



JORGE ENRIQUE ROMERO PRIETO

**Parâmetros do solo relacionados à produção de água de uma
nascente localizada na Universidade Federal de Lavras.**

**LAVRAS – MG
2023**

JORGE ENRIQUE ROMERO PRIETO

**Parâmetros do solo relacionados à produção de água de uma
nascente localizada na Universidade Federal de Lavras.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências
do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Gilberto Coelho
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

JORGE ENRIQUE ROMERO PRIETO

**Parâmetros do solo relacionados à produção de água de uma
nascente localizada na Universidade Federal de Lavras.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências
do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 30 de Novembro de 2023.

Prof. Dr. Gilberto Coelho (UFLA)

Me. Alice Raquel Caminha (UFLA)

Isabelly Leite de Souza (Mestranda – UFLA)

Prof. Dr. Gilberto Coelho
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pela vida e por cada uma das oportunidades que Ele tem me proporcionado durante esta caminhada, sem Ele nada disto seria possível. Agradeço pelo intuito de alcançar cada objetivo que eu tenho e que Ele tem para mim.

Sou extremamente grato à minha família, que é o meu sentido e porto seguro, especialmente aos meus pais, Martha Janeth Prieto Guevara e Yamid Fabian Hernandez Julio. Eles têm sido fundamentais para superar cada obstáculo apresentado ao longo desta trajetória. Sem seu amor e apoio, eu não seria quem sou hoje.

À minha irmã, Gabriella Hernandez, meu sincero obrigado por ser a inspiração do meu dia a dia e a motivação para superar todos os desafios e alcançar o lugar onde estou agora.

Ao meu pai, Jorge Luis Romero, agradeço pela vida e pelo apoio.

Agradeço especialmente a Alice Caminha, por me dar a grande oportunidade de fazer parte de seu projeto de mestrado e por ensinar-me tanto durante e após este projeto.

Ao Prof. Gilberto Coelho, estendo minha gratidão por abrir as portas para mim e contribuir para meu crescimento acadêmico.

Por último, gostaria de agradecer a mim mesmo por me esforçar e não desistir, sempre buscando oportunidades para alcançar os objetivos propostos, incluindo a realização deste trabalho.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso investiga a condutividade hidráulica do solo (K_o) e a vazão de uma nascente na área de recarga da Universidade Federal de Lavras, destacando a inter-relação entre as propriedades físico-hídricas do solo, a dinâmica da nascente e os fatores ambientais e antrópicos. O estudo abrange o monitoramento da vazão de uma nascente e a determinação da K_o em diferentes profundidades, visando entender a recarga hídrica da nascente e identificar práticas de manejo sustentável. A análise inclui a observação de variações sazonais na vazão, coleta de amostras de solo e ensaios laboratoriais para determinar a K_o . Os resultados revelam que a K_o e a vazão da nascente estão intrinsecamente relacionadas às condições climáticas, uso do solo e práticas agrícolas. Particularmente, a ocupação agrícola de 30% da área de recarga e a urbanização, como o aeroporto de Lavras ocupando mais de 29% da área, mostram impactos significativos na recarga dos aquíferos e na vazão das nascentes. O estudo conclui que a K_o e a vazão da nascente são indicadores fundamentais para entender a recarga hídrica da nascente. Além disso, ressalta a necessidade de investimentos em soluções ambientais e hidrológicas adequadas, bem como a adoção de boas práticas agrícolas, para otimizar a recarga do aquífero e manter a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Condutividade hidráulica do solo. Vazão de nascente. Uso do solo. Condições climáticas. Sustentabilidade dos recursos hídricos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de uma área de recarga.....	12
Figura 2 – Localização de área de estudo.....	17
Figura 3 – Classes de relevo da área de recarga.....	18
Figura 4 – Uso e ocupação do solo da área de recarga.....	18
Figura 5 – Uso e ocupação do solo da área de recarga.....	19
Figura 6 – Lugar exato da nascente (Indicado pelo sinalizador amarelo).....	20
Figura 7 – Calha Parshall de 3 Polegadas na Nascente.....	21
Figura 8 – Ilustração saída da calha Parshall.....	21
Figura 9 – Ilustração Régua.....	21
Figura 10 – Distribuição dos pontos amostrais.....	22
Figura 11 – Cavadeira manual usada em campo.....	23
Figura 12 – Coleta do solo com estrutura deformada.....	24
Figura 13 – Amostradores Uhland.....	24
Figura 14 – Cilindros de dimensões medidas.....	24
Figura 15 – Cilindros de dimensões medidas.....	25
Figura 16 – Permeâmetro.....	26
Figura 17 – Distribuição espacial dos atributos Ko para a camada de 0-20.....	30
Figura 18 – Distribuição espacial dos atributos Ko para a camada de 20 - 40 cm.....	30
Figura 19 – Distribuição espacial do atributo silte para a camada de 0-20 cm.....	31
Figura 20 – Distribuição espacial do atributo silte para a camada de 20 - 40 cm.....	31
Figura 21 – Gráfico de pizza de porcentagens dos dados de acordo a classificação do Ko para a camda de 0-20cm.....	33
Figura 22 – Gráfico de pizza de porcentagens dos dados de acordo a classificação do Ko para a camada de 20-40cm.....	33
Figura 23 – Gráfico do monitoramento da vazão.....	35
Figura 24 – Gráfico de chuvas acumuladas nos meses de 2021.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de coeficientes n e K	27
Tabela 2 – Estatística descritiva de K_0 para a camada de 0-20cm.....	28
Tabela 3 – Estatística descritiva de K_0 para a camada de 20-40cm.....	28
Tabela 4 – Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado K_0 em cm h^{-1}	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	Objetivos específicos	10
3	REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1	Dinâmica hídrica e socioeconômica das bacias hidrográficas.....	11
3.2	Monitoramento da oferta de água.....	11
3.3	Dinâmica hidrológica do solo	12
3.4	Áreas de recarga	13
3.5	Métodos de identificação de áreas de recarga	13
3.6	Estudos de caso em dinâmica hidrológica	14
3.7	Vazão em nascente.....	14
3.8	Condutividade hidráulica (Ko)	15
4	MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1	Caracterização da área de estudo	16
4.2	Monitoramento de vazão da nascente.....	19
4.3	Amostragem do solo	22
4.4	Determinação da condutividade hidráulica (Ko)	25
4.5	Determinação da vazão da nascente (Q).....	26
5	DISCUSSÃO E RESULTADOS	28
5.1	Condutividade hidráulica da área de estudo	28
5.2	Vazão da nascente de estudo.	34
6	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

A compreensão dos processos hidrológicos em bacias hidrográficas é crucial para o manejo sustentável dos recursos hídricos, especialmente em um cenário de crescentes desafios ambientais e alterações antrópicas. As nascentes, como componentes vitais desses sistemas, são indicadores sensíveis das condições hidrológicas e ambientais. A vazão de nascentes, influenciada por variáveis como precipitação, uso do solo e práticas agrícolas, fornece uma janela para entender a dinâmica da água subterrânea e a saúde dos aquíferos (JONES; MULHOLLAND, 2000; WINTER *et al.*, 1998).

A condutividade hidráulica do solo (K_o) desempenha um papel fundamental na determinação da taxa e eficiência com que a água da chuva recarrega os aquíferos. A K_o é influenciada por fatores como a textura do solo, estrutura, conteúdo orgânico e intervenções humanas, como a urbanização e a agricultura (FETTER, 2001; DOMENICO; SCHWARTZ, 1998). Uma compreensão precisa da K_o é essencial para avaliar a recarga dos aquíferos e, conseqüentemente, para o manejo eficaz dos recursos hídricos.

Além disso, a urbanização e as mudanças no uso do solo têm impactos significativos na hidrologia das bacias hidrográficas. A impermeabilização do solo em áreas urbanas reduz a infiltração de água da chuva, alterando o regime de recarga dos aquíferos e afetando a vazão das nascentes (LERNER; HARRIS, 2009; HOWARD; HAYNES, 1993). Essas mudanças exigem uma gestão cuidadosa dos recursos hídricos para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e o abastecimento de água.

Com base nisso, este Trabalho de Conclusão de Curso nasce da necessidade de realizar uma avaliação da condutividade hidráulica saturada do solo (K_o) e na capacidade de produção de água de uma nascente da Universidade Federal de Lavras. O estudo aborda a complexa interação entre as propriedades físico-hídricas do solo, a vazão da nascente e os fatores externos que influenciam essas dinâmicas, como mudanças no uso do solo e práticas de manejo da água. Cabe ressaltar que este TCC é um subproduto do projeto de mestrado da Alice Caminha com o título: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM UMA ÁREA DE RECARGA DE NASCENTE.

2 OBJETIVOS

Monitorar o regime de produção de águas de 1 nascente e determinar a condutividade hidráulica saturada do solo (K_o) em área de recarga, fazendo uma análise de como ambas se relacionam, entre si e entre outros variáveis que interferem nelas, afim de ver como se comporta a recarga hídrica da nascente em estudo.

2.1 Objetivos específicos

- Analisar os dados encontrados da condutividade Hidráulica Saturada do solo (K_o) na área de recarga na nascente e discorrer sobre o(s) possível(eis) motivo(s) que influenciam nestes resultados.
- Analisar os resultados da Vazão da nascente e explicar o porquê podem existir mudanças nos resultados conforme o tempo e uso do solo da área de recarga.
- Identificar soluções de manejo de acordo com as análises.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Dinâmica hídrica e socioeconômica das bacias hidrográficas

A disponibilidade de água está intrinsecamente ligada à dinâmica hídrica e socioeconômica das bacias hidrográficas, uma relação que envolve não apenas as condições naturais, mas também as atividades humanas e suas implicações ambientais. Conforme destacado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), a gestão adequada dos recursos hídricos é fundamental para garantir a qualidade e a sustentabilidade da água.

As atividades humanas, como agricultura, urbanização e industrialização, têm um impacto significativo nas bacias hidrográficas. Estas atividades podem alterar o relevo e o uso do solo, afetando diretamente a qualidade da água e o equilíbrio dinâmico dos ecossistemas aquáticos (BARROS; GUIMARÃES; SANTANA, 2018). Por exemplo, a impermeabilização do solo em áreas urbanas pode reduzir a infiltração da água da chuva, afetando a recarga dos aquíferos e aumentando o escoamento superficial, o que pode levar à poluição dos cursos d'água (ARNOLD; GIBBONS, 1996).

Além disso, a agricultura intensiva pode contribuir para a degradação da qualidade da água através da erosão do solo e do escoamento de nutrientes e pesticidas, afetando não apenas a água superficial, mas também as águas subterrâneas (FOLEY *et al.*, 2005). As práticas de manejo sustentável do solo e da água são essenciais para mitigar esses impactos e garantir a disponibilidade de água de boa qualidade para as gerações futuras (PRETTY *et al.*, 2006).

3.2 Monitoramento da oferta de água

O monitoramento eficiente da oferta de água em bacias hidrográficas é crucial para compreender a dinâmica hídrica e desenvolver estratégias de gestão dos recursos hídricos. Essa prática, destacada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), envolve a avaliação tanto da quantidade quanto da qualidade da água, fornecendo informações valiosas sobre a disponibilidade de água ao longo do tempo. A manutenção da qualidade da água é indispensável para o equilíbrio dos ecossistemas e tem grande impacto na saúde pública, conforme apontado por Moraes, Cabongo e Poletto (2018).

Além de observar a quantidade de água disponível, é importante considerar os efeitos das mudanças climáticas e das atividades humanas sobre os recursos hídricos. Mudanças nos padrões de chuva, secas e enchentes, provocadas por variações climáticas, podem afetar

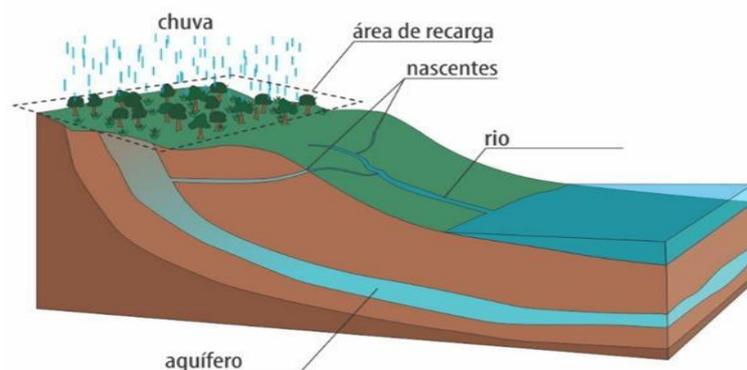
significativamente a disponibilidade de água em bacias hidrográficas (Bates et al., 2008). O desenvolvimento urbano e agrícola, ao modificar a paisagem natural, também influencia a dinâmica hídrica e a qualidade da água, exigindo estratégias adaptativas para garantir a segurança hídrica (POSTEL; RICHTER, 2003; ARNOLD; GIBBONS, 1996).

A gestão integrada dos recursos hídricos, que inclui o monitoramento da qualidade e da quantidade de água, é essencial para assegurar o uso sustentável dos recursos hídricos e para proteger a saúde humana e os ecossistemas aquáticos. Conforme destacado pela Global Water Partnership (2000), a gestão integrada é uma abordagem que promove a coordenação entre diferentes setores e stakeholders, garantindo que as decisões sejam tomadas de forma holística e sustentável. O monitoramento contínuo e abrangente apoia a tomada de decisões informadas, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e para o bem-estar das comunidades que dependem desses recursos.

3.3 Dinâmica hidrológica do solo

No que diz respeito à dinâmica hidrológica do solo, a água que precipita chega aos aquíferos através dos processos de infiltração e percolação que ocorrem nas áreas de recarga (FIGURA 1) e se movimenta sempre em direção às áreas de descarga, devido ao gradiente de potencial total e condutividade hidráulica dos solos e das rochas (CARMO, 2014; FREEZE; CHERRY, 1979). Dessa forma, as áreas de recarga são fundamentais para definir a potencialidade de produção de água em uma bacia. Esta potencialidade está associada, sobretudo, à capacidade da superfície em permitir a infiltração da água e à capacidade de armazenamento do reservatório subterrâneo (FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2009; FETTER, 1994).

Figura 1 – Representação de uma área de recarga.



Fonte: Senado Federal (2018).

3.4 Áreas de recarga

As áreas de recarga podem ser definidas como os locais da superfície terrestre nos quais ocorrem o reabastecimento das reservas subterrâneas (Aqüífero) como mostrado na figura 1, que acontece por meio dos processos de infiltração e percolação da água abaixo da zona das raízes (FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2009; FREEZE; CHERRY, 1979). Partindo da perspectiva superficial, segundo definição de Silva (2009), as áreas de recarga compreendem a área de drenagem acumulada, inclusa entre os divisores topográficos, acima da cota altimétrica de um ponto. Além disso, por serem locais favoráveis à infiltração e percolação, possuem maior vulnerabilidade à introdução de contaminantes (MORITA; WENDLAND, 2019), o que reforça a necessidade de medidas ambientais que visem o manejo adequado da água e do solo nesses locais (VILAVERDE, 2016).

As áreas de recarga são componentes críticos no ciclo hidrológico, atuando como zonas chave para o reabastecimento de aquíferos. Estas áreas são caracterizadas pela sua capacidade de permitir que a água da precipitação infiltre-se no solo e alcance os aquíferos subterrâneos. Sophocleous (2002) destaca que a identificação e proteção dessas áreas são vitais para a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, especialmente em regiões com alta dependência de água subterrânea para consumo e irrigação. A urbanização e o desenvolvimento agrícola podem impactar significativamente a funcionalidade dessas áreas, reduzindo sua capacidade de recarga devido à impermeabilização do solo (LERNER; HARRIS, 2009).

3.5 Métodos de identificação de áreas de recarga

Segundo Freeze e Cherry (1979), as principais formas de identificar as áreas de recarga são por meio de padrões piezométricos, padrões hidroquímicos, isótopos ambientais, análises das características de superfície, como cobertura vegetal e tipo de solo; e por meio da topografia, que parte da consideração simplista de que elevações tendem a constituir áreas favoráveis à recarga. Estes métodos tradicionais são fundamentais para entender como a água se move através do subsolo e atinge os aquíferos.

Além disso, estudos recentes têm incorporado tecnologias avançadas, como o sensoriamento remoto, para identificar áreas de recarga. O uso de imagens de satélite, por exemplo, permite o monitoramento de grandes áreas e a identificação de mudanças na cobertura do solo que podem afetar a recarga dos aquíferos. Scanlon *et al.* (2002) destacam a eficácia do sensoriamento remoto na identificação de padrões de umidade do solo e na estimativa da

recarga de águas subterrâneas.

Outra abordagem importante é a modelagem hidrológica, que combina dados climáticos, geológicos e hidrológicos para simular o movimento da água através da paisagem. Esses modelos são úteis para prever como as mudanças no uso do solo ou no clima podem afetar a recarga dos aquíferos. Sophocleous (1991) ressalta a importância desses modelos na gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

3.6 Estudos de caso em dinâmica hidrológica

Menezes *et al.* (2009) analisaram a dinâmica hidrológica de nascentes da sub-bacia do Ribeirão Lavrinha, em Minas Gerais, que possuem áreas de recarga sob diferentes coberturas vegetais, uma sob pastagem e uma sob Mata Atlântica. Os autores verificaram que o uso do solo na área de recarga influenciou os valores e o comportamento temporal das vazões específicas das nascentes estudadas e recomendam que, para estudos relacionados à dinâmica da água, também sejam levadas em consideração as condições fisiográficas, pedológicas e topográficas das áreas de recarga. Felipe e Magalhães Júnior (2009) apresentaram uma proposta de classificação qualitativa de topos de morro como áreas preferenciais de recarga de aquíferos, tendo como estudo de caso o município de Belo Horizonte, MG, e considerando os impactos ambientais característicos de um espaço metropolitano. De acordo com os resultados, nove áreas de recarga foram consideradas de baixa eficiência e 89 de média a baixa. Os autores relacionaram esses resultados ao comprometimento da recarga subterrânea natural em razão da acentuada impermeabilização do solo na região.

3.7 Vazão em nascente

A vazão de nascentes é um indicador crucial para entender a dinâmica hídrica de uma bacia hidrográfica, pois reflete as condições atuais de recarga e fornece informações valiosas sobre a saúde dos aquíferos. Baird *et al.* (2005) ressaltam a importância de monitorar a vazão das nascentes para avaliar a resposta dos aquíferos às variações climáticas e às atividades antrópicas. Além dos fatores mencionados, como mudanças no uso do solo, cobertura vegetal e práticas de manejo de água, a vazão das nascentes também pode ser influenciada por eventos de longo prazo, como mudanças climáticas e variações sazonais.

Um estudo de Lerner e Harris (2009) demonstrou como o desenvolvimento urbano e a impermeabilização do solo impactam significativamente a recarga de aquíferos, afetando a

vazão das nascentes. A urbanização muitas vezes leva à redução da infiltração de água da chuva no solo, diminuindo a recarga natural dos aquíferos e, conseqüentemente, a vazão das nascentes.

Além disso, as práticas agrícolas, particularmente a irrigação, também podem ter um impacto substancial na vazão das nascentes, como observado por Sophocleous (2002). A extração excessiva de água para a irrigação pode reduzir a quantidade de água que alcança os aquíferos, levando a uma diminuição na vazão das nascentes, principalmente em regiões áridas ou semiáridas.

Portanto, a gestão sustentável das nascentes, considerando tanto os impactos ambientais quanto antrópicos, é essencial para garantir a disponibilidade contínua de recursos hídricos de qualidade. Isso inclui a implementação de práticas de manejo do solo e da água que promovam a recarga dos aquíferos e a manutenção da biodiversidade associada às nascentes.

3.8 Condutividade hidráulica (Ko)

A condutividade hidráulica do solo (K_o) é um parâmetro fundamental na hidrologia, pois determina a facilidade com que a água se move através do solo e das rochas. A medição em campo da condutividade hidráulica fornece informações cruciais para a compreensão da dinâmica da água subterrânea. Como Todd e Mays (2005) destacam, medir K_o in situ é vital para obter estimativas precisas da recarga dos aquíferos e para o planejamento eficaz da gestão de recursos hídricos.

As variações na condutividade hidráulica podem ser atribuídas a diversos fatores, incluindo a textura do solo, estrutura, conteúdo orgânico e intervenções humanas, como a agricultura e a urbanização. Freeze e Cherry (1979) explicam que a heterogeneidade do solo, particularmente em ambientes complexos como zonas de recarga de aquíferos, pode resultar em variações significativas na K_o , impactando diretamente a eficiência da recarga.

Além disso, estudos como o de Rawls *et al.* (2003) mostram que as condições de saturação do solo também desempenham um papel crucial na determinação da K_o . Em solos mais saturados, a água tende a se mover mais rapidamente, aumentando a condutividade hidráulica. Por outro lado, solos secos ou compactados podem apresentar uma K_o significativamente mais baixa, afetando a capacidade de recarga dos aquíferos.

Portanto, a compreensão detalhada da K_o é essencial para o manejo sustentável dos recursos hídricos, especialmente em áreas onde a água subterrânea é uma fonte vital para o consumo humano, agricultura e ecossistemas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

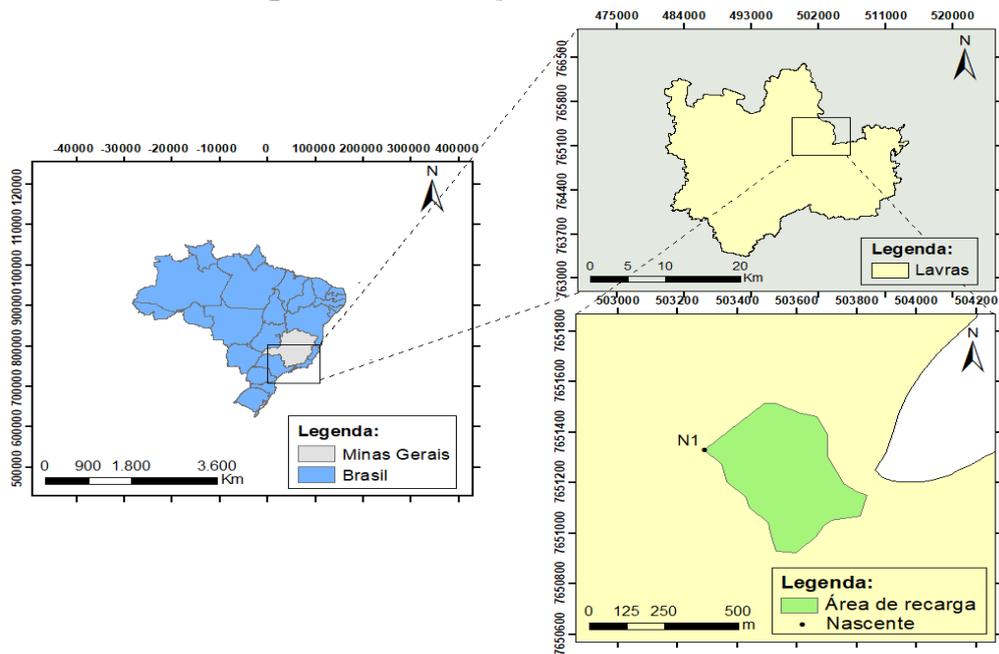
4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo em questão foi realizado em uma área de suma importância hidrológica, especificamente na zona de recarga que fornece a maior parte da água consumida pela Universidade Federal de Lavras. Esta zona, cobrindo uma extensão de cerca de 17,4 hectares, está situada dentro dos limites do município de Lavras, em Minas Gerais, conforme mostrado na Figura 2. A escolha desta localização não foi aleatória, mas baseada em sua significativa contribuição para os recursos hídricos da universidade e da comunidade local.

Lavras, uma cidade de relevante valor histórico e cultural, está localizada na região do Alto Rio Grande, ao sul de Minas Gerais, e é conhecida por sua altitude média de 918 metros. Essa altitude, conforme documentado por Curi *et al.* (2020), desempenha um papel crucial na definição das características climáticas e ambientais da região. O clima, categorizado como Cwb no sistema de classificação climática de Köppen, é caracterizado por um inverno seco e um verão úmido, uma combinação que influencia significativamente tanto a vegetação local quanto os padrões de uso da terra (ALVARES *et al.*, 2013).

Além disso, a área experimenta uma temperatura média anual de 19,4 °C. Esta temperatura moderada, combinada com uma precipitação anual média de cerca de 1400 mm, predominantemente concentrada entre os meses de outubro a março, cria um ambiente propício para uma diversidade de ecossistemas naturais e atividades agrícolas. No entanto, a região também passa por um período seco bem definido, que geralmente se estende de abril a setembro, como observado por Sá Júnior *et al.* (2012).

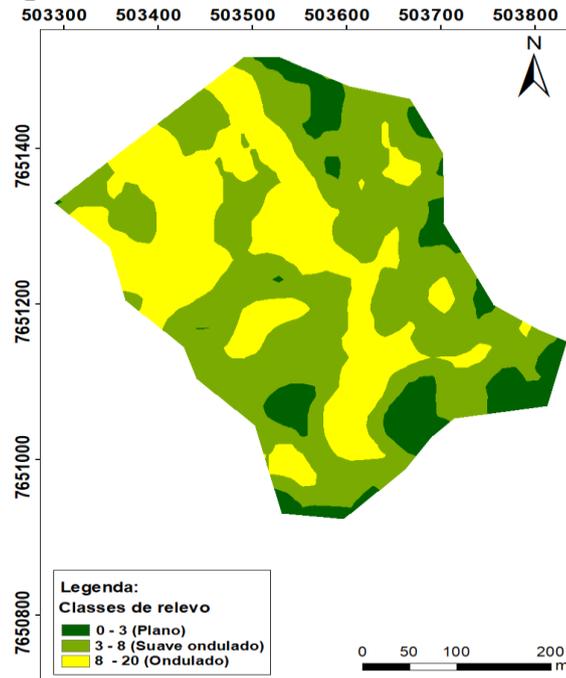
Figura 2 – Localização de área de estudo.



Fonte: Caminha (2021).

A localização da nascente está definida pelas coordenadas $21^{\circ}14'22.50''S$ $44^{\circ}58'5.75''O$. Para delimitar sua área de recarga, foram empregadas imagens do sensor ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite - Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar) da ALASKA SATELLITE FACILITY (2021), com resolução espacial de 12,5 m. As análises foram conduzidas utilizando o software ArcMap®, versão 10.2 (ESRI, 2014). Apesar de ser considerada uma nascente perturbada (FERREIRA *et al.*, 2009), ela fornece aproximadamente 90% da água utilizada internamente pela universidade. Conforme estudos de Curi *et al.* (2020), o Latossolo Vermelho é o tipo de solo mais presente na área, de acordo com a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018b). Quanto ao relevo, este se divide em plano (8,2% da área total), suave ondulado (53%) e ondulado (38,8%), como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Classes de relevo da área de recarga.



Fonte: Caminha (2021).

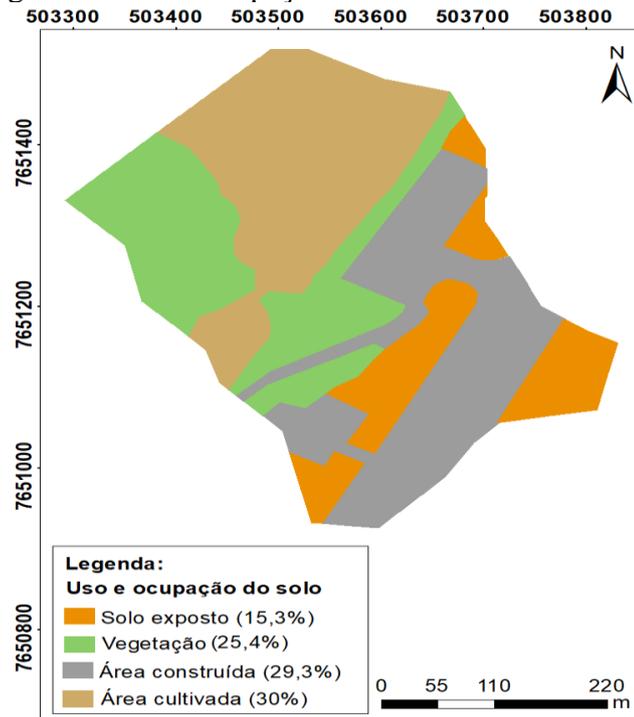
A região em estudo tem aproximadamente 30% de sua área dedicada ao cultivo de milho e feijão, enquanto quase um terço do território (29,3%) abriga o Aeroporto Municipal de Lavras. As áreas restantes são distribuídas entre regiões com vegetação natural (25,4%) e solo exposto (15,3%), como demonstrado nas Figuras 4 e 5. Atualmente, essa área é categorizada como uma zona de expansão urbana, o que permite a implementação de novos projetos de divisão e uso do solo, conforme documentado em regulamentos municipais (LAVRAS, 2020).

Figura 4 – Uso e ocupação do solo da área de recarga.



Fonte: Google Earth (2021).

Figura 5 – Uso e ocupação do solo da área de recarga.



Fonte: Caminha (2021).

4.2 Monitoramento de vazão da nascente

O monitoramento contínuo da nascente foi realizado no período de 26 de abril a 1 de novembro de 2021, abrangendo um intervalo significativo de tempo para observar variações de vazão no período seco. Durante esse período, as visitas ao local ocorreram de duas a três vezes por semana, permitindo um acompanhamento detalhado e consistente do comportamento da vazão da nascente. Este processo meticuloso foi fundamental para compreender as dinâmicas hidrológicas da nascente em diferentes condições climáticas e temporais.

Para efetivar o monitoramento, foi instalada uma calha Parshall de 3 (Figura 7) polegadas na nascente (Figura 6), um dispositivo amplamente utilizado para medição de vazão em canais abertos. A escolha da calha Parshall se deu devido à sua precisão e eficiência em medir a vazão de água, especialmente em canais de pequeno porte, como é o caso das nascentes. O principal ponto de medição foi a entrada da calha (Figura 8), onde a água flui após passar pelo dispositivo de medição.

Para medir a altura da água na calha Parshall, utilizou-se uma régua milimetrada (Figura 9), garantindo uma precisão elevada nas medições. A altura da água na calha é um indicador direto da vazão, uma vez que a calha Parshall é projetada de tal forma que a altura do fluxo de água se correlaciona com a taxa de fluxo através dela. Essa metodologia permite um registro

acurado da quantidade de água que flui da nascente, fornecendo dados valiosos para análises hidrológicas.

As informações coletadas durante este período de monitoramento são essenciais para compreender os padrões de vazão da nascente, que podem ser influenciados por diversos fatores, incluindo variações climáticas, uso do solo na área circundante e atividades antrópicas (BATES *et al.*, 2008). Além disso, os dados coletados podem ser usados para modelar o comportamento da nascente em diferentes cenários, auxiliando na gestão sustentável dos recursos hídricos e na preservação do ecossistema local (JENKINS *et al.*, 2013). O monitoramento contínuo também oferece insights sobre o impacto das mudanças climáticas na dinâmica das nascentes, o que é crucial para o planejamento de estratégias de conservação e manejo de água (ALLEN *et al.*, 2014).

Figura 6 – Lugar exato da nascente (Indicado pelo sinalizador amarelo).



Fonte: Google Earth (2023).

Figura 7 – Calha Parshall de 3 Polegadas na Nascente.



Fonte: Do Autor (2023).

Figura 8 – Ilustração saída da calha Parshall.



Fonte: Do Autor (2023).

Figura 9 – Ilustração Régua.



Fonte: Vecteezy (2023).

Cabe ressaltar que os dados deste acompanhamento são de propriedade da Alice Caminha.

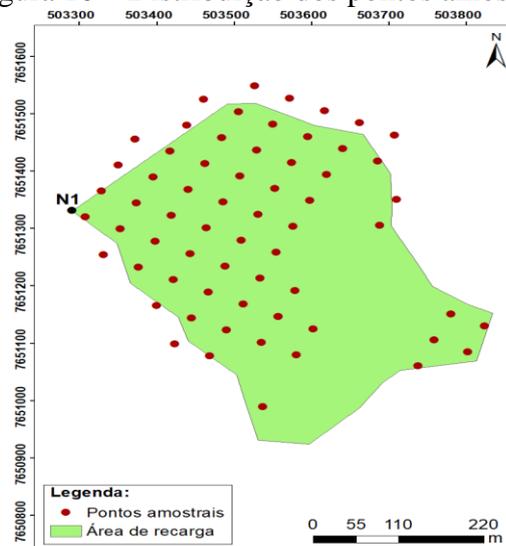
4.3 Amostragem do solo

Na concepção do plano amostral para o estudo, definiu-se uma estrutura de malha sistemática, onde os pontos de amostragem foram dispostos a cada 50 metros. Essa configuração resultou em um total de 63 pontos de amostragem, conforme ilustrado na Figura 10. Para garantir a precisão na localização desses pontos durante o trabalho de campo, utilizou-se um equipamento GPS, que ofereceu uma localização exata de cada ponto dentro da malha estabelecida.

No entanto, enfrentou-se uma limitação durante a execução do plano amostral. Nos locais onde os pontos de amostragem caíam em áreas construídas, a coleta de dados revelou-se impraticável. Isso se deve principalmente à alteração da cobertura natural do solo nessas áreas, que impedia a realização de coletas representativas do solo natural ou das condições ambientais não perturbadas. Essa situação é um desafio comum em estudos de campo, especialmente em regiões que sofreram alterações antrópicas significativas.

Esse processo de amostragem, embora parcialmente limitado pela infraestrutura urbana, foi crucial para obter uma compreensão detalhada das características do solo e ambientais da área estudada. A distribuição estratégica dos pontos de amostragem permitiu a cobertura de uma vasta área com eficiência, maximizando a representatividade dos dados coletados, apesar das restrições impostas por estruturas construídas. As informações obtidas a partir desse plano amostral são fundamentais para análises posteriores, contribuindo significativamente para os resultados e conclusões do estudo.

Figura 10 – Distribuição dos pontos amostrais.



Fonte: Caminha (2021).

No processo de coleta de amostras realizado em cada um dos pontos designados no estudo, foram obtidas tanto amostras de solo deformadas quanto indeformadas, abrangendo duas profundidades distintas: a camada superficial de 0 a 20 cm e a subsequente de 20 a 40 cm. Para a obtenção das amostras deformadas, utilizou-se uma cavadeira manual (Figura 11), uma técnica eficaz para coletar amostras representativas da composição e textura do solo. Após a coleta, estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, que foram cuidadosamente etiquetados para assegurar a rastreabilidade e a organização das amostras (Figura 12).

Já as amostras indeformadas, essenciais para preservar a estrutura natural do solo e suas características *in situ*, foram coletadas usando dois tipos de amostradores Uhland (Figura 13). Esses instrumentos são especialmente projetados para manter a integridade das amostras de solo durante a coleta. Utilizando cilindros de dimensões precisamente medidas (Figura 14 e 15), as amostras foram coletadas com cuidado para garantir a qualidade e a precisão dos dados.

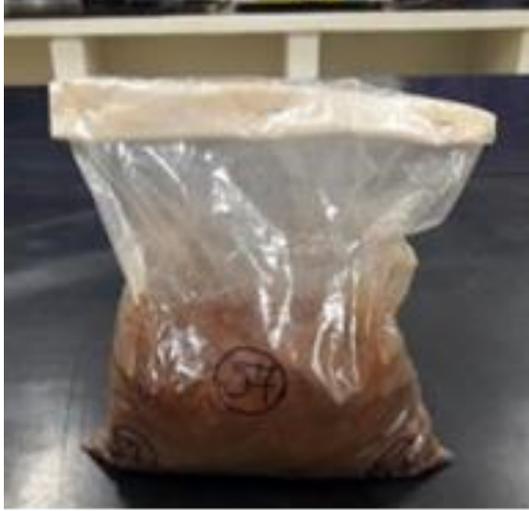
Em particular, para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado, empregou-se o amostrador maior para coletar amostras em cilindros de PVC. Estes cilindros, com um diâmetro interno de 60 mm e altura de 80 mm, são ideais para capturar uma amostra intacta do solo, permitindo análises precisas de suas propriedades hidráulicas. A condutividade hidráulica é um parâmetro chave no estudo das características de infiltração e drenagem do solo, fornecendo insights valiosos sobre o comportamento hidrológico do solo em condições naturais. A metodologia adotada para a coleta de amostras foi meticulosamente planejada para garantir a obtenção de dados confiáveis e representativos das condições do solo em cada ponto de amostragem.

Figura 11 – Cavadeira manual usada em campo.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 12 – Coleta do solo com estrutura deformada.



Fonte: Caminha (2022).

Figura 13 – Amostradores Uhland.



Fonte: Caminha (2022).

Figura 14 – Cilindros de dimensões medidas.



Fonte: Caminha (2022).

Figura 15 – Cilindros de dimensões medidas.



Fonte: Do autor (2022).

4.4 Determinação da condutividade hidráulica (K_0)

Os ensaios para determinar a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) foram realizados no Laboratório de Análise Física do Solo, localizado no Departamento de Recursos Hídricos – UFLA.

Iniciou-se o procedimento com a saturação das amostras por um ciclo completo de 24 horas, uma preparação necessária para o subsequente experimento no permeâmetro de carga constante (Figura 16), um equipamento específico para avaliar a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0). Esse método envolve aplicar uma pressão hidráulica estável sobre o solo e registrar o volume de água que se infiltra durante períodos fixos (10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos). As medições foram realizadas utilizando-se uma proveta de 20 ml e um cronômetro para precisão temporal. Conforme a equação de Darcy, apresentada como Equação 1:

$$K_0 = \frac{Q L}{A t (h + L)} \quad (1)$$

Determina-se a condutividade K_0 , onde Q é o volume filtrado em ml, L é a altura da amostra de solo em cm, h é a carga hidráulica em cm, A é a área da seção transversal do solo em cm^2 e t o intervalo de tempo para a percolação em horas (EMBRAPA, 2017).

Figura 16 – Permeômetro.



Fonte: DRH UFLA (2021).

4.5 Determinação da vazão da nascente (Q)

Após o período de coleta dos dados da altura de água que passa antes de atravessar o gargalo da calha Parshall, passou-se a calcular a vazão da nascente, para isto sabe-se que a fórmula que expressa a vazão em função da altura é representada pela Equação 2:

$$Q = K \times H^n \quad (2)$$

Determina-se a Vazão (Q), onde K é uma constante que depende das dimensões da calha parshall(3” no nosso caso) e ajuste da unidade de engenharia, H representa a altura medida antes do gargalo da calha e o “n” é um valor que difere ligeiramente de 3/2, estas constantes e coeficientes são mostrados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Tabela de coeficientes n e K.

W		n	K	
S.I.	m.		Unid. métricas	Unid. inglesas
3"	0.076	1.547	0.176	0.992
6"	0.152	1.580	0.381	2.06
9"	0.229	1.530	0.535	3.07
1'	0.305	1.522	0.690	4.00
1.5'	0.457	1.538	1.054	6.00
2'	0.610	1.550	1.426	8.00
3'	0.915	1.566	2.182	12.00
4'	1.220	1.578	2.935	16.00
5'	1.525	1.587	3.728	20.00
6'	1.830	1.595	4.515	24.00
7'	2.135	1.601	5.306	28.00
8'	2.440	1.606	6.101	32.00

Fonte: Azevedo e Alvarez (1973).

5 DISCUSSÃO E RESULTADOS

5.1 Condutividade hidráulica da área de estudo

Sabe-se que a condutividade hidráulica é uma propriedade do solo muito importante para analisar a recarga hídrica de uma nascente. Conforme destacado por Fetter (2001), a condutividade hidráulica influencia diretamente a capacidade do solo de transmitir água, sendo um fator crucial no estudo das dinâmicas de recarga de águas subterrâneas e por ende de recarga da nascente.

Os resultados mostram que a variabilidade da condutividade hidráulica em solos saturados (K_o) foi significativamente alta (Tabela 2 e 3), como indicado pelos elevados coeficientes de variação nas duas camadas estudadas (128,15% e 217,22%, respectivamente). Isso se deve ao fato de que K_o é fortemente influenciada pelo espaço poroso, resultando em variações notáveis tanto entre diferentes tipos de solo quanto dentro de uma mesma amostra de solo, conforme destacado por Reichardt e Timm (2012). Além disso, Kutílek e Nielsen (1994) observaram que a variação na condutividade hidráulica pode ser influenciada por fatores como o material de origem do solo e a cobertura vegetal. Essa variabilidade pode ocorrer mesmo em solos com características texturais parecidas ou em áreas geograficamente próximas.

Tabela 2 – Estatística descritiva de K_o para a camada de 0-20cm.

Camada de 0 - 20 cm		
K o(c m h- 1)	Média	10,113
	Mediana	4,784
	Desvio Padrão	12,960
	C.V. (%)	270,898

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 3 – Estatística descritiva de K_o para a camada de 20-40cm.

Camada 20 - 40 cm		
K o(c m h- 1)	Média	3,680
	Mediana	0,887
	Desvio Padrão	7,995
	C.V. (%)	217,221

Fonte: Do autor (2023).

A Figura 17 ilustra o mapa de condutividade hidráulica saturada para a camada de 0-20

cm do solo. Analisando este mapa em conjunto com o mapa de uso e ocupação do solo da área (Figura 4), percebe-se que as áreas com os maiores valores de K_0 coincidem com regiões cobertas por vegetação. Isso inclui áreas próximas à nascente, zonas cultivadas e locais com altos teores de areia. Estas observações ressaltam a relevância da cobertura vegetal e da textura do solo no processo de infiltração da água.

Este fenômeno pode ser atribuído ao efeito benéfico da vegetação sobre as condições de infiltração e percolação da água. Estudos de Lima *et al.* (2013), Oliveira *et al.* (2014) e Reichert *et al.* (2017) corroboram essa constatação, mostrando que áreas sob vegetação tendem a favorecer o movimento de água no solo. Isso se deve, em parte, ao maior aporte de matéria orgânica das árvores, que contribui para melhorar a estrutura e a porosidade do solo, aspectos essenciais para a dinâmica hídrica, conforme apontado por Dutal e Reis (2020) e Price (2011).

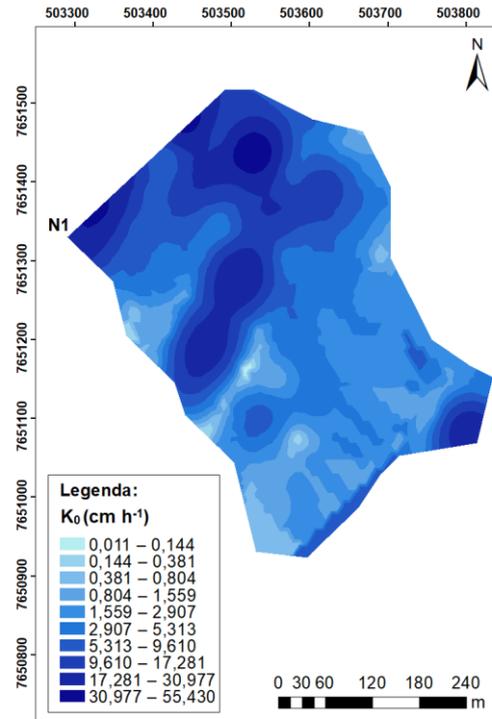
A importância da vegetação para o K_0 resalta-se também por Bonell *et al.* (2010), Roa-García *et al.* (2011) e Hümann *et al.* (2011), onde em seus resultados encontrados ele correlaciona que a presença de árvores com raízes profundas promove condições para a criação dos macroporos, que aumentam a porosidade drenável e a condutividade hidráulica saturada, contribuindo para a formação de fluxos preferenciais e favorecendo a percolação da água.

Na figura 18 nota-se que para a camada de 20-40 cm os maiores valores de K_0 , quando comparados com a figura 3.2, correspondem também as mesmas conclusões que para a camada de 0-20 cm. Para ambas as camadas (Figuras 17 e 18) os valores de menor condutividade hidráulica no solo saturado (K_0) encontram-se próximos ou nos mesmo lugares de áreas impermeabilizadas (Figura 4) por construções como por exemplo onde se encontra o Aeroporto Municipal de Lavras, assim como em áreas de maior teor de silte (Figuras 19 e 20), este último parâmetro é comprovado no estudo de Caminha (2022) e é sustentado pela análise de Santos *et al.* (2012a) a qual esclarece que em regiões com elevado conteúdo de silte, a tendência à obstrução dos poros do solo é amplificada, o que leva a uma diminuição acentuada da permeabilidade.

Além disso, os elevados níveis de silte no solo podem acarretar complicações adicionais para as nascentes. Conforme descrito por Gomes *et al.* (2007b), a fração silte, devido à sua instabilidade, é indesejável no ambiente, isso ocorre porque é facilmente deslocada e transportada pela ação das chuvas, o que pode resultar no assoreamento de cursos d'água. Essa situação é alarmante, especialmente considerando que esses teores de silte estão presentes, como evidenciado nas Figuras 4 e 21. Portanto, é aconselhável implementar práticas de manejo conservacionista nesses locais. Entre essas práticas, destacam-se as vegetativas, que ajudam na proteção do solo, e as mecânicas, focadas em diminuir a velocidade do escoamento superficial,

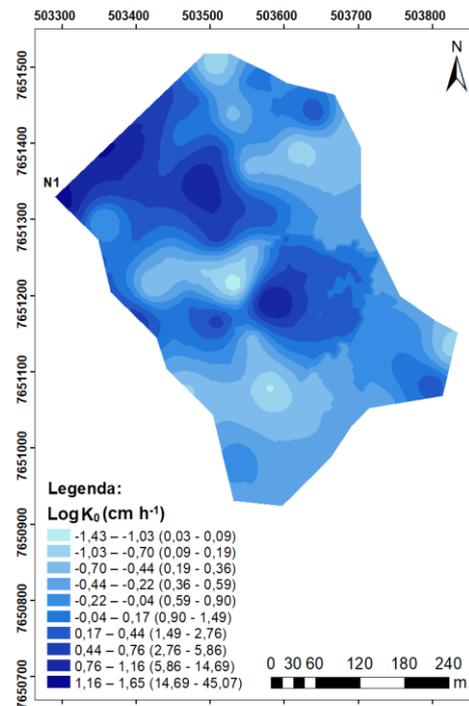
incluindo a implementação de terraços e escadas de dissipação, entre outras técnicas.

Figura 17 – Distribuição espacial dos atributos K_0 para a camada de 0-20.



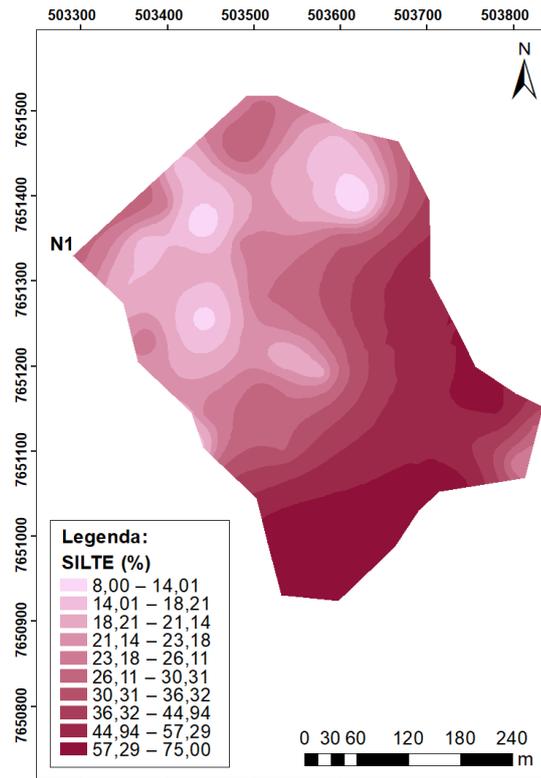
Fonte: Caminha (2022).

Figura 18 – Distribuição espacial dos atributos K_0 para a camada de 20 - 40 cm.



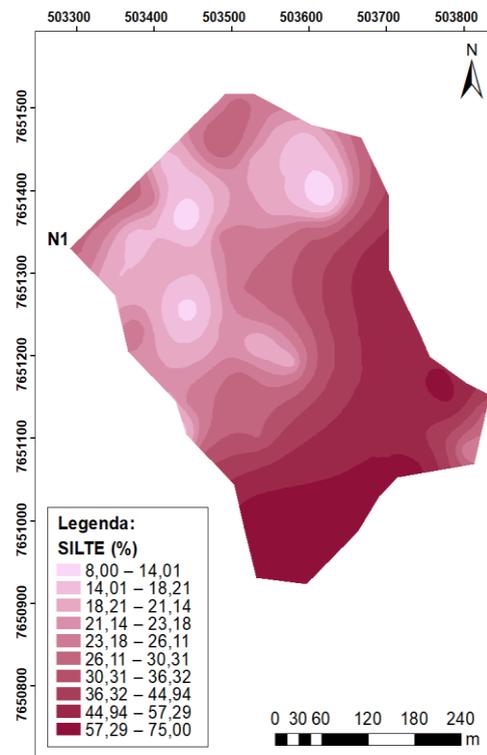
Fonte: Caminha (2022).

Figura 19 – Distribuição espacial do atributo silte para a camada de 0-20 cm.



Fonte: Caminha (2022).

Figura 20 – Distribuição espacial do atributo silte para a camada de 20 - 40 cm.



Fonte: Caminha (2022).

Nota-se que na camada 0-20 cm que apenas 29% dos resultados da zona de estudo são

classificada por ter um coeficiente hidráulico de muito rápido ou rápido (Tabela 4), com 13% e 16% respectivamente (Figura 21), enquanto isso, 56% classificam-se como moderado, moderadamente lento, lento e muito lento, onde os dois últimos, mais críticas, representam 11% e 13% respectivamente, totalizando 24% da área de estudo, esta porcentagem só difere em 5% da porcentagem total considerada como muito rápida ou rápida.

Já para a camada 20-40 cm observa-se que apenas 6% dos resultados correspondem a uma classificação de coeficiente hidráulico em solo saturado (K_0) de muito rápido ou rápido, 3% para ambas como observado na Figura 22, enquanto para as classificações mais críticas, lento e muito lenta, apresentam porcentagens de 25% e 10% respectivamente, ou seja 35% em total dos dados enquadram-se aqui.

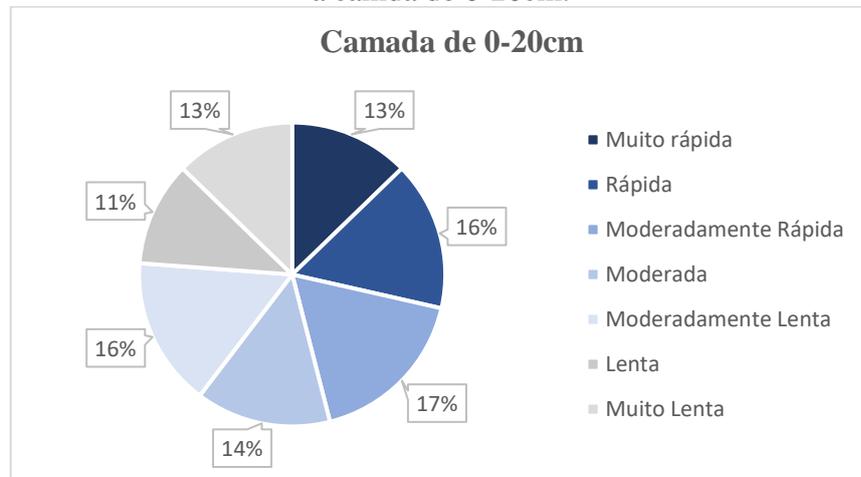
Estas porcentagens para ambas as camadas estão distante de um parâmetro considerado bom, e isso nos mostra algo preocupante, já que a maioria da parcela da área de estudo deveria idealmente apresentar uma condutividade hidráulica classificada como 'alta' ou 'elevada' para assegurar uma recarga eficaz das nascentes, conforme indicado por Domenico e Schwartz (1998).

Tabela 4 – Classificação da condutividade hidráulica em meio saturado K_0 em cm h^{-1} .

CLASSIFICAÇÃO	K_0 (cm h^{-1})
Muito rápida	>25
Rápida	12.5 - 25
Moderadamente Rápida	6.25 - 12.5
Moderada	2 - 6.25
Moderadamente Lenta	0.5 - 2
Lenta	0.125 - 0.5
Muito Lenta	<0.125

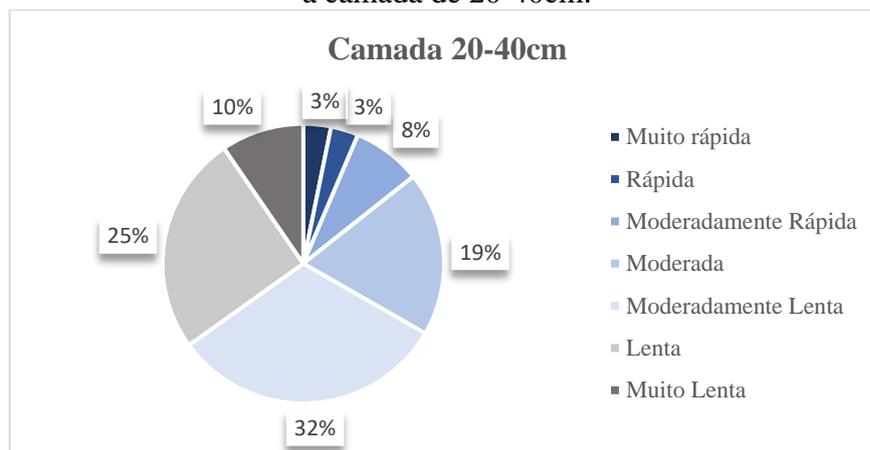
Fonte: Ferreira (1999) apud Freire *et al.* (2003).

Figura 21 – Gráfico de pizza de porcentagens dos dados de acordo a classificação do Ko para a camda de 0-20cm.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 22 – Gráfico de pizza de porcentagens dos dados de acordo a classificação do Ko para a camada de 20-40cm.



Fonte: Do autor (2023).

Uma observação importante é a diminuição da condutividade hidráulica da camada de 0-20cm para a camada de 20-40 cm, isto era de se esperar pois as propriedades de textura, estrutura e composição orgânica podem mudar a medida que pegamos diferentes camadas do solo, isto foi observado por Brady e Weil (2008) que relata que na camada de 0-20cm do solo encontra-se mais matéria orgânica e existe uma menor compactação do solo. Por outro lado, a camada de 20-40 cm pode ter condutividade hidráulica menor devido à compactação e menor conteúdo de matéria orgânica. Rawls *et al.* (2003), em seu estudo, destacam que a compactação do solo em camadas mais profundas reduz os espaços porosos, diminuindo assim a condutividade hidráulica. Além disso, processos como iluviação de argila podem ocorrer nesta camada, levando à formação de horizontes mais densos e menos permeáveis, conforme explicado por Schaetzl e Anderson (2005).

5.2 Vazão da nascente de estudo.

No decorrer deste estudo, identificou-se uma correlação direta entre a vazão da nascente e os padrões de precipitação ao longo de 2021, conforme evidenciado pelas Figuras 23 e 24. A Figura 23 mostra a vazão da nascente em metros cúbicos por hora para o período de 26 de abril a 1 de novembro de 2021, onde se observa uma variação da vazão no período de seca em Lavras. Nota-se uma redução marcante na vazão, seguida por um aumento gradual, padrão este que parece estar vinculado às flutuações sazonais de precipitação evidenciadas na Figura 24.

O impacto da precipitação na recarga e na vazão das nascentes é bem fundamentado na literatura por Jones e Mulholland (2000) e Bonell (2004), que reconhecem a infiltração da água pluvial como um mecanismo essencial para a recarga dos sistemas hídricos subterrâneos. Além disso, Winter *et al.* (1998) destacam a importância da precipitação como fonte primária para a recarga dos aquíferos, o que por sua vez sustenta a vazão das nascentes.

A ocupação agrícola de 30% da área de recarga estudada merece atenção especial. As práticas de cultivo influenciam a dinâmica hídrica, afetando tanto a recarga do aquífero quanto a vazão da nascente. A modificação da cobertura do solo e a compactação causada pelo uso de equipamentos agrícolas podem comprometer a infiltração de água, alterando a recarga dos aquíferos, como descrito por Ritter e Shirmohammadi (2001). Ademais, a conversão de vegetação natural em terras de cultivo tende a favorecer o escoamento superficial em detrimento da infiltração, impactando negativamente na recarga dos aquíferos, conforme relatado por Scanlon *et al.* (2007). Essas mudanças são cruciais para compreender as variações na vazão observadas e devem ser consideradas no manejo sustentável dos recursos hídricos.

Dessa forma, os 30% da área de recarga que estão cultivados podem estar contribuindo para alterações na dinâmica da vazão da nascente estudada. Compreender a extensão dessas influências é fundamental para o manejo sustentável das áreas de recarga e para assegurar a disponibilidade de recursos hídricos.

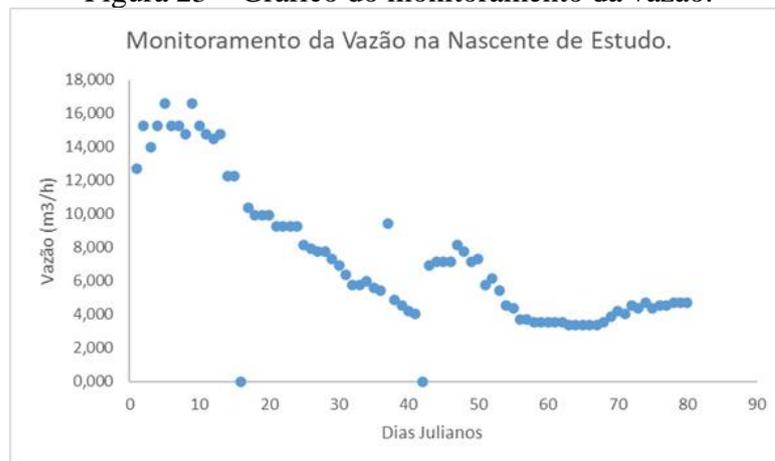
Além disso, é importante ressaltar que um pouco mais de 29% da área de recarga em estudo é ocupada por uso antrópico, especificamente pelo aeroporto da cidade de Lavras. Esta ocupação afeta diretamente a condutividade hidráulica do solo, a recarga da nascente e, por consequência, sua vazão. A impermeabilização do solo decorrente das construções e pavimentações associadas ao aeroporto limita a infiltração da água da chuva, redirecionando-a para o escoamento superficial, o que pode reduzir a recarga dos aquíferos subterrâneos (LERNER; HARRIS, 2009). Além disso, a alteração da paisagem natural pode levar a alterações na microclima da área, potencialmente afetando os padrões de precipitação locais e,

por sua vez, a disponibilidade de água para recarga da nascente (ARNOLD; GIBBONS, 1996).

Essa interrupção no processo natural de recarga pode resultar em uma vazão de nascente diminuída, especialmente durante períodos de estiagem, onde a dependência da recarga efetiva é maior (SOPHOCLEOUS, 2002). Estudos como o de Howard e Haynes (1993) demonstraram que o desenvolvimento urbano e a consequente impermeabilização do solo podem levar a uma redução de até 50% na recarga natural dos aquíferos.

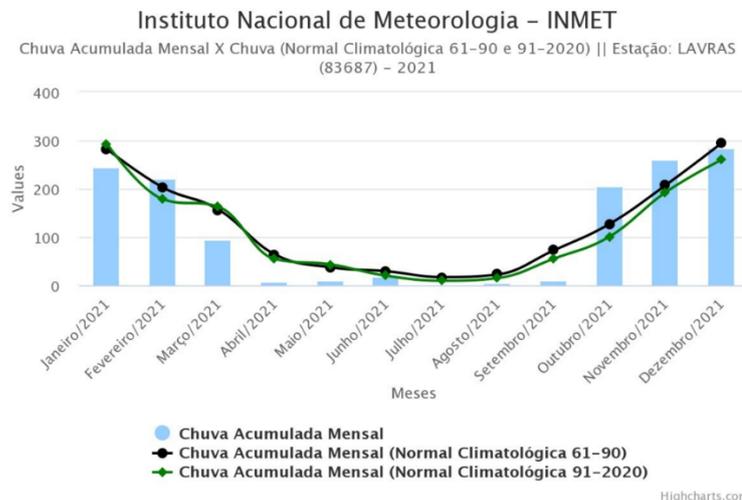
Por fim, é fundamental adotar medidas de gestão de recursos hídricos que minimizem o impacto do desenvolvimento antrópico nas áreas de recarga de aquíferos. Técnicas de pavimentação permeável, áreas verdes e sistemas de coleta de água de chuva são exemplos de práticas que podem ajudar a mitigar esses efeitos, promovendo a sustentabilidade hídrica e ambiental (DIETZ, 2007).

Figura 23 – Gráfico do monitoramento da vazão.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 24 – Gráfico de chuvas acumuladas nos meses de 2021.



Fonte: INMET (2023).

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e discutidos, conclui-se que a condutividade hidráulica saturada do solo (K_o), como o fluxo de água gerado na nascente são parâmetros fundamentais para entender a recarga hídrica da nascente.

Cabe ressaltar como mostrado no trabalho, que estas duas variáveis relacionam-se diretamente proporcionais, com maior K_o existe uma maior possibilidade de recarga do aquífero pelo aumento do tempo de infiltração da água do solo, que por consequência é a principal fonte de recarga da nascente.

Também notou-se muito relevante trazer outros parâmetros para a discussão já que estes se relacionam intrinsecamente com os dois principais dados coletados e calculados, tais como: a precipitação na cidade, a composição do solo na área de estudo que permite analisar porque o $K(o)$ está variando de acordo com o espaço analisado, o uso da área de estudo nos permite ver como está afetando a composição do solo, mas ainda nos permite ampliar o panorama estudado e que consequências trás para a condutividade hidráulica e a Vazão da nascente, nos permitindo propor soluções de manejo já citadas neste trabalho.

Por último, é importante ressaltar que o município de Lavras deve investir no em soluções ambientais e hidrológicas adequadas na zona usada por eles na área carga de recarga, assim como o proprietário deve não só fazer estes investimentos já citados acima, como ter boas práticas agrícolas, isto tudo com o intuito de não piorar o K_o que pelas suas porcentagens em ambas camadas do solo em estudo a maioria dos dados é classificado como moderado ou inferior, mas também para reverter isto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de Gestão Hídrica**. Brasília: ANA, 2017.
- ALLEN, R. G. *et al.* **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO, 2014.
- ARNOLD, J. G.; GIBBONS, C. J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. **Journal of the American Planning Association**, [s.l.], v. 62, n. 2, p. 243-258, 1996.
- AZEVEDO, J. M. DE; ALVAREZ, G.A. **Manual de Hidráulica**. 6. ed. Brasília: Instituto Nacional do Livro, 1973.
- BAIRD, A. J. *et al.* Techniques for measuring the flow characteristics of small springs and seeps. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 19, n. 8, p. 1615-1628, 2005.
- BARROS, A. de; GUIMARÃES, V.; SANTANA, W. S. C. Water quality index application in two stretches (urban and rural) of Guanandy stream basin, Aquidauana–MS. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 54, p. 630-649, 2018.
- BATES, B. C.; KUNDZEWICZ, Z. W.; WU, S.; PALUTIKOF, J. P. **Climate change and water**. Geneva: WMO; UNEP, 2008.
- CAMINHA, A. R. **Distribuição espacial dos atributos físico-hídricos do solo em uma área de recarga de nascente**. 2022. Dissertação (Mestrado em Hidrologia) – Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022. (não publicado).
- DIETZ, M. E. Low impact development practices: a review of current research and recommendations for future directions. **Water, Air and Soil Pollution**, [s.l.], v. 186, n. 1-4, p. 351-363, 2007.
- DRH UFLA. **Laboratório de Física do Solo**. 2021. Disponível em: <https://drh.ufla.br/laboratorios-areasexperimentais-drh/laboratorios-areasexperimentais-do-drh/77-laboratorio-de-fisica-do-solo>. Acesso em: 24 nov. 2023.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- FELIPPE, M.F., MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Espacialização e classificação de topos como zonas preferenciais de recarga natural de aquíferos: o caso de Belo Horizonte – MG. **Geografias Artigos científicos**. Belo Horizonte, 2009.
- FOLEY, J. A. *et al.* Global consequences of land use. **Science**, [s.l.], v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice Hall, 1979.
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP. Integrated Water Resources Management. **TAC Background Papers**, n. 4, 2000.

HOWARD, K. W. F.; HAYNES, J. Groundwater recharge through urban parklands. **Hydrogeological Processes**, [s.l.], v. 7, p. 337-348, 1993.

INMET. **Prognóstico de primavera**. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

JENKINS, A.; VAHRATIAN, T.; ANDREWS, W. T. **Hydrological modeling**: techniques, applications and performance. New York: Nova Science Publishers, 2013.

JIMÉNEZ CISNEROS, B. E. *et al.* Freshwater Resources. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (org.). **Climate Change 2014**: impacts, adaptation and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

JONES, J. B.; MULHOLLAND, P. J. **Streams and ground waters**. Massachusetts: Academic Press, 2000.

LERNER, D. N.; HARRIS, B. The relationship between land use and groundwater resources and quality. **Land Use Policy**, [s.l.], v. 26, p. 265-S273, 2009.

MORAES, L. F.; CABONGO, O. A. Dos S.; POLETO, C. Avaliação da rede de monitoramento de uma bacia hidrográfica do Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 74-79, 2018.

OLIVEIRA, A. S. *et al.* Stream flow regime of springs in the Mantiqueira Mountain range region, Minas Gerais State. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 343–349, 2014.

PAHL-WOSTL, C. The implications of complexity for integrated resources management. **Environmental Modelling and Software**, [s.l.], v. 22, n. 5, p. 561-569, 2007.

POSTEL, S. L.; RICHTER, B. D. **Rivers for life**: managing water for people and nature. Washington: Island Press, 2003.

PRETTY, J. *et al.* Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. **Environmental Science and Technology**, [s.l.], v. 40, n. 4, p. 1114-1119, 2006.

RAWLS, W. J. *et al.* Soil water characteristics. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 188-199, 2003.

RITTER, A.; SHIRMOHAMMADI, A. **Agricultural nonpoint source pollution**: watershed management and hydrology. Boca Raton: CRC Press, 2001.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018b.

SANTOS, K. S. *et al.* Spatial variability of physical attributes of soil in alluvial valley of semiarid region of Pernambuco State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 16, n. 8, p. 828–835, 2012.

SCANLON, B. R. *et al.* Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 20, n. 15, p. 3335-3370, 2007.

SIEBERT, S. *et al.* Groundwater use for irrigation: a global inventory. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s.l.], v. 14, n. 10, p. 1863-1880, 2010.

SOPHOCLEOUS, M. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. **Hydrogeology Journal**, [s.l.], v. 10, p. 52-67, 2002.

TODD, D. K.; MAYS, L. W. **Groundwater hydrology**. 3. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

UNESCO. **The United Nations World Water Development Report: water in a changing world**. London: UNESCO; Paris and Earthscan, 2009.

WINTER, T. C. *et al.* **Groundwater and surface water a single resource**: U.S. Geological Survey Circular 1139. Denver: USGS, 1998.

LIMA, G. C. *et al.* Estimativa do potencial de recarga na sub-bacia das Posses, Extrema (MG), em função dos atributos fisiográficos, pedológicos e topográficos. **Geociências**, v. 32, n. 1, p.51–62, 2013.

REICHERT, J. M. *et al.* Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in Pampa biome. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237–238, p. 282–295, 2017.

BONELL, M. *et al.* The impact of forest use and reforestation on soil hydraulic conductivity in the Western Ghats of India: Implications for surface and sub-surface hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1–2, p. 47–62, 2010.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

DUTAL, H.; REIS, M. Determining the effects of land use on soil erodibility in the Mediterranean highland regions of Turkey: a case study of the Korsulu stream watershed. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 3, 2020.

BONELL, M. *et al.* The impact of forest use and reforestation on soil hydraulic conductivity in the Western Ghats of India: Implications for surface and sub-surface hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1–2, p. 47–62, 2010.

HÜMANN, M. *et al.* Identification of runoff processes - The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods. **Journal of Hydrology**, v. 409, n. 3–4, p. 637–649, 2011.

ROA-GARCÍA, M. C. *et al.* The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes. **Water Resources Research**, v. 47, n. W05510, p. 1–12, 2011.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 14^a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008.

SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. **Soils: Genesis and Geomorphology**. Cambridge:

Cambridge University Press, 2005.