento superficial começa a ocorrer. Este estágio é representado pelo trecho C da curva BC.

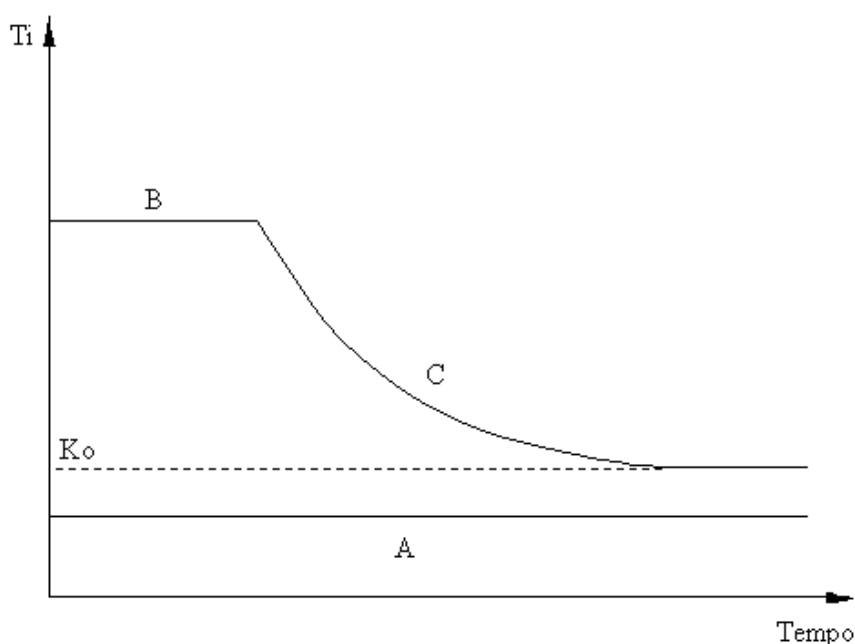


Figura 3 – Diferentes estágios da infiltração sob condições de chuva.

O modelo GAML estima a lâmina de água infiltrada antes da saturação da camada superficial do solo (estágio B), por meio da Equação 1, a partir da consideração de que a umidade na superfície aumenta durante a precipitação até que a camada de solo situada próxima à superfície atinja a saturação e ocorra o empocamento de água sobre a superfície do solo.

$$l_0 = \frac{\Psi_f}{\frac{i_p}{K_s} - 1} (\theta_s - \theta_i) \quad (1)$$

em que:

l_0 = lâmina infiltrada antes da saturação da superfície, mm; e

i_p = intensidade de precipitação, mm h⁻¹;

θ_s = umidade do solo saturado, cm³ cm⁻³; e

θ_i = umidade do solo no início do processo de infiltração, cm³ cm⁻³.

O tempo decorrido entre o início da infiltração e o momento da saturação, chamado de tempo de empoçamento da água na superfície do solo, é dado por:

$$t_p = \frac{l_0}{i_p} \quad (2)$$

em que t_p é o tempo de empoçamento da água na superfície do solo, h.

A partir do empoçamento da água na superfície do solo, a taxa de infiltração passa a ser igual à capacidade de infiltração, ou seja:

$$T_i = K_s \left(1 + \Psi_f \frac{(\theta_s - \theta_i)}{l} \right) \quad (3)$$

em que:

T_i = taxa de infiltração de água no solo, mm h^{-1} ;

K_s = condutividade hidráulica do solo saturado, mm h^{-1} ;

Ψ_f = potencial matricial do solo na frente de umedecimento, mm;

l = infiltração acumulada, mm.

Para estimar a T_i usando o modelo de GAML é necessário dispor dos valores de K_s , θ_s e Ψ_f . Além da determinação desses parâmetros no campo ser difícil e, ou fornecer resultados duvidosos, estes não condizem com a realidade física do processo de infiltração, fazendo com que o mesmo não seja adequadamente representado.

Na concepção do modelo de GAML, presume-se que a região acima da frente de umedecimento se encontra saturada. Entretanto, devido ao fenômeno de aprisionamento de ar nos poros do solo, a umidade de saturação (θ_s) não é atingida,

sendo que a máxima umidade atingida pelo solo é a umidade da zona de transmissão (θ_w), menor que θ_s (CECÍLIO, 2005).

Segundo Wilson e Oduro (2004) a condutividade hidráulica é o parâmetro ao qual o modelo de GAML apresenta maior sensibilidade. Todavia, uma vez que a frente de umedecimento se encontra em uma zona onde a saturação não é completa, a condutividade hidráulica do solo não pode ser K_s , e sim a condutividade hidráulica relativa à umidade da zona de transmissão (K_w).

Devido à falta de uniformidade da umidade do solo no início do processo de infiltração e à variação de suas propriedades físicas ao longo do perfil, a frente de umedecimento não é abrupta e bem definida, como pressuposto no desenvolvimento do modelo de Green-Ampt. A frente de umedecimento é, na verdade, difusa e se torna cada vez mais difusa, à medida que penetra no solo (WANG e BENSON, 1995). Segundo Rodrigues (1999), o parâmetro Ψ_f é o mais difícil de ser determinado com precisão; todavia, Brakensiek e Onstad (1977) afirmam que este parâmetro é o modelo ao qual apresenta menor sensibilidade.

Sendo assim, diversos pesquisadores desenvolveram estudos visando a adequar os parâmetros de entrada dos modelos de Green-Ampt e GAML, substituindo θ_s por θ_w , K_s por K_w , e propondo alternativas para o cálculo de Ψ_f .

2.3.2.1 Adequação da umidade da zona de transmissão (θ_w)

Solos que possuem poros com tamanhos mais uniformes, maior pressão de borbulhamento e que são constituídos por partículas menores têm tendência a aprisionar menos ar, possuindo, portanto, um maior valor relativo de θ_w (θ_w/θ_s) (BLOOMSBURG e COREY, citados por SLACK et al., 1988). Além disso, estes autores mostraram que solos argilosos compactos apresentaram os maiores valores relativos de θ_w e os solos com textura média apresentaram os menores valores relativos deste parâmetro.

Zirbel et al. (1982), citado por Rodrigues (1999), constataram que θ_w varia de $0,79 \theta_s$ para um solo arenoso a $0,84 \theta_s$ para um solo argiloso. Slack et al. (1988) indicam valores de $0,73 \theta_s$ para solos de textura média, $0,79 \theta_s$ para solos arenosos e $0,91 \theta_s$ para solos argilosos.

Por outro lado, em estudos realizados com solos do Brasil, Cecílio (2002) propõe a utilização de valores de θ_w variando entre 0,79 a 0,81 θ_s , para Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, e na faixa de 0,85 a 0,86 θ_s para textura média. Estudando um Latossolo Vermelho-Amarelo, com uso de colunas de solo, Mello (2003) encontrou valores de θ_w variando entre 0,76 e 0,92 θ_s para material de solo com textura muito argilosa e entre 0,81 e 0,94 θ_s para material de textura média, sendo que estes valores apresentaram uma tendência a aumentar com o aumento da densidade do solo. Cecílio et al. (2007b) encontraram, em condições de laboratório, valores médios de θ_w iguais a 0,86 θ_s e 0,97 θ_s em Latossolo Vermelho (textura médio-arenosa) e Argissolo Vermelho (textura muito argilosa), respectivamente.

2.3.2.2 Adequação da condutividade hidráulica na zona de transmissão (K_w)

Para estimação desse parâmetro, existem métodos empíricos, derivados de dados experimentais, e métodos baseados em processos físicos, que estimam K_w em função da umidade ou do potencial matricial do solo. Enquanto os primeiros são aplicáveis apenas em situações similares às aquelas em que as equações foram desenvolvidas, os demais envolvem o conhecimento de K_s . Isto se torna uma limitação, pois K_s é um parâmetro de difícil determinação devido a pouca confiabilidade apresentada pelos métodos disponíveis, os quais levam a coeficientes de variação superiores a 70% (MESQUITA e MORAES, 2004).

Uma terceira forma de estimar K_w , inicialmente proposta por Silva e Kato (1998), consiste em considerá-lo igual T_{ie} . Segundo Cecílio (2005), a taxa de infiltração estável é o melhor estimador da condutividade hidráulica do solo, em substituição a K_s determinado por intermédio do permeâmetro de carga constante. O mesmo autor, trabalhando com três tipos de solo, encontrou melhores estimativas da taxa de infiltração de água no solo com a utilização da T_{ie} em substituição a K_s .

2.3.2.3 Adequação do potencial matricial na frente de umedecimento (Ψ_f)

Existem diversos métodos para se calcular/estimar o Ψ_f , sendo que alguns possuem embasamento físico e outros são empíricos. Em relação aos empíricos, pode-se citar: equações que utilizam a pressão de borbulhamento e equações que

utilizam características físicas do solo. Além destes, outros métodos utilizam parâmetros referentes à curva de retenção de água no solo, como os métodos: Mein e Larson (1973); Mein e Farrell (1974); Brakensiek (1977); Panikar e Nanjappa (1977); Slack (1980); Cecílio et al. (2007b); entre outros.

Bouwer (1969) recomenda que o valor de Ψ_f seja metade da pressão de borbulhamento (Ψ_b), sendo o valor de Ψ_b obtido a partir da curva de retenção de água no solo, valor este correspondente à pressão necessária aplicada ao solo para que o maior poro se esvazie. A Ψ_b é oriunda do modelo desenvolvido por Brooks e Corey (1964) para ajustar curvas de retenção de água no solo.

Brakensiek (1977) recomenda a utilização de um valor médio de $0,76 \Psi_b$ para Ψ_f . Sugere também a utilização da Equação 4:

$$\Psi_f = \frac{2 + 3\lambda}{1 + 3\lambda} \left(\frac{\Psi_b}{2} \right) \quad (4)$$

em que:

Ψ_b = pressão de borbulhamento, mm; e

λ = índice de distribuição do tamanho de poros, adimensional.

Risse et al. (1995) e Rawls et al. (1996) recomendam, para o cálculo de Ψ_f , a utilização da Equação de Rawls e Brakensiek (1983):

$$\Psi_f = 0,01 e^{\alpha} \quad (5)$$

em que:

$$\begin{aligned} \alpha = & 6,531 - 7,330\theta_w + 15,8 Ag^2 + 3,81 \theta_w^2 + 3,4 Ar Ag - 4,98 Ar \theta_w + \\ & + 16,1 Ar^2 \theta_w^2 + 16 Ag^2 \theta_w^2 - 14 Ar^2 Ag - 34,8 Ag^2 \theta_w - 8 Ar^2 \theta_w \end{aligned}$$

em que:

A_g = teor de argila no solo, kg kg^{-1} ;

A_r = teor de areia no solo, kg kg^{-1} ; e

θ_w = umidade do solo na zona de transmissão, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

De acordo com Mein e Larson (1973), Ψ_f pode ser estimado pela área sob a curva do potencial matricial (Ψ) versus condutividade hidráulica relativa (K_r), entre $K_r = 0$ e $K_r = 1,0$. Como o potencial matricial próximo a $K_r = 0$ pode se tornar alto, Mein e Larson (1973) optaram por utilizar uma faixa de integração de K_r entre 0,01 e 1,0, conforme a Equação 6:

$$\Psi_f = \int_{0,01}^{1,0} \Psi \, dK_r \quad (6)$$

em que:

Ψ = potencial matricial, mm; e

K_r = condutividade hidráulica relativa, adimensional.

Slack (1980) utilizou uma definição semelhante à de Mein e Larson (1973) para estimar Ψ_f , na qual considerou que K_w é menor do que em condições de saturação ($K_r = 1,0$) e, portanto, o limite superior de integração corresponde a $K_r(\theta_w)$. Dessa forma, o limite inferior da integração deverá corresponder a $K_r(\theta_i)$, gerando a Equação 7:

$$\Psi_f = \int_{K_r(\theta_i)}^{K_r(\theta_w)} \frac{\Psi(K_r) \, dK_r}{K_r(\theta_w) - K_r(\theta_i)} \quad (7)$$

Panikar e Nanjappa (1977) indicam a utilização da Equação 8 para solos arenosos:

$$\Psi_f = \Psi_b^2 + \frac{\Psi_b}{\left(\frac{b^2 + 2b + 3}{b} - 1\right)} \quad (8)$$

em que b é a inclinação negativa da reta resultante do gráfico, em escala log-log, da curva de retenção de umidade do solo ajustada, usando-se o modelo de Campbell (1974).

Cecílio et al. (2007b) encontraram baixo desempenho na estimativa da infiltração quando utilizou metodologias que estimam Ψ_f somente em função de características do solo. Segundo os autores, percebe-se que uma representação melhor do processo é obtida quando se considera o valor da umidade inicial do solo no cálculo de Ψ_f , o que não ocorre com o uso da equação recomendada por Risse et al. (1995). Cecílio et al. (2007b) recomendam que o cálculo do potencial matricial na frente de umedecimento seja realizado a partir da curva de retenção de água no solo, sendo obtido pela área sob a curva de potencial matricial versus condutividade hidráulica relativa, conforme proposta de Slack (1980). Com isso, Cecílio et al. (2007b) recomendam a utilização da seguinte equação para a determinação de Ψ_f :

$$\Psi_f = \frac{\Psi_b(2 + 3\lambda) \left[K_r(\theta_w)^{\frac{3\lambda+1}{3\lambda+2}} - K_r(\theta_i)^{\frac{3\lambda+1}{3\lambda+2}} \right]}{[K_r(\theta_w) - K_r(\theta_i)] (3\lambda + 1)} \quad (9)$$

2.4 Escoamento Superficial

Dentre os processos que ocorrem no ciclo hidrológico, o escoamento superficial é um dos mais importantes para as obras hidráulicas de engenharia, já

que corresponde ao segmento relacionado ao deslocamento de água sobre a superfície do solo (PRUSKI et al., 2003).

A ocorrência desse processo é muito preocupante, pois pode acarretar diversos transtornos às atividades humanas, como a ocorrência de enchentes, a redução das vazões na época de estiagem, a erosão acelerada do solo, a poluição e a eutrofização de corpos hídricos (CECÍLIO et al., 2009), além de transportar fertilizantes químicos, matéria orgânica, sementes e agrotóxicos, causando prejuízos diretos à produção agropecuária (BRAGA, 2000). Nesse sentido, seu estudo é fundamental para o planejamento e manejo adequado do solo visando à sustentabilidade da produção agrícola (LOURENÇÃO e HONDA, 2007).

Pruski et al. (2003) mencionam que todos os fatores que influenciam a taxa de infiltração de água no solo (anteriormente discutidos no item 2.3) interferem, também, no escoamento superficial resultante. Segundo os mesmos autores, o escoamento superficial também pode ser influenciado por parâmetros agroclimáticos e fisiográficos. Os parâmetros agroclimáticos incluem:

- a) Quantidade, intensidade e duração da precipitação: o escoamento superficial tende a aumentar com o aumento da magnitude, da intensidade e duração da precipitação, a qual constitui a principal forma de entrada de água para ocorrência do ciclo hidrológico;
- b) Cobertura e condições de uso do solo: além de seus efeitos sobre as condições de infiltração da água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da precipitação;
- c) Evapotranspiração: representa importante fator para retirada de água do solo; portanto, quanto maior for a evapotranspiração, menor deverá ser a umidade do solo quando há ocorrência de precipitação e, conseqüentemente, maior deverá ser a capacidade de infiltração.

Já os parâmetros fisiográficos consistem em:

- a) Área, forma e declividade da bacia: quanto maior a área e a declividade da bacia, maior deverá ser a vazão máxima de escoamento superficial na sua seção de deságue. Quanto mais a forma da bacia se aproximar do formato

- circular, mais rápida deverá ser a sua concentração do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior será a vazão máxima;
- b) Tipo de solo: interfere diretamente na capacidade de infiltração da água no solo e na capacidade de retenção de água sobre a superfície;
 - c) Topografia: além de influenciar na velocidade de escoamento da água sobre o solo, interfere também na capacidade de armazenamento de água sobre este, sendo que as áreas mais declivosas geralmente apresentam menor capacidade de armazenamento superficial do que as áreas mais planas;
 - d) Rede de drenagem: a existência de rede de drenagem com elevado grau de ramificação e maior densidade de drenagem permite a rápida concentração do escoamento superficial, favorecendo a ocorrência de elevadas vazões sobre a superfície do solo;
 - e) Obras hidráulicas presentes na bacia: enquanto as obras hidráulicas destinadas à drenagem promovem o aumento da velocidade de escoamento da água na bacia e, conseqüentemente, uma concentração mais rápida do escoamento superficial produzindo o aumento da vazão resultante, as obras hidráulicas destinadas à contenção do escoamento superficial resultam em redução da vazão máxima de uma bacia.

Existem diversas formas de se estimar o escoamento superficial, seja através de modelos hidrológicos empíricos ou daqueles baseados em princípios físicos. Pode-se encontrar no item 2.5, a descrição dos dois métodos mais simples e utilizados para estimação do escoamento superficial (método racional e o número da curva), além do modelo hidrológico HidroBacia.

2.4.1 Cobertura vegetal como forma de amenizar a ocorrência de escoamento superficial

Como mencionado anteriormente, a cobertura vegetal é um parâmetro agroclimático que influencia o processo de infiltração de água no solo e, logicamente, o escoamento superficial.

Lourenção e Honda (2007) compararam uma área reflorestada com essências nativas com outra de solo descoberto, observando o efeito benéfico da serrapilheira

no piso florestal, com aumento da rugosidade da superfície em 30 vezes, aumento da infiltração em oito vezes, e redução da velocidade do escoamento superficial em seis vezes.

Lima (1988) analisou qualitativamente alíquotas de água da chuva e do escoamento com o objetivo de verificar o processo de erosão e de perdas de nutrientes em função do reflorestamento em microparcels cultivadas com eucalipto. Uma das parcelas permaneceu o tempo todo sem vegetação, como testemunha, sendo as demais reflorestadas com *Eucalyptus grandis*, em tratamentos que se diferenciaram quanto ao preparo do solo, ao espaçamento e aos tratamentos silviculturais. Segundo o autor, em termos médios, o escoamento superficial e as perdas de solo foram relativamente altos no primeiro ano, variando, respectivamente, de 1,7 a 3,2% da precipitação, e de 1,0 a 10,4 t/ha. Com o crescimento do eucalipto, tanto o escoamento superficial, quanto as perdas de solo diminuíram sensivelmente nas parcelas reflorestadas, o escoamento superficial caiu para valores em torno de 0,5% da chuva no 4º ano, e as perdas de solo se reduziram proporcionalmente para taxas de 0,01 a 0,1 t/ha. Já a testemunha se manteve com taxas altas de escoamento superficial e de perdas de solo, flutuando de acordo com a precipitação anual entre 3,2, 11,3 e 9,2 t/ha, no 2º, 3º e 4º anos, respectivamente.

Assim, a presença de uma floresta propicia maior interceptação das precipitações nas copas das árvores (MOURA et al., 2009) e, além disso, proporciona boa dissipação da energia das gotas de chuva, que contribui para diminuir a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial e, também, aumento da absorção de água (SILVA, 2006), acarretando uma menor ocorrência de erosão e perdas de solo.

2.5 Modelos hidrológicos

Antigamente a hidrologia tinha caráter mais descritivo e qualitativo que quantitativo; contudo, após a segunda guerra, houve uma maior demanda por projetos que exigiam a quantificação dos processos hidrológicos, como a construção de obras de aproveitamento dos recursos hídricos, drenagem de cidades e rodovias, controle de enchentes, dentre outros (ZANETTI, 2007).

Com desenvolvimento dos computadores (final da década de 50) os estudos hidrológicos deixaram de ser, para os engenheiros, um parâmetro de avaliação de instalação de projetos hidráulicos para se tornar uma disciplina de base para melhor desenvolvimento e proteção dos recursos hídricos (TUCCI, 2005).

Segundo Zanetti (2007), a partir da década de 80, foram desenvolvidas versões de modelos hidrológicos que tinham determinadas características: a) atender a objetivos específicos, como por exemplo, a previsão de cheias em tempo real; b) reduzir o número de parâmetros (usando-se os parâmetros mais sensíveis no ajuste do hidrograma de saída); e c) buscar obter resultados com informações limitadas.

Sabe-se que os modelos hidrológicos permitem integrar os componentes do balanço hídrico, objetivando melhorar o conhecimento das questões relacionadas ao movimento da água na bacia hidrográfica (FERREIRA, 2004); além disso, apresentam, dentre suas vantagens, um baixo custo e tempo para obtenção das informações. Segundo Zanetti (2007), na maioria das simulações, o custo para executar um programa computacional é muitas ordens de magnitude menor do que o correspondente ao custo relativo à investigação experimental. Entretanto, segundo Pessoa et al. (1997) citado por Zanetti (2007), apesar do baixo custo, há necessidade de serem realizadas pesquisas em campo, pois elas auxiliam e provêm um maior número de informações novas e relevantes ao conhecimento científico.

A demanda por modelos destinados à previsão hidrológica fica cada vez mais evidente quando há notificação de cheias (PALACIOS-VÉLEZ et al., 1998) e de perdas de solo por erosão hídrica e, principalmente, dos prejuízos relacionados a ambos. A caracterização do comportamento hidrológico oriundo da utilização de tais modelos é fundamental para a estimativa da disponibilidade hídrica, geração de escoamento superficial, potencialidade de conservação da qualidade e quantidade de água, avaliação ambiental, implantação de obras hidráulicas e potencialidade de se incrementar a disponibilidade de água nas bacias hidrográficas. Além disso, Zanetti (2007) afirma que a compreensão dos processos hidrológicos contribui para o entendimento da disponibilidade hídrica, ocorrência de inundações e a dinâmica de elementos, nutrientes e poluentes.

Como a caracterização do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas é complexa, o uso de modelos numérico-computacionais se apresenta como uma ferramenta significativa para o gerenciamento dos recursos hídricos. Nesse sentido, modelos hidrológicos constituem mecanismos de suporte essenciais para a gestão de recursos hídricos tanto em âmbitos qualitativos quanto quantitativos (RENNO e SOARES, 2000).

Diversos modelos hidrológicos foram desenvolvidos no exterior, dentre eles os mais conhecidos são: Método Racional; Método Número da Curva; *Topographic Based Hydrological Model* (TOPMODEL); *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT); *Areal Non-point Source Watershed Response Simulation* (ANSWERS-2000); *Cascade Two-Dimensions* (CASC2D); *Kinematic Runoff and Erosion Model* (KINEROS); *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT); *Topography Based Hydrological Model* (TOPMODEL); *Water Erosion Prediction Project* (WEPP), dentre outros.

Apesar de inúmeros modelos, Moreira (2006) afirma que a aplicabilidade e o ajuste dos parâmetros de entrada dos modelos hidrológicos têm sido um desafio para os profissionais e pesquisadores da área quando se avalia a realidade brasileira, devido às grandes diferenças entre as condições edafoclimáticas para as quais os modelos foram desenvolvidos e aquelas existentes no país. Entretanto, esse mesmo autor acrescenta que esses modelos são de difícil implantação para o gerenciamento de recursos hídricos, devido à complexidade dos usos da água e à dinâmica ambiental, no tempo e no espaço, da bacia hidrográfica.

Portanto, a comunidade científica brasileira vem desenvolvendo grandes esforços para desenvolver ou adaptar modelos que possam prever o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, promover a estimativa da erosão hídrica e dar suporte à gestão de recursos hídricos no âmbito de bacias hidrográficas.

Dentre os modelos existentes para estimativa do escoamento superficial, os mais utilizados pela comunidade técnico-científica são o método racional e o método do número da curva, pois são simples e de fácil aplicação (SILVA et al., 2009a). Sendo assim, novos modelos estão sendo desenvolvidos especificamente para as condições brasileiras, como o modelo hidrológico HidroBacia, que se torna uma ferramenta viável para quantificar os possíveis impactos gerados ao meio ambiente.

2.5.1 Método Racional

O Método Racional permite a determinação da vazão máxima de escoamento superficial a partir de dados de chuvas para pequenas bacias, com área máxima de 500 ha. Este método parte do princípio básico de que a vazão máxima, provocada por uma chuva de intensidade uniforme e constante, ocorre quando toda a bacia contribui simultaneamente com escoamento superficial na seção de deságue.

Nesse método, a complexidade real do processo de escoamento superficial foi ignorada, desprezando tanto o armazenamento de água na bacia quanto as variações da intensidade de precipitação e do coeficiente de escoamento superficial durante a precipitação. Outra limitação do método é que o mesmo não permite caracterizar o volume de escoamento superficial e a distribuição temporal das vazões, e sim a vazão de pico ou vazão máxima de escoamento superficial.

A vazão máxima estimada pelo Método Racional é expressa pela seguinte Equação:

$$Q_{\text{máx}} = \frac{C i_m A_d}{360} \quad (10)$$

em que:

$Q_{\text{máx}}$ = vazão máxima de escoamento superficial, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

i_m = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, mm h^{-1} ; e

A_d = área de drenagem da bacia hidrográfica, ha.

Existem várias formas para se obter o valor do coeficiente de escoamento superficial, entretanto, a mais utilizada é por meio de consulta a tabelas fornecidas por Wilken (1978), Goldenfum e Tucci (1996) e *Soil Conservation Service* – USDA, sendo esta última apresentada no Anexo A (Quadro A1).

A intensidade máxima média de precipitação (i_m) é determinada pela equação de chuvas intensas (Equação 11), sendo que seus parâmetros de ajuste referentes à localidade de interesse podem ser obtidos, para diversas localidades brasileiras, no programa computacional PLUVIO 2.1 (PRUSKI et al., 2006).

$$i_m = \frac{K T^a}{(t_c + b)^c} \quad (11)$$

em que:

K, a, b, c = parâmetros de ajuste referentes à localidade de interesse;

T = período de retorno, anos; e

t_c = duração da precipitação, igual ao tempo de concentração da bacia, min.

2.5.2 Método do Número da Curva

Este método permite estimar a lâmina (volume por unidade de área) de escoamento superficial a partir de dados de precipitação e de outros parâmetros da bacia. Foi desenvolvido pelo SOIL CONSERVATION SERVICE (1972), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), a partir de dados de um grande número de bacias experimentais. Como o método foi desenvolvido para a obtenção da lâmina de escoamento superficial, não permite a obtenção das vazões que ocorrem durante o evento analisado.

O Método do Número da Curva considera que a precipitação é totalmente convertida em abstrações iniciais até o tempo dito tempo de ocorrência das abstrações iniciais. As abstrações iniciais correspondem a toda precipitação que ocorre antes do início do escoamento superficial englobando, além da interceptação e do armazenamento superficial, toda a infiltração ocorrida durante esses dois processos (ZANETTI, 2007).

A Equação 12 representa o método número da curva.

$$LES = \frac{(PrT - 0,2S_p)^2}{(PrT + 0,8S_p)} \quad (12)$$

em que:

LES = lâmina de escoamento superficial, mm;

PrT = precipitação total do evento, mm; e

S_p = infiltração potencial, mm.

A partir da análise de vários hidrogramas associados a diferentes bacias hidrográficas, o SCS-USDA desenvolveu a relação, expressa na Equação 13, que permite estimar o valor da infiltração potencial:

$$S_p = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (13)$$

em que CN é o número da curva, adimensional, cujo valor pode variar de 0 a 100 em função do uso e manejo da terra, grupo do solo, condição hidrológica e umidade antecedente do solo (Anexo A, Quadro A3 e A4).

2.5.3 HidroBacia

O modelo hidrológico HidroBacia foi desenvolvido e avaliado por Silva (2002), com dados de uma microbacia hidrográfica com apenas 3,99 ha e cobertura vegetal homogênea (pastagem), sendo considerados uniformes os parâmetros de entrada. O autor realizou um aperfeiçoamento do trabalho desempenhado por Silva (1999), que possibilita encontrar o hidrograma de escoamento superficial em qualquer posição de uma encosta regular para solos com umidade próxima à saturação e para seções transversais de canais de drenagem, e por Braga (2000), que possibilita encontrar o hidrograma de escoamento superficial ao longo de uma bacia hidrográfica considerando solo saturado.

O modelo possibilita a realização do balanço hídrico e a obtenção do hidrograma de escoamento superficial, da vazão máxima e do volume escoado para qualquer posição de uma bacia hidrográfica, mesmo para condições de umidade diferentes da saturação.

Avaliações deste modelo, feitas por Zanetti (2007), para áreas heterogêneas (diferentes coberturas vegetais) indicaram um balanço de massa desequilibrado. Diante desse fato, o autor analisou o modelo e realizou diversas correções no programa computacional. Após as correções, o balanço de massa do modelo foi ajustado, passando a gerar simulações mais coerentes. Assim, em virtude das alterações efetuadas no modelo e no programa computacional, o HidroBacia passou da versão 1.0 para a versão 1.1. Atualmente, a versão utilizada é a 1.2.

O HidroBacia considera os processos de precipitação, interceptação pela cobertura vegetal, armazenamento superficial, infiltração da água no solo e escoamento superficial (ZANETTI et al., 2009a). A taxa de produção de vazão é determinada pela diferença entre a intensidade de precipitação e a taxa de infiltração da água no solo, esta última calculada por meio da equação de Green-Ampt modificada por Mein e Larson (MEIN e LARSON, 1973).

Segundo Zanetti (2007), este modelo possibilita ao usuário desconsiderar ou avaliar a variabilidade espacial dos vários parâmetros de entrada requeridos na utilização do mesmo. Desse modo, caso a variabilidade espacial desses parâmetros seja desconsiderada, basta inserir os valores gerais nos campos existentes dentro do modelo ou então, caso seja avaliada, imagens temáticas contendo a espacialização dos parâmetros devem ser inseridas no software.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área em estudo

3.1.1 Localização e histórico

Esta pesquisa foi desenvolvida na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, pertencente à bacia hidrográfica do rio Itapemirim e localizada próxima ao perímetro urbano da cidade de Alegre-ES, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude máxima de $-20^{\circ}45'16,2''$ e mínima de $-20^{\circ}45'36,72''$; longitude máxima de $-41^{\circ}31'44,76''$ e mínima de $-41^{\circ}31'25,32''$; e com 21,62 ha de área.

Historicamente, a ocupação agrícola na microbacia foi iniciada com a substituição da mata nativa para implantação de cafeicultura, por volta de 1900. No início da década de 1960, ocorreu uma nova substituição, nesse momento a cafeicultura cedeu seu espaço à pastagem extensiva. A partir de 1996, pequenas áreas da microbacia foram cercadas, principalmente os topos de morro e áreas próximas aos cursos d'água, para que se iniciasse o processo de regeneração da vegetação nativa. Em 2002, a microbacia estava totalmente destinada à conservação ambiental. Atualmente, observa-se que a área é única e exclusivamente destinada à preservação, não havendo pastoreio, aplicação de fertilizantes no solo, nem tão pouco cultivo agrícola destinado ao comércio, somente à subsistência (exceto para o cultivo de eucalipto, que futuramente poderá ser extraído). Ressalta-se que na área existem espécies frutíferas que proporcionam a

produção de polpa de frutas e seus derivados; no entanto, o excedente destes produtos é comercializado para complemento da renda familiar.

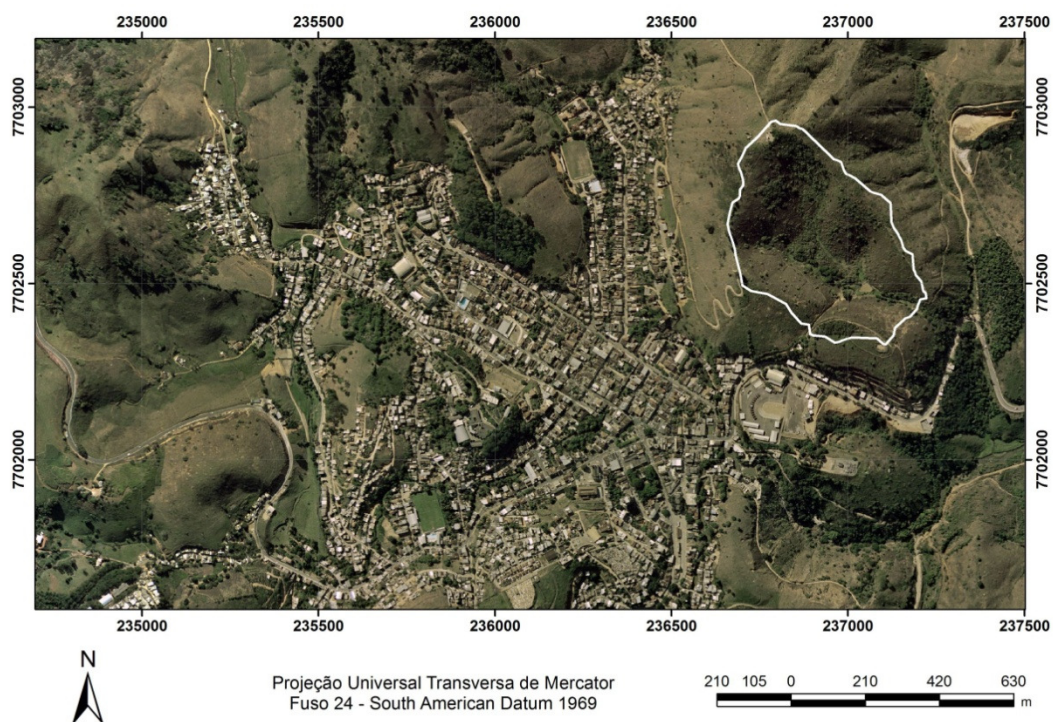


Figura 4 – Vista aérea da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegres-ES (Fonte: GEOBASES, 2008).

3.1.2 Delimitação da bacia hidrográfica

A fim de se obter informações topográficas da área experimental, foi realizado um levantamento planialtimétrico da microbacia e adjacências por meio do GPS geodésico estático modelo GTR-A (TechGeo®), tendo sido coletados aproximadamente 2500 pontos.

De posse destes pontos, realizou-se a interpolação dos valores altimétricos para a obtenção do modelo numérico do terreno (MNT), sendo utilizados pixels com dimensões de 3x3 m, a partir da execução do comando TOPOGRID no *ArcInfo Workstation*. Em seguida, usando o *ArcView GIS® 3.2a*, o comando *Fill Sinks*, no módulo *Hydrologic Modeling*, foi executado para eliminar depressões indesejadas eventualmente geradas na interpolação, a fim de gerar um modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC).

Posteriormente, determinou-se a direção de escoamento para cada pixel do MDEHC, por meio da calculadora de mapas (*Map Calculator*, do menu *Analysis*), utilizando a expressão: (*[Mnt].FlowDirection(False)*), gerando-se o tema denominado DirEsc.

A área de contribuição à montante de cada pixel/célula do MDEHC, ou simplesmente escoamento acumulado, foi determinado no *Map Calculator*, utilizando a expressão: (*[DirEsc].FlowAccumulation(Null)*). O *grid* gerado foi denominado EscAcum.

Por intermédio do *Map Calculator*, criou-se também um *grid* que possuía somente células com valores de escoamento acumulado igual ou superior a 3.000 pixels. Para se chegar a esse número de pixel, foram realizadas diversas tentativas para se obter o melhor ajuste com a rede de drenagem real. Portanto, a expressão utilizada para obtenção da rede de drenagem numérica foi: (*[EscAcum]<3000.AsGrid).SetNull(1.AsGrid)*, sendo o *grid* resultante denominado DrenNum, que representa o caminho preferencial para o escoamento de água no terreno, definido na modelagem numérica do terreno pelo ArcView.

Identificou-se a bacia hidrográfica do Córrego Jaqueira por intermédio da expressão (*[DirEsc].Watershed([DrenNum])*), pelo *Map Calculator*. O comando *Watershed* delimita, a partir de um *grid* de direção do escoamento, a área de contribuição acima de cada conjunto de células com valores não nulos (*NoData*).

3.1.3 Caracterização e delimitação do uso e ocupação do solo

Trabalhos realizados por Guariz (2008) foram cruciais para que fossem diagnosticados cinco diferentes tipos de cobertura do solo na área experimental, denominados “Sítios”. Como houve algumas transições no tamanho e formato de cada Sítio, foram delimitadas, por meio de GPS geodésico, os limites atuais de cada Sítio, descritos a seguir:

- Sítio 1: ocupado por pastagem (*Brachiaria decumbens* e *Melinis minutiora* P. Beauv., brachiaria e capim gordura), sem pastoreio, com declividade média de 57% (Figura 5);

- Sítio 2: ocupado por pastagem espontânea (*Melinis minutiora* P. Beauv.) com formações arbustivas esparsas, sem pastoreio, com declividade média de 50% (Figura 6);
- Sítio 3: área ocupada com plantio de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) no espaçamento 3 x 2 metros, com aproximadamente seis anos de idade, declividade média de 44% (Figura 7);
- Sítio 4: área florestal com nível secundário de regeneração; possui declividade média de 55,5% (Figura 8);
- Sítio 5: área ocupada por vegetação nativa em nível primário de regeneração, basicamente com uma única espécie; declividade média de 42% (Figura 9).



Figura 5 – Vista parcial do Sítio 1 da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.



Figura 6 – Vista parcial do Sítio 2 da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.



Figura 7 – Vista parcial do Sítio 3 da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.



Figura 8 – Vista parcial do Sítio 4 da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.



Figura 9 – Vista parcial do Sítio 5 da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.

3.2 Imagens temáticas

Para o uso do HidroBacia, são necessárias imagens temáticas relativas ao modelo digital de elevação do terreno (MDE), às direções de escoamento e à rede de drenagem numérica, aos quais podem ser discretizados em células/pixels uniformes, quadradas (formato *raster*) e com dimensões pré-estabelecidas pelo usuário. Desse modo, é possível estimar o hidrograma de escoamento superficial na célula de interesse (fora da bacia hidrográfica), visto que Silva (2002) adotou o modelo de ondas cinemáticas para a propagação dos hidrogramas. O hidrograma resultante na célula de interesse é somado com os hidrogramas advindos das células contidas na sua área de contribuição, considerando as oito células vizinhas (ortogonais e diagonais) (ZANETTI et al., 2009b), conforme proposto no algoritmo *Deterministic-8Node* (O'CALLAGHAN e MARK, 1984).

Para que seja considerada a variabilidade espacial dos parâmetros na área, as imagens podem ser geradas nos seguintes softwares de SIG: Idrisi®, Surfer® ou Arc View®. Isso se deve à restrição de formato imposta pelo HidroBacia ao importar as imagens (*raster*).

Assim, com auxílio do software ArcView GIS® 3.2a, foram geradas imagens (*grid*) para os diferentes parâmetros solicitados no modelo hidrológico HidroBacia. Em seguida, as imagens geradas no formato *raster* foram exportadas como dados binários do ArcView GIS® 3.2a e, posteriormente, essas mesmas imagens foram convertidas para extensão *ras* no HidroBacia, ficando aptas para serem utilizadas nas simulações.

Dessa forma, além das imagens referentes às características físicas do relevo, foram também processadas as imagens referentes às características físicas do solo, da cobertura vegetal da microbacia.

3.2.1 Características físicas da cobertura vegetal

Como características físicas da cobertura vegetal podem ser citadas: a interceptação pela cobertura vegetal (ICV), a capacidade de armazenamento sobre a superfície do solo (ARM) e o coeficiente de rugosidade do terreno (n).

O ICV foi estimado utilizando um banco de dados no próprio HidroBacia, a partir de informações contidas em Woolhiser et al. (1990) e Morgan et al. (1998). Entretanto, como o banco de dados não possui algumas das coberturas presentes na área experimental, foram adotados os valores de ICV que mais se aproximaram do real. Tais valores são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores de interceptação pela cobertura vegetal (ICV), para as diferentes coberturas vegetais presentes na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Cobertura Vegetal		ICV (mm)
Microbacia	Banco de dados HidroBacia	
Sítio 1	Gramma	2,0
Sítio 2	Gramma	2,0
Sítio 3	Pinheiro	1,0
Sítio 4	Floresta tropical	2,5
Sítio 5	Floresta tropical	2,5

A ARM foi obtida, segundo Pruski et al. (2001) e Silva (2002), utilizando a metodologia proposta por Onstad (1984), apresentado na Equação 14.

$$ARM = 0,0112 RR + 0,00031 RR^2 - 0,0012 RR S_0 \quad (14)$$

em que:

RR = rugosidade randômica do terreno, m; e

S₀ = Declividade média da superfície do solo, %.

A declividade média para cada feição presente na microbacia foi calculada utilizando técnicas de SIG, através do software ArcView GIS® 3.2a. Já os valores de rugosidade randômica foram adquiridos a partir do banco de dados presente no HidroBacia. Dessa forma, os valores de ARM obtidos são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores de capacidade de armazenamento superficial (ARM), para os diversos tipos de cobertura vegetal presentes na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Cobertura Vegetal	Rugosidade randômica (m)	Declividade média (%)	ARM (mm)
Sítio 1	0,01651	56,58	1,57
Sítio 2	0,01651	49,62	1,71
Sítio 3	0,01016	43,89	0,92
Sítio 4	0,01016	55,45	0,78
Sítio 5	0,01016	41,73	0,95

Quanto ao coeficiente de rugosidade do terreno (n), foram adotados os valores propostos por Beasley e Huggins (1981), os quais são fornecidos pelo próprio banco de dados do HidroBacia. No Quadro 3, são apresentados os valores de n para cada área considerada na microbacia.

Quadro 3 – Valores do coeficiente de rugosidade do terreno (n), para as diversas áreas consideradas na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Microbacia	Banco de dados HidroBacia	Cobertura	n (s m^{-1/3})
Sítio 1	Pastagem	Cobertura média	0,10
Sítio 2	Pastagem	Cobertura média	0,10
Sítio 3	Floresta	Árvores grandes	0,20
Sítio 4	Floresta	Árvores pequenas	0,15
Sítio 5	Floresta	Árvores pequenas	0,15

3.2.2 Determinação das características físicas dos solos

Segundo Guariz (2008), o solo da microbacia do Córrego Jaqueira é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. Para determinar as características

físicas do solo, foram realizadas amostragens em duas profundidades, definidas em função do perfil do mesmo, considerando os horizontes A e B. Assim, adotou-se a profundidade 0-10 cm para amostragem do horizonte A e 50-60 cm para o horizonte B. Nos Quadros do Anexo B, encontram-se os valores dos parâmetros físicos do solo discriminados por profundidade e nos próximos tópicos os valores médios nos perfis avaliados. Ressalta-se que, pelo fato do HidroBacia não considerar a estratificação do solo na profundidade, foram utilizados os valores médios dos parâmetros físicos.

Para cada Sítio da microbacia, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nas profundidades estabelecidas. De posse destas amostras, foi possível determinar: a granulometria, a densidade do solo, a densidade de partículas e a porosidade total, avaliadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES); a curva de retenção de água no solo, a macro e microporosidade, realizadas no Laboratório de Análises de Fertilizantes, Águas, Minérios, Resíduos, Solos e Plantas (LAFARSOL), localizados no Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC).

3.2.2.1 Análise granulométrica

Para a determinação da composição granulométrica do solo, foi utilizado o método da pipeta, conforme Embrapa (1997). Para tanto, utilizou-se o método de dispersão física lenta (175 rpm). As amostras deformadas anteriormente coletadas foram destorroadas, passadas em peneira de 2 mm e secos ao ar, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Foram pesados e acondicionados 10 g de TFSA em um recipiente plástico de 100 mL, com dez esferas de metal com diâmetro de 0,4 cm, acrescentando 50 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹. Em seguida, o recipiente plástico foi colocado em um agitador horizontal, por 12 horas.

Decorrido o período de agitação, o conteúdo do recipiente foi passado em peneiras de 0,210 mm (ABNT. N^o. 270) e 0,053 mm (ABNT. N^o. 70), para a separação, respectivamente, das frações areia grossa (AG) e areia fina (AF), sendo então dispostas em estufa a 105°C por 24 horas para secagem. A suspensão que passou pela peneira foi colocada em uma proveta de 1000 mL, completando-se o

volume com água destilada para 1000 mL e agitada por 1 minuto com um bastão. Aguardou-se 4 minutos, conforme a lei de Stokes, e coletou-se uma alíquota de 25 mL a 10 cm de profundidade na proveta, para posterior secagem em estufa a 105°C por 24 horas para a determinação do silte + argila. A fração argila (Ar) também foi obtida de acordo com a lei de Stokes, coletando-se 25 mL da suspensão a uma profundidade de 5 cm, após tempo estabelecido de acordo com a temperatura da suspensão na profundidade de coleta, sendo levada para estufa a 105°C por 24 horas e, posteriormente, pesado em balança eletrônica de precisão. A fração silte (Si) foi obtida por diferença entre a massa da fração silte + argila e a massa da fração argila.

Como foi utilizado NaOH como dispersante químico em ambas as determinações, a massa desse dispersante foi descontada das frações argila e silte, já que ele estava presente na pesagem (SANTOS, 2008). Com isso, foram determinados os valores de areia grossa, areia fina, silte e argila presentes na TFSA pelas Equações 15, 16, 17 e 18 respectivamente. Posteriormente, com base no diagrama de classificação textural proposto pela Embrapa (1999), foi determinado o grupo textural de cada amostra.

$$AG = \text{massa de AG} * 1000/10 \text{ (g kg}^{-1}\text{)} \quad (15)$$

$$AF = \text{massa de AF} * 1000/10 \text{ (g kg}^{-1}\text{)} \quad (16)$$

$$Si = \text{massa de Si} * 1000/10 * 1000/25 \text{ (g kg}^{-1}\text{)} \quad (17)$$

$$Ar = \text{massa de Ar} * 1000/10 * 1000/25 \text{ (g kg}^{-1}\text{)} \quad (18)$$

O Quadro 4 apresenta a fração granulométrica média dos perfis do solo e, também, a classe textural segundo Embrapa (1999), para cada Sítio avaliado na microbacia do Córrego Jaqueira.

Quadro 4 – Fração granulométrica média dos perfis do solo (g kg^{-1}) e classe textural para cada feição avaliada na microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Feição	Areia	Silte	Argila	Classe textural
Sítio 1	490,75	96,48	412,77	Argilosa
Sítio 2	482,16	72,25	445,60	Argilosa
Sítio 3	467,48	102,11	430,41	Argilosa
Sítio 4	465,49	135,27	399,24	Argilosa
Sítio 5	618,34	91,78	289,88	Média

3.2.2.2 Densidade do solo (D_s) e densidade de partículas (D_p)

As mostras indeformadas foram coletadas em campo com o auxílio de um amostrador de Uhland junto a anéis metálicos de volume conhecido. Estes anéis foram levados ao laboratório e as amostras foram preparadas para as análises, retirando-se o excesso de solo das suas extremidades. Dessa forma, foi utilizado o método do anel volumétrico para determinação da D_s . Como o volume dos anéis já era conhecido, o anel com o solo foi pesado e levado à estufa a 110°C até atingir peso constante. Esse procedimento durou aproximadamente 48 horas, sendo que, em seguida, a amostra foi levada ao dessecador para esfriar e, posteriormente, pesar o anel com solo seco, obtendo-se, por diferença, a massa do solo seco. A densidade foi calculada, dividindo-se a massa de solo seco pelo volume total do anel, de acordo com Embrapa (1997) – Equação 19.

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V_a} \quad (19)$$

em que:

$$D_s = \text{densidade de solo, kg dm}^{-3};$$

M_{ss} = massa de solo seco, kg; e

V_a = volume do anel, dm^{-3} .

Na determinação da densidade de partículas (D_p), kg dm^{-3} , foi utilizado o método do balão volumétrico conforme preconizado por Embrapa (1997), a partir das amostras deformadas de cada profundidade do solo e sítio avaliado.

3.2.2.3 Porosidade total, macro e microporosidade

A porosidade total (PT) foi obtida através da relação existente entre a densidade do solo (D_s) e a densidade de partículas (D_p), de acordo com Embrapa (1997), Equação 20. A umidade do solo saturado (θ_s) foi considerada equivalente à sua porosidade total.

$$PT = 1 - \frac{D_s}{D_p} \quad (20)$$

em que:

PT = porosidade total, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

D_p = densidade de partículas, kg dm^{-3} .

Para determinação da macro e microporosidade foi utilizado o extrator de placas porosas de Richards. As amostras preparadas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até atingir cerca de 2/3 da altura das amostras, por 24 horas. A quantificação dos valores de macroporosidade (Poros > 50 μm) e microporosidade (Poros < 50 μm) foi obtida submetendo as amostras saturadas ao potencial de -0,006 MPa (EMBRAPA, 1997), sobre placa de cerâmica porosa, mediante a aplicação da referido potencial. O volume de microporos (microporosidade) foi determinado como sendo o teor de água retido no potencial de - 0,006 MPa.

No Quadro 5, são apresentados os valores médios de porosidade total, macro e microporosidade, densidade do solo e de partículas para cada Sítio delimitado na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira.

Quadro 5 – Valores médios dos perfis para densidade do solo (D_s , kg dm^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg dm^{-3}), microporosidade (Micro, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e macroporosidade (Macro, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e porosidade total (PT, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para as diferentes coberturas vegetais encontradas na microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Feição	D_s	D_p	Micro	Macro	PT
Sítio 1	1,39	2,60	0,3062	0,1534	0,4596
Sítio 2	1,36	3,05	0,3195	0,2358	0,5553
Sítio 3	1,35	2,68	0,3251	0,1797	0,5048
Sítio 4	1,35	2,91	0,3410	0,1854	0,5264
Sítio 5	1,48	2,47	0,2728	0,1376	0,4104

3.2.2.4 Curva de retenção de água no solo

As curvas de retenção de água no solo foram determinadas conforme Embrapa (1997), a partir das tensões aplicadas sobre as amostras: 6, 10, 30, 100, 800 e 1.500 kPa (Quadro 6). A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) do solo foram obtidos sob as tensões de 30 e 1.500 KPa, respectivamente. Então, de acordo com Zanetti (2007), foram ajustadas equações baseadas no modelo de Brooks e Corey (1964), utilizando o programa computacional *Soil Water Retention Curve* – SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (2000) (Quadro 7).

Os ajustes efetuados pelo modelo de Brooks e Corey (1964) deram suporte para a estimativa do potencial matricial na frente de umedecimento do solo (Ψ_f), já que este modelo determina alguns parâmetros empíricos necessários (Ψ_b , λ e θ_r) e, também, porque no emprego do modelo HidroBacia, a aplicação da equação de Green-Ampt-Mein-Larson se faz necessária para a estimativa da infiltração de água no solo (SILVA, 2002; ZANETTI, 2007).

Quadro 6 – Curvas de retenção de água no solo, para as diferentes coberturas vegetais presentes na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES (valores médios dos perfis)

Sítio	Tensão imposta (kPa) – Umidade correspondente (cm ³ cm ⁻³)					
	6	10	30	100	800	1.500
1	0,3062	0,2809	0,2433	0,2391	0,2061	0,1928
2	0,3195	0,2911	0,2534	0,2454	0,2225	0,2057
3	0,3251	0,3031	0,2588	0,2376	0,2156	0,2034
4	0,3410	0,3054	0,2611	0,2538	0,2253	0,2040
5	0,2728	0,2598	0,2136	0,2116	0,1645	0,1520

Quadro 7 – Parâmetros das curvas de retenção de água, segundo modelo de Brooks e Corey (1964), de água referente às diferentes coberturas vegetais presentes na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Sítio	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	Ψ_b (cm)	λ	r^2
1	0,1928	74,7943	0,4144	0,966
2	0,2057	23,7417	0,3746	0,983
3	0,2034	89,6057	0,4703	0,999
4	0,2040	42,6076	0,3610	0,976
5	0,1520	142,4501	0,4440	0,932

3.2.2.5 Taxa de infiltração estável de água no solo

A taxa de infiltração estável de água no solo foi determinada, em campo, utilizando o método de anéis concêntricos, conforme descrito por Brandão et al. (2006). No Quadro 8, estão apresentados os valores de T_{ie} obtidos em cada Sítio.

Quadro 8 – Taxa de infiltração estável (T_{ie}), obtido pelo infiltrômetro de anéis concêntricos, para os 5 diferentes tipos de uso e ocupação do solo na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Uso e ocupação do solo	T_{ie} (mm h ⁻¹)
Sítio 1	50,10
Sítio 2	163,37
Sítio 3	184,12
Sítio 4	118,95
Sítio 5	439,15

3.3 Monitoramento dos elementos climáticos

Os dados referentes aos elementos climáticos foram obtidos por meio de uma estação meteorológica instalada na microbacia experimental (Figura 10). O monitoramento foi realizado de 21 de março de 2009 a 15 de janeiro de 2010,



Figura 10 – Estação meteorológica automática instalada na microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.

utilizando um *datalogger* (*CR10X, Campbell Scientific*) para medir e registrar, em intervalos de 3 minutos, os seguintes dados climáticos: precipitação, mm (*CSI Model TB4, Campbell Scientific*); radiação solar, $W m^{-2}$ (*Pyranometer sensor, Kipp e Zonen*); velocidade do vento, $m s^{-1}$ (*03001, Campbell Scientific*); temperatura, °C, e umidade relativa do ar, % (*CS500, Campbell Scientific*).

Por se tratar de uma microbacia, com área de 21,62 ha, foi utilizado apenas um pluviógrafo, considerando-se que não houve variações espaciais significativas de precipitação na área.

3.4 Monitoramento da vazão do curso d'água

A vazão de saída da microbacia foi monitorada em seu exutório, entre os dias 21 de março de 2009 e 15 de janeiro de 2010, por meio da instalação de um vertedor triangular – com 90° de abertura e parede delgada (Figura 11).



Figura 11 – Vista parcial do vertedor construído no exutório da microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.

A fim de medir a carga hidráulica sobre a soleira do vertedor (H), inicialmente, foi instalado um sensor de pressão (modelo *CS420, Campbell Scientific*) (Figura

12a). Posteriormente, esse sensor foi substituído por um linígrafo de bóia (*Data logger MDS Floater 2, Seba Hydrometrie*) (Figura 12b). Ambos foram programados para registrar os valores do nível de água em intervalos de 3 minutos.

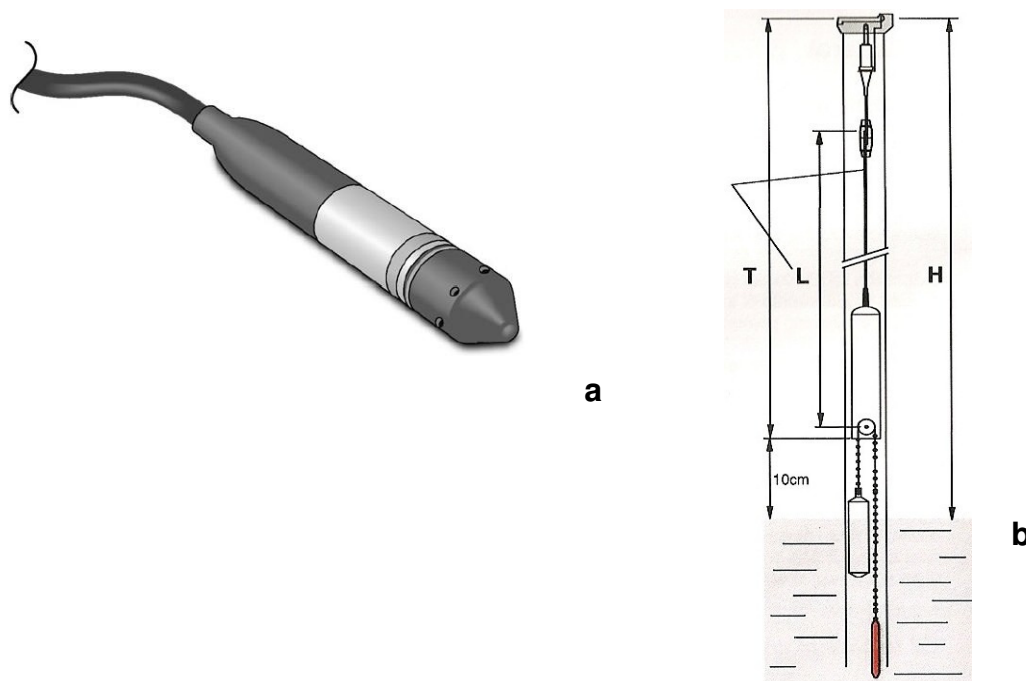


Figura 12 – (a) Linígrafo de pressão; (b) Linígrafo de bóia.

3.4.1 Calibração do vertedor

O processo de calibração do vertedor triangular foi realizado para cada tipo de linígrafo (bóia e pressão), por meio de consecutivas medições do nível de água e da vazão (H e Q) pelo método direto, o que proporcionou, por meio de ajustes matemáticos, encontrar a equação de calibração, obtendo-se a vazão em $L\ s^{-1}$ (Figura 13 e 14).

Primeiramente, uma régua graduada (centímetros) foi posicionada a 1,5 metros da parede do vertedor – sendo que a origem da régua (zero) foi nivelada com a soleira do vertedor. Então, foi necessário desviar a vazão montante até que a água ficasse no nível da soleira. Para a determinação da vazão, utilizou-se um recipiente plástico de 20 litros e um cronômetro (para mensurar o tempo gasto para se encher o recipiente), logo após o volume foi aferido em uma proveta de 1 litro. Esses pares

de dados foram coletados no momento em que o sensor (tanto o de bóia quanto o de pressão) acusou valor constante.

Dessa forma, os valores foram registrados e tabulados, sendo, em seguida, ajustados numa curva do tipo potencial, o que permitiu adquirir a curva-chave da vazão d'água para o vertedor.

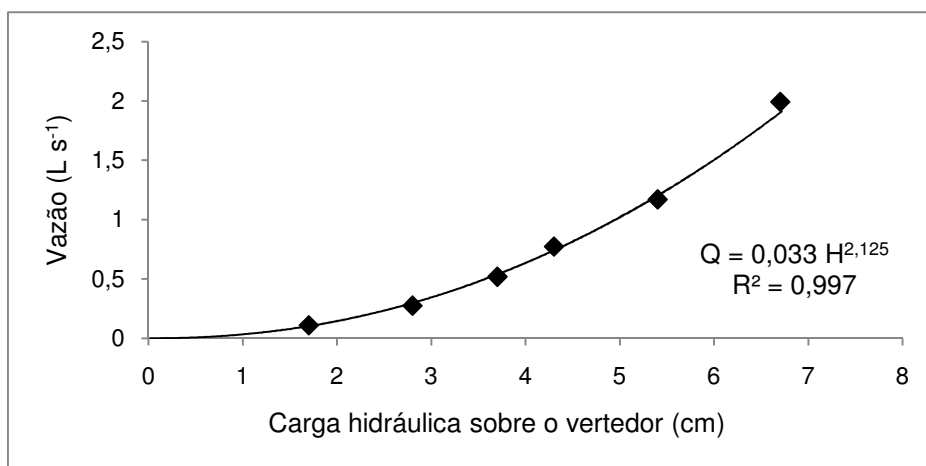


Figura 13 – Curva de calibração do vertedor utilizado na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES, para linígrafo de pressão.

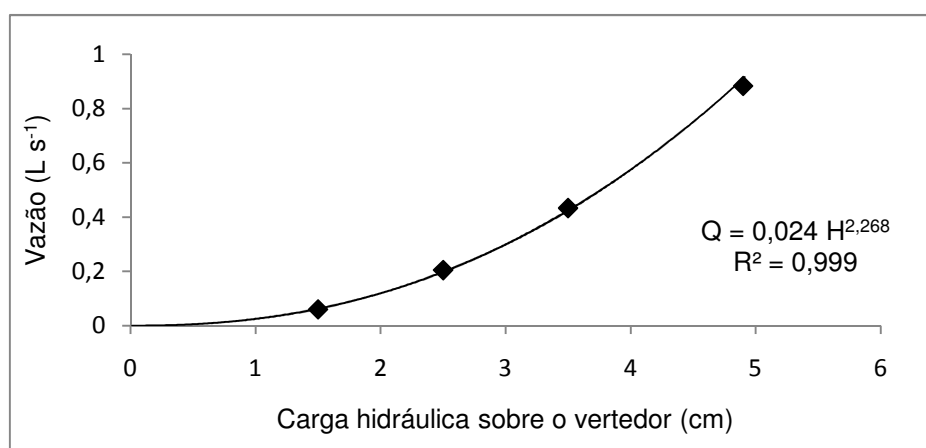


Figura 14 – Curva de calibração do vertedor utilizado na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES, para linígrafo de bóia.

3.4.2 Construção dos hidrogramas de escoamento superficial

A partir do monitoramento da vazão na microbacia, foram obtidos hidrogramas de escoamento do curso d'água durante cada evento de precipitação (Anexo C, Figura C1).

Como o curso d'água presente na microbacia do Córrego Jaqueira é perene, houve a necessidade de separar o escoamento de base (fluxo subterrâneo) do escoamento superficial. Para tanto, foi utilizado o método de Barnes, sugerida por Vilaró (2001).

Nesse método, deve-se representar graficamente o hidrograma em escala semi-logarítma (eixo “y” – vazão); assim, a curva de recessão tende a ser uma reta. Em seguida, devem-se unir as retas AB e BC, sendo: ponto A, o início do hidrograma (início da inclinação da curva); ponto B, o prolongamento, perpendicular ao eixo das ordenadas, do ponto de inflexão (ponto de transição entre côncavo e convexo); ponto C, fim do hidrograma. O ponto C é encontrado através do prolongamento feito a partir do alinhamento posterior ao ponto C (hidrograma), passando pelo próprio ponto C, finalizando no ponto B localizado na direção vertical abaixo do ponto de inflexão. Por fim a separação do escoamento superficial do escoamento de base é obtida pela diferença entre o hidrograma total observado e as retas AB e BC, ou seja, a área preenchida representa o escoamento superficial e a área abaixo representa o escoamento de base (Figura 15).

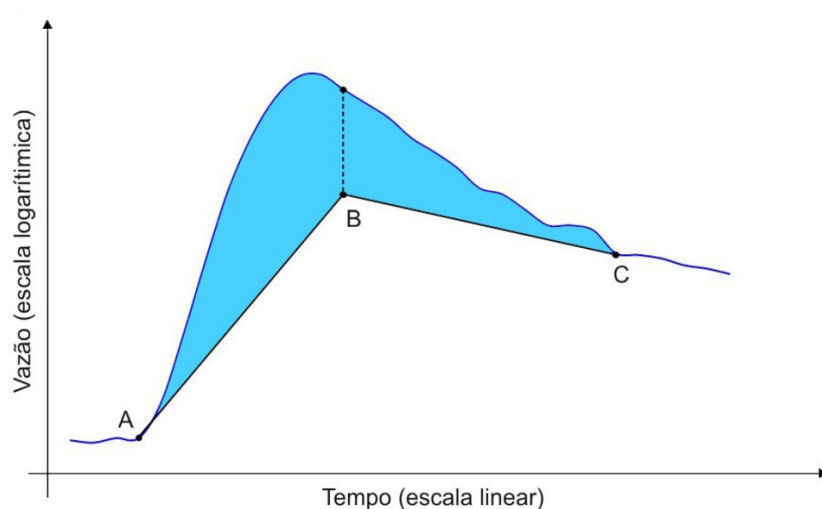


Figura 15 – Separação entre escoamento subterrâneo e superficial por meio do método de Barnes.

3.5 Aplicação do HidroBacia

As informações sobre a utilização do modelo hidrológico HidroBacia são poucas, pois se trata de um modelo relativamente novo e muito exigente quanto ao número de parâmetros de entrada.

Quando se avalia diferentes coberturas do solo é necessário coletar e considerar todos os parâmetros de entrada para cada cobertura vegetal existente na área experimental. Assim, a discriminação, avaliação do uso e ocupação do solo se tornam indispensáveis para uma maior representatividade da área, já que representa melhor as condições edafoclimáticas. Dessa forma, na aplicação do modelo hidrológico HidroBacia, quando se estuda uma área heterogênea, a entrada de dados é feita por meio de imagens temáticas contendo a espacialização dos dados de entrada.

Houve, também, a necessidade de combinar diferentes métodos de determinação dos parâmetros de entrada da Equação de GAML, para verificar quais apresentam melhor desempenho nas simulações realizadas com o software HidroBacia.

3.5.1 Umidade inicial do solo (θ_i)

Conforme realizado por Zanetti (2007), a umidade inicial do solo foi calculada para todo o período de monitoramento na microbacia, por meio do cálculo do balanço hídrico do solo para as cinco diferentes feições encontradas na microbacia (Anexo B, Quadro B4). O balanço hídrico foi calculado de forma contínua, para que se mantivesse o controle da umidade do solo.

A profundidade efetiva do sistema radicular (z) variou de acordo com os Sítios presentes na área experimental. Assim, diversas literaturas foram consultadas com propósito de obter os valores de z . Ao final, foi considerado: Sítio 1 e 2, $z = 50$ cm; Sítio 3, $z = 160$ cm; Sítio 4 e 5, $z = 250$ cm. Tais valores foram baseados nos trabalhos de Alencar (2007) e Almeida e Soares (2003).

A umidade inicial do solo foi obtida por meio das Equações 21 e 22, e a evapotranspiração real da cultura pela Equação 23.

$$\theta_{i(j)} = \theta_{f(j-1)} - \frac{ET_{r(j)}}{z} \quad (21)$$

$$\theta_{f(j)} = \theta_{i(j)} + \frac{P_{(j)} - ET_{r(j)}}{z} \quad (22)$$

$$ET_{r(j)} = ET_{0(j)} K_c K_{s(j)} \quad (23)$$

em que:

$\theta_{i(j)}$ = umidade inicial do solo no dia j, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

$\theta_{f(j-1)}$ = umidade do solo no final do dia anterior (j-1), $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

$ET_{r(j)}$ = evapotranspiração real da cultura no dia j, mm;

$P_{(j)}$ = precipitação ocorrida no dia j, mm;

z = profundidade efetiva do solo, mm;

$ET_{0(j)}$ = evapotranspiração de referência no dia j, calculada pelo método de Penman-Monteith, mm;

K_c = coeficiente da cultura, adimensional; e

$K_{s(j)}$ = coeficiente de umidade do solo no dia j, adimensional.

Silva (2002) recomenda que seja feito um acompanhamento da umidade inicial do solo. Essas determinações remetem valores mais próximos da umidade real da bacia, o que proporcionará impactos positivos na estimação do escoamento superficial. Para tanto, foram coletados, semanalmente e em cada Sítio, três repetições em três profundidades (0-20; 20-40; e 40-60 cm) para determinação da umidade do solo por meio do método termogravimétrico. Assim, iniciou-se o balanço hídrico com o valor real da umidade determinada e, então, foram geradas imagens da umidade inicial, tipo *raster*, para os dias que ocorreram precipitação satisfatória.

Por apresentar diferentes Sítios (coberturas vegetais), optou-se por diferenciar o coeficiente da cultura (K_c), tais valores foram extraídos do trabalho de

Allen et al. (1998), citado por Barreto et al. (2009). Segundo esses autores, o eucalipto e a mata ciliar possuem o mesmo valor de K_c (1,00), mas a pastagem possui valores menores (0,90). Dessa forma, os valores de coeficiente da cultura utilizados foram: Sítios 1 e 2, $K_c = 0,90$; Sítio 3, $K_c = 1,00$; Sítio 4 e 5, $K_c = 1,00$. Adotou-se, nestes últimos, K_c equivalente ao da mata ciliar por não ter sido encontrado um K_c que fosse mais adequado às condições reais da área.

3.5.2 Simulações aplicando o modelo HidroBacia

A equação de GAML é fundamentada em processos físicos, entretanto, necessita-se de parâmetros cuja determinação envolve métodos empíricos. Estes parâmetros são: potencial matricial na frente de umedecimento (Ψ_f), condutividade hidráulica na zona de transmissão (K_w) e umidade do solo, também na zona de transmissão (θ_w). Nesse sentido, assim como Zanetti (2007), para a realização das simulações foram utilizados diferentes métodos de obtenção para tais parâmetros.

Na obtenção do potencial matricial na frente de umedecimento (Ψ_f), foram considerados três métodos (Anexo B, Quadro B5):

Ψ_f calculado pela Equação 5, Rawls e Brakensiek (1983);

Ψ_f calculado pela Equação 6, Mein e Larson (1973); e

Ψ_f calculado pela Equação 9, Cecílio (2005).

Foram considerados seis diferentes valores de condutividade hidráulica do solo na zona de transmissão (K_w):

$$K_w = T_{ie};$$

$$K_w = T_{ie} / 2;$$

$$K_w = T_{ie} / 3;$$

$$K_w = T_{ie} / 4;$$

$$K_w = T_{ie} / 5; e$$

$$K_w = T_{ie} / 6.$$

Para a umidade do solo na zona de transmissão (θ_w) foram considerados quatro diferentes valores:

$$\theta_w = \theta_s;$$

$$\theta_w = 0,90 \theta_s;$$

$$\theta_w = 0,85 \theta_s; \text{ e}$$

$$\theta_w = 0,80 \theta_s.$$

Com intuito de evitar repetições desnecessárias, foram adotados símbolos para simplificar a identificação das combinações destes parâmetros. No Quadro 9, são apresentados os símbolos adotados.

Com base nas opções de dados de entrada para o modelo de GAML apresentadas anteriormente, foram obtidas 72 combinações distintas de parâmetros de entrada para a realização das simulações no software HidroBacia. Posteriormente, essas combinações foram avaliadas com o propósito de verificar quais proporcionam os melhores resultados na estimação da infiltração.

3.6 Aplicação do Método Racional e Método Número da Curva

Por se tratarem de métodos tradicionais e amplamente utilizados pela comunidade científica, procedeu-se à comparação da vazão máxima obtida com o HidroBacia com o método racional (MR) e do volume escoado com o método número da curva (MNC).

Para se determinar a vazão pelo MR é necessário determinar o coeficiente de escoamento superficial, a intensidade máxima média de precipitação e a área de drenagem da bacia hidrográfica. A área da bacia foi obtida por meio de técnicas de SIG. Porém, o coeficiente de escoamento foi calculado por meio da média ponderada em relação à porcentagem de cobertura vegetal de cada área da bacia hidrográfica, baseando-se nos dados recomendados pelo *Soil Conservation Service* – USDA (Anexo A, Quadro A1). Dessa forma, obteve-se um valor de C igual a 0,59 (Quadro 10).

Quadro 9 – Combinações de entrada da Equação de GAML adotadas para realização das simulações utilizando o modelo hidrológico HidroBacia, Alegre-ES

Comb.	Ψ_f	K_w	θ_w	Comb.	Ψ_f	K_w	θ_w	Comb.	Ψ_f	K_w	θ_w
RB-1-100	Eq. 5	T_{ie}	θ_s	ML-1-100	Eq. 6	T_{ie}	θ_s	CE-1-100	Eq. 9	T_{ie}	θ_s
RB-1-90	Eq. 5	T_{ie}	$0,90 \theta_s$	ML-1-90	Eq. 6	T_{ie}	$0,90 \theta_s$	CE-1-90	Eq. 9	T_{ie}	$0,90 \theta_s$
RB-1-85	Eq. 5	T_{ie}	$0,85 \theta_s$	ML-1-85	Eq. 6	T_{ie}	$0,85 \theta_s$	CE-1-85	Eq. 9	T_{ie}	$0,85 \theta_s$
RB-1-80	Eq. 5	T_{ie}	$0,80 \theta_s$	ML-1-80	Eq. 6	T_{ie}	$0,80 \theta_s$	CE-1-80	Eq. 9	T_{ie}	$0,80 \theta_s$
RB-2-100	Eq. 5	$T_{ie}/2$	θ_s	ML-2-100	Eq. 6	$T_{ie}/2$	θ_s	CE-2-100	Eq. 9	$T_{ie}/2$	θ_s
RB-2-90	Eq. 5	$T_{ie}/2$	$0,90 \theta_s$	ML-2-90	Eq. 6	$T_{ie}/2$	$0,90 \theta_s$	CE-2-90	Eq. 9	$T_{ie}/2$	$0,90 \theta_s$
RB-2-85	Eq. 5	$T_{ie}/2$	$0,85 \theta_s$	ML-2-85	Eq. 6	$T_{ie}/2$	$0,85 \theta_s$	CE-2-85	Eq. 9	$T_{ie}/2$	$0,85 \theta_s$
RB-2-80	Eq. 5	$T_{ie}/2$	$0,80 \theta_s$	ML-2-80	Eq. 6	$T_{ie}/2$	$0,80 \theta_s$	CE-2-80	Eq. 9	$T_{ie}/2$	$0,80 \theta_s$
RB-3-100	Eq. 5	$T_{ie}/3$	θ_s	ML-3-100	Eq. 6	$T_{ie}/3$	θ_s	CE-3-100	Eq. 9	$T_{ie}/3$	θ_s
RB-3-90	Eq. 5	$T_{ie}/3$	$0,90 \theta_s$	ML-3-90	Eq. 6	$T_{ie}/3$	$0,90 \theta_s$	CE-3-90	Eq. 9	$T_{ie}/3$	$0,90 \theta_s$
RB-3-85	Eq. 5	$T_{ie}/3$	$0,85 \theta_s$	ML-3-85	Eq. 6	$T_{ie}/3$	$0,85 \theta_s$	CE-3-85	Eq. 9	$T_{ie}/3$	$0,85 \theta_s$
RB-3-80	Eq. 5	$T_{ie}/3$	$0,80 \theta_s$	ML-3-80	Eq. 6	$T_{ie}/3$	$0,80 \theta_s$	CE-3-80	Eq. 9	$T_{ie}/3$	$0,80 \theta_s$
RB-4-100	Eq. 5	$T_{ie}/4$	θ_s	ML-4-100	Eq. 6	$T_{ie}/4$	θ_s	CE-4-100	Eq. 9	$T_{ie}/4$	θ_s
RB-4-90	Eq. 5	$T_{ie}/4$	$0,90 \theta_s$	ML-4-90	Eq. 6	$T_{ie}/4$	$0,90 \theta_s$	CE-4-90	Eq. 9	$T_{ie}/4$	$0,90 \theta_s$
RB-4-85	Eq. 5	$T_{ie}/4$	$0,85 \theta_s$	ML-4-85	Eq. 6	$T_{ie}/4$	$0,85 \theta_s$	CE-4-85	Eq. 9	$T_{ie}/4$	$0,85 \theta_s$
RB-4-80	Eq. 5	$T_{ie}/4$	$0,80 \theta_s$	ML-4-80	Eq. 6	$T_{ie}/4$	$0,80 \theta_s$	CE-4-80	Eq. 9	$T_{ie}/4$	$0,80 \theta_s$
RB-5-100	Eq. 5	$T_{ie}/5$	θ_s	ML-5-100	Eq. 6	$T_{ie}/5$	θ_s	CE-5-100	Eq. 9	$T_{ie}/5$	θ_s
RB-5-90	Eq. 5	$T_{ie}/5$	$0,90 \theta_s$	ML-5-90	Eq. 6	$T_{ie}/5$	$0,90 \theta_s$	CE-5-90	Eq. 9	$T_{ie}/5$	$0,90 \theta_s$
RB-5-85	Eq. 5	$T_{ie}/5$	$0,85 \theta_s$	ML-5-85	Eq. 6	$T_{ie}/5$	$0,85 \theta_s$	CE-5-85	Eq. 9	$T_{ie}/5$	$0,85 \theta_s$
RB-5-80	Eq. 5	$T_{ie}/5$	$0,80 \theta_s$	ML-5-80	Eq. 6	$T_{ie}/5$	$0,80 \theta_s$	CE-5-80	Eq. 9	$T_{ie}/5$	$0,80 \theta_s$
RB-6-100	Eq. 5	$T_{ie}/6$	θ_s	ML-6-100	Eq. 6	$T_{ie}/6$	θ_s	CE-6-100	Eq. 9	$T_{ie}/6$	θ_s
RB-6-90	Eq. 5	$T_{ie}/6$	$0,90 \theta_s$	ML-6-90	Eq. 6	$T_{ie}/6$	$0,90 \theta_s$	CE-6-90	Eq. 9	$T_{ie}/6$	$0,90 \theta_s$
RB-6-85	Eq. 5	$T_{ie}/6$	$0,85 \theta_s$	ML-6-85	Eq. 6	$T_{ie}/6$	$0,85 \theta_s$	CE-6-85	Eq. 9	$T_{ie}/6$	$0,85 \theta_s$
RB-6-80	Eq. 5	$T_{ie}/6$	$0,80 \theta_s$	ML-6-80	Eq. 6	$T_{ie}/6$	$0,80 \theta_s$	CE-6-80	Eq. 9	$T_{ie}/6$	$0,80 \theta_s$

Quadro 10 – Coeficiente de escoamento superficial (C) médio da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES, conforme recomendação do *Soil Conservation Service* - USDA

Microbacia	Cobertura Vegetal	Área (A) decimal	C	A * C
Sítio 1	Pastagens	0,39	0,60	0,23
Sítio 2	Pastagens	0,27	0,60	0,16
Sítio 3	Florestas	0,10	0,60	0,06
Sítio 4	Florestas	0,11	0,60	0,07
Sítio 5	Florestas	0,13	0,50	0,07
Área total da microbacia (A_d)=		21,62 ha	Média ponderada=	0,59

Na determinação da intensidade máxima média de precipitação (i_m), foram considerados os valores adquiridos na chuva utilizada para simulação. Assim, com o cálculo direto da i_m , há uma tendência de se minimizar as fontes de erro, uma vez que não se faz necessário estimar o tempo de concentração da microbacia. Desse modo, a i_m foi obtida a partir da Equação 24.

$$i_m = \frac{PrT}{t_c} \quad (24)$$

Quando se procedeu o cálculo para determinar o escoamento superficial pelo MNC, por meio da Equação 12, foi considerada a precipitação total (PrT) referente a cada evento analisado e o valor do número da curva (CN) obtido por meio de tabelas, considerando-se as diferentes coberturas vegetais e tipos de solo da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira. No Quadro 11, são apresentados os valores de CN, segundo Mockus (1972) (Anexo A, Quadro A3).

Na classificação do tipo de solo, foram utilizados os critérios estabelecidos por Pruski et al. (1997a), que classificam o solo em função da taxa de infiltração de água. Assim, o solo foi enquadrado como pertencente aos tipos B e C, já que a

amplitude de variação da taxa de infiltração para classe B é de 40-190 mm h⁻¹, e da classe C de 3-40 mm h⁻¹.

Quadro 11 – Número da curva (CN) determinado com base nas características físicas da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Cobertura vegetal	Uso do solo	Tratamento	CH	CN
Sítio 1	Pastagem para pastoreio	-	Regular	69
Sítio 2	Pastagem para pastoreio	-	Regular	69
Sítio 3	Floresta	-	Regular	60
Sítio 4	Floresta	-	Regular	60
Sítio 5	Floresta	-	Regular	36

CH = condição hidrológica; e NC = número da curva (AMC II).

Para cada evento de precipitação analisado, quando houve necessidade, o valor do número da curva foi corrigido de acordo com a condição de umidade antecedente (AMC I e AMC III), em função da lâmina de precipitação acumulada nos cinco dias anteriores ao referido evento. Para tanto, foram utilizadas as tabelas sugeridas por Tucci (2002) (Anexo A, Quadro A4).

3.7 Análises estatísticas

Os resultados foram avaliados por meio da comparação entre os dados observados na microbacia hidrográfica experimental e os dados simulados pelo modelo HidroBacia, estimados pelo Método Racional e pelo Método do Número da Curva. Especificamente, os resultados avaliados foram os hidrogramas de escoamento superficial, por meio de suas respectivas vazões máximas e lâminas escoadas, para todos os eventos de precipitação simulados e para todas as combinações de dados de entrada propostas.

Sobre a análise da performance de modelos hidrológicos, observa-se que ainda não há consenso entre pesquisadores da área a respeito de quais são os métodos estatísticos mais recomendados, pois diversos trabalhos utilizam diferentes índices estatísticos, dificultando a comparação entre as performances obtidas. Tendo em vista esses fatos, optou-se por calcular os índices estatísticos atualmente

mais utilizados para avaliação da performance de modelos hidrológicos e hidroclimáticos.

Assim, Legates e McCabe Jr. (1999) indicam os seguintes índices: erro absoluto médio (EAM) e a raiz do erro quadrado médio (REQM), equações 25 e 26, respectivamente.

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - E_i|}{n} \quad (25)$$

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n}} \quad (26)$$

em que:

O_i = valor observado experimentalmente;

E_i = valor estimado pelo modelo; e

n = número de observações;

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Imagens temáticas obtidas

O modelo digital de elevação (MDE) da microbacia experimental, juntamente com sua rede de drenagem real e a rede de drenagem numérica estão representados na Figura 16. Percebe-se uma semelhança razoável entre as redes de drenagem (real e numérica), o que indica consistência hidrológica do MDE gerado; além disso, indica que o algoritmo TOPOGRID possui desempenho satisfatório. Esse fato foi confirmado por Pires et al. (2005) e, mais tarde, por Zanetti (2007).

O MDE possui 24.022 pixels, sendo que cada pixel representa uma área de 9 m². Assim, a microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira apresenta uma área de 21,62 hectares, altitude mínima de 272 e máxima de 477 metros.

As direções de escoamento superficial da microbacia podem ser visualizadas na Figura 17. Nota-se que cada pixel da imagem possui como atributo um número inteiro positivo que representa uma das oito direções de escoamento possíveis, de acordo com legenda na própria figura.

Na Figura 18, são apresentados os diferentes Sítios delimitados na microbacia do Córrego Jaqueira. Com a verificação da heterogeneidade do uso e ocupação do solo, a espacialização dos parâmetros de entrada foi indispensável para as simulações com o HidroBacia.

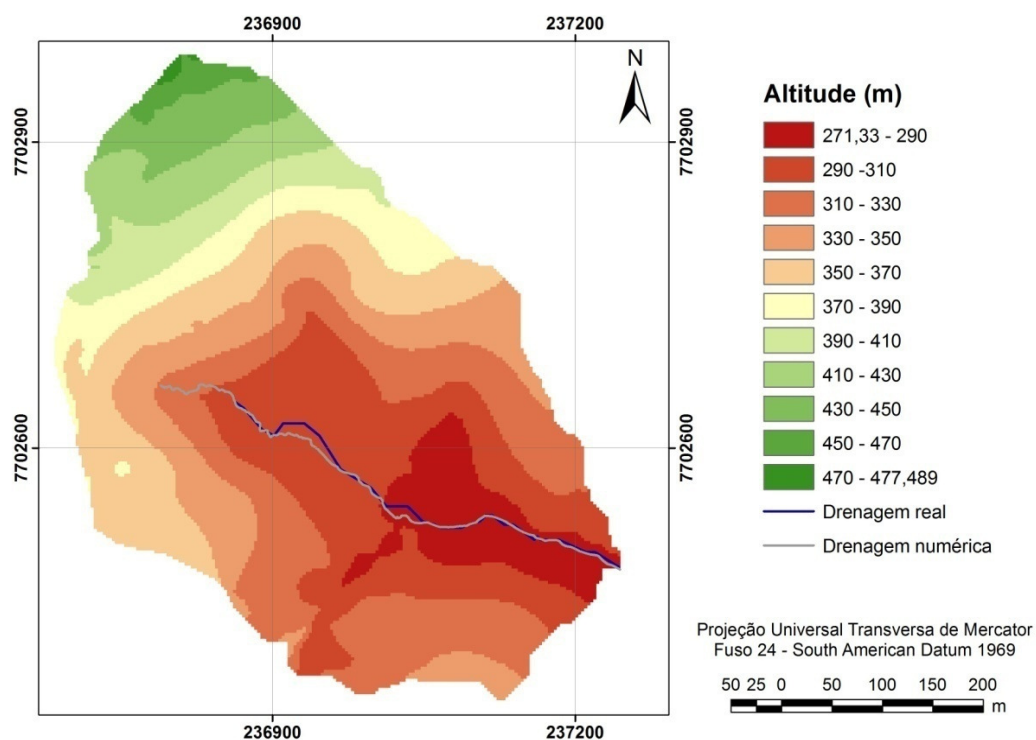


Figura 16 – Delimitação da microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES, com sua rede de drenagem mapeada e a drenagem numérica.

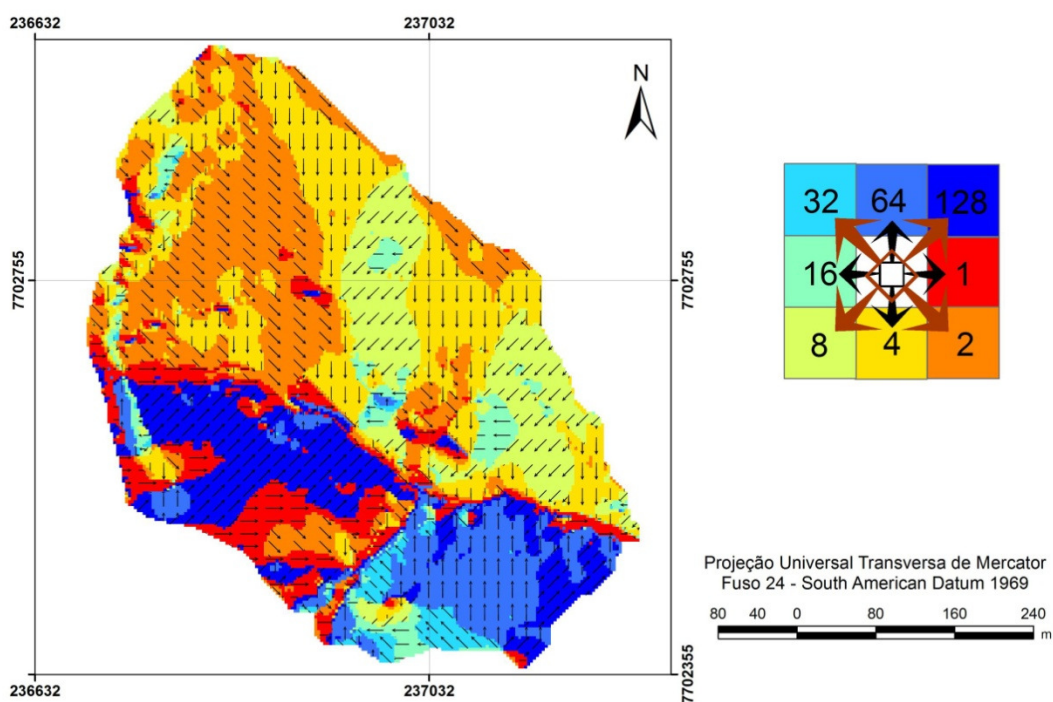


Figura 17 – Representação das direções de escoamento na microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.

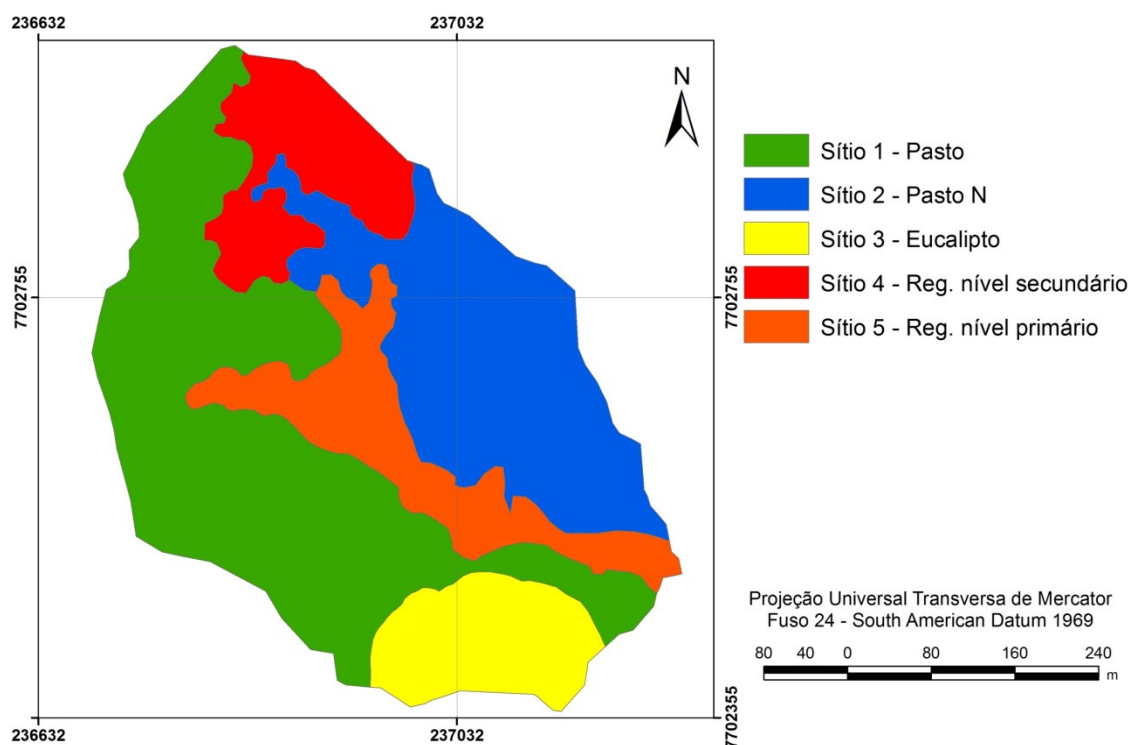


Figura 18 – Representação do uso e ocupação do solo na microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES.

4.2 Simulações realizadas com o HidroBacia

O Quadro 12 apresenta os eventos de precipitação utilizados para a avaliação do HidroBacia com suas respectivas vazões máximas e as lâminas de escoamento superficial gerados por cada evento na microbacia do Córrego Jaqueira, bem como a duração, lâmina, intensidade máxima e média dos mesmos.

Ao utilizar as 72 combinações dos parâmetros de entrada para Equação de GAML, visando simular cada um dos 8 eventos de precipitação selecionados, obtiveram-se 576 simulações, sendo os resultados da lâmina de escoamento superficial apresentado no Quadro 13 e da vazão máxima no Quadro 14.

São apresentados no Quadro 15, os índices estatísticos entre as LES observadas e estimadas pelo HidroBacia para as diferentes combinações adotadas. Já no Quadro 16, podem-se encontrar os índices estatísticos entre $Q_{m\acute{a}x}$ observada e estimada pelo modelo hidrológico HidroBacia.

Quadro 12 – Eventos de precipitação com suas respectivas lâminas e vazão máxima de escoamento superficial observadas na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Evento	Data	Duração (min)	Lâmina (mm)	Ip máx.	Ip média	LES (mm)	Q _{máx} (L s ⁻¹)
1*	19/07/2009	96	21,082	106,68	13,18	0,03	4,42
2**	19/10/2009	57	29,828	91,44	21,92	0,03	4,33
3**	27/10/2009	273	37,846	45,72	8,32	0,12	4,02
4**	29/11/2009	36	15,240	40,64	25,40	0,05	4,30
5**	14/12/2009	114	11,938	30,48	6,28	0,02	1,98
6**	14/12/2009	180	19,304	40,64	6,43	0,04	4,08
7**	18/12/2009	168	19,812	45,72	7,08	0,04	3,35
8**	21/12/2009	69	13,208	71,12	11,49	0,02	3,18

Ip máx.= intensidade de precipitação máxima, mm h⁻¹; Ip média.= intensidade de precipitação média, mm h⁻¹; LES = lâmina de escoamento superficial; Q_{máx} = vazão máxima de escoamento superficial; *, ** LES e Q_{máx} observados por meio do sensor de pressão ou sensor de bóia, respectivamente.

Ao observar o Quadro 12, nota-se que os dados reais de LES e Q_{máx} apresentaram valores reduzidos em relação à maioria dos dados simulados pelo HidroBacia (Quadro 13 e 14 para LES e Q_{máx}, respectivamente). Além disso, notam-se inúmeras simulações nulas, nos Quadros 13 e 14, principalmente quando foi atribuído o valor integral de T_{ie} em substituição à condutividade hidráulica do solo e quando se determinou o potencial matricial pelas Equações 6 e 9.

Alencar et al. (2006) mencionam que o volume de água decorrente do escoamento superficial depende de alguns fatores, tais como: área da bacia, existência de declividade acentuadas e depressões retentoras de água (como lagos e caixas secas), tipo e teor de água no solo, cobertura vegetal, quantidade e intensidade de precipitação, entre outros.

Como a microbacia experimental possui áreas em regeneração (Sítio 4 e 5) e, também, uma floresta plantada de eucalipto (Sítio 3), a infiltração e o escoamento superficial podem ter sido minimizados devido à interceptação de água proveniente dos eventos de precipitação. Alguns autores (LIMA, 1988; LOURENÇÃO e HONDA, 2007) estudaram a influência de espécies nativas e eucalipto na infiltração de água no solo e processo de erosão, respectivamente. Nestas pesquisas, foi constatado um aumento da infiltração de água no solo e, conseqüentemente, uma menor

ocorrência de escoamento superficial. Segundo Lourenção e Honda (2007), a redução da velocidade do escoamento superficial pode chegar a seis vezes.

Quadro 13 – Valores da lâmina de escoamento superficial (LES, mm) reais e simulados pelo modelo hidrológico HydroBacia para microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

(continua)

Combinação	Evento							
	1	2	3	4	5	6	7	8
RB-1-100	1,48	0,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RB-1-90	1,48	0,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RB-1-85	1,48	0,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RB-1-80	1,48	0,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RB-2-100	3,13	3,19	0,27	0,21	0,0	0,04	0,0	1,23
RB-2-90	3,13	3,18	0,24	0,21	0,0	0,03	0,0	1,23
RB-2-85	3,12	3,18	0,24	0,20	0,0	0,03	0,0	1,22
RB-2-80	3,10	3,18	0,24	0,19	0,0	0,03	0,0	1,22
RB-3-100	4,93	5,06	1,57	1,43	0,0	0,84	0,22	2,11
RB-3-90	4,91	5,06	1,57	1,43	0,0	0,84	0,22	2,11
RB-3-85	4,90	5,05	1,56	1,42	0,0	0,84	0,22	2,10
RB-3-80	4,90	5,05	1,56	1,42	0,0	0,84	0,22	2,10
RB-4-100	5,87	6,64	2,89	2,18	0,0	1,47	0,93	2,69
RB-4-90	5,86	6,59	2,89	2,17	0,0	1,47	0,93	2,69
RB-4-85	5,86	6,59	2,88	2,17	0,0	1,47	0,93	2,68
RB-4-80	5,85	6,58	2,88	2,17	0,0	1,47	0,93	2,68
RB-5-100	6,50	7,72	3,97	2,76	0,06	1,98	1,73	3,48
RB-5-90	6,50	7,71	3,92	2,75	0,05	1,98	1,72	3,48
RB-5-85	6,49	7,70	3,96	2,75	0,0	1,98	1,72	3,48
RB-5-80	6,49	7,70	3,92	2,75	0,0	1,98	1,72	3,47
RB-6-100	7,35	8,70	4,93	3,23	0,33	2,56	2,19	4,13
RB-6-90	7,34	8,63	4,93	3,18	0,31	2,56	2,18	4,13
RB-6-85	7,34	8,63	4,93	3,17	0,31	2,52	2,18	4,13
RB-6-80	7,33	8,63	4,93	3,17	0,31	2,51	2,18	4,12
ML-1-100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-1-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-1-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-1-80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-2-100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-2-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-2-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-2-80	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-3-100	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-3-90	0,33	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-3-85	0,49	0,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-3-80	0,66	0,53	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-4-100	0,50	0,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-4-90	0,77	0,78	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-4-85	0,89	0,99	0,32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-4-80	1,13	1,32	0,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 13 – Valores da lâmina de escoamento superficial (LES, mm) reais e simulados pelo modelo hidrológico HydroBacia para microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

(continua)

Combinação	Evento							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ML-5-100	0,81	0,86	0,39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-5-90	1,17	1,38	0,79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-5-85	1,39	1,69	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05
ML-5-80	1,75	2,05	1,26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25
ML-6-100	1,26	1,36	0,94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-6-90	1,71	1,93	1,41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,17
ML-6-85	1,98	2,26	1,72	0,0	0,0	0,0	0,0	0,33
ML-6-80	2,27	2,66	2,07	0,0	0,0	0,0	0,02	0,53
CE-1-100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-1-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-1-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-1-80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-2-100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-2-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-2-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-2-80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-3-100	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-3-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-3-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-3-80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-4-100	0,42	0,27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-4-90	0,34	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-4-85	0,26	0,07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-4-80	0,20	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-5-100	0,80	0,84	0,35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-5-90	0,69	0,66	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-5-85	0,60	0,57	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-5-80	0,59	0,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-6-100	1,21	1,34	0,88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-6-90	1,02	1,12	0,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-6-85	0,91	1,10	0,69	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-6-80	0,80	1,00	0,62	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

A intensidade e a duração de uma precipitação possuem papel importante para se averiguar a influência proporcionada pelas obstruções à vazão máxima e ao escoamento superficial observados em uma bacia hidrográfica. Segundo Kishi et al. (1993) a infiltração de água no solo diminuirá com o decorrer da chuva, assim uma tempestade intensa de curta duração pode não produzir escoamento, enquanto uma tempestade de mesma intensidade, mas de longa duração, poderá resultar em escoamento. Apesar dos eventos selecionados não apresentarem a mesma intensidade, ao se analisar o Evento 3 (Quadro 12), notou-se que o mesmo possui a

Quadro 14 – Valores da vazão máxima ($Q_{\text{máx}}$, $L s^{-1}$) reais e simulados pelo modelo hidrológico HidroBacia para microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

(conclusão)

Combinação	Evento							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ML-1-80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-2-100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-2-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-2-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-2-80	0,89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-3-100	0,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-3-90	24,10	3,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-3-85	39,33	20,78	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-3-80	58,45	44,84	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-4-100	40,72	21,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-4-90	71,89	72,74	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-4-85	85,96	99,77	23,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-4-80	116,92	145,52	39,96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-5-100	74,24	82,95	28,70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-5-90	122,87	154,31	57,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-5-85	154,13	196,63	72,85	0,0	0,0	0,0	0,0	2,89
ML-5-80	220,06	259,58	91,58	0,0	0,0	0,0	0,0	18,10
ML-6-100	133,68	149,28	69,67	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ML-6-90	216,25	240,22	100,29	0,0	0,0	0,0	0,0	11,12
ML-6-85	263,12	298,42	121,58	0,0	0,0	0,0	0,0	25,77
ML-6-80	318,51	373,93	145,28	0,0	0,0	0,0	0,75	45,29
CE-1-100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-1-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-1-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-1-80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-2-100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-2-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-2-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-2-80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-3-100	0,98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-3-90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-3-85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-3-80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-4-100	32,87	19,87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-4-90	25,05	7,42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-4-85	18,62	4,40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-4-80	12,93	1,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-5-100	73,67	80,53	25,11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-5-90	61,79	58,81	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-5-85	51,78	49,48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-5-80	51,01	47,44	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-6-100	128,88	146,03	65,61	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-6-90	101,77	117,56	56,22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-6-85	87,70	113,84	51,50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CE-6-80	75,53	101,22	46,70	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 15 – Indicadores do ajuste entre dados simulados pelo HidroBacia e observados de lâmina de escoamento superficial (LES), para 8 eventos de precipitação avaliados na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Combinação	EAM	REQM	Combinação	EAM	REQM	Combinação	EAM	REQM
RB-1-100	1,14	1,18	ML-1-100	-	-	CE-1-100	-	-
RB-1-90	1,14	1,18	ML-1-90	-	-	CE-1-90	-	-
RB-1-85	1,14	1,18	ML-1-85	-	-	CE-1-85	-	-
RB-1-80	1,14	1,18	ML-1-80	-	-	CE-1-80	-	-
RB-2-100	1,30	1,87	ML-2-100	-	-	CE-2-100	-	-
RB-2-90	1,29	1,87	ML-2-90	-	-	CE-2-90	-	-
RB-2-85	1,29	1,87	ML-2-85	-	-	CE-2-85	-	-
RB-2-80	1,28	1,86	ML-2-80	0,01	0,01	CE-2-80	-	-
RB-3-100	2,26	2,89	ML-3-100	0,01	0,01	CE-3-100	0,01	0,01
RB-3-90	2,26	2,88	ML-3-90	0,16	0,21	CE-3-90	-	-
RB-3-85	2,25	2,88	ML-3-85	0,35	0,37	CE-3-85	-	-
RB-3-80	2,25	2,88	ML-3-80	0,56	0,57	CE-3-80	-	-
RB-4-100	3,19	3,78	ML-4-100	0,36	0,38	CE-4-100	0,32	0,32
RB-4-90	3,18	3,76	ML-4-90	0,74	0,74	CE-4-90	0,20	0,23
RB-4-85	3,18	3,76	ML-4-85	0,67	0,75	CE-4-85	0,14	0,17
RB-4-80	3,18	3,76	ML-4-80	0,94	1,01	CE-4-80	0,09	0,12
RB-5-100	3,48	4,21	ML-5-100	0,62	0,67	CE-5-100	0,60	0,66
RB-5-90	3,47	4,20	ML-5-90	1,06	1,09	CE-5-90	0,64	0,64
RB-5-85	3,96	4,49	ML-5-85	0,98	1,16	CE-5-85	0,56	0,56
RB-5-80	3,96	4,48	ML-5-80	1,28	1,45	CE-5-80	0,54	0,54
RB-6-100	4,13	4,87	ML-6-100	1,13	1,15	CE-6-100	1,08	1,11
RB-6-90	4,11	4,85	ML-6-90	1,26	1,43	CE-6-90	0,91	0,93
RB-6-85	4,11	4,85	ML-6-85	1,52	1,69	CE-6-85	0,84	0,86
RB-6-80	4,10	4,84	ML-6-80	1,47	1,79	CE-6-80	0,75	0,77

Quadro 16 – Indicadores do ajuste entre dados simuladas pelo HidroBacia e observadas de Vazão Máxima (Q_{\max}), para os 8 eventos de precipitação avaliados na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

Combinação	EAM	REQM	Combinação	EAM	REQM	Combinação	EAM	REQM
RB-1-100	126,73	134,99	ML-1-100	-	-	CE-1-100	-	-
RB-1-90	126,40	134,65	ML-1-90	-	-	CE-1-90	-	-
RB-1-85	126,24	134,49	ML-1-85	-	-	CE-1-85	-	-
RB-1-80	126,09	134,35	ML-1-80	-	-	CE-1-80	-	-
RB-2-100	192,24	293,34	ML-2-100	-	-	CE-2-100	-	-
RB-2-90	191,77	292,78	ML-2-90	-	-	CE-2-90	-	-
RB-2-85	191,40	292,45	ML-2-85	-	-	CE-2-85	-	-
RB-2-80	191,03	291,85	ML-2-80	3,53	3,53	CE-2-80	-	-
RB-3-100	330,12	474,60	ML-3-100	3,43	3,43	CE-3-100	3,44	3,44
RB-3-90	329,38	473,49	ML-3-90	10,50	13,95	CE-3-90	-	-
RB-3-85	329,09	473,08	ML-3-85	25,68	27,29	CE-3-85	-	-
RB-3-80	328,82	472,70	ML-3-80	47,27	47,75	CE-3-80	-	-
RB-4-100	460,70	613,98	ML-4-100	26,52	28,26	CE-4-100	22,00	22,92
RB-4-90	459,41	611,99	ML-4-90	67,94	67,94	CE-4-90	11,86	14,75
RB-4-85	459,06	611,56	ML-4-85	65,42	73,32	CE-4-85	7,14	10,04
RB-4-80	458,76	611,15	ML-4-80	96,54	106,27	CE-4-80	5,91	6,46
RB-5-100	505,20	675,15	ML-5-100	57,71	62,36	CE-5-100	55,51	60,68
RB-5-90	503,84	674,06	ML-5-90	107,39	114,62	CE-5-90	55,93	55,94
RB-5-85	575,93	720,37	ML-5-85	102,78	126,62	CE-5-85	46,26	46,27
RB-5-80	574,86	719,64	ML-5-80	143,34	172,87	CE-5-80	44,85	44,88
RB-6-100	594,34	768,56	ML-6-100	113,29	118,36	CE-6-100	109,25	114,55
RB-6-90	591,67	765,76	ML-6-90	137,98	165,72	CE-6-90	87,59	91,33
RB-6-85	590,46	764,93	ML-6-85	173,24	204,78	CE-6-85	80,09	84,03
RB-6-80	589,72	764,28	ML-6-80	173,93	226,71	CE-6-80	70,23	73,63

Além disso, como as estações de chuva e seca no município de Alegre (ES) são representadas por seis meses cada uma (LIMA et al. 2008) e como o período de monitoramento experimental compreendeu os seis meses mais secos do ano e outros meses chuvosos, observou-se baixa umidade inicial do solo para alguns eventos de precipitação (Anexo B, Quadro B4), o que pode ter favorecido a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, contribuído para uma menor ocorrência de escoamento superficial.

De modo geral, os índices estatísticos calculados para as simulações (EAM e REQM; Quadro 15 e 16) apresentaram alta variação. Contudo, percebeu-se que o HidroBacia é mais preciso na estimação da LES, já que os coeficientes calculados se apresentaram menor do que quando se estimou a $Q_{m\acute{a}x}$. Isso, possivelmente, ocorreu devido a LES ser obtida a partir da divisão do volume de escoamento superficial pela área da bacia (área de drenagem), enquanto a $Q_{m\acute{a}x}$ é um valor pontual do hidrograma, sendo mais difícil de ser estimado com maior precisão. Além disso, é utilizado o método de onda cinemática para o cálculo da $Q_{m\acute{a}x}$, que tenta simular a propagação do hidrograma, considerando a declividade e a rugosidade do terreno. Assim, se a rugosidade for mal estimada, o resultado da $Q_{m\acute{a}x}$ fica prejudicado, mas a LES não.

Sendo assim, como os valores de rugosidade são obtidos, em sua maioria, por meio de tabelas (como a tabela presente no HidroBacia, fonte de consulta do presente trabalho), nota-se a necessidade de se realizar novos estudos para sua determinação com relação às diversas coberturas vegetais existentes nas condições edafoclimáticas brasileiras. Outros parâmetros, como a interceptação pela cobertura vegetal (ICV) e a capacidade de armazenamento sobre a superfície do solo (ARM), também necessitam de estudos, o que culminará na redução de algumas fontes de erros, dentre as diversas que podem comprometer ou amortizar a qualidade dos resultados finais de um trabalho científico.

Além dessas fontes de erro, existem os erros experimentais, que são decorrentes dos equipamentos e métodos utilizados para medir a precipitação na bacia, a vazão no curso d'água, os demais elementos do clima, os diversos parâmetros físicos do solo, a separação entre escoamento superficial e subterrâneo,

e muitos outros dados que são comumente utilizados pelos modelos em geral (ZANETTI, 2007).

Observando os Quadros 13 e 14, nota-se que as simulações de LES e $Q_{\text{máx}}$ foram nulas justamente nas combinações em que foram adotados os maiores valores de T_{ie} , sendo que o escoamento simulado aumentou à medida que o valor de T_{ie} testado foi reduzido, principalmente considerando sua quarta, quinta e sexta parte. Silva (2002) observou escoamento superficial nulo para algumas combinações avaliadas em seu trabalho. Segundo o autor, esse fato se deve, em parte, ao alto valor da condutividade hidráulica do solo saturado da bacia hidrográfica, o que também justificou o pequeno número de eventos de escoamento superficial observados na bacia experimental. Ainda afirma que outro fator para a ocorrência de escoamento nulo é a combinação destes valores de condutividade hidráulica do solo saturado, aos valores do potencial matricial na frente de umedecimento, obtido em função da umidade inicial do solo.

Os índices estatísticos avaliados (Quadro 15 e 16) permitiram identificar as combinações que melhor representaram a LES e $Q_{\text{máx}}$. Assim, as combinações que melhor representaram tanto a LES quanto a $Q_{\text{máx}}$ foram: ML-3-90; ML-3-85; ML-4-100; CE-4-100; CE-4-90; CE-4-85; e CE-4-80. Tais combinações apresentaram os seguintes intervalos para LES: EAM (entre 0,09 e 0,36 mm) e REQM (entre 0,12 e 0,38 mm); e $Q_{\text{máx}}$: EAM (entre 5,91 e 26,52 L s⁻¹) e REQM (entre 6,46 e 28,26 L s⁻¹). Além dessas combinações, outras três (ML-2-80; ML-3-100; e CE-3-100) apresentaram também baixos índices estatísticos, porém menos satisfatórios que os das sete combinações anteriores. Entretanto, como estas três combinações somente apresentaram simulação de um único evento de precipitação, elas devem ser reavaliadas em futuros trabalhos para que se teste sua real credibilidade.

Portanto, para o presente trabalho, as equações que apresentaram melhor desempenho para se calcular/estimar o potencial matricial na frente de umedecimento foi a equação desenvolvida por Mein e Larson (1973) e principalmente a desenvolvida por Cecílio (2005) (Equações 6 e 9, respectivamente). A Equação 6 apresentou melhor desempenho quando associada com K_w , correspondente a um terço ou um quarto da T_{ie} obtida pelo método do infiltrômetro de anéis e θ_w equivalente a θ_s , $0,90 \theta_s$ ou $0,85 \theta_s$, enquanto a Equação 9 somente

apresentou melhor desempenho quando associada a K_w , correspondente a um quarto da T_{ie} e todas as frações de θ_w , ou seja, equivalente a θ_s , $0,90 \theta_s$, $0,85 \theta_s$ ou $0,80 \theta_s$. Analisando-se as combinações que utilizaram a Equação de Rawls e Brakensiek (Equação 5) para estimar o potencial matricial, pode-se observar que, mesmo combinando altos valores de T_{ie} , ocorreu escoamento superficial nas simulações. Isso se deve, segundo Bezerra e Rodrigues (2006), aos baixos valores de potencial matricial calculado pela equação, fato que contribui para menores estimativas da infiltração de água no solo.

Pode-se observar uma tendência quanto aos valores ótimos de T_{ie} , pois ao se utilizar a Equação 6 (MEIN e LARSON, 1973) e a Equação 9 (CECÍLIO, 2005), os valores que apresentaram melhores combinações foram um terço e um quarto da T_{ie} . Esses valores evidenciam que a infiltração obtida pelo infiltrômetro de anéis é maior do que a infiltração que ocorre naturalmente, fazendo com que a T_{ie} seja superestimada. Assim, notou-se que os valores reais de T_{ie} estão entre um terço e um quarto do valor encontrado pelo infiltrômetro de anéis, fato que corrobora com alguns trabalhos (PRUSKI et al., 1997b; COSTA et al., 1999; BRANDÃO et al., 2006).

Percebeu-se que a Equação de Cecílio (2005) se destacou tanto no presente trabalho quanto nas avaliações feitas por Zanetti (2009a), demonstrando seu potencial, enquanto as combinações que utilizaram a Equação de Rawls e Brakensiek (1983), para cálculo do potencial matricial na frente de umedecimento, não apresentaram o mesmo rendimento observado por Zanetti (2009a). Esse fato já era esperado, uma vez que a Equação de Rawls e Brakensiek (1983) se baseia em equações empíricas, derivadas de dados experimentais, acabando por não ser aplicável em qualquer situação (CECÍLIO, 2005).

Zanetti (2007) avaliou 36 combinações dos parâmetros de entrada do modelo de GAML por meio de simulações utilizando o HidroBacia. Dentre as 6 combinações mais favoráveis, tanto para estimação da LES quanto da $Q_{m\acute{a}x}$, o potencial matricial na frente de umedecimento (Ψ_f) foi estimado pelas Equações de Rawls e Brakensiek (1983) (Equação 5) e Equação de Cecílio (2005) (Equação 9). A Equação de Rawls e Brakensiek (1983) somente apresentou melhor desempenho quando associada com $K_w = T_{ie}$ ou $K_w = 0,50 T_{ie}$, e $\theta_w = 0,85 \theta_s$ ou $\theta_w = 0,80 \theta_s$, enquanto a Equação de

Cecílio (2005) apresentou melhor desempenho somente quando associada com $K_w = T_{ie}$ e $\theta_w = 0,85 \theta_s$ ou $\theta_w = 0,80 \theta_s$.

Comparando dados simulados pelo HidroBacia com observados na área experimental, Silva (2002) encontrou combinações dos parâmetros de entrada para Equação de GAML que melhor se comportaram, dentre eles: $K_s = T_{ie}$ associado a um Ψ_f obtido como função da textura e porosidade do solo e $K_s = T_{ie}$ associado a um $\Psi_f = 0,5 \Psi_b$, quando simuladas para um determinado evento de precipitação; e $K_s = 0,5 T_{ie}$ associado a um Ψ_f obtido como função da textura e porosidade do solo, quando simulada para outro evento de precipitação.

Ressalta-se que um maior número de chuvas com alta intensidade e duração seria mais satisfatório neste estudo, o que não foi possível devido à escassez das mesmas no período de monitoramento experimental. Esse fato, infelizmente, contribuiu para um desfavorecimento do desempenho das simulações, isso porque não houve escoamento para grande parte das combinações, principalmente quando se testou as Equações 6 e 9. Diante do exposto, as combinações que apresentaram somente um evento simulado (ML-2-80; ML-3-100; e CE-3-1) deverão ser reavaliadas para que se possa testar a sua confiabilidade quanto aos parâmetros de entrada da equação de GAML.

Assim, a partir dos estudos realizados na microbacia do Córrego Jaqueira, podem-se fazer algumas recomendações para que se aumente a precisão das simulações realizadas pelo modelo hidrológico HidroBacia:

- Realizar trabalhos com o objetivo de determinar alguns parâmetros de entrada do modelo para as condições edafoclimáticas brasileiras;
- Identificar e mapear áreas que possam influenciar os resultados finais das simulações, como lagos e caixas secas, incluindo-os como uso e ocupação do solo; para tanto, deve-se mensurar os parâmetros de entrada ou adotar valores o mais próximo do real;
- Realizar estudos visando a simplificação dos dados de entrada no HidroBacia, com base numa análise de sensibilidade, para que seja dada maior importância aos parâmetros mais sensíveis.

4.3 Resultados das simulações obtidas pelo Método Racional e Método Número da curva

Apresenta-se no Quadro 17, os valores de $Q_{m\acute{a}x}$ observados na área experimental e $Q_{m\acute{a}x}$ estimados pelo MR. Portanto, nota-se que todos as estimativas feitas pelo MR superestimam excessivamente os valores observados.

Quadro 17 – Vazão Máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) observada e estimada na bacia hidrográfica do Córrego Jaqueira, Alegre-ES, pelo Método Racional (MR), para os 8 eventos de precipitação simulados

Evento	Data	$Q_{m\acute{a}x}$ Observado ($L\ s^{-1}$)	$Q_{m\acute{a}x}$ Estimado MR ($L\ s^{-1}$)
1	19/07/2009	4,42	574,72
2	19/10/2009	4,33	776,69
3	27/10/2009	4,02	308,27
4	29/11/2009	4,30	830,90
5	14/12/2009	1,98	384,45
6	14/12/2009	4,08	526,18
7	18/12/2009	3,35	390,11
8	21/12/2009	3,18	520,15

No Quadro 18, são apresentadas as condições de umidade antecedente (AMC) e as lâminas de precipitação utilizadas pelo MNC, bem como as LES observadas e estimadas pelo MNC, para os 8 eventos considerados. Assim como ocorreu no MR, todas as estimativas feitas pelo MNC superestimaram os dados observados.

Ao observar os índices estatísticos calculados (Quadro 19), nota-se uma enorme discrepância entre os dados observados e estimados, já que os índices apresentaram valores altos (MR: $EAM= 535,23\ L\ s^{-1}$, e $REQM= 562,73\ L\ s^{-1}$; e MNC: $EAM= 9,90\ mm$, e $REQM= 10,57\ mm$).

Uma das justificativas para esses valores altos obtidos pelo MR se refere ao elevado coeficiente de escoamento superficial (0,59) utilizado no cálculo da $Q_{m\acute{a}x}$, já

a vazão estimada é diretamente proporcional a este valor. Como mencionado no item 3.5, este coeficiente foi obtido por meio de tabelas recomendadas pelo SCS-USDA em função do tipo de cobertura do solo da bacia hidrográfica.

Quadro 18 – Lâminas de escoamento superficial (LES) observadas e estimadas na bacia hidrográfica do Córrego Jaqueira pelo Método Número da Curva, para os 8 eventos de precipitação simulados

Evento	Data	P5DA (mm)	AMC	Lâmina (mm)	LES_obs (mm)	LES_est (mm)
1	19/07/2009	1,52	I	21,082	0,03	10,37
2	19/10/2009	3,81	I	20,828	0,03	10,45
3	27/10/2009	9,14	I	37,846	0,12	6,13
4	29/11/2009	3,30	I	15,240	0,05	12,46
5	14/12/2009	1,78	I	11,938	0,02	13,79
6	14/12/2009	13,72	I	19,304	0,04	10,97
7	18/12/2009	38,10	II	19,812	0,04	2,11
8	21/12/2009	23,63	I	13,208	0,02	13,27

P5DA = Lâmina de precipitação acumulada nos cinco dias antecedentes ao evento, mm;
 AMC = condição de umidade antecedente (TUCCI, 2002); e
 LES_obs e LES_est = Lâmina de escoamento superficial observada e estimada, respectivamente.

Além disso, sabe-se que o MR apresenta algumas pressuposições que não são observadas na realidade e, também, deixam de considerar alguns parâmetros importantes nos processos de vazão/escoamento, o que contribui para superestimar a vazão máxima de escoamento superficial. Isso porque, além de considerar que toda a área da bacia hidrográfica contribui simultaneamente com o escoamento superficial na seção de deságue (provocado por uma precipitação com intensidade constante e uniforme em toda a bacia), desconsiderando a influência de muitos componentes do ciclo hidrológico no processo de formação do escoamento superficial, como a interceptação pela cobertura vegetal, o armazenamento superficial, a infiltração de água no solo, o perfil de precipitação, a rede drenagem e outros (ZANETTI, 2007) e da rugosidade hidráulica da superfície do solo. Dessa forma, tal fato corrobora com afirmações de diversos pesquisadores de que o

Método Racional é reconhecidamente uma metodologia que superestima a vazão máxima de escoamento superficial (SILVA et al., 2006).

Quadro 19 – Indicadores do ajuste entre dados simulados pelo método racional (MR) e método do número da curva (MNC) e observados de vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$), para os 8 eventos de precipitação avaliados na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira

Variáveis	MR	MNC
EAM	535,23	9,90
REQM	562,73	10,57

Percebeu-se grande diferença ao se comparar os dados observados e estimados com o emprego do MNC (Quadro 19). Tal fato ocorreu em virtude da T_{ie} ser considerada de forma indireta, ou seja, por meio de enquadramento do solo nos grupos pré-estabelecidos pelo método (tabelas). Assim, como o MNC trabalha com faixas muito amplas de T_{ie} para a definição do grupo de solo, a baixa sensibilidade está associada a esse parâmetro (SILVA et al., 2006). Com isso, esta simplificação possibilita que solos com diferentes taxas de infiltração apresentem o mesmo comportamento em relação à LES, o que não se observa na realidade (ZANETTI, 2007). Por outro lado, quando se estima a LES pelo modelo hidrológico HidroBacia, têm-se uma maior flexibilidade para entrada dos parâmetros, já que os dados reais de infiltração são diretamente inseridos no software, o que possibilita uma melhor estimativa do escoamento superficial.

Segundo Zanetti (2007), estudos ainda devem ser conduzidos com o propósito de melhorar a aplicabilidade do método em regiões diferentes das quais ele foi desenvolvido, uma vez que o MNC é natural do meio-oeste americano e desenvolvido para pequenas bacias agrícolas.

Logo, ao se comparar as simulações obtidas pelo HidroBacia com as obtidas pelo MR e MNC, infere-se que o primeiro representou melhor os dados observados de LES e $Q_{m\acute{a}x}$ na microbacia experimental. Portanto, dentre esses modelos, o HidroBacia é mais recomendado para estimar o escoamento superficial e vazão máxima em bacias hidrográficas.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

1. Dentre as 72 combinações de dados de entrada da Equação de GAML (Green-Ampt modificada por Mein-Larson) avaliadas, verifica-se que 7 combinações apresentam melhor desempenho na estimação da lâmina de escoamento superficial (LES) e vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) por meio simulações realizadas com HidroBacia. Essas combinações são a Equação de Mein e Larson (1973) associada a K_w correspondente a $T_{ie}/3$ e θ_w equivalente a $0,90 \theta_s$ ou $0,85 \theta_s$, ou associada a K_w correspondente a $T_{ie}/4$ e θ_w equivalente a θ_s ; e a Equação de Cecílio (2005) associada a K_w correspondente a $T_{ie}/4$ e todas as opções de θ_w (θ_s , $0,90 \theta_s$, $0,85 \theta_s$ ou $0,80 \theta_s$).
2. Os dados simulados pelo método racional e método número da curva superestimam a $Q_{m\acute{a}x}$ e a LES, respectivamente.
3. Para a condição experimental, recomenda-se a utilização do modelo hidrológico HidroBacia para estimativas tanto da LES quanto da $Q_{m\acute{a}x}$.

6. REFERÊNCIAS

- ALENCAR, C. A. B. **Produção de seis gramíneas forrageiras tropicais submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio, na região leste de minas gerais**. 2007. 121 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- ALENCAR, D. B. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 103-112, 2006.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.
- ANA (Agência Nacional de Águas). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2009: Demandas de uso consuntivo**. 2009. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: 02 de janeiro de 2010.
- ARAÚJO, E. P.; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 4631-4638.
- BARNETCHE, D. **Hidrologia das águas superficiais da bacia do rio Inferninho, Biguaçu – SC**. 2006. 118p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Florianópolis, SC, 2006.
- BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; MARCUZZO, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 52-61, 2009.

- BARTH, F. T. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. Nobel/ABRH, 1987. 525p.
- BEASLEY, D. B.; HUGGINS, L. F. **Answers: user's manual**. Chicago, United States Environmental protection Agency, Region V, 1981, 51p.
- BEZERRA, J. F. R.; RODRIGUES, S. C. Estudo do potencial matricial e geotêxteis aplicado à recuperação de um solo degradado, Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 6, n. 19, p. 160-174, 2006.
- BOUWER, H. Infiltration of water into nonuniform soil. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 95, n. 4, p. 451-462, 1969.
- BRAGA, J. C. **Modelo hidrológico de parâmetros distribuídos para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em qualquer posição de uma bacia hidrográfica**. 2000. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.
- BRAKENSIEK, D. L. Estimating the effective capillary pressure in the Green and Ampt infiltration equation. **Water Resources Research**, v. 13, n. 3, p. 680-682, 1977.
- BRAKENSIEK, D. L.; ONSTAD, C. A. Parameter estimation of the Green and Ampt infiltration equation. **Water Resources Research**, v. 13, n. 6, p. 1009-1012, 1977.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 120 p.
- BROOKS, R. H.; COREY, A. T. **Hydraulic properties of porous media**. Hydrologic Paper #3, Colorado State University. 26p. 1964.
- CECÍLIO, R. A. **Aplicação da equação de Green-Ampt na modelagem da infiltração de água em Latossolo Vermelho-Amarelo estratificado**. 2002. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.
- CECÍLIO, R. A. **Modelagem da infiltração da água no solo fundamentada na equação de Green-Ampt-Mein-Larson**. 2005. 151p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.
- CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; MOREIRA, M. C. A importância do setor agropecuário para a proteção e conservação dos recursos hídricos. In: JESUS JÚNIOR, W. C.; NICOLINE, H. O.; MARTINS, I. V. F.; VARGAS JÚNIOR, J. G.; ALMEIDA, M. I. V.; CECÍLIO, R. A.; ALBANE, R. R. O.; VIANA, M. A.. (Org.). **Novas tecnologias em Ciências Agrárias**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2007a, v. 1, p. 101-117.

- CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ATAÍDE, W. F. Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1141-1151, 2007b.
- CECÍLIO, R. A.; SANTOS, L. N. S.; OLIVEIRA, J. P. B.; GARCIA, G. O.; CAMPANHARO, W. A. Oportunidades de atuação do setor florestal para a produção de água em bacias hidrográficas. In: RODRIGUES, B. P.; FIEDLER, N. C.; BRAZ, R. L.. (Org.). **Tópicos em ciências florestais**. 1ª ed. Alegre: CCAUFES, 2009, v. 1, p. 49-58.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2008. 149p.
- COSTA, É. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A. ABREU, A. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 131-134, 1999.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária. **Análise granulométrica por raios gama**. São Carlos – SP, 1997. 13p.
- FERREIRA, L. **Simulação hidrológica utilizando o modelo Topmodel em bacias rurais, estudo de caso na bacia do Ribeirão dos Marins – seção Monjolinho – SP**. 2004. 205p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.
- GARCIA, S. M. **Mulching vertical e manejo da água em sistema plantio direto**. 2005. 171p. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.
- GEOBASES (Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo). **Ortofotomosaico IEMA 2007/2008**. 2008. Disponível em: <<http://200.140.47.75/geobasesonline/mapa.html>>. Acesso em: 09 de setembro de 2009.
- GOLDENFUM, J. A.; TUCCI, C. E. M. **Hidrologia de águas superficiais**. Brasília, DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV, 1996. 128p.

- GUARIZ, H. R. **Morfometria e Atributos Físicos do Solo da Microbacia do Córrego Jaqueira – Alegre, ES**. 2008. 128p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2008.
- KISHI, R. T.; CENTENO, J. A. S.; RISSO, A.; NUNES, J. C. Estimativa da Produção Não Pontual de Poluentes Utilizando Imagens LANDSAT. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Curitiba: INPE, 1993. v. 4, p. 152-159.
- LEGATES, D. R.; McCABE Jr., G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.
- LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre – ES. **Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 02, p. 327-332, 2008.
- LIMA, W. P. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutriente em microparcelas reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no município de São Simão, SP. **IPEF**, n. 38, p. 5-16, 1988.
- LOURENÇÃO, A.; HONDA, E. A. Influência do reflorestamento com essências nativas sobre a infiltração da água e a velocidade do escoamento superficial. **Revista do Instituto Florestal e IF Série Registros**, São Paulo, n. 31, p. 33-37, 2007.
- MEIN, R. G.; FARRELL, D. A. Determination of wetting front suction in the Green-Ampt equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 38, n. 6, p. 399-417, 1974.
- MEIN, R. G.; LARSON, C. L. Modeling infiltration during a steady rain. **Water Resources Research**, v. 9, n. 2, p. 384-394, 1973.
- MELLO, L. T. A. **Avaliação de metodologias para obtenção dos parâmetros do modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson**. 2003. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004.
- MOCKUS, V. Hydrology soil-cover complexes. In: **SCS National Engineering Handbook**, Section 4, Hidrology, Part 1, 1972.
- MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. 2006. 94p. Dissertação (Mestrado em

- Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.
- MORGAN, R. P. C.; QUINTON, J. N.; RICKISON, R. J. **EUROSEM: a user guide. Version 2.** Silsoe. 86p. 1998.
- MOURA, A. E. S. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. L. C.; FIGUEIREDO, A. C.; POSSAS, J. M. C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, Viçosa, n.3, v.33, p. 461-469, 2009.
- O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, v. 28, p. 323-344, 1984.
- ONSTAD, C. A. Depressional storage on tilled soil surfaces. **Transactions of the ASAE**, v. 27, p. 729-732, 1984.
- PALACIOS-VÉLEZ, O. L.; GANDOY-BERNASCONI, W.; CUEVAS-RENAUD, B. Geometric analysis of surface runoff and the computation order of unit elements in distributed hydrological models. **Journal of Hydrology**, v. 211, p. 266–274, 1998.
- PANIKAR, J. T.; NANJAPPA, G. Suction head at wet front in unsaturated-flow problems – a new definition. **Journal of Hydrology**, v. 33, p. 1-14, 1977.
- PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 2, p. 39-47, 2005.
- PRUSKI, F. F., BRANDÃO, V. S., SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003. 88 p.
- PRUSKI, F. F., FERREIRA, P. A., RAMOS, M. M., CECON, P. R. A model to design level terraces. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 1, p. 8-12, 1997a.
- PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimar o escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 301-307, 2001.
- PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, A. F.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, J. M. A.; GRIEBELER, N. P. **Hidros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 259 p.
- PRUSKI, F. F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E. F.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L. T. Infiltração da água num Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 77-84, 1997b.

- RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D.L. A procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters. **Proceedings of ASAE Conference on Advances in Infiltration**, 3, Saint Joseph: ASAE, p.102-112, 1983.
- RAWLS, W. L.; DAVID, G.; van MULLEN, J. A.; WARD, T. J. Infiltration. In: ASCE. **Hidrology Handbook**. 2. ed. New York, 1996. p. 75-124. (ASCE Manuals and Reporto on Engineering Practice, 28).
- RENNO, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para a gestão ambiental. Programa de ciência e tecnologia para gestão de ecossistemas – “Ação, métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental”**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Relatório técnico parcial, 2000.
- RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 203-212, 2005.
- RISSE, L. M.; NEARING, M. A.; ZHANG, X. C. Variability in Green-Ampt effective conductivity under fallow conditions. **Journal of Hydrology**, v. 169, p. 1-24, 1995.
- RODRIGUES, L. N, PRUSKI, F. F. Otimização do desempenho de sistemas de irrigação do tipo pivô central com o uso da equação de Green-Ampt. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. CD-Rom.
- RODRIGUES, L. N. **Modelo para dimensionamento e para simulação do desempenho de pivô central**. 1999. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.
- SANTOS, L. N. S.; SOUZA, M. A.; CARDOSO, L. C. M.; GARCIA, G. O.; CABRAL, M. B. G.; FELETTI, C. F.; REIS, J. V.; PASSOS, R. R. **Análise granulométrica de um Latossolo Vermelho-Amarelo utilizando dois métodos de dispersão física**. In: VIII Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação. **Anais...** São José dos Campos: UNIVAP, 2008. p. 1-4.
- SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, 192p.
- SHIKLOMANOV, I. **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21th century**. IHP / UNESCO, 1998. 32p.
- SILVA, C. L.; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 7, p. 1149-1158, 1998.
- SILVA, J. M. A. **Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial para qualquer ponto ao longo de uma encosta**. 1999. 61p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, 1999.

- SILVA, J. M. A. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. 2002. 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, 2002.
- SILVA, J. M. A.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; CECÍLIO, R. A. Modelo para a obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas. 2. Avaliação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 4, n. 2, p. 192-197, 2009a.
- SILVA, J. M. A.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; CECÍLIO, R. A. Modelo para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas. 1. Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 78-84, 2009b.
- SILVA, J. M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A. Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em encostas e canais. Parte I: desenvolvimento e avaliação. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 695-703, 2006.
- SILVA, P. M. O. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG**. 2006. 155p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.
- SLACK, D. C. Modeling infiltration under moving sprinkler irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, v. 23, n. 3, p. 596-600, 1980.
- SLACK, D. C.; KILLEN, M. A.; BERGLUND, E. R.; ONSTAD, C. A. Application of the Green-Ampt-Mein-Larson infiltration model to taconite tailings. **Transactions of the ASAE**, v. 31, n. 5, p. 1455-1461, 1988.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. **National engineering handbook**. s.l., 1972. n.p. (Section 4: Hydrology).
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 943p., 2002.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2ª ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 678p., 2005.
- VILARÓ, F. Elementos de hidrologia de superfície: Análisis de hidrogramas. In: CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. (Ed.). **Hidrologia Subterránea**. 2ª ed. Barcelona: Ediciones Omega, 2001, p. 385-398.

- WANG, X.; BENSON, C. H. Infiltration and saturated hydraulic conductivity of compacted clay. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 121, n. 10, p. 713-722, 1995.
- WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 477p.
- WILSON, B. N.; ODURO, P. Analytical sensitivity coefficients for the GAML infiltration model. **Transactions of the ASAE**, v. 47, n. 2, p. 479-484, 2004.
- WOOLHISER, D. A.; SMITH, R. E.; GOODRICH, D. C. **KINEROS: a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual**. Report ARS-77, United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC, USA. 130p. 1990.
- ZANETTI, S. S. **Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica da bacia do rio Paraíba do Sul**. 2007. 135p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.
- ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, V. P. S.; SOUSA, E. F.; ALMEIDA, F. T.; SUGAWARA, M. T.; SILVA, J. M. A. Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica Parte II: Teste do modelo HidroBacia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 13, n. 4, p. 435–442, 2009a.
- ZANETTI, S. S.; SILVA, J. M. A.; SOUSA, E. F.; OLIVEIRA, V. P. S.; ALMEIDA, F. T. Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica Parte I: Aprimoramento do modelo HidroBacia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 13, n. 4, p. 429–434, 2009b.

7. ANEXOS

Anexo A: Coeficientes estatísticos adotados no Método Racional e Método do Número da Curva

Quadro A1 – Valores de C recomendados pelo *Soil Conservation Service* - USDA

Tipo de cobertura do solo	Declividade (%)	Textura do solo		
		Arenosa	Franca	Argilosa
Florestas	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,50	0,60
Pastagens	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,15	0,35	0,55
	10 - 30	0,20	0,40	0,60
Terras cultivadas	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,60	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: Pruski et al. (2003).

Quadro A2 – Classes de umidade antecedente do solo, conforme a chuva ocorrida nos cinco dias anteriores à chuva crítica, no período de crescimento da cultura

Classes	Chuva ocorrida nos 5 dias anteriores à chuva de projeto (mm)
AMC I	0 - 35
AMC II	35 - 52,5
AMC III	> 52,5

Fonte: Tucci (2002).

Quadro A3 – Valores do número da curva para bacias com ocupação agrícola, para condições de umidade antecedente AMC II

Uso do solo	Tratamento	Condição hidrológica	Tipo de solo			
			A	B	C	D
Sem cultivo	Fileiras retas		77	86	91	94
Cultivo em fileiras	Fileiras retas	Má	72	81	88	91
		Boa	67	78	85	89
	Com curvas de nível	Má	70	79	84	88
		Boa	65	75	82	86
	Com curvas de nível e terraços	Má	66	74	80	82
		Boa	62	71	78	81
Cultivo em fileiras estreitas	Fileiras retas	Má	65	76	84	88
		Boa	63	75	83	87
	Com curvas de nível	Má	63	74	82	85
		Boa	61	73	81	84
	Com curvas de nível e terraços	Má	61	72	79	82
		Boa	59	70	78	81
Leguminosas em fileiras estreitas	Fileiras retas	Má	66	77	85	89
		Boa	58	72	81	85
	Com curvas de nível	Má	64	75	83	85
		Boa	55	69	78	83
	Com curvas de nível e terraços	Má	63	73	80	83
		Boa	51	67	76	80
Pastagens para pastoreio	Fileiras retas	Má	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Boa	39	61	74	80
	Com curvas de nível	Má	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Boa	6	35	70	79
Floresta	Fileiras retas	Má	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Boa	25	55	70	77

Fonte: Mockus (1972).

Quadro A4 – Correção do NC para condições iniciais de umidade diferentes da média (AMC II)

Valores médios correspondentes a AMC II	Valores corrigidos para AMC I	Valores corrigidos para AMC III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

Fonte: Tucci (2002).

Anexo B: Resultados dos parâmetros físicos do solo

Quadro B1 – Análise granulométrica do solo (g kg^{-1}) e classe textural para cada Sítio e profundidade avaliada na microbacia do Córrego Jaqueira

0-10 cm de profundidade				
Feição	Areia	Silte	Argila	Classe textural
Sítio 1	596,78	91,58	311,64	Média
Sítio 2	496,84	74,97	428,19	Argilosa
Sítio 3	560,53	84,02	355,45	Argilosa
Sítio 4	502,19	113,06	384,75	Argilosa
Sítio 5	694,34	83,49	222,17	Média

50-60 cm de profundidade				
Feição	Areia	Silte	Argila	Classe textural
Sítio 1	384,72	101,38	513,90	Argilosa
Sítio 2	467,47	69,53	463,00	Argilosa
Sítio 3	374,43	120,20	505,37	Argilosa
Sítio 4	428,79	157,49	413,72	Argilosa
Sítio 5	542,34	100,07	357,59	Argilosa

Quadro B2 – Valores da densidade do solo (D_s , kg dm^{-3}), densidade de partículas (D_p , kg dm^{-3}), microporosidade (MICRO, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e macroporosidade (MACRO, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e porosidade total (PT, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), para cada Sítio e profundidade avaliada na microbacia do Córrego Jaqueira

0-10 cm de profundidade					
Feição	D_s	D_p	Micro	Macro	PT
Sítio 1	1,41	2,59	0,3024	0,1523	0,4547
Sítio 2	1,36	3,06	0,3268	0,2287	0,5555
Sítio 3	1,37	2,83	0,3026	0,2120	0,5146
Sítio 4	1,41	2,91	0,3456	0,1714	0,5170
Sítio 5	1,40	2,42	0,2432	0,1779	0,4211

50-60 cm de profundidade					
Feição	D_s	D_p	Micro	Macro	PT
Sítio 1	1,38	2,62	0,3099	0,1546	0,4645
Sítio 2	1,36	3,05	0,3122	0,2429	0,5551
Sítio 3	1,33	2,53	0,3476	0,1473	0,4950
Sítio 4	1,29	2,91	0,3364	0,1994	0,5358
Sítio 5	1,56	2,51	0,3025	0,0973	0,3998

Quadro B3 – Curvas de retenção de água no solo, para cada Sítio e profundidade avaliada na microbacia do Córrego Jaqueira

0-10 cm de profundidade						
Sítio	Tensão imposta (kPa) – Umidade correspondente (cm³ cm⁻³)					
	6	10	30	100	800	1.500
1	0,3024	0,2653	0,2272	0,2305	0,1757	0,1634
2	0,3268	0,2827	0,2522	0,2425	0,2152	0,1988
3	0,3026	0,2706	0,2358	0,2139	0,1923	0,1773
4	0,3456	0,2995	0,2667	0,2656	0,2241	0,2045
5	0,2432	0,2234	0,1778	0,1872	0,1334	0,1206

50-60 cm de profundidade						
Sítio	Tensão imposta (kPa) – Umidade correspondente (cm³ cm⁻³)					
	6	10	30	100	800	1.500
1	0,3099	0,2964	0,2593	0,2477	0,2365	0,2222
2	0,3122	0,2994	0,2545	0,2483	0,2297	0,2126
3	0,3476	0,3357	0,2819	0,2613	0,2389	0,2295
4	0,3364	0,3113	0,2555	0,2420	0,2266	0,2035
5	0,3025	0,2963	0,2493	0,2359	0,1956	0,1833

Quadro B4 – Umidade inicial do solo nos diferentes Sítios presentes na microbacia hidrográfica do Córrego Jaqueira

Evento	Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Sítio 4	Sítio 5
1	0,2365	0,2493	0,2253	0,2351	0,1872
2	0,2433	0,2534	0,2299	0,2611	0,2029
3	0,2433	0,2534	0,2516	0,2611	0,2136
4	0,2312	0,2449	0,2174	0,2287	0,1609
5	0,2219	0,2335	0,2462	0,2528	0,2052
6	0,2433	0,2534	0,2588	0,2611	0,2136
7	0,2433	0,2534	0,2588	0,2611	0,2136
8	0,2433	0,2534	0,2588	0,2611	0,2136

Quadro B5 – Valores médios do potencial matricial na frente de umedecimento (Ψ_f , mm), para os diferentes sítios presentes na microbacia do Córrego Jaqueira

Estimativa ^{1/}	Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Sítio 4	Sítio 5
(a)	104,71	33,73	123,11	60,86	197,40
(b)	0,14	0,08	0,12	0,10	0,09
(c)	0,21	0,11	0,18	0,15	0,12
(d)	0,26	0,14	0,22	0,18	0,14
(e)	0,33	0,18	0,28	0,23	0,17
(f)	108,07	34,92	126,70	63,04	203,22
(g)	148,10	47,80	166,74	87,97	266,55
(h)	177,83	57,23	195,39	106,57	311,27
(i)	218,32	69,89	233,26	131,94	369,54

^{1/}métodos de estimada do Ψ_f : (a) Equação 5 (Mein e Larson, 1973); (b) Equação 4 (Rawls e Brakensiek, 1983), considerando $\theta_w = 1,0 \theta_s$; (c) Equação 4 (Rawls e Brakensiek, 1983), considerando $\theta_w = 0,90 \theta_s$; (d) Equação 4 (Rawls e Brakensiek, 1983), considerando $\theta_w = 0,85 \theta_s$; (e) Equação 4 (Rawls e Brakensiek, 1983), considerando $\theta_w = 0,80 \theta_s$; (f) Equação 8 (Cecílio, 2005), considerando $\theta_w = 1,0 \theta_s$; (g) Equação 8, considerando $\theta_w = 0,90 \theta_s$; (h) Equação 8, considerando $\theta_w = 0,85 \theta_s$; e (i) Equação 8, considerando $\theta_w = 0,80 \theta_s$.

Anexo C: Hidrogramas dos eventos de chuva-vazão selecionados

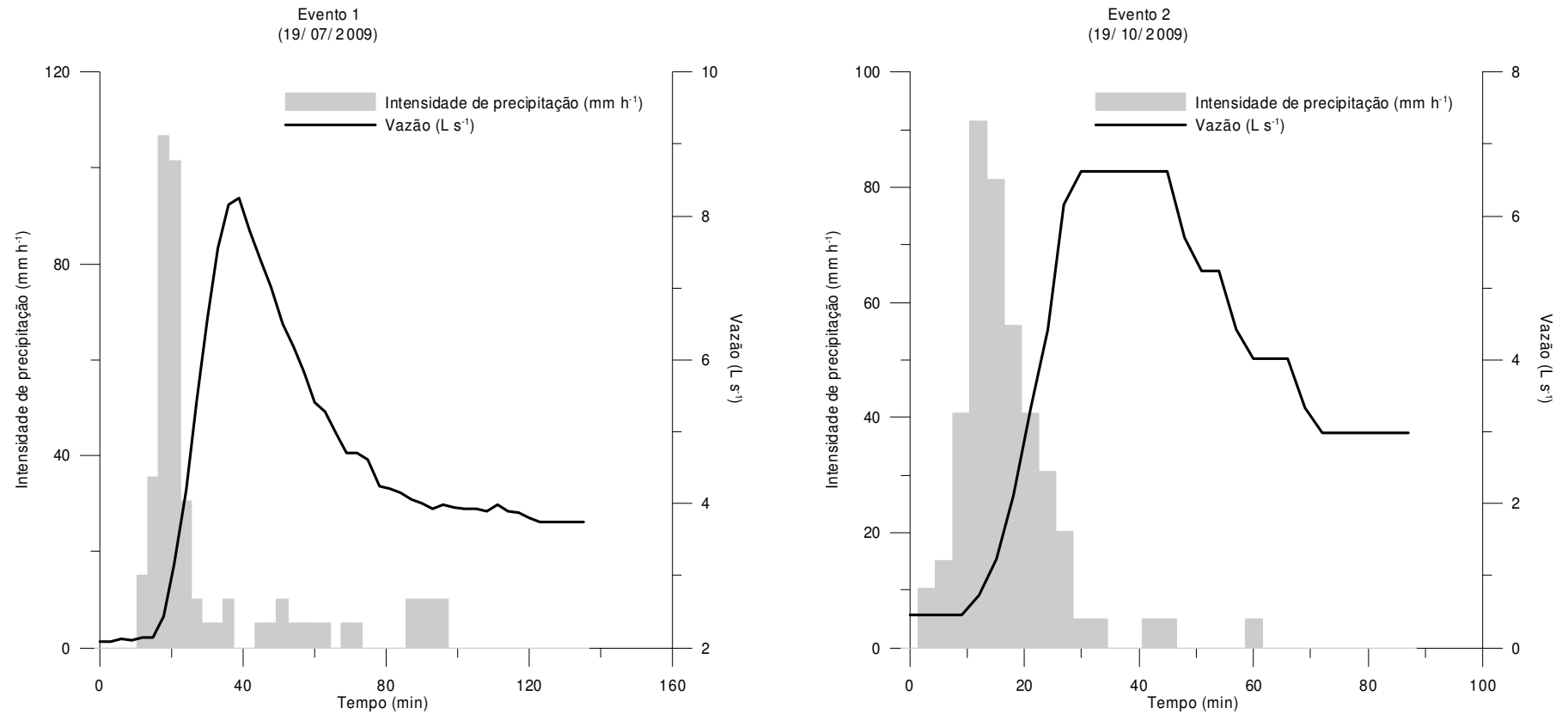


Figura C1 – Hidrogramas dos 8 eventos de chuva-vazão selecionados na microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES, utilizados nas simulações com o modelo hidrológico HidroBacia.

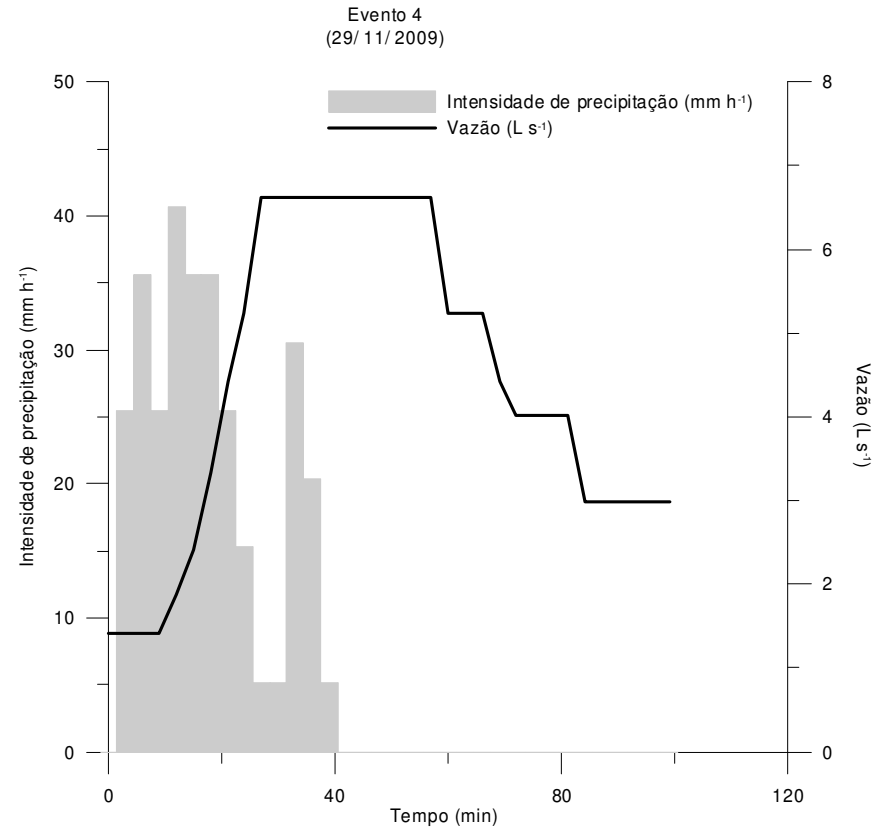
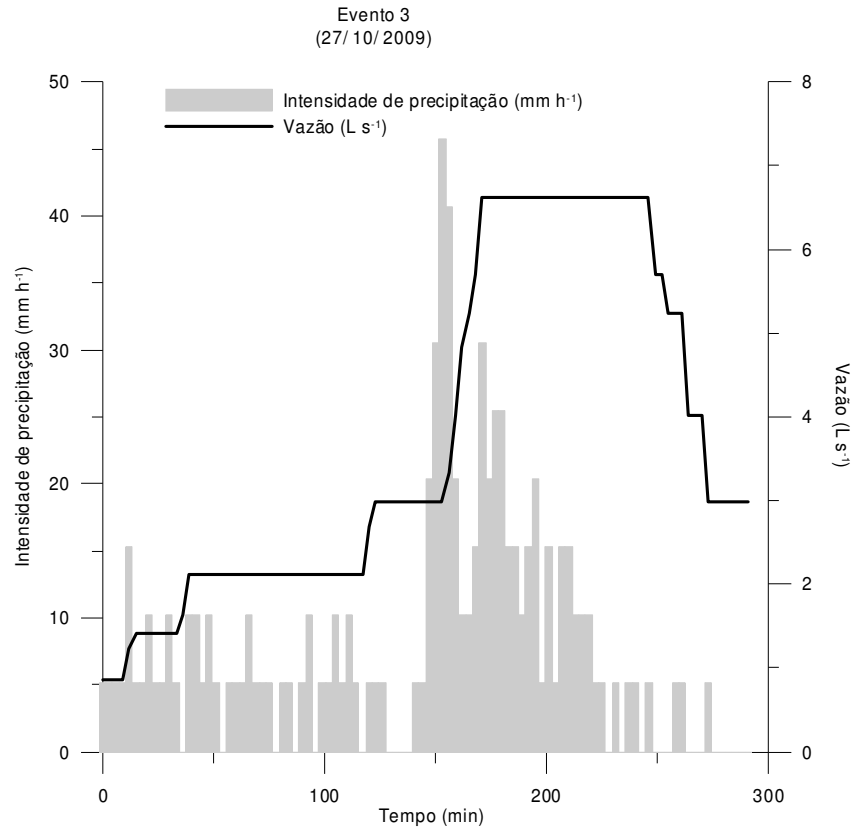


Figura C1 – Cont.

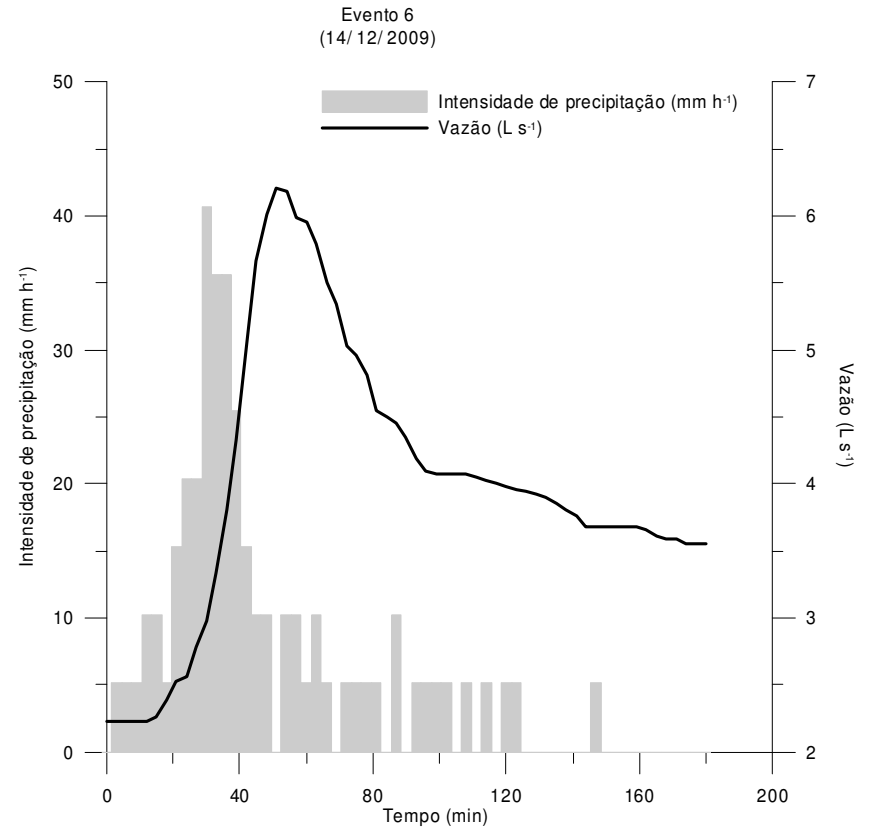
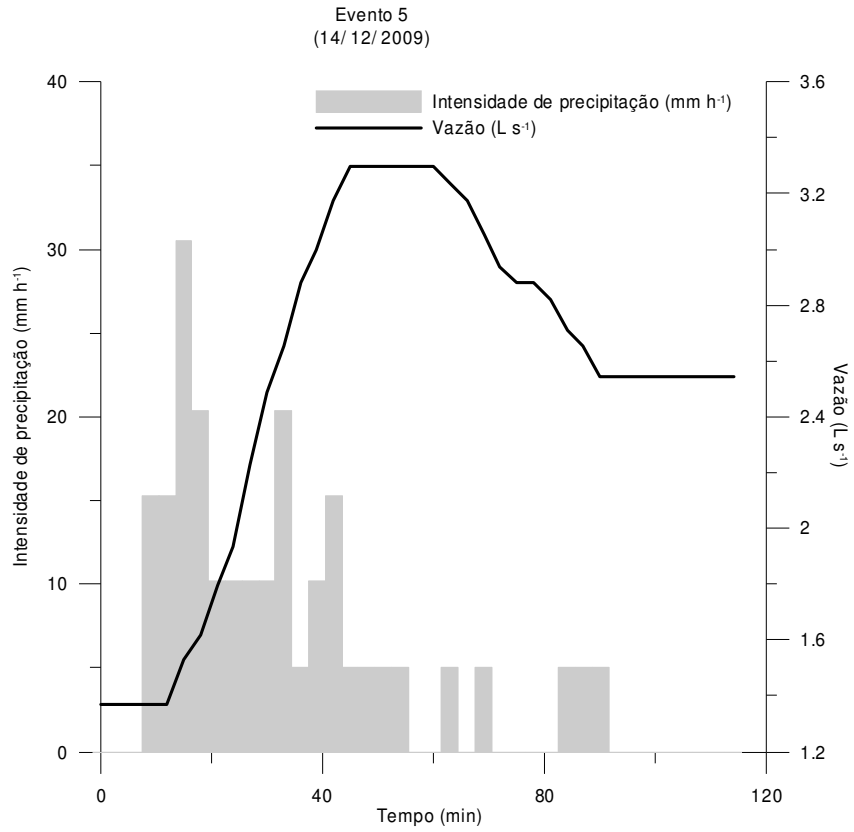


Figura C1 – Cont.

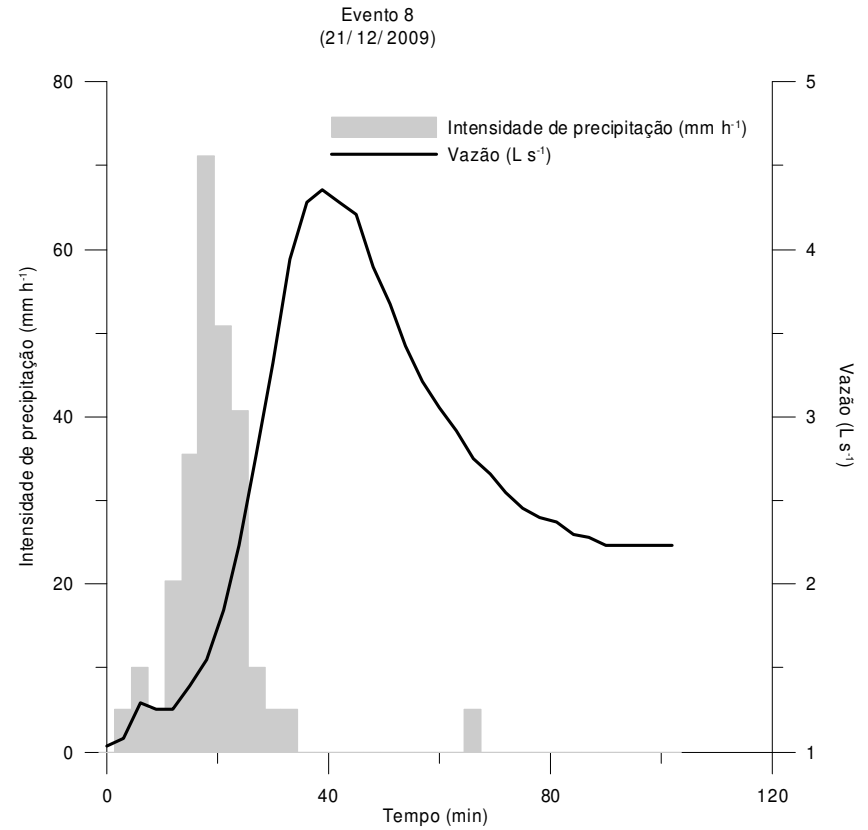
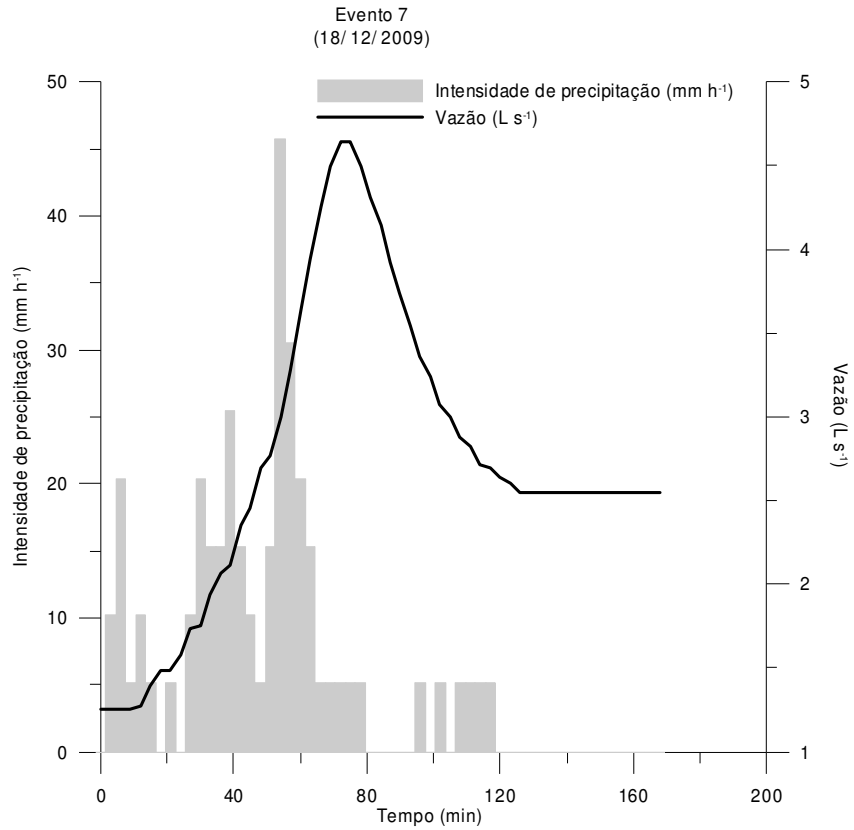


Figura C1 – Cont.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)