

ANDRESSA MINETE DO ROSÁRIO

**CARACTERIZAÇÃO HIDROAMBIENTAL E DINÂMICA DO LENÇOL FREÁTICO, BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIACHO FUNDO, FELIXLÂNDIA, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Rosário, Andressa Minete do, 1986-

R789c
2013

Caracterização hidroambiental e dinâmica do lençol freático, bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG / Andressa Minete do Rosário. – Viçosa, MG, 2013.

ix, 35f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Águas subterrâneas - Felixlândia (MG). 2. Bacia hidrográfica do Riacho Fundo. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22. ed. 551.49

ANDRESSA MINETE DO ROSÁRIO

**CARACTERIZAÇÃO HIDROAMBIENTAL E DINÂMICA DO LENÇOL FREÁTICO, BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIACHO FUNDO, FELIXLÂNDIA, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de dezembro de 2013.

Profa. Kelly Cristina Tonello

Prof. Elias Silva

Prof. Herly Carlos Teixeira Dias
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À empresa Zanini Florestal, pelo financiamento do projeto de pesquisa, e aos funcionários da empresa José Carlos e Isaías, por proporcionarem a realização do trabalho; e ao Celvo, Thiago e Gino, pela colaboração na coleta de dados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro ao Laboratório de Hidrologia Florestal.

Aos meus pais Luiz e Lúcia, pelo exemplo de vida e pelo apoio, amor e incentivo; aos meus irmãos Vanessa e Leandro, pela vivência, companhia e incentivo.

Ao professor Herly Carlos Teixeira Dias, pela oportunidade de realização do mestrado e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal (DEF) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), pelos conhecimentos adquiridos ao longo dessa caminhada, pela contribuição para minha formação acadêmica, pela prestatividade e pela convivência.

Ao Laboratório de Hidrologia Florestal do DEF/UFV, pelo apoio estrutural, e ao funcionário Paulo Sérgio, pelo apoio imprescindível na coleta de dados.

À UFV, pela oportunidade de crescimento profissional, através de estágios proporcionados pela instituição, e pela obtenção dos títulos de Engenheira Florestal e Mestre.

Às minhas companheiras de república, e primas, Gabi, Carol, Nathi, e às amigas Raisa e Allê pela ótima convivência nesses muitos anos de Viçosa. E às companheiras de república da época da caloura Nathee, Dany, Denise, Carina e Laura, pelos apertos passados, aprendizagem conjunta da vida adulta e pelos momentos inesquecíveis.

Aos meus tios Gislene e Enivaldo Minette, que me acolheram em Viçosa, proporcionando conforto, segurança e apoio nos momentos iniciais dessa caminhada. E ao meu primo Marcelo, pela convivência.

A todos meus amigos da época da graduação e pós-graduação que estiveram presentes nos momentos de estudos e diversão, em especial Lívio, Alberto e Tiago.

Às amigas Cris e Nathália, pela amizade sincera. Aos amigos Yuri, pela força e amizade, e Fábio, pela amizade e convivência. E ao Líniker, pela paciência, amizade, força, confiança e apoio fundamental nessa jornada.

Aos colegas do Laboratório de Hidrologia Florestal Paulo, Yair, João Batista e João Paulo, pela troca de ideias e convivência. E a todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

BIOGRAFIA

ANDRESSA MINETE DO ROSÁRIO, filha de Luiz Alberto do Rosário e Lúcia Minete do Rosário, nasceu em 13 de maio de 1986, em Vila Velha, Espírito Santo.

Em 2003 concluiu o ensino médio no Colégio Nossa Senhora da Penha, em Vila Velha, Espírito Santo.

No ano de 2007 iniciou o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em julho de 2010.

Em agosto de 2011, ingressou no programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, na área de Hidrologia Florestal e Manejo de Bacias Hidrográficas, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, defendendo sua dissertação em dezembro de 2013.

SUMÁRIO

PÁGINA

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Precipitação pluviométrica.....	2
2.2 Morfometria.....	3
2.3 Resistência mecânica do solo.....	4
2.4 Lençol freático	5
3 MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1 Caracterização da área de estudo.....	7
3.2 Precipitação.....	9
3.3 Morfometria da bacia	9
3.5.1 Coeficiente de Compacidade (CC).....	9
3.5.2 Fator de Forma (F).....	10
3.5.3 Índice de Circularidade (Ic).....	10
3.5.4 Densidade de Drenagem (Dd).....	10
3.5.5 Ordem dos canais.....	10
3.5.6 Hipsometria (declividade e altitude).....	11
3.5.7 Relação de relevo	11
3.5.8 Índice de Rugosidade	12
3.4 Resistência mecânica do solo.....	12
3.5 Monitoramento do lençol freático.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 Precipitação.....	14
4.2 Morfometria.....	17
4.2.1 Análise zonal.....	18
4.2.2 Análise linear	18
4.2.3 Análise hipsométrica	19
4.3 Resistência mecânica do solo.....	20
4.4 Variação do lençol freático.....	26
5 CONCLUSÕES.....	30
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
1	Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, MG, 2012..... 7
2	Localização do município de Felixlândia dentro de Minas Gerais e do Brasil..... 8
3	Precipitação mensal nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012 na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG..... 14
4	Localização dos pluviômetros e sua respectiva área de captação, na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012..... 16
5	Hidrografia da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012..... 18
6	Classes de declividade da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012..... 20
7	Pressão máxima da resistência mecânica do solo na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013..... 21
8	Pressão média da resistência mecânica do solo na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013..... 22
9	Classes de resistência mecânica do solo na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013..... 23
10	Profundidade da pressão máxima na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013..... 25
11	Profundidade média mensal do lençol freático e precipitação média mensal na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012..... 27

LISTA DE TABELAS

		PÁGINA
1	Classes de declividade observadas.....	11
2	Classes de resistência mecânica do solo.....	12
3	Localização, altitude e profundidade dos poços piezométricos na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.....	13
4	Precipitação anual e número de meses sem chuva na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.....	15
5	Precipitação ponderada pelo método do Polígono de Thiessen na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012.....	17
6	Características físicas da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG	17
7	Composição das frações do solo em cada talhão na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.....	24
8	Análise de variância dos dados de pressão nas diferentes classes de profundidade do solo da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013.....	26
9	Profundidade do lençol freático em cada poço de monitoramento da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012.....	26
10	Precipitação do último trimestre dos anos de 2011 e 2012 na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.....	29

RESUMO

ROSÁRIO, Andressa Minete, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Dezembro de 2013. **Caracterização hidroambiental e dinâmica do lençol freático, bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.

O objetivo desse trabalho foi monitorar a variação da profundidade do lençol freático na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, localizada na região de Felixlândia, MG, em função da precipitação, morfometria e resistência mecânica do solo. O experimento foi conduzido em terras da Zanini Florestal, sendo que a bacia ocupa 719,9 ha, incluindo-se plantios florestais, estradas e áreas de cerrado em regeneração. O clima é úmido mesotérmico com temperatura média máxima anual de 25,3°C, média mínima anual de 15,5°C, e precipitação média anual de 1235 mm. O monitoramento do lençol freático foi realizado através da medição do nível da água nos poços piezométricos. As características físicas da bacia analisadas foram: coeficiente de compacidade; fator de forma; índice de circularidade; densidade de drenagem; ordem dos canais; altitudes máxima, média e mínima; declividades máxima, média e mínima; amplitude altimétrica e índice de rugosidade. A precipitação em aberto no local foi monitorada com o auxílio de pluviômetros instalados na bacia e a resistência mecânica do solo foi medida através de um penetrômetro digital. Para o período analisado (janeiro a dezembro de 2012), os índices de precipitação em aberto foram de 984,71 mm para o método da média aritmética e 998,07 mm para o método do polígono de Thiessen. A morfometria indica uma bacia tendendo ao formato circular, de relevo suave e pouco drenada. A resistência mecânica do solo foi enquadrada nas classes moderada e alta. Houve diminuição no nível dos poços piezométricos no período estudado, representando uma descarga de água do lençol freático, possivelmente em função dos menores índices de precipitação no ano em questão.

ABSTRACT

ROSÁRIO, Andressa Minete, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2013.
Groundwater recharge in the watershed of Riacho Fundo in Felixlândia, Minas Gerais.
Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias.

In this work we aim to monitor the depth variation of the groundwater table in the watershed of Riacho Fundo in Felixlândia, MG state, based on rainfall, soil morphometry and resistance. The experiment was conducted in Zanini Florestal lands, and the watershed has an area of 719.9 ha, it has forestry plantations, roads, and areas of cerrado regeneration. The weather is mesothermal humid with maximum annual average temperature of 25.3°C, and minimum annual average of 15.5°C and average annual rainfall of 1235 mm. The groundwater table monitoring was accomplished by measuring the water level in the piezometric wells. The physical measure of the watershed analyzed were: compacity coefficient, shape factor, circularity index, drainage density, channel order, maximum altitude, average and minimum, maximum slope, average and minimum, altimetric amplitude and roughness index. Rainfall open spot was monitored by the aid of rain gauges installed in the watershed, and soil resistance was measured using a digital penetrometer. For the analyzed period, the open rate of precipitation was 984.71 mm to the method of arithmetic mean and 998.07 mm for the Thiessen polygon method. The morphometry indicates a watershed tending to the circular shape, of gentle relief and a little drained. The mechanical strength of the soil was classified as moderate and high. There was a decrease in the level of piezometric wells during the study period, representing a discharge of water from groundwater table, possibly due to lower levels of rainfall in the year in question.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais do planeta Terra, a água ocupa um lugar específico. É a substância mais abundante no planeta, apesar de disponível em diferentes quantidades, em diferentes lugares. Nada a substitui, possuindo papel fundamental no ambiente e na vida humana, pois sem ela a vida não pode existir (DONADIO et al., 2005).

Sendo a água um recurso natural de grande importância para a humanidade, esse elemento é essencial para a realização de atividades cotidianas, tanto no ambiente rural, como no ambiente urbano. Nos ambientes rurais, por exemplo, a água é utilizada principalmente nos cultivos e nas criações de animais. Já nas áreas urbanas, o uso da água ocorre nas indústrias, nas residências, na irrigação de áreas verdes, e limpeza de ruas.

Apesar da abundância, 97% da água existente no planeta está nos oceanos e não pode ser utilizada para irrigação, uso doméstico e dessedentação. Grande parte dos 3% restantes está congelada na Antártida ou na Groenlândia. Apenas 0,3 % do total de recursos de água doce está disponível e pode ser utilizado pelo homem. Este volume é encontrado em lagos, nos rios e nas águas subterrâneas (TUNDISI, 2003).

Uma importante parcela da água potável existente no planeta está armazenada nos lençóis freáticos. Os lençóis recebem a água precipitada que alcança o solo, se infiltra e percola. Essa água subterrânea é disponibilizada na superfície através das nascentes ou pela perfuração de poços freáticos e artesianos.

Portanto, é importante o desenvolvimento de técnicas que visem aumentar a produção de água potável. Para isso, são necessários estudos voltados ao entendimento do impacto de cultivos agrícolas e florestais, e da impermeabilização e compactação dos solos no funcionamento do ciclo da água.

Com base no exposto, o objetivo central desse trabalho foi caracterizar a variação da profundidade do lençol freático na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, em Felixlândia, MG, em função da precipitação, morfometria e resistência mecânica do solo na bacia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, no sentido de auxiliar o entendimento do texto, ou seja, com conotação de revisão bibliográfica, são lançadas informações sobre os seguintes itens: precipitação pluviométrica, morfometria, resistência mecânica do solo e lençol freático.

2.1 Precipitação pluviométrica

O resfriamento do ar à temperatura abaixo do ponto de saturação de vapor causa a condensação do vapor d'água, que é essencial para ocorrência de precipitação (LIMA, 2008).

A ascensão de massas de ar ocorre através de diferentes processos. As chuvas são classificadas de acordo com o processo ocorrido. Os tipos básicos de chuvas são frontal, convectiva e orográfica. As frontais resultam do conflito entre massas de ar, chamadas frentes. As convectivas ocorrem através da ascensão do ar aquecido. Esse tipo de chuva pode variar de intensidade dependendo das condições de umidade e do contraste térmico. As chuvas orográficas ocorrem quando o ar ascende sobre barreiras físicas, como as montanhas (GILMAN, 1964).

As chuvas se distribuem no planeta em razão do padrão de circulação da atmosfera. Essa circulação do ar atmosférico global, aliado aos fatores fisiográficos locais regulam a distribuição horizontal das chuvas no planeta. Já a precipitação local tem ainda o efeito da presença da floresta, o que é chamado de precipitação oculta (LIMA, 2008).

A medição da precipitação é realizada por meio de equipamentos tais como os pluviômetros e pluviógrafos, localizados em pontos previamente escolhidos. Os pluviômetros são simples receptáculos da água da chuva, já os pluviógrafos registram as alturas precipitadas no decorrer do tempo. Esse último apresenta vantagens sobre os medidores sem registro e são bastante úteis no entendimento de chuvas de curta duração (HOLTZ, 2008).

O histograma, gráfico da intensidade da chuva e do tempo de precipitação, permite a classificação da chuva em diferentes padrões, o que possibilita o conhecimento do efeito que um dado evento chuvoso causa na microbacia (LIMA, 2008).

O método do polígono de Thiessen é um dos mais utilizados para determinação da precipitação numa bacia. É também conhecido como método do vizinho mais próximo, onde

define-se a área de influência de cada pluviômetro dentro da bacia hidrográfica (DACOC, 2010).

O corte raso da floresta acarreta modificações do microclima e também causa efeito significativo sobre a redução da transpiração. Além disso, pode afetar também a hidrologia local nos aspectos relacionados ao escoamento superficial, erosão, ciclagem de nutrientes, etc. Entretanto, essa atividade não interfere na atmosfera superior, ou seja, não afeta os processos atmosféricos de condensação do vapor d'água e formação de chuva (LIMA, 2008).

Togashi et al., (2012) afirmam que o corte da floresta, assim como as queimadas, e outras atividades emissores de poluição das mais diversas naturezas provocam efeitos dificilmente previsíveis. E além disso, os ecossistemas florestais fornecem recursos e prestam serviços ambientais e que, quando preservados, regulam os elementos climáticos locais como umidade e chuvas, além de terem influências na amenização da temperatura, na filtragem da poluição, no controle erosivo e no abastecimento de reservatórios.

2.2 Morfometria

Qualquer ponto da superfície terrestre sempre faz parte de uma bacia hidrográfica, sendo esta uma unidade natural com seus limites fixados pela ação de fenômenos também naturais (VALENTE e GOMES, 2005).

Para Guerra e Guerra, (2003), caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é o estudo quantitativo de seu relevo. Segundo Christofolletti (1999), análise morfométrica caracteriza aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais e serve como indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e à interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais da bacia hidrográfica.

A análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia pode elucidar questões associadas à dinâmica ambiental local (SILVA, 2011). Entretanto nenhum desses índices, separadamente, deve ser visto como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, que inclusive tem magnitude temporal (TEODORO et al., 2007).

As ações que são tomadas com base em uma bacia hidrográfica iniciam-se pelo uso do geoprocessamento, para localização e delimitação da área, e em seguida são realizadas medições e a análise morfométrica de sua superfície. Os softwares específicos para

tratamento, armazenamento, manipulação e visualização de dados espaciais auxiliam com grande precisão na manipulação através de métodos cartográficos (COUTINHO, 2011).

Embora uma bacia hidrográfica apresente uma estruturação complexa, a utilização da análise morfométrica facilita o entendimento de forma integrada dos processos hidrogeomorfológicos que ocorrem nessa bacia (STIPP, 2010).

2.3 Resistência mecânica do solo

O estudo da resistência mecânica dos solos é de grande importância, afinal, ela é um dos fatores determinantes para o estabelecimento e desenvolvimento das culturas, indicando o grau de compactação do solo (RICHART et al., 2005). Os mesmos autores dizem que a resistência mecânica varia com o tipo de solo e com a espécie cultivada, sendo que uma de suas principais causas é o tráfego de máquinas agrícolas.

A resistência mecânica dos solos pode ser utilizada como parte da avaliação do efeito do sistema de manejo adotado para o solo sobre o sistema radicular (BENGHOUGH e MULLINS, 1990; TORMENA e ROLOFF, 1996). Afinal, tal propriedade influencia diretamente o crescimento do sistema radicular das plantas.

Além de influenciar o crescimento de raízes, a resistência mecânica dos solos pode indicar a resistência física que um determinado solo coloca sobre a água que esteja percolando no mesmo (PEDROTTI et al., 2001).

Segundo Canillas e Salokhe (2002), a compactação dos solos é um dos principais causadores da degradação dos solos agrícolas. Assim, concluem que os estudos sobre resistência mecânica dos solos são de grande importância.

A compactação ocorre pois os solos estão sujeitos a determinadas quantidades de força. As forças são classificadas geralmente em externas ou internas. As forças externas são resultado da ação de um fator externo sobre o solo, como por exemplo, tráfego de veículos, pessoas ou animais e o crescimento de raízes empurrando as partículas do solo para forçar sua passagem. As forças internas são resultados de transformações ocorridas pelo próprio solo, entre elas o umedecimento e secamento, expansão e contração da massa do solo (CAMARGO e ALLEONI, 2006).

O processo de compactação do solo ocorre em duas fases. Na primeira, ocorre a destruição dos agregados no preparo do solo. Posteriormente, os veículos e implementos ao

trafegarem sobre o solo preparado geram um arranjo compacto. Sendo assim, quanto maior a pulverização do solo na fase do preparo, maior será o potencial da compactação posterior (CAMARGO e ALLEONI, 2006).

Em um estudo de resistência mecânica dos solos em área de manejo florestal na Chapada do Araripe, Araujo et al. (2010) observaram que a ação antrópica, no caso o manejo florestal, causou compactação do solo dificultando a recarga de água na bacia.

Campos e Alves (2006) também encontraram correlação positiva entre a compactação dos solos e a ação antrópica. Eles observaram que áreas altamente degradadas tinham maior compactação, dificultando assim o desenvolvimento radicular. Já nas áreas em recuperação com plantios florestais e agrosilvipastoris observou-se que a limitação ao desenvolvimento das raízes foi baixa. Desta forma, é necessário o uso de técnicas de manejo que diminuam os efeitos deletérios da ação antrópica sobre as características físicas do solo.

A resistência mecânica do solo também muda nas diferentes camadas do solo. Souza e Alves (2003) estudaram esta propriedade física para um Latossolo Vermelho de Cerrado e notaram que, em pastagens, a camada de 0,10-0,20 m apresentou maiores valores quando comparada às demais.

2.4 Lençol freático

Na Terra, a água é armazenada em reservatórios. Os principais reservatórios naturais são os oceanos, as geleiras e o gelo polar, os aquíferos subterrâneos, os lagos e os rios, a atmosfera e a biosfera (PRESS et al., 2006).

Ao se infiltrar no solo, a água está sujeita, principalmente às forças de adesão, tensão superficial e atração gravitacional. Em função das forças que atuam sobre a água e da natureza do terreno, ela pode se encontrar abaixo da superfície, na zona de aeração ou na zona saturada. Na zona de aeração, a água ocupa parcialmente os interstícios do solo, enquanto o ar preenche os demais espaços livres. Já na zona de saturação os vazios são ocupados pela água que se encontra sob pressão hidrostrática (PINTO et al, 2008).

Sendo assim, lençol freático é a porção de água sob a superfície da Terra que pode ser obtida através de poços, túneis, galerias de drenagem ou aflorar naturalmente para a superfície através das nascentes (BOUWER, 1978).

Na zona saturada, a água pode entrar (recarga) ou sair dela (descarga). A recarga é a infiltração da água no subsolo, frequentemente pela água da chuva. Mas também pode ocorrer no leito de um rio onde o canal se encontra mais elevado que a superfície freática. Já a descarga é a saída da água do subsolo para a superfície. Quando o canal de um rio intercepta a superfície freática ocorre a descarga da água contida no subsolo. Entretanto, devido ao fato da chuva variar de estação para estação, a recarga e a descarga nem sempre serão iguais. Geralmente a superfície freática desce em períodos secos e sobe em períodos úmidos (PRESS et al., 2006).

As irregularidades da superfície do terreno são acompanhadas pelo lençol freático, esse fato pode ser visualizado pelo traçado de sua superfície por uma rede de poços (KARMANN, 2010).

O nível de água no solo pode apresentar variações significativas devido a diversos fatores naturais e artificiais. Dentre os naturais estão a chuva, evaporação, transpiração e características do solo. Os artificiais envolvem a irrigação e os sistemas de drenagem (ANDRADE et al., 2000).

As variações de volume do lençol freático podem ser acompanhadas facilmente através da medição do nível da água em poços ou sondagens piezométricas (PINTO et al., 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Riacho Fundo, que se encontra totalmente inserida no município de Felixlândia, Minas Gerais, pertence à grande bacia do Rio São Francisco. O seu curso d'água principal deságua na represa de Três Marias. O estudo foi conduzido na propriedade da Zanini Florestal, ou seja, num polígono pertencente à bacia hidrográfica do Riacho Fundo, nas coordenadas geográficas 18°75'77" S e 44°89'88" O. Possui 7,20 Km², constituídos basicamente de plantios florestais (81,7%), estradas (8,5%) e áreas de reserva (9,8%) (Figura 1).

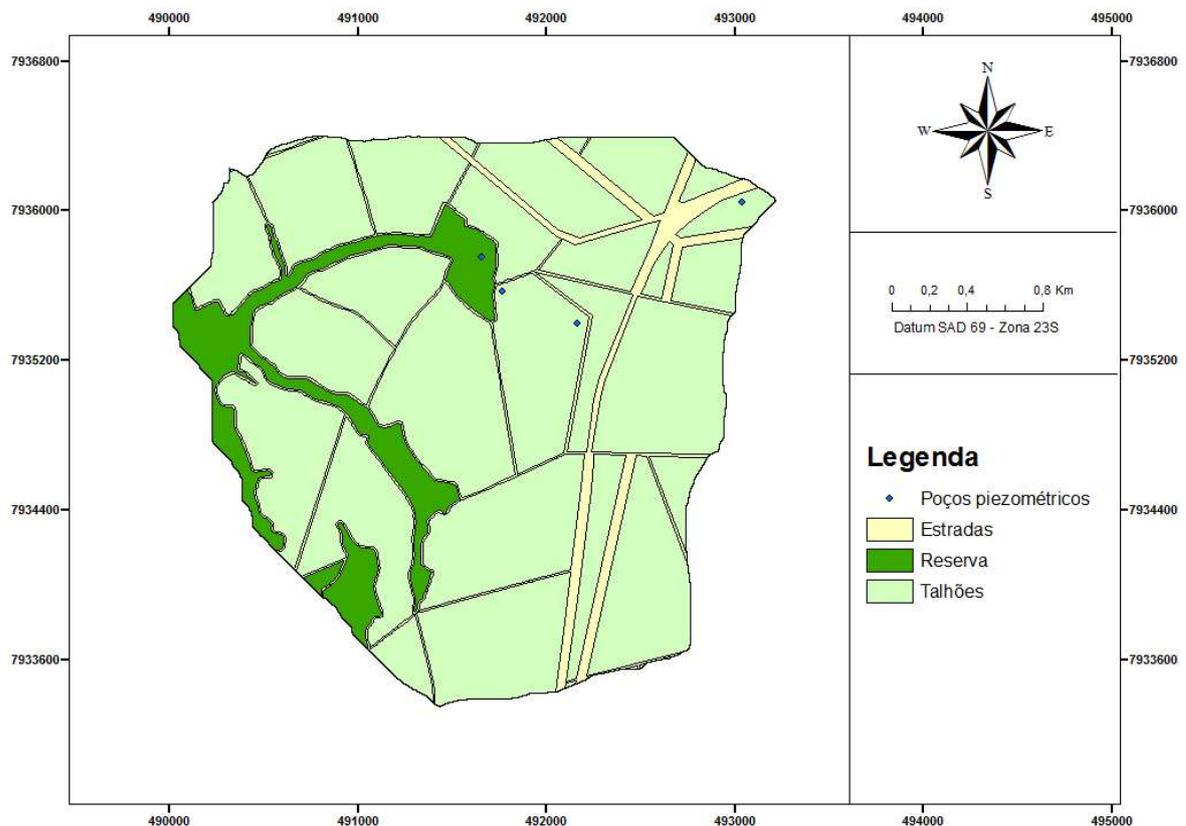


Figura 1 - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, MG, 2012.

O município de Felixlândia possui 1.555 Km² e 14.121 habitantes. Está inserido no bioma Cerrado e localizado no Centro Norte do estado de Minas Gerais. (IBGE, 2010). A localização do município está representada na Figura 2.

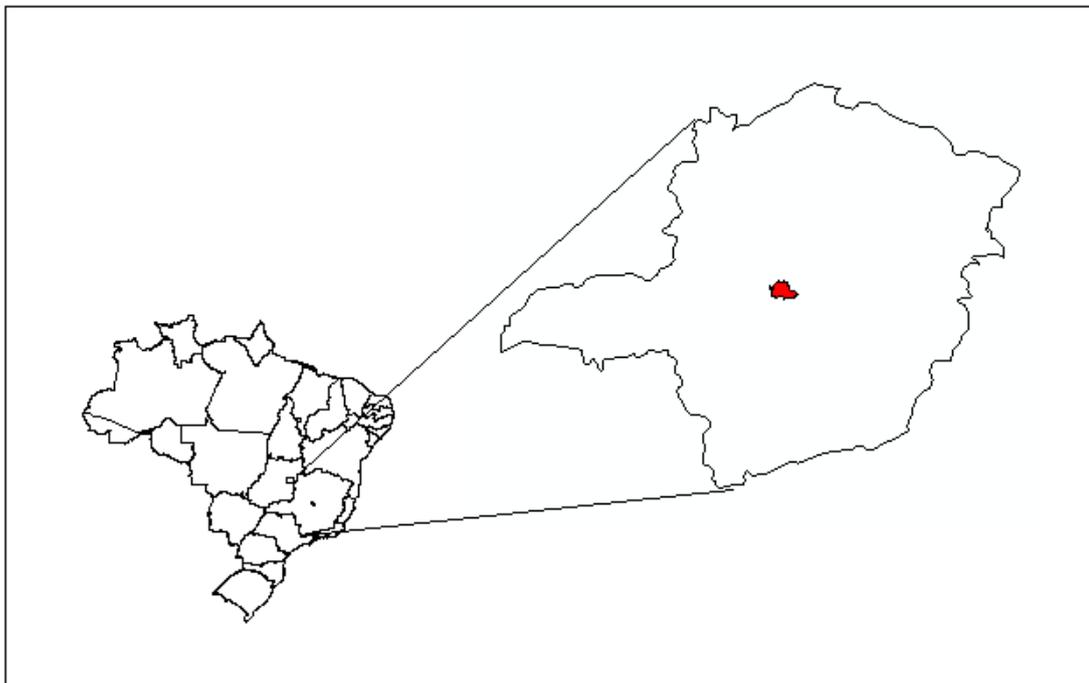


Figura 2 - Localização do município de Felixlândia (em vermelho) dentro de Minas Gerais e do Brasil.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é definido como úmido mesotérmico (Aw), com moderada deficiência de água no inverno. A vegetação natural que predomina na área é o cerrado. A temperatura média máxima anual é de 25,3°C e mínima anual de 15,5°C, e a precipitação média anual de 1235 mm (CARMO et al., 2002).

A classe de solo mais representativa na região é o Latossolo, caracterizado por apresentar baixo teor de bases trocáveis, o que explica sua baixa fertilidade natural. Além disso apresentam altos teores de alumínio e acidez elevada. Estes fatores constituem enorme barreira ao desenvolvimento radicular das plantas (LOPES, 1983). A acidez elevada e os altos teores de alumínio criam um ambiente favorável à adsorção de fósforo (MOTTA et al., 2002), dificultando ainda mais o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

As formações vegetais nativas localizadas na propriedade da Zanini Florestal estão em áreas de preservação permanente e na reserva legal, sendo que estão sendo preservadas há mais de 20 anos (CARVALHO, 2011).

3.2 Precipitação

A precipitação em aberto na área estudada foi obtida com auxílio de 3 pluviômetros. As coletas foram realizadas duas vezes por semana, de janeiro a dezembro de 2012. A leitura foi realizada em uma proveta graduada em mililitros (ml) e os valores convertidos para milímetros (mm).

O cálculo da precipitação na bacia foi feito através da média aritmética dos três pluviômetros e comparados com o método do polígono de Thiessen.

Além disso, a precipitação em 2012 foi comparada a dos anos anteriores, de 2009, 2010, 2011.

3.3 Morfometria da bacia

A base de dados digital utilizada foi fornecida pela Zanini Florestal. Foram utilizados o modelo digital de elevação hidrologicamente consistente, hidrografia, curvas de nível e limite da bacia. O processamento dos mapas foi realizado com o auxílio do *software* ArcGis 9.3 da ESRI.

De posse dos mapas, foram determinados as seguintes variáveis da área de estudo: coeficiente de compacidade, fator de forma, Índice de circularidade, densidade de drenagem, ordem dos canais, altitude máxima, média e mínima, declividade máxima, média e mínima, amplitude altimétrica, Índice de rugosidade e relação de relevo.

3.5.1 Coeficiente de Compacidade (CC)

Coeficiente de compacidade é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual a da bacia (CARDOSO, 2006). A Equação 1 é utilizada para calcular o CC.

$$CC = \frac{0,2821 P}{A^{0,5}} \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo,

CC = Coeficiente de compacidade

P = Perímetro da bacia (Km)

A = Área da bacia (Km²)

3.5.2 Fator de Forma (F)

O fator de forma relaciona a área da bacia em estudo com a área de um quadrado. É determinado através da Equação 2.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Eq.2})$$

Sendo,

F = Fator de forma

A = Área da bacia (Km^2)

L = Comprimento axial da bacia (Km)

3.5.3 Índice de Circularidade (Ic)

Similar ao coeficiente de compacidade, relaciona a área da bacia com a área de um círculo. É obtido através da Equação 3.

$$Ic = \frac{12,57 A}{P^2} \quad (\text{Eq.3})$$

Sendo,

Ic = Índice de circularidade

A = Área da bacia (Km^2)

P = Perímetro da bacia (Km)

3.5.4 Densidade de Drenagem (Dd)

Determina a eficiência de drenagem da bacia. É a relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede e a área total da bacia (CARDOSO et al., 2006). É calculado através da Equação 4.

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (\text{Eq.4})$$

Sendo,

Dd = Densidade de drenagem (Km/Km^2)

L_t = Comprimento total de todos os canais (Km)

A = Área da bacia (Km^2)

3.5.5 Ordem dos canais

A ordem dos canais foi definida de acordo com a metodologia de Strahler (1957), na qual os canais sem afluentes são considerados de primeira ordem. A união de dois canais de primeira ordem origina os canais de segunda ordem, já os canais de terceira ordem são

formados por dois canais de ordem 2 (OLIVEIRA et. al., 2010). Um canal de determinada ordem que se une a um canal de ordem superior não tem sua ordem alterada (CARDOSO et. al., 2006).

3.5.6 Hipsometria (declividade e altitude)

Os mapas de declividade e altitude foram gerados a partir do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente. A partir daí foram definidas seis classes de declividade, conforme classificação da Embrapa (1979), mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de declividade observadas

Declividade (%)	Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Fortemente ondulado
45 - 75	Montanhoso
maior de 75	Fortemente montanhoso

Fonte: Embrapa (1979)

3.5.7 Relação de relevo

Relaciona a amplitude altimétrica máxima da bacia e seu comprimento axial. Calcula-se através da Equação 5.

$$Rr = \frac{Hm}{Lh} \quad (\text{Eq.5})$$

Sendo,

Rr = Relação de relevo

Hm = Amplitude altimétrica (Km)

Lh = Comprimento axial da bacia (Km)

3.5.8 Índice de Rugosidade

Esse índice relaciona declividade com os comprimentos dos canais. Índices maiores representam relevos mais declivosos e canais mais esculpidos (CASTRO e CARVALHO, 2009). É calculado através da Equação 6.

$$Ir = Hm * Dd \quad (\text{Eq.6})$$

Sendo,

Ir = Índice de rugosidade

Hm = Amplitude altimétrica da bacia (Km)

Dd = Densidade de drenagem (Km/Km²)

3.4 Resistência mecânica do solo

A resistência mecânica do solo revela o seu grau de compactação, tendo relação direta com o desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2003).

As medições foram realizadas com o auxílio de um penetrômetro digital portátil da marca Falker, modelo PLG 1020, até a profundidade de 60 cm. Foram realizadas 32 medições de forma aleatória. As amostras foram obtidas em um único dia no mês de março de 2013, após evento de chuva. De posse dos dados foram gerados os mapas temáticos no ArcGis através do método Inverse Distance Weighted.

Os valores da resistência mecânica do solo medidos foram classificados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de resistência mecânica do solo.

Classe	Resistência mecânica do solo (Kpa)
Extremamente baixa	< 10
Muito baixa	10 - 100
Baixa	100 - 1000
Moderada	1000 - 2000
Alta	2000 - 4000
Muito alta	4000 - 8000
Extremamente alta	> 8000

Fonte: Adaptado de SoilSurvey Staff (1993), citado por Arshad et al.(1996).

Com os valores obtidos de resistência mecânica do solo, foi realizada a análise estatística descritiva dos dados com o auxílio do *software* Microsoft Excel (2013). Os parâmetros calculados foram média, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação.

Foi feita a análise de variância dos dados de pressão nas diferentes classes de profundidade. Em seguida foi realizado o teste Tukey, ao nível de 1% de probabilidade.

3.5 Monitoramento do lençol freático

O monitoramento do nível do lençol freático foi realizado por meio de quatro poços piezométricos perfurados dentro da área da bacia.

Os piezômetros foram instalados em quatro posições do relevo. O primeiro na parte mais elevada do terreno, o segundo e o terceiro um pouco mais abaixo na encosta e o quarto na parte mais baixa da bacia. Os três primeiros piezômetros estão localizados dentro dos talhões de eucalipto, já o último se encontra em área de regeneração florestal.

As características dos poços piezométricos estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Localização, altitude e profundidade dos poços piezométricos na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.

Poço	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Profundidade (m)
1	18°40'00,3" S	45°03'58,06" W	689	25
2	18°40'21,4" S	45°04'27,9" W	670	21
3	18°40'14,3" S	45°04'41,3" W	648	16
4	18°40'09,6" S	45°04'44,8" W	643	8

Datum: SAD69

Para a determinação do nível de água nos poços foi usado um medidor de nível de água com sensor elétrico dotado de campainha, com fita milimetrada. O modelo utilizado foi o TLC Meter - Modelo 107. As medições foram feitas duas vezes por semana de janeiro a dezembro de 2012.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Precipitação

Os valores na Figura 3, representam os dados de precipitação mensal em aberto nos anos de 2009 a 2012 na bacia estudada. É possível observar dois períodos distintos, um seco e outro úmido. O período seco compreende aos meses de abril a setembro, sendo que o pico ocorre no mês de julho, no qual não foi observada precipitação em nenhum dos anos. Já o período chuvoso ocorre desde outubro até março, sem um pico definido.

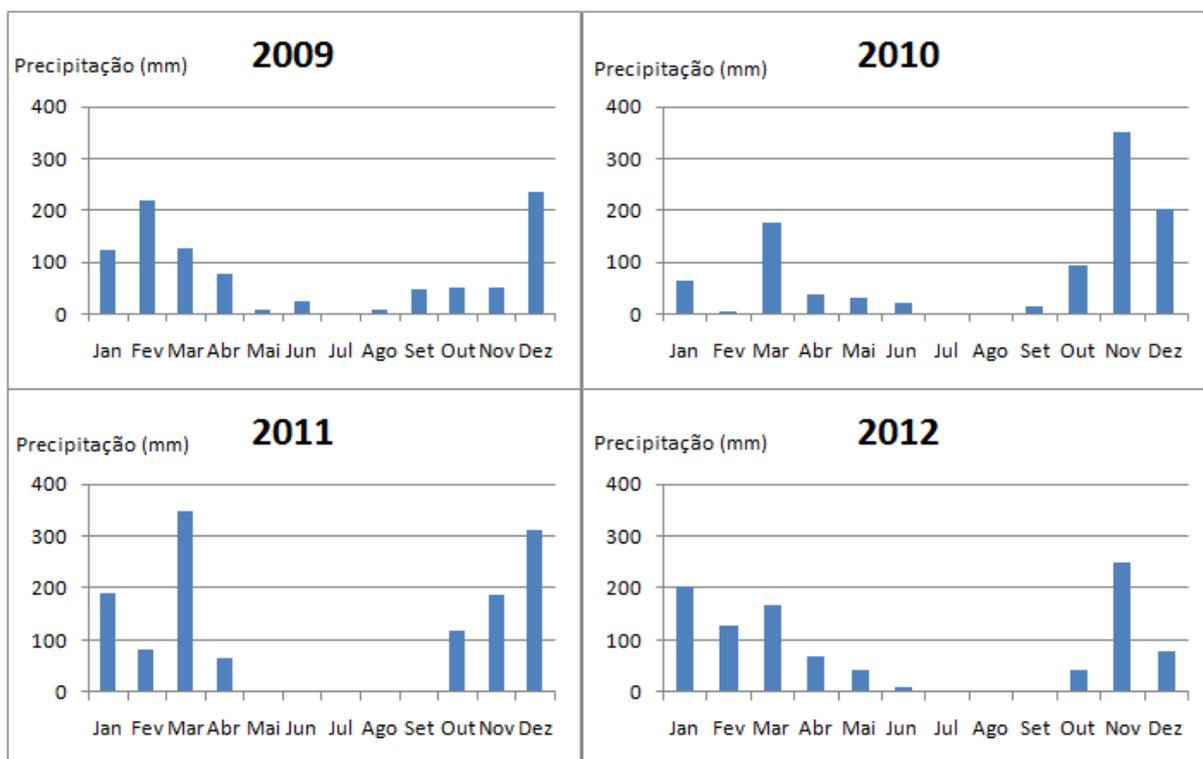


Figura 3 - Precipitação mensal nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012 na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.

A Tabela 4 representa o total precipitado em cada ano no período monitorado.

Tabela 4 - Precipitação anual e número de meses sem chuva na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.

Ano	Total precipitado (mm)	Número de meses sem chuva	Total precipitado no período seco	Total precipitado no período chuvoso
2009	980	1	169	811
2010	1006	2	110	897
2011	1301	5	66	1235
2012	985	3	118	867

No ano de 2009, os meses de fevereiro e dezembro representaram 46,5% da precipitação total ocorrida no ano. No período seco choveu apenas 169 mm, o equivalente a 17,2% do total anual, que foi de 980 mm.

No ano de 2010 ocorreu maior quantidade de precipitação nos meses de novembro e dezembro, somando 56,5% do total anual. No período seco, a precipitação observada foi de 110 mm, representando 11,2% do total de 1006 mm ocorridos no ano.

Já no ano de 2011, a chuva concentrou-se nos meses de março e dezembro, somando 67,20 % do total anual. No período seco choveu apenas no mês de abril (66 mm), o que representou somente 6,69% da precipitação total anual, caracterizando esse ano com um período seco rigoroso. O total anual foi de 1301 mm.

No ano de 2012, os maiores índices de precipitação ocorreram nos meses de janeiro e novembro, representando 45,9% da precipitação total. Já no período seco ocorreu 118 mm de chuva, equivalendo à 16,3% da precipitação anual que foi de 985 mm.

É possível perceber que somando os dois meses de ocorrência das maiores precipitações de cada ano estudado, estes representaram acima de 45% do total anual precipitado.

O ano de 2011, foi aquele no qual as chuvas ocorreram de forma mais concentrada. E apesar de ter havido um período seco rigoroso, foi o ano com o maior total anual precipitado.

Os anos de 2009 e 2012, nos quais foram observadas as menores precipitações, observa-se que as chuvas estiveram mais bem distribuídas que nos anos de 2010 e 2011.

A Figura 4 traz o polígono de Thiessen, com a devida delimitação da área de captação de cada pluviômetro.

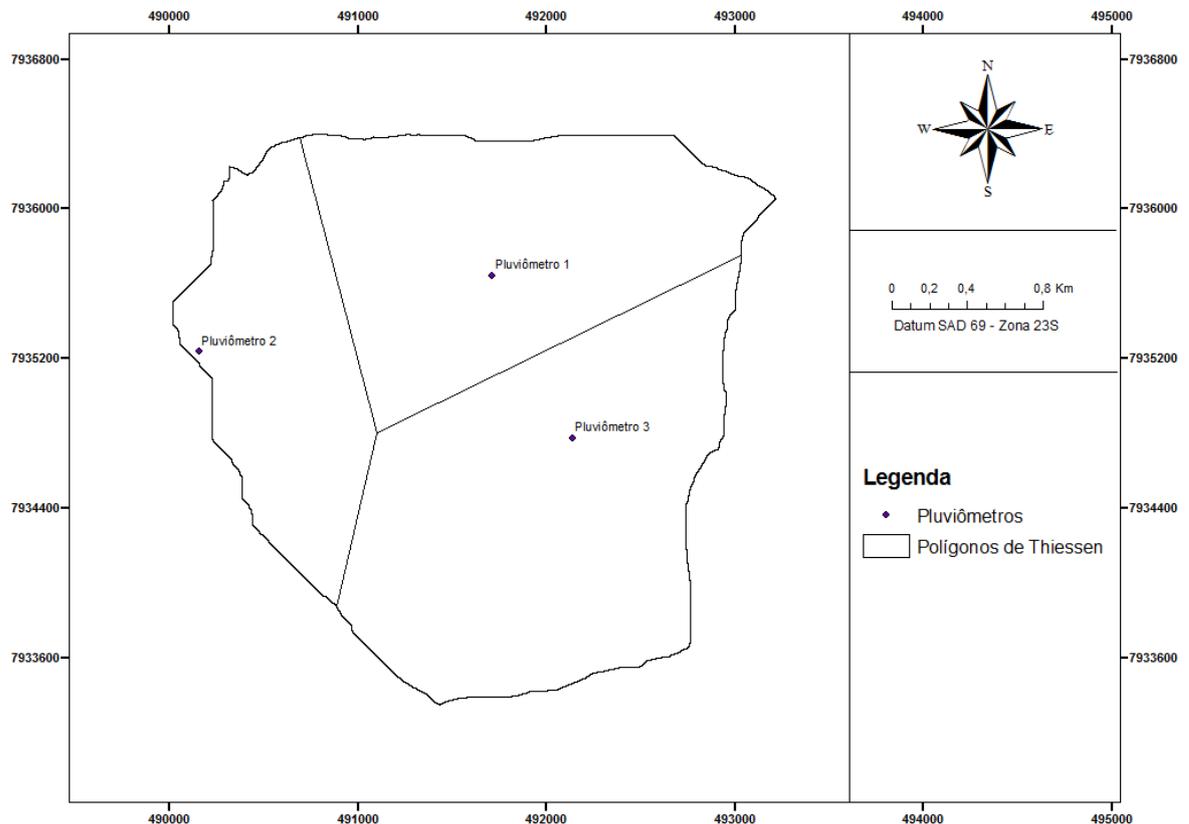


Figura 4 - Localização dos pluviômetros e sua respectiva área de captação na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012.

Para o ano de 2012, o total precipitado através do método da média aritmética foi de 985 mm; quando utilizado o método do polígono de Thiessen o total foi de 998 m (Tabela 5).

Tabela 5 - Precipitação ponderada pelo método do Polígono de Thiessen na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012.

	Precipitação observada (mm)	Área (Km²)	Precipitação ponderada (mm)
Pluviômetro 1	1016	0,34	346
Pluviômetro 2	1036	0,45	462
Pluviômetro 3	890	0,21	190
Total		7,20	998

Andrade et al., (2008) também encontraram semelhança nos valores de precipitação anual quando comparados os dois métodos de cálculo, no caso 1525,80 mm no método da média aritmética e 1481,88 mm no método do polígono de Thiessen.

4.2 Morfometria

A Tabela 6 apresenta um resumo das características morfométricas da bacia.

Tabela 6 - Características físicas da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.

Análise	Características físicas	Resultados
Zonal	Área	7,20 Km ²
	Perímetro	12,83 Km
	Comprimento axial da bacia (L)	3,24 Km
	Coefficiente de Compacidade (CC)	1,35
	Fator de Forma (F)	0,69
	Índice de Circularidade (IC)	0,55
Linear	Comprimento rio_p (Lp)	1,60 Km
	Comprimento total rio (Lt)	2,92 Km
	Densidade Drenagem (Dd)	0,41 Km/Km ²
	Ordem	2
Hipsométrica	Altitude máxima	701,07 m
	Altitude média	657,5 m
	Altitude mínima	604,5 m
	Amplitude altimétrica	96,57 m
	Relação de Relevo (Rr)	0,03
	Índice de Rugosidade (Ir)	0,04
	Declividade máxima	56,75 %
Declividade média	4,34 %	
	Declividade mínima	0 %

4.2.1 Análise zonal

A análise zonal representa os atributos da bacia hidrográfica não relacionados à hidrografia.

A bacia em estudo pode ser considerada pequena, pois é representada pela área de 7,20 Km² ha e pelo perímetro de 12,83 Km. De acordo com os resultados encontrados para os índices que relacionam a forma da bacia, percebe-se que há uma dificuldade de classificação de seu formato. O coeficiente de compacidade 1,35 se aproxima de 1, representando uma tendência circular, porém o índice de circularidade se afasta da unidade, ou seja, sugere uma forma alongada. O fator de forma, por sua vez, se aproxima de 1 indicando proximidade a um quadrado. O comprimento axial da bacia é da ordem de 3,24 Km.

4.2.2 Análise linear

Está relacionada com o fluxo da rede de drenagem (CASTRO e CARVALHO, 2009). O mapa da Figura 5 mostra a hidrografia da bacia estudada.

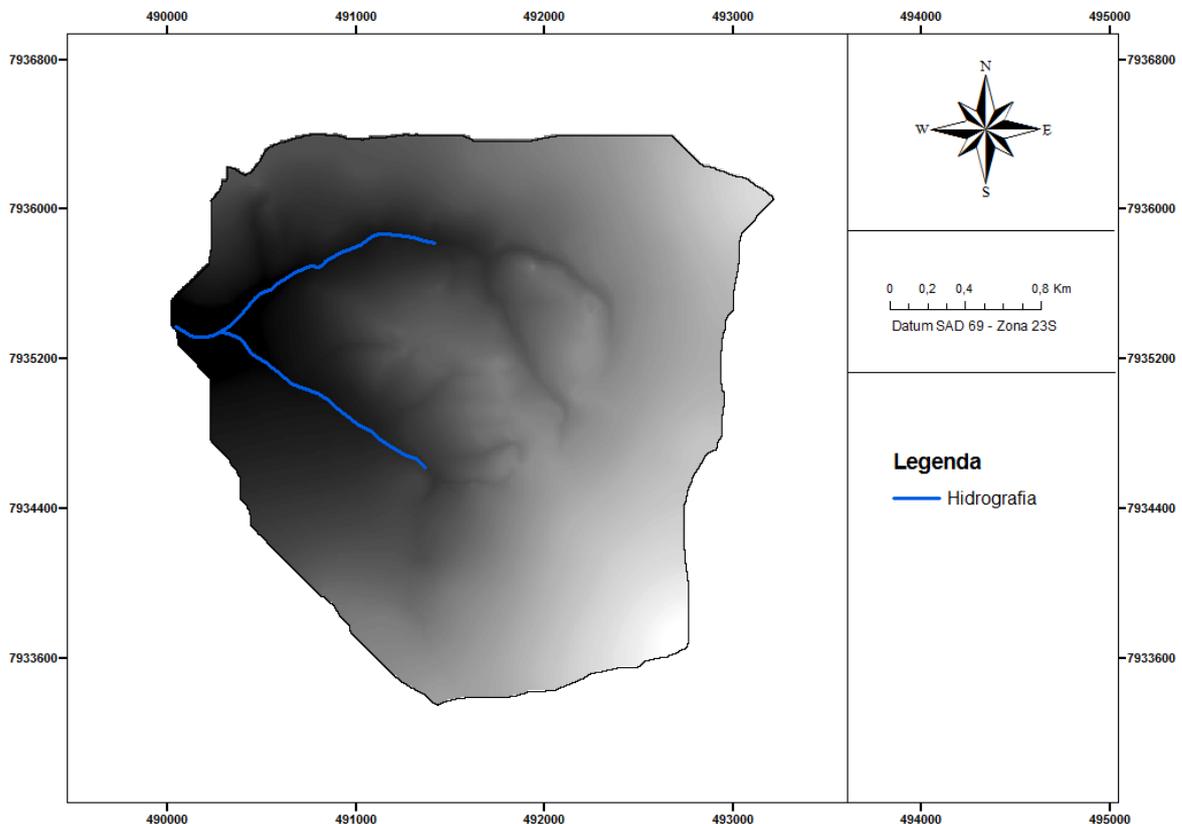


Figura 5 – Hidrografia da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012.

O curso d'água principal tem comprimento de 1,6 Km, e o total dos cursos d'água de 2,9 Km. A bacia é pouco drenada, o que pode ser verificado pelo valor encontrado para a densidade de drenagem, 0,41 Km/Km². A bacia é de ordem 2, ou seja, é também pouco ramificada.

O índice de densidade de drenagem encontrado para a bacia do Rio Turvo, GO com área de 3342 Km², também foi baixo, 0,07 Km/Km² (CASTRO e CARVALHO, 2009). Assim como para a bacia do Ribeirão Salobra, MS que apresentou densidade de drenagem de 0,31 Km/Km² e possui área de 543,91 Km² (OLIVEIRA et al., 2010). Já para a bacia hidrográfica do Rio Debossan, RJ que possui área de 9,92 Km² foi de 2,35 Km/Km², ou seja, média capacidade de drenagem (CARDOSO et al., 2006). A bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, MG apresentou elevada densidade de drenagem 4,63 Km/Km², com área de 406 Km² (SANTOS, 2001).

4.2.3 Análise hipsométrica

Essa análise está relacionada com a declividade e altitude. A cota mínima de altitude da bacia é 604,5 m, e a cota máxima 701,7 m. Sendo assim, a amplitude altimétrica da bacia é de 96,6 m. A altitude média da bacia é de 657,5 m.

Em relação à declividade (Figura 6), a bacia de estudo é classificada como suavemente ondulada, com declividade média de 4,34% e declividade máxima de 56,75%. Apresenta regiões totalmente planas, onde a declividade é de 0%.

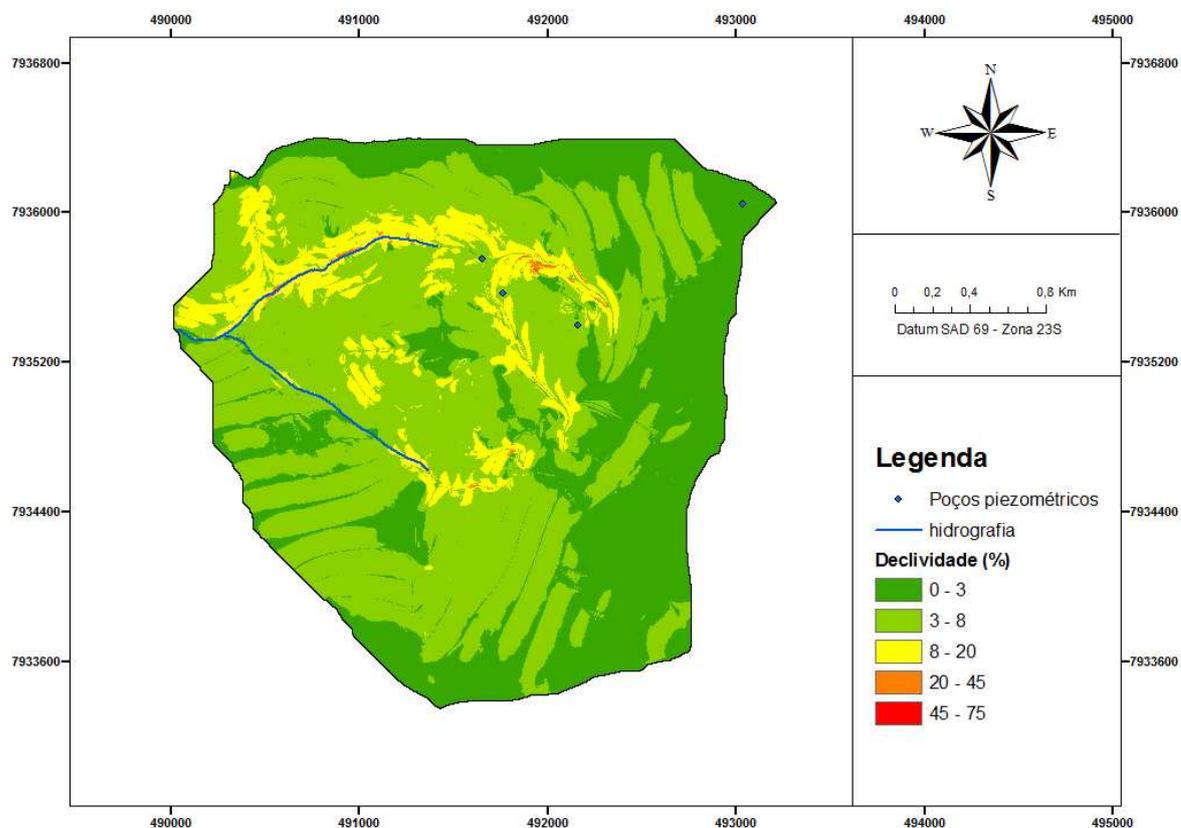


Figura 6 – Classes de declividade da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012.

A relação de relevo é de apenas 0,03, o que reforça o aspecto suave do relevo. Assim como o índice de rugosidade, que foi de 0,04.

4.3 Resistência mecânica do solo

A pressão máxima medida no local variou de 1848 KPa à 7943 KPa (Figura 7).

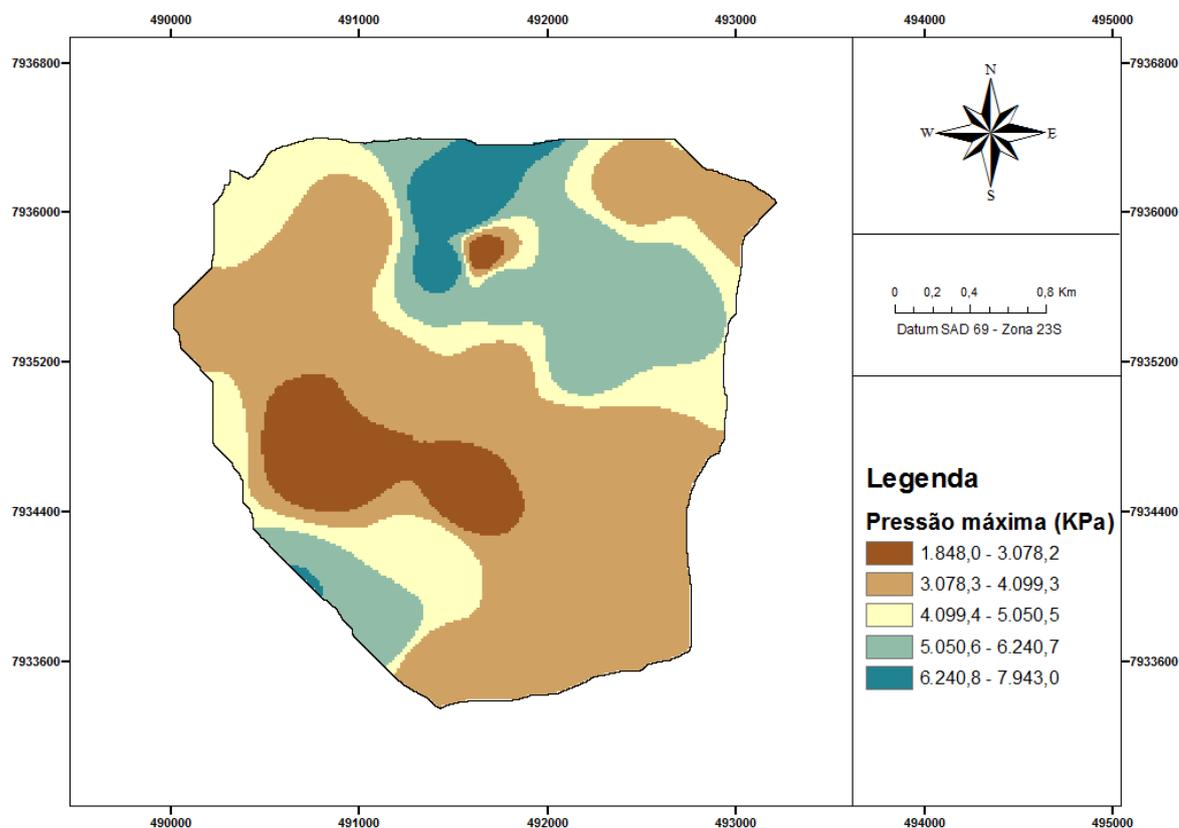


Figura 7 - Pressão máxima da resistência mecânica do solo na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013.

Na maior área da bacia, representada no mapa pela cor marrom claro, a pressão máxima está entre 3078 KPa e 4099 KPa. O intervalo que compreende as maiores pressões máximas representa uma pequena parte da bacia (norte). Já as menores pressões estão localizadas na porção centro-oeste.

A pressão média variou entre 1277 KPa à 3913 KPa, como pode ser verificado na Figura 8.

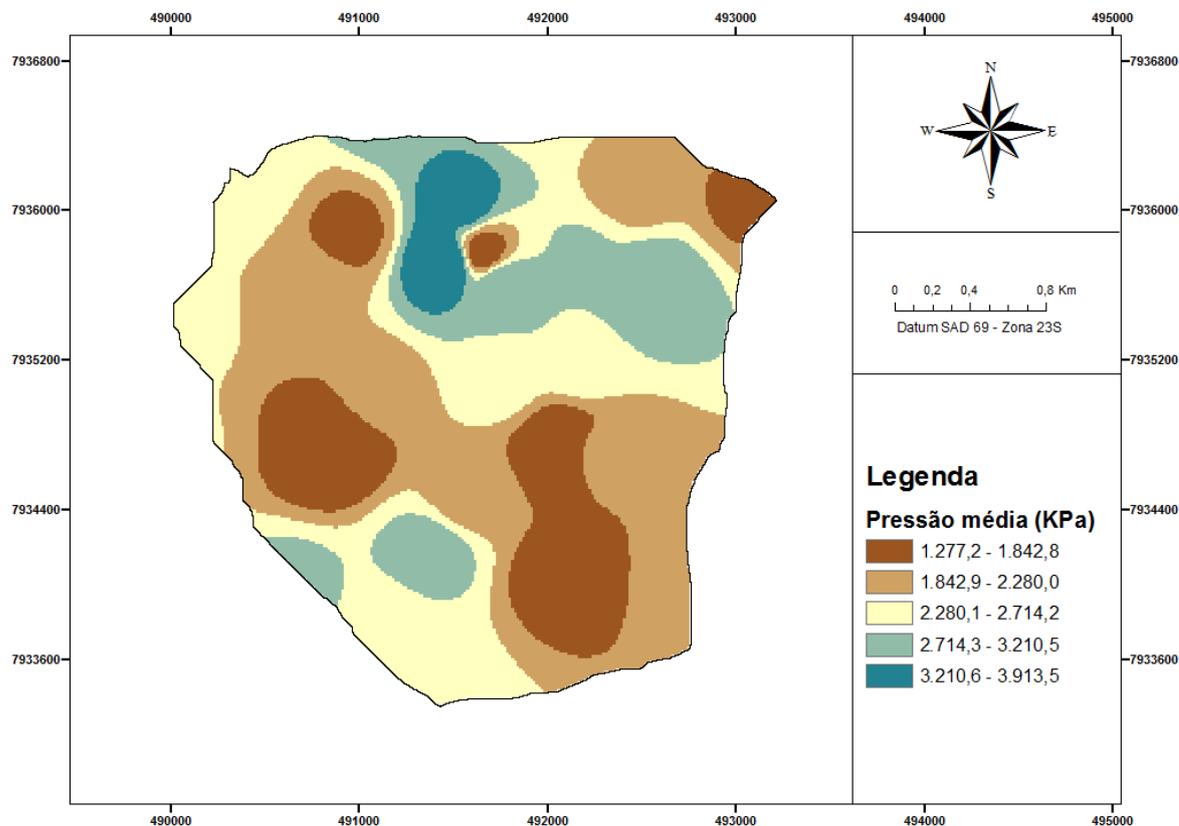


Figura 8 - Pressão média de resistência à penetração do solo na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013.

As menores pressões médias estão distribuídas em vários pontos da bacia, representadas no mapa pela cor vermelho escuro. Já as maiores pressões médias, em azul escuro, estão situadas ao norte da bacia, assim como as maiores pressões máximas. Dessa forma, pode-se inferir que as áreas mais compactadas estão ao norte da bacia.

A Figura 9 enquadra a resistência mecânica do solo em classes de intensidade.

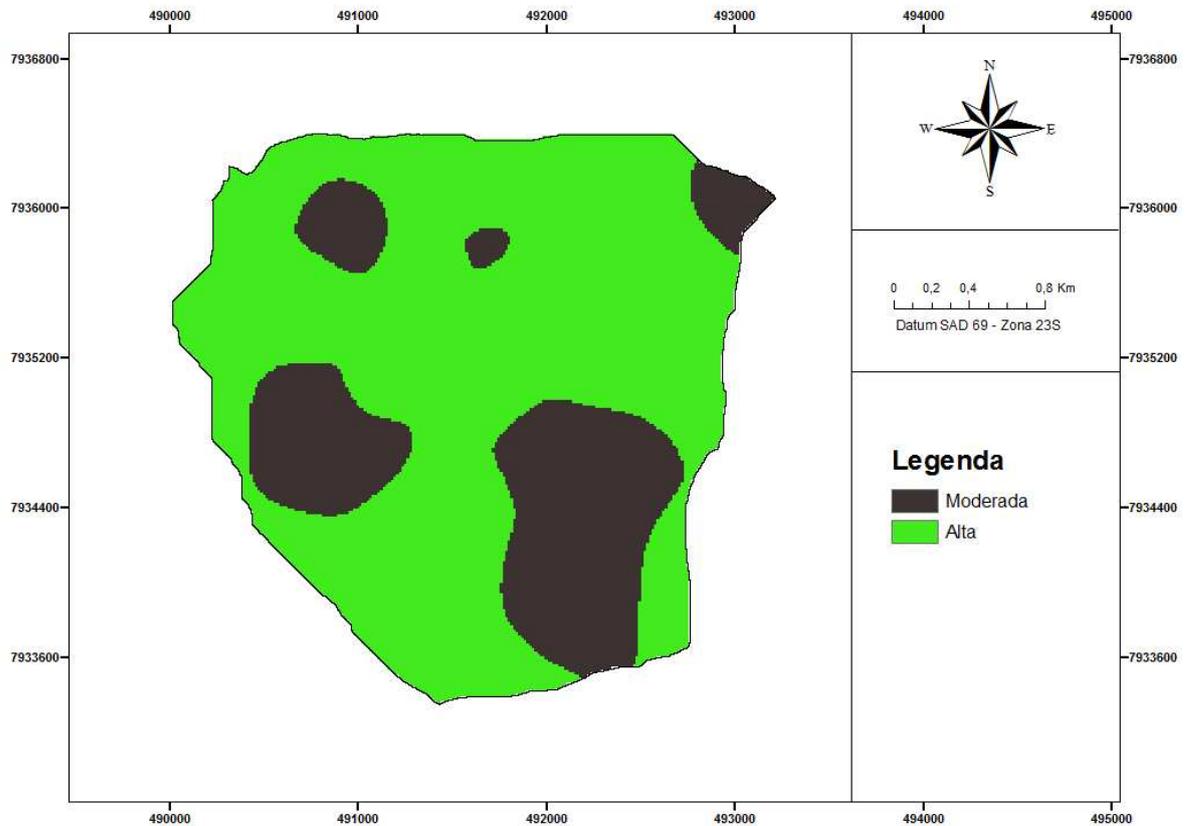


Figura 9 - Classes de resistência mecânica do solo na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013.

A resistência mecânica do solo foi enquadrada nas classes de resistência moderada e alta, sendo a maior porção da área da bacia na classe alta, em verde no mapa. Isso representa uma elevada compactação da bacia. Moura et al. (2012) encontraram valores de resistência mecânica do solo como alta e muito alta, também em latossolos no estado de Goiás.

A Tabela 7 apresenta o resultado da análise de solo da bacia.

Tabela 7 - Composição das frações do solo em cada talhão na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.

Talhão	Composição das frações do solo na camada da 0-40 cm (%)		
	Areia total	Silte	Argila
2B	63,5	7	29,5
24	45,5	3	51,5
30	39,12	14,38	46,5
31	39,55	7	53,45
32	6	27,5	66,5
33	5	25,5	69,5
34	7,5	26	66,5
35	6	26	68
36	8,5	23	68,5
37	18,5	16,5	65
38	32	9,5	58,5
39	42	10,5	47,5
40	12,2	17,75	70,05
42	7	22,5	70,5
43	6,5	16	77,5
44	5	26,5	68,5
50	64,5	6	29,5
51	67,5	7	25,5
1	59,88	14,06	24,5
2R	62	8,5	29,5
3	52,5	13,5	34
4	24,15	12,4	63,45
99	73,65	4,8	21,5
	32,52	15,00	52,41

A partir da Tabela 7 pode-se perceber que os solos da região são muito argilosos, com média de 52,41% de argila, 15,00% de silte e 32,52% de areia. A bacia apresenta talhões que chegam a alcançar 77,5% de argila.

Sendo assim, a resistência mecânica do solo classificada em moderada e alta pode ser explicada pelo solo altamente argiloso da região, uma vez que solos com esta textura apresentam maior força de coesão entre as partículas, dificultando a penetração. São solos altamente susceptíveis à compactação. Ribon e Tavares Filho (2004), em estudo com

Latossolo Vermelho-Amarelo, constataram que o teor de argila influenciou no modelo para estimativa da resistência do solo.

A Figura 10 mostra a profundidade onde ocorreu a pressão máxima.

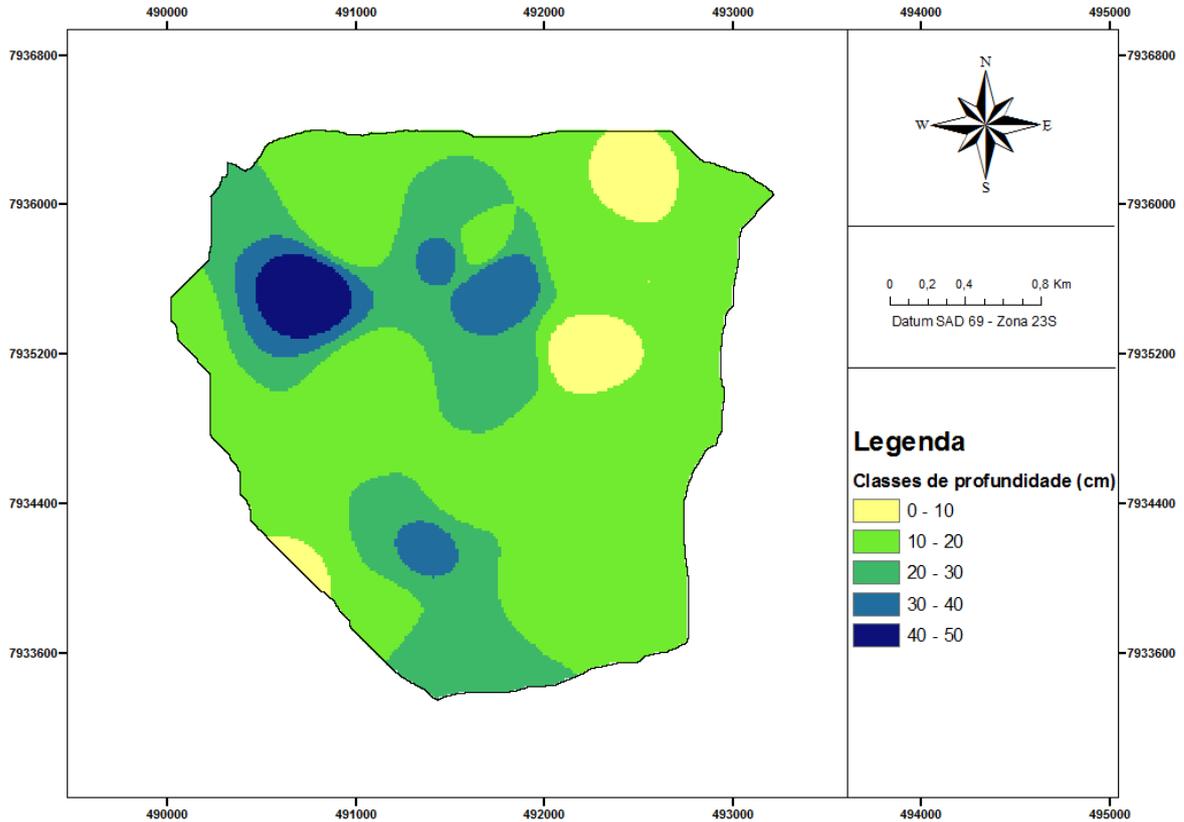


Figura 10 - Profundidade da pressão máxima da resistência mecânica do solo na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2013.

A profundidade da pressão máxima variou de 7 cm até 46 cm. A profundidade com maior ocorrência de pressão máxima foi na faixa de 10 a 20 cm, representado no mapa pela cor azul.

Cherubin et al. (2011) também encontraram nessa faixa a camada de maior impedimento mecânico do solo e concluíram que esse fato pode ser atribuído como consequência do sistema convencional de agricultura.

Os resultados da análise de variância dos dados de pressão nas diferentes classes de profundidade se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise de variância dos dados de pressão nas diferentes classes de profundidade do solo da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG, 2013.

Profundidade (cm)	Média (KPa)	Desvio padrão	Variância	Máximo (KPa)	Coefficiente de variação (%)
0-10	2445,22	1662,52	2763977	6775	67,99
10-20	2765,64	1270,49	1614150	7943	45,94
20-30	2664,40	1049,58	1101622	6581	39,39
30-40	2310,76	865,64	749339,8	8000	37,46
Acima de 40	1972,21	813,08	661095,4	4733	41,23

O coeficiente de variação da resistência mecânica do solo na camada de 0 - 10 foi mais elevado que os coeficientes de variação nas camadas mais profundas. O mesmo foi constatado também por Cherubin et al. (2011), em experimento conduzido sob sistema plantio direto, que explicam esse fato por estar relacionado ao sistema e prática de manejo adotados na área.

4.4 Variação do lençol freático

A Tabela 9 mostra o nível de profundidade do lençol freático medido em cada poço de monitoramento.

Tabela 9 - Profundidade do lençol freático em cada poço de monitoramento da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012.

Poço	Profundidade (m)			
	1	2	3	4
Jan	-	8,16	5,15	0,99
Fev	-	7,98	4,66	1,05
Mar	-	10,63	4,73	1,4
Abr	-	12,59	5,36	2,04
Mai	-	13,59	5,91	2,38
Jun	-	13,59	6,6	2,96
Jul	-	14,24	8,22	3,33
Ago	-	14,79	9,75	3,64
Set	-	15,55	11,87	4,47
Out	-	17,21	14,05	6,83
Nov	-	19,23	14,24	5,44
Dez	-	19,30	13,64	4,45

As medições do poço 1 foram descartadas, pois não foi encontrada água no ano em estudo. Uma possível justificativa para esse fato é que o poço pode ter sido assoreado, uma vez que diminuiu 3 metros de profundidade. Outra possibilidade é que o poço pode ter sido construído numa área de aquífero suspenso.

Aquífero suspenso é um falso lençol que surge devido a existência de um estrato impermeável, que recebe as águas de infiltração e as armazena, confundindo-se com um lençol freático típico (PERONI, 2003).

Os dados de precipitação e profundidade dos poços foram confrontados para um melhor entendimento da dinâmica dessas variáveis (Figura 11).

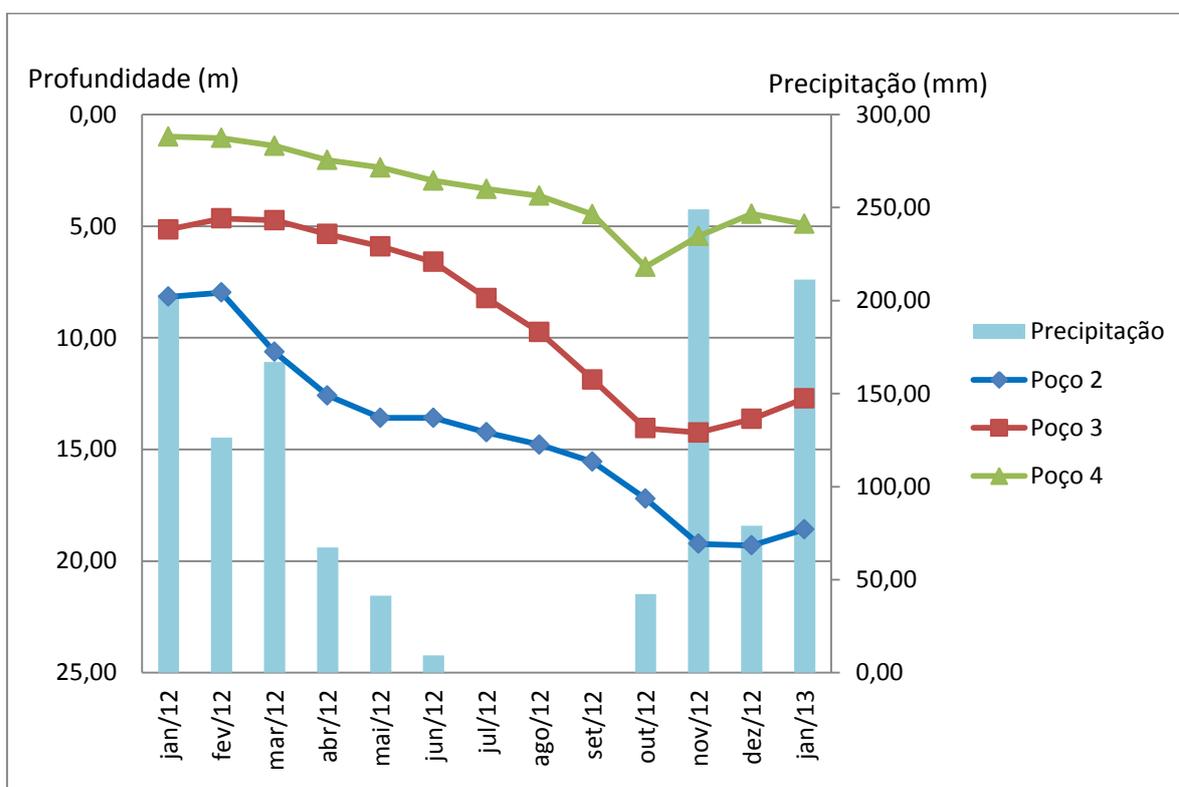


Figura 11 - Profundidade média mensal do lençol freático e precipitação média mensal na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG, 2012.

De modo geral, observa-se que à medida que a precipitação aumenta, aumenta também o nível do lençol. Por outro lado, em tempos de escassez de chuva, o nível do lençol tende a baixar, visto que o lençol alimenta o riacho. Esse mesmo comportamento também é descrito por Carvalho (2011), em experimento na bacia em questão.

Pelo gráfico da Figura 11 percebe-se que quanto menor a cota do terreno (poços mais baixos), mais próximo da superfície do solo o lençol freático permanece no período de chuvas.

Pode-se observar também que o poço 2 é mais afetado pela falta de chuva que os poços 3 e 4. Isso é visualizado através da queda acentuada no nível de água desse poço a partir de março, quando diminuem as chuvas. Essa diminuição brusca no nível da água se deve à transferência de água para as partes mais baixas do terreno. Enquanto isso, os poços 3 e 4 mantêm o nível da água praticamente inalterado, pois estão recebendo água da parte elevada do terreno, ou seja, os poços mais abaixo no terreno apresentam menor variação no nível de água que os poços mais elevados, pois os últimos são dependentes apenas da água precipitada e infiltrada.

Depois do período de seca, quando começam as chuvas, o poço 4 tem maior recarga de água que os poços 2 e 3. Isso ocorre, pois, além do poço 4 receber a água que infiltra no solo diretamente da precipitação, assim como os outros poços, ele também recebe a água que é transferida das partes mais altas do terreno, por se encontrar na parte mais baixa do terreno. Verifica-se que a recarga do lençol onde está o poço 4 deu início em novembro de 2012, quando já tinha precipitado 291 mm acumulados. A recarga do lençol onde está o poço 3 deu início em dezembro, com 370 mm acumulados. Já para o poço 2 a recarga iniciou somente em janeiro de 2013 com aproximadamente 620 mm acumulados.

Comparando a profundidade do lençol freático do começo ao fim do período monitorado, ou seja, nos meses de janeiro de 2012 e janeiro de 2013, observa-se que houve descarga de água. Possivelmente isso ocorreu em função da menor precipitação nos três últimos meses de 2012 quando comparada ao último trimestre de 2011, conforme pode ser visto na Tabela 10.

Esse resultado difere do estudo de Carvalho (2011) na mesma bacia, onde a autora conclui que houve recarga de água no lençol freático no período compreendido entre os anos de 2008 a 2010.

Tabela 10 - Precipitação do último trimestre dos anos de 2011 e 2012 na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.

	Precipitação (mm)	
	2011	2012
out	119	42
nov	188	249
dez	310	79
total trimestre	617	370
total anual	1300	985

De acordo com a Tabela 10, nota-se que o último trimestre de 2011 choveu quase o dobro que o último trimestre de 2012. Esse fato pode ter contribuído para a descarga de água no lençol freático ao final do período estudado, em janeiro de 2013, uma vez que o lençol abastece o riacho na época de seca, porém ao iniciar o período chuvoso ocorreu menor precipitação que o período chuvoso do ano anterior.

Dambrós (2011) também encontrou relação entre a flutuação do nível freático com a precipitação pluviométrica em duas sub-bacias pertencentes à bacia hidrográfica do rio Santa Maria, RS. Em seu estudo, este autor afirma que pelo menos 80% da variação do nível da água ocorreram em relação à precipitação.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que para o período analisado (janeiro de 2012 à dezembro de 2012), os índices de precipitação em aberto foram de 985 mm para o método da média aritmética e 998 mm para o método do polígono de Thiessen.

A morfometria indica uma bacia de relevo suave e pouco drenada.

A resistência mecânica do solo na região estudada foi classificada como moderada e alta.

Houve diminuição no nível dos poços piezométricos no período estudado, representando uma descarga de água do lençol freático. Possivelmente em função dos menores índices de chuva, contudo, verifica-se o início da recarga de água a partir de novembro para o poço 4, dezembro para o poço 3 e janeiro para o poço 2.

Os resultados encontrados neste trabalho sugerem que há influência das variáveis precipitação e resistência mecânica do solo na variação da profundidade do lençol freático da bacia estudada, uma vez que os índices pluviométricos de 2012 foram menores que a média esperada para a região, ademais do solo apresentar alta compactação dificultando a infiltração de água no solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. et al. Determinação do volume de água no solo em função da posição do lençol freático, utilizando modelos numéricos. In: CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA, 2000, Ponta Grossa: Departamento de Informática, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2000.

ANDRADE, N. L. R. et al. Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso - MT. **Geociências**, v.27, n.2, p.237-248, Unesp, São Paulo, 2008.

ARAÚJO, A. O. et al. Avaliação da resistência a penetração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na Chapada do Araripe. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 2010, São Luís: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2010.

ARSHAD, M. A. et al. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J.,eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, (SSSA Special publication 49), p. 123-141, 1996.

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and rootgrowth responses. **Journal Soil Science**, v.41, n.3, p.341-58, Baltimore, 1990.

BOUWER, H. **Groundwater hydrology**. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. ISBN 0-07-006715-5. Mc Graw-Hill Book Company, 1978.

CAMARGO de, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Causas da Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Resistência à penetração e um solo em recuperação sob sistemas agrossilvipastoris. Revista Brasileira de **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p.759–764, 2006.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.65, n.2, p.221-230, 2002.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; BOECHAT, C. P.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, Viçosa-MG, 2006.

CARMO, C. A. F. S. et al. Avaliação de clones de seringueiras implantados em solos sob Cerrado – Minas Gerais.: EMBRAPA Solos (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 7), Rio de Janeiro. 17 p, 2002.

CARVALHO, A. P. V. **Recarga de água no solo na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG**. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2011.

CASTRO, S.B.; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do Rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Revista Scientia Plena**, v.5, n.2, 2009.

CHERUBIN, M. R. et al. Variabilidade da resistência à penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. **Revista Plantio Direto**. Set./Out. 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COUTINHO, L.M. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio da Prata, Castelo, ES. **Irriga**, v.16, n.4, p.369-381, Botucatu, 2011.

DAMBRÓS, C. **Recarga e flutuação do nível da água subterrânea em sub-bacias com floresta e campo nativo**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL - DACOC. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICO FEDERAL DO PARANÁ-CAMPUS CURITIBA - **Notas de aula de Hidrologia Aplicada**, 2010. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/mannich/arquivos/hidro_celimar.pdf>. Acesso em:07/09/2013.

DONADIO, N. M. M. et al. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v.25, n.1, p.115-125, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ) . Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. (Embrapa-SNLCS. Micelânea, 1). Rio de Janeiro, 83p., 1979.

GILMAN, C. S. **Rainfall. In: Handbook of Applied Hydrology.** Nova York: McGraw-Hill, 1964.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 652p, 2003.

HOLTZ, A. C. T. **Precipitação. In: Hidrologia Básica.** 11. ed. São Paulo: Edgard Bluncher, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=312570#>>. Acesso em: 14/12/2011.

KARMANN, I. **Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: Decifrando a Terra.** 3. ed., São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** 2. ed., Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Departamento de Ciências Florestais, Piracicaba, 2008.

LOPES, A. S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo.** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fósforo, 1983. 162 p.

MOTTA, P. E. F. et al. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p. 349-359, 2002.

MOURA, J. B. et al. Resistência à penetração do solo em pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens* sob aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. **Gl. Sci. Technol.**, Rio Verde, v.05, n.03, p. 162–169, set/dez. 2012.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.819-825, Campina Grande, 2010.

PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido adiferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 521-529, 2001.

PERONI, R. **Notas de aula de Geologia de Engenharia I**, 2003. Disponível em: <http://www.lapes.ufrgs.br/discipl_grad/geologia1/peroni/apostilas/16aguas_subter_2003.pdf>. Acesso em: 14/10/2013.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. 11. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008, 304p.

PRESS, F. et al. **O ciclo hidrológico e a água subterrânea**. In: **Para entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Model propositions for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, v. 47, p.25-31, 2004.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n.3, Londrina, 2005. p.321-344.

SANTOS, A. R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa, MG**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2001.

SILVA, E. A. A. et al. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. **Acta Scientiarum**, v.25, n.2, p. 365-371, Maringá, 2003.

SILVA, R.C. **Análises morfométricas e hidrológicas das bacias hidrográficas do Córrego Teixeiras, Ribeirão das Rosas e Ribeirão Yung, afluentes do Rio Paraibuna, município de Juiz de Fora/MG**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Especialização em Análise Ambiental), Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.18-23, 2003.

STATSOFT, INC. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.

STIPP, N.A.F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Taquara - Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal de Cartografia**, v.3, n1, p.105-124, Londrina, 2010.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 38, p. 913-920, 1957.

TEODORO, V.L.I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, p137-156, Araraquara, 2007.

TOGASHI, H. F.; MONTEZUMA, R. C. M.; LEITE, A. F. Precipitação incidente e fluxo de atravessamento das chuvas em três estágios sucessionais de floresta atlântica no Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro. **Revista Árvore**, v.36, n.5, p.907-917, Viçosa, 2012.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Cienc. Cult.** v.55, n.4, São Paulo, 2003.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes – hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceira**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005. 210p.