

COORDENADORES

ÁLVARO RODRIGUES DOS SANTOS
JAMILE IARA SEKULA

MANUAL TÉCNICO

PARA IDENTIFICAÇÃO DE NASCENTES

2ª EDIÇÃO

*Gestão dos
recursos hídricos
em sub-bacias
hidrográficas como
medida de preservação
e proteção dos aquíferos
subterrâneos*



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL



Coordenação técnica:

Geol. Álvaro Rodrigues dos Santos

Eng. Geol^a. Jamile Iara Sekula

Equipe técnica:

Geol. Álvaro Rodrigues dos Santos

Geol. Carlos Castro Alves

Geol. Gustavo Simão

Eng. Geol^a Jamile Iara Sekula

Geol. José Eduardo Zaine

Geol. José Luiz Albuquerque

Geol. Luís Bacellar

Geog^a. Michele Flores

Geol. Sérgio Baggio



MANUAL TÉCNICO

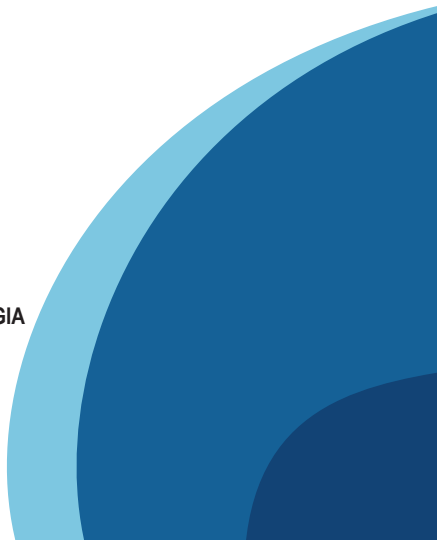
Para identificação de nascentes

*Gestão dos recursos hídricos em sub-bacias
hidrográficas como medida de preservação e
proteção dos aquíferos subterrâneos*

2ª edição



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL



Produção editorial:

Assistência editorial: *Luciana Marques e Denise Amaral*

Projeto gráfico/Diagramação/Capa: *Manoela Dourado*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Manual técnico para identificação de nascentes : gestão dos recursos hídricos em sub-bacias hidrográficas como medida de preservação e proteção dos aquíferos subterrâneos / coordenação técnica Álvaro Rodrigues dos Santos, Jamile Iara Sekula. -- 2. ed. -- São Paulo : ABGE, 2026.

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-88460-64-1

1. Aquíferos 2. Bacias hidrográficas - Aspectos ambientais 3. Desenvolvimento de recursos hídricos - Aspectos ambientais 4. Gestão ambiental 5. Hidrogeologia 6. Nascentes I. Santos, Álvaro Rodrigues dos. II. Sekula, Jamile Iara.

26-342324.0

CDD-333.91

Índices para catálogo sistemático:

1. Nascentes : Recursos hídricos : Gestão 333.91

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

A ABGE, os autores, integrantes de equipe, revisores e o editor não possuem responsabilidade de qualquer natureza por eventuais danos ou perdas a pessoas ou bens originados do uso desta publicação.

Todos os direitos reservados à ABGE



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

DIRETORIA ABGE GESTÃO 2025/2026

PRESIDENTE: Erik Wunder

VICE-PRESIDENTE: Luiz Alberto Minicucci

DIRETORA SECRETÁRIA: Bruna M. Cruz Fernandes

DIRETOR FINANCEIRO: Delfino Luiz Gouveia Gambetti

DIRETORA DE EVENTOS: Ana Elisa Silva de Abreu

DIRETOR DE COMUNICAÇÃO: Luiz Antonio Pereira de Souza

Conselho Deliberativo: Ana Elisa Silva de Abreu, Álvaro Rodrigues dos Santos, Bruna M. Cruz Fernandes, Camila Milli, Delfino Luiz Gouveia Gambetti, Erik Wunder, Flávio Rogério da Silva, João Antônio Curtis, João Luiz Armelin, José Luis Ridente, José Luiz Albuquerque, Lilian Pimentel, Luiz Alberto Minicucci, Luiz Antonio Pereira de Souza, Malena D'Elia Otero, Márcio Leão, Maria Heloisa B. Oliveira Frasca, Romildo Dias Moreira.

Conselho Consultivo: Fabio Soares Magalhães (Presidente), Adalberto Aurélio Azevedo (in memoriam), Carlos Manoel Nieble (in memoriam), Delfino Luiz Gouveia Gambetti, Fernando Facciola Kertzman, Fernão Paes de Barros (in memoriam), Giacomo Ré, Guido Guidicini, Jayme de Oliveira Campos, João Jerônimo Monticelli, Kenzo Hori, Luiz Ferreira Vaz (in memoriam), Luiz Francisco Saragiotto, Maria Heloísa Barros de Oliveira Frasca, Murillo Dondici Ruiz (in memoriam), Nivaldo José Chiossi, Tarcísio Barreto Celestino e Wilson Shoji Yiomasa.

NÚCLEO RIO DE JANEIRO / ESPÍRITO SANTO

Alano Burity dos Santos, Ana Caroline Duarte Dutra, Ana Paula Cezario da Silva, Giovanna Tristão, Isabella Robert Rodrigues, Jéssica Tiné Pôssa, Raquel Batista M. da Fonseca e Rodrigo Ferreira Franca.

NÚCLEO MINAS GERAIS

Alberto Ferreira do Amaral Junior, Ângelo Almeida Zenóbio, Denise Silva, Diego Moreira da Silva, Ellen Delgado Fernandes, Frederico Nascimento Mendes Bezerra, Giovana Parizzi, Michele Aparecida Flores Costa, Walter dos Reis Junior e Yan Lucas de O. P. Santos.

NÚCLEO SUL

Andréa Nummer, Cezar Augusto B. Bastos, Débora Lamberty, Karina R. Camargo, Malva Andrea Mancuso, Marcos A. Musso Laespiga e Nicole Borchardt.

NÚCLEO CENTRO OESTE

Bruno Presley, Caiubi Emanuel Souza Kuhn, Ingrid Ferreira Lima, Patrícia de Araújo Romão e Ricardo Vilhena.

NÚCLEO NORTE

Claudio Fabian, Dianne D. F. Fonseca, Elton Rodrigo de Andretta, Iris Celeste N. Bandeira, José Sidney Barros e Sheila G. Teixeira.

SECRETARIA ABGE

Gerente Executiva: Luciana Marques

Assistente Editorial: Denise Amaral

Assistente Administrativo: Kauany Santos

Assistente Administrativo: Vanessa Oliveira

Auxiliar Administrativo: Emily Mendes

Auxiliar De Comunicação: Gabrielle Lima

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - IPT (Prédio 59) - Cidade Universitária - São Paulo - SP

Fone: (11) 98687-6560

E-mail: abge@abge.org.br | Site: abge.org.br



GRUPO construcap

Há mais de 80 anos, o Grupo Construcap investe na infraestrutura do Brasil.

É dessa base, orientada ao progresso constante, ao compromisso inabalável com os clientes e à realização de projetos sustentáveis, que o grupo cresce.

Cresce em ativos que inovam na saúde, que são referência em estádios e arenas multiuso e que fazem da gestão de parques uma referência mundial. Negócios diferentes, unidos pela mesma forma de executar, gerir e pensar no longo prazo.

A CONSTRUCAP

Uma das principais construtoras do Brasil, reconhecida como referência em engenharia, construção civil e montagem industrial. Atuando nos setores público e privado, destaca-se pelo compromisso com o meio ambiente, qualidade, pontualidade e segurança em todas as suas entregas.



URBIA

Criada para valorizar, cuidar e preservar o patrimônio histórico e ambiental, a Urbia, é responsável pela gestão de parques urbanos e naturais, como o Parque Ibirapuera, o Horto Florestal e a Cantareira, em São Paulo, os Parques Nacionais do Iguaçu, Aparados da Serra e da Serra Geral, na região Sul do país, além do Parque Nacional de Jericoacoara, no Ceará.



INOVA SAÚDE

Atua por meio de parcerias público-privadas na gestão de serviços hospitalares, com foco em tecnologia, eficiência operacional, atendimento humanizado e qualidade.

A empresa possui atuação em três hospitais públicos no Estado de São Paulo e no Mato Grosso do Sul, onde é responsável pelos serviços não assistenciais do Hospital Regional de Mato Grosso do Sul (HRMS), o maior hospital público do estado.



ELOVIAS

Responsável pela concessão da BR-040, atua na modernização e na sustentabilidade da rodovia que conecta um importante eixo de desenvolvimento econômico entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais.



SERRA DOURADA

O Complexo Serra Dourada, em Goiânia, tem como propósito consolidar-se como um dos principais polos de esportes e entretenimento do país, a partir da modernização e requalificação promovidas pela Construcap.



MINAS ARENA (MINEIRÃO)

Resultado de uma parceria público-privada com o Governo de Minas Gerais, o Mineirão tornou-se uma das maiores plataformas de entretenimento do país, reunindo grandes jogos e eventos que marcam gerações e conectam pessoas às suas paixões.



AMBICAP

Empresa do grupo criada para oferecer soluções ambientais, garantindo a preservação do meio ambiente por meio serviços de facilities, como gestão de limpeza, manutenção, zeladoria e manejo de áreas verdes.

AGRADECIMENTOS

A Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE agradece, institucionalmente, a todos os autores e profissionais que contribuíram técnica e cientificamente para a elaboração da 2ª edição do *Manual Técnico para Identificação de Nascentes*. Esta obra reafirma seu propósito de oferecer diretrizes metodológicas consistentes e uniformes para a atuação dos geocientistas, em um tema de elevada relevância ambiental, técnica e social, especialmente no contexto da preservação das nascentes e da proteção dos aquíferos subterrâneos.

Registramos nosso especial reconhecimento à coordenação técnica de Álvaro Rodrigues dos Santos e Jamile Iara Sekula, que conduziram os trabalhos desta edição com dedicação, rigor técnico e espírito colaborativo, assegurando a atualização e o aprofundamento dos conteúdos, bem como a incorporação de textos fundamentais voltados à gestão hídrica em sub-bacias hidrográficas.

Destacamos, ainda, a valiosa atuação da equipe técnica e dos autores, que demonstraram elevado nível de conhecimento e compromisso com a qualidade técnica da publicação, composta por:

Álvaro Rodrigues dos Santos
Carlos Frederico de Castro Alves
Gustavo Simão
Jamile Iara Sekula
José Eduardo Zaine
José Luiz Albuquerque Filho
Luis de Almeida Prado Bacellar
Michele Flores Pereira
Sérgio Benjamin Baggio

A todos os envolvidos, a ABGE expressa seu sincero agradecimento pela confiança, parceria e contribuição para mais esta realização.

PREFÁCIO ABGE

A temática abordada neste livro, embora essencial, ainda é pouco explorada na bibliografia técnica nacional. O expressivo interesse e o rápido esgotamento da 1ª edição evidenciaram a relevância do tema e a necessidade de aprofundamento e atualização do conteúdo apresentado. Esta 2ª edição reafirma a importância da obra ao oferecer uma contribuição ainda mais abrangente e consistente, ampliando o debate sobre a identificação de nascentes e a gestão dos recursos hídricos em sub-bacias hidrográficas.

A relevância das nascentes, dos aquíferos subterrâneos e das áreas de preservação permanente é tratada com maior profundidade nesta 2ª edição, que incorpora textos complementares fundamentais para a compreensão da dinâmica hidrológica e hidrogeológica das bacias, bem como para a adoção de práticas consistentes de gestão hídrica. O conteúdo apresentado ganha ainda mais credibilidade pela trajetória profissional dos autores, amplamente reconhecida no meio técnico.

A ABGE tem a satisfação de entregar esta 2ª edição aos seus associados e associadas, às instituições de ensino e aos órgãos de gestão ambiental, reiterando seu compromisso

com a qualificação técnica, a disseminação do conhecimento científico e a valorização das geociências no enfrentamento dos desafios ambientais contemporâneos.

Agradecemos aos autores pelo excelente trabalho desenvolvido e pela dedicação na atualização e ampliação desta obra. Agradecemos, com carinho e reconhecimento, a dedicação de nossas colaboradoras Luciana Marques, Denise Amaral, Emilly Mendes, Gabrielle Lima, Kauany Santos e Vanessa Oliveira, fundamentais para a realização desta publicação.

Fernando Facciolla Kertzman

Conselho Consultivo – ABGE

Erik Wunder

Presidente do Conselho Deliberativo – ABGE

APRESENTAÇÃO 2ª EDIÇÃO

Diante do sucesso alcançado pela 1ª edição do **MANUAL TÉCNICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE NASCENTES**, lançada em outubro de 2025 e já plenamente esgotada, o que confirma o grande interesse e a alta demanda por informações por parte do meio técnico nacional sobre o tema abordado; os autores e a ABGE decidiram preparar e o lançar esta segunda edição.

Aproveitou-se, inclusive, a oportunidade para além de manter o escopo original do Manual, incluir nesta 2ª edição alguns textos fundamentais que abordam questões estruturais relacionadas ao preocupante cenário de degradação ambiental e hidrogeológica dos aquíferos subterrâneos observado em todo o território nacional. **Estes textos reforçam a importância de adoção e implementação de Planos de Gestão Hídrica em Sub-bacias Hidrográficas.**

Com esse objetivo foram incluídos nessa 2ª edição os seguintes textos complementares:

1 - Conservação de Nascentes e Córregos - Hidrologia Aplicada a Pequenas Bacias Hidrográficas (Osvaldo Ferreira Valente)

2 - Dinâmica Hidrogeológica de Bacias Hidrográficas

(José Luiz Albuquerque Filho)

3 - Gestão hídrica - uma visão da gestão dos recursos hídricos subterrâneos e sua interface com as nascentes

(Valter Galdiano Gonçalves)

4 - Riscos geotécnicos associados ao rebaixamento do lençol freático impõem a necessidade de adoção de rígidos critérios de gestão hídrica na exploração da água subterrânea (Álvaro Rodrigues dos Santos e Luis de Almeida Prado Bacellar)

Os autores

OS AUTORES



Álvaro Rodrigues dos Santos – geólogo, Diretor Técnico da ARS Geologia Ltda, SP



Carlos Frederico de Castro Alves – geólogo, Diretor da Regea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais Ltda, SP



Gustavo Simão – geólogo, Diretor da SimGeol Soluções em Geologia e Meio Ambiente Ltda, Maracajá, SC



Jamile Iara Sekula – engenheira geóloga, Diretora da Sek Geologia e Engenharia Ltda, SC



José Eduardo Zaine – geólogo, Professor Associado do Curso de Geologia da Unesp, Rio Claro, SP



José Luiz Albuquerque Filho – geólogo, Pesquisador, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, SP



Luis de Almeida Prado Bacellar – geólogo, Professor da Universidade Federal de Ouro Preto, MG



Michele Flores Pereira – geógrafa, Coordenadora de Projetos da Regea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais Ltda, SP



Sérgio Benjamin Baggio – geólogo, Diretor da H2GEO Prestação de serviços de geologia Ltda – Caçador – SC

SUMÁRIO

Apresentação	19
Introdução	21
1. Proteção de nascentes e gestão hídrica da bacia hidrográfica (Seria a delimitação das respectivas apps medida suficiente para a proteção das nascentes?)	25
2. Conceitos básicos adotados pelo manual	30
3. Tipologia de nascentes e olhos d'água	34
3.1 Quanto à posição no relevo	35
3.2 Quanto ao tempo de extravasão:	38
3.3 Quanto ao posicionamento:	40
3.4 Quanto à natureza	41
3.5 Quanto à forma	45
4. Métodos e técnicas para identificação de nascentes e olhos d'água no campo	46
4.1 Pesquisa em documentos cartográficos. Alguns cuidados.	49
▪ Legendas utilizadas e sua interpretação	49
▪ Sobre perenidade ou intermitência de nascentes e cursos d'água	53
▪ Eventual deficiência no procedimento de reambulação	53
4.2 Pesquisa em fotos aéreas antigas, histórico de imagens de satélite e levantamentos cartográficos antigos	55
4.3 Identificação de feições hidromorfológicas de interesse na área de estudo	59

4.4 Levantamento de informações sobre existência de eventuais nascentes e olhos d'água na área em estudo via entrevistas com pessoal local	61
4.5 Inspeção de campo	62
▪ Condições climáticas ideais para a inspeção de campo	62
▪ Referenciamento dos pontos e feições investigadas.....	63
▪ Uso expedito de sondagens a trado rasas.....	63
▪ Instalação de medidores simples de nível d'água nos furos executados.....	63
▪ Modelo tabela para registro de medidas do nível d'água.....	65
▪ Realização de vistorias de campo complementares. Uso de drones.....	66
▪ Distinção entre nascentes e olhos d'água de caráter perene, intermitente e efêmero	66
▪ Caracterização de nascentes e olhos d'água associados a lençóis suspensos.....	67
▪ Distinção entre nascentes e olhos d'água naturais e de origem antrópica.....	71
▪ Sobre ravinas e bossorocas de origem antrópica	72
▪ Sobre nascentes aterradas	73
▪ Sobre alguns tipos de afloramentos de água erroneamente descritos como nascentes	74
▪ O caso de surgências d'água em saias de aterro ou de pilhas de rejeitos	77
▪ O caso de afloramentos de água associados a vazamentos de redes de água ou esgoto	78
5. Referências bibliográficas.....	80
6. Sobre a importância da adoção de programas de gestão hídrica aplicados a sub-bacias hidrográficas – textos técnicos	86

6.1 Conservação de nascentes e córregos – hidrologia aplicada a pequenas bacias hidrográficas	87
6.1.1 Introdução	87
6.1.2 Ecossistema hidrológico de produção de água.....	91
6.1.3 Esmiuchando o ecossistema hidrológico.....	94
6.1.4 Chuvas.....	95
6.1.5 Meta hidrológica.....	120
6.1.6 Projeto de revitalização	124
6.1.7 Observações finais	136
6.1.8 Bibliografia.....	139
6.1.9 Ilustrações	142
6.2 Dinâmica hidrogeológica de bacias hidrográficas.....	144
6.3 Gestão hídrica – uma visão da gestão dos recursos hídricos subterrâneos e sua interface com as nascentes.....	147
▪ Um bom desafio, expor e refletir sobre este assunto. ...	148
▪ Interpretação	148
▪ Revitalização de fontes e nascentes	156
6.4 Riscos geotécnicos associados a alterações do nível freático impõem a necessidade de adoção de rígidos critérios de gestão no manejo e exploração da água subterrânea.....	158
6.4.1 Introdução	158
6.4.2 Riscos associados ao rebaixamento forçado do nível freático em áreas urbanas	160
6.4.3 Riscos advindos do rebaixamento do nível freático em regiões com presença de calcários cársticos.....	165
6.4.4 Riscos associados ao rebaixamento forçado da superfície freática em áreas urbanas litorâneas	176
6.4.5 Riscos associados à elevação do nível freático por recarga artificial em áreas urbanas	176
Referências.....	179



**A Maubertec
Tecnologia em Engenharia Ltda.**

em sintonia com os princípios da Sustentabilidade Ambiental, compartilha das preocupações e cuidados pela preservação e proteção dos aquíferos subterrâneos, riqueza natural estratégica, e se congratula com os autores deste Manual Técnico e com a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental.



maubertec
TECNOLOGIA

APRESENTAÇÃO

Por decorrência das determinações do Código Florestal para proteção de nascentes, o trabalho de sua precisa identificação em campo tem se colocado como uma das mais comuns e sensíveis atividades profissionais geocientistas brasileiros. No entanto, essa atividade tem encontrado extrema dificuldade para atingir seus objetivos, uma vez que essa particular temática hidrogeológica não tem sido contemplada devidamente nos cursos acadêmicos de formação de nossos geocientistas.

Tal deficiência de formação acadêmica criou um cenário profissional controverso devido à ausência de conceitos e métodos de trabalho comuns e universalmente aceitos, o que tem gerado seguidos conflitos técnicos e jurídicos, especialmente entre órgãos de fiscalização ambiental, no próprio âmbito interno desses órgãos, e empreendedores privados e públicos que naturalmente buscam a máxima ocupação espacial de seus terrenos.

Atenta a essas questões, e em sintonia com a grande demanda do meio profissional afim por orientações capazes de estabelecer procedimentos técnicos uniformizadores e norteadores de identificação de nascentes, a **ABGE**

- Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental criou o Grupo de Trabalho NASCENTES composto por reconhecidos profissionais atuantes no tema em questão, aos quais agradecemos e cumprimentamos pelo esforço aplicado e pelo excelente resultado alcançado, e que teve como sua responsabilidade a elaboração do presente MANUAL TÉCNICO PARA IDENTIFICAÇÃO DE NASCENTES, cuja 2ª edição colocamos agora à disposição de todo o meio técnico-científico brasileiro, todos os empreendedores privados e públicos e todas as instituições públicas que tem em sua competência a proteção de nascentes no território nacional.

INTRODUÇÃO

Com a formulação e aplicação da legislação ambiental voltada à proteção de mananciais, em especial o Código Florestal, surgiu, de forma recorrente a necessidade de se definir teoricamente o que é uma nascente, sua correta identificação, localização e interpretação em campo. Essa demanda passou a fazer parte do cotidiano de profissionais como geólogos, hidrogeólogos, geógrafos, hidrólogos, agrônomos, engenheiros florestais, engenheiros ambientais... Observou-se, no entanto, que tanto a prática profissional quanto a formação acadêmica destes profissionais nem sempre ofereciam os conhecimentos necessários para atender plenamente a essa nova responsabilidade. Essa lacuna tem gerado controvérsias técnicas e conflitos jurídicos significativos.

Diante deste cenário, impõem-se aos profissionais da área o desafio técnico e prático de, ao se depararem com a presença de água livre na superfície de um terreno, serem capazes de diagnosticar corretamente se tal ocorrência corresponde de fato a uma nascente, ou seja, uma manifestação natural da água subterrânea (proveniente de aquífero livre ou confinado) em superfície. Além disso, exige-se que sejam capazes de caracterizá-la considerando sua variada tipologia.

Reconhece-se que essa não é uma tarefa simples, ela demanda conhecimentos teóricos e práticos sobre o tema além de uma abordagem interdisciplinar.

Esse é, justamente, o objetivo principal deste Manual, oferecer ao meio técnico especializado uma base sólida, construída sobre conceitos científicos e metodológicos consagrados nas geociências, que permita estabelecer procedimentos técnicos uniformes e amplamente aceitos para a correta identificação de nascentes.

Os conceitos e métodos aqui apresentados são aplicáveis a todos os domínios fisiográficos do país: Amazônia, Semi-árido/Caatingas, Mar de Morros e Regiões serranas úmidas do Sul-sudeste, Pradarias gaúchas, Chapadões/Cerrados, Depressões úmidas/Pantanal...

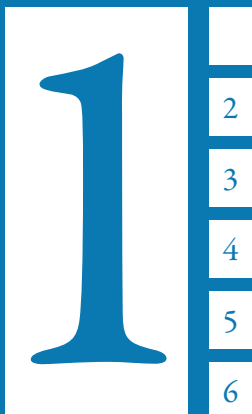
Aos profissionais que atuam em regiões com características fisiográficas específicas caberá, se necessário, a atribuição técnica de proceder eventuais interpretações e adequações locais no que concerne ao conteúdo conceitual e metodológico proposto neste Manual.

Notas:

- Sendo essa a 2ª edição do presente Manual, solicitamos que aqueles que tiverem eventuais observações ou sugestões a fazer ao texto que as enviem à ABGE

(dirigidas ao GT Nascentes) de forma que possam ser consideradas na composição de uma futura 3ª edição;

- No sentido de evitar qualquer tipo de constrangimento para empresas e profissionais, optou-se por não referenciar a autoria e a localização de algumas imagens e ilustrações utilizadas no Manual. Pede-se assim a compreensão dos autores das imagens utilizadas e das empresas a elas associadas.



PROTEÇÃO DE NASCENTES E GESTÃO HÍDRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA



(SERIA A DELIMITAÇÃO DAS RESPECTIVAS APPs MEDIDA SUFICIENTE PARA A PROTEÇÃO DAS NASCENTES?)

Cumprindo uma função essencial no ciclo hidrológico, as nascentes contribuem diretamente para a alimentação da rede hidrográfica superficial. Além disso, exercem historicamente o papel de abastecer tanto os ecossistemas quanto as populações humanas em sua área de influência, o que justifica plenamente todos os esforços direcionados à sua preservação. No entanto, devido à falta de uma observação mais acurada dos fundamentos hidrogeológicos que envolvem a questão, tem se tornado comum, especialmente no âmbito do movimento ambientalista e do setor empresarial, o equívoco de considerar que apenas a delimitação da APP de proteção direta das nascentes e de suas respectivas matas ciliares seja suficiente para garantir sua integridade, bem como a ampla preservação dos recursos hídricos. Essa visão limitada, infelizmente reforçada pela abordagem parcial que o Código Florestal adota sobre o tema, acaba por negligenciar completamente o papel essencial desempenhado pelas

vertentes de uma bacia hidrográfica, ou seja, as áreas que se estendem desde os cursos d'água até os divisores de água, que delimitam a bacia hidrográfica ou a bacia hidrogeológica. Essas vertentes compõem a área de recarga responsável pela infiltração da água da chuva, alimentando os aquíferos subterrâneos que sustentam as nascentes.

O que acontece com uma nascente e com o curso de água dela originado é consequência direta do que acontece nas vertentes da bacia hidrográfica ou da bacia hidrogeológica em que ela está inserida. Desmatamentos desnecessários e incontrolados, aliados à adoção de práticas agrícolas tecnicamente equivocadas e descuidadas, são fatores que comprometem a capacidade de infiltração das chuvas nessas áreas. Isso resulta em um aumento do escoamento superficial e no consequente rebaixamento do lençol freático ou perda de carga de aquíferos confinados. Com a redução da recarga e o rebaixamento do nível freático, o aquífero subterrâneo perde sua capacidade de alimentar as nascentes e cursos d'água, prejudicando gravemente a sua função essencial de manutenção do fluxo hídrico ao longo de todo o ano hidrológico.

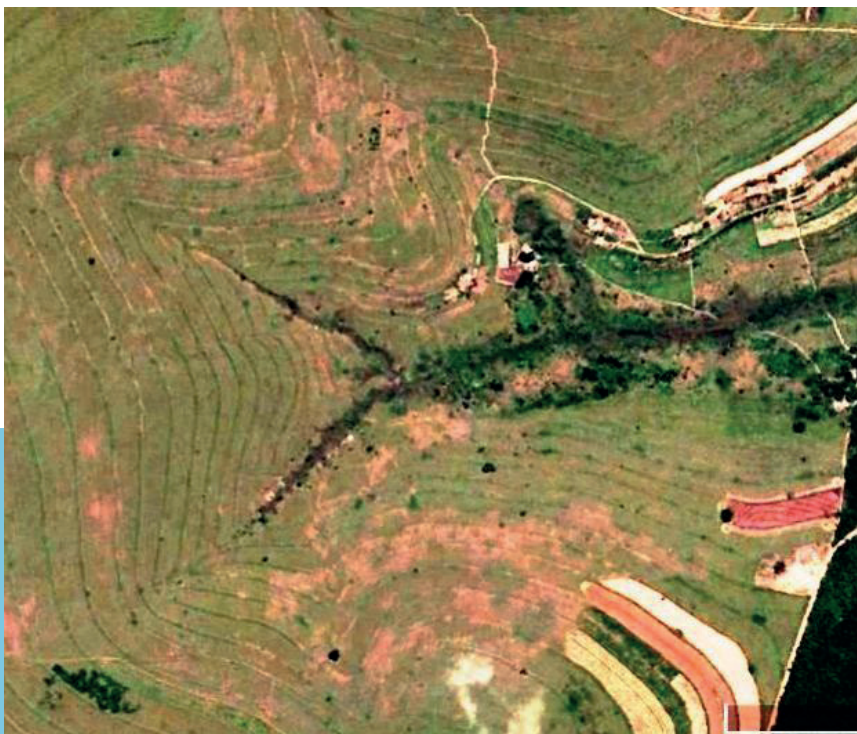
De outra parte, com o aumento do escoamento superficial, há a intensificação dos processos erosivos e de assoreamento, além do empobrecimento dos solos devido à lixiviação de nutrientes. Ao mesmo tempo, em situações de alta pluviosidade, um grande volume de água de escoamento superficial chega

de forma mais rápida ao curso d'água (nível hidrológico de base), aumentando bruscamente seu nível e sua vazão, fato que intensifica a erosão das margens, danifica a vegetação ciliar e contribui para a ocorrência de inundações nas regiões situadas a jusante. Ou seja, os maus-tratos impostos às vertentes degradam as variáveis ambientais e o potencial econômico de toda uma bacia hidrográfica.

O mesmo raciocínio hídrico vale tanto para a área rural (pastos) como para a área urbanizada (impermeabilizada). Sim, as matas ciliares têm funções fundamentais, o que justifica todo o esforço em sua manutenção e recuperação, mas os impactos observados em um curso d'água refletem diretamente o que ocorre nas amplas vertentes de sua sub-bacia hidrográfica. É nessas vertentes, utilizadas para agricultura e pecuária na zona rural ou impermeabilizadas nas zonas urbanas, que devem ser concentradas as ações voltadas à recuperação de sua capacidade de retenção e infiltração de águas de chuva, dentro de uma abordagem mais abrangente de gestão eficiente dos recursos hídricos.

Ou seja, uma política de proteção de nascentes, além da proteção amparada legalmente por sua APP, requer um amplo programa de recuperação da capacidade de infiltração de águas de chuva em toda a bacia de contribuição. No meio rural, por meio de técnicas adequadas de manejo agrícola e hidrológico, como terraceamentos, plantio direto, reservatórios de infiltração, manutenção de áreas ou corredores

florestados, etc.; no meio urbano por meio da máxima recuperação possível da capacidade de retenção e infiltração das águas de chuva, com a disseminação de bosques florestados, instalação de dispositivos domésticos e empresariais de acumulação e infiltração de águas de chuva, calçadas drenantes, jardins de chuva, pátios e estacionamentos permeáveis, valetas, trincheiras e poços drenantes, entre outras soluções.



Nascentes e curso d'água em processo de extinção em sub-bacia hidrográfica com vertentes degradadas (interior paulista)



CONCEITOS BÁSICOS ADOTADOS PELO MANUAL



Bacia hidrográfica - é uma unidade fisiográfica de relevo delimitada por divisores de água (linha de cumeeira) na qual todas as águas superficiais e subsuperficiais convergem para um curso d'água principal, que deságua em seu exutório - ponto topograficamente mais baixo da bacia.

Bacia hidrogeológica - é uma unidade subsuperficial constituída por um ou mais aquíferos, delimitada por divisores de água subterrânea, em que as águas subterrâneas convergem para um único exutório. Em regiões com condições geológicas e fisiográficas mais uniformes os limites da bacia hidrográfica normalmente coincidem com os da bacia hidrogeológica

Água subterrânea - é aquela que ocorre em unidades geológicas saturadas em água, preenchendo completamente todos os poros, fraturas ou cavidades dessas unidades.

Aquífero - corresponde a uma unidade geológica permeável com grande capacidade de armazenamento e circulação de água subterrânea que, sob determinadas condições naturais ou técnicas, permite sua exploração por cacimbas ou poços tubulares. Podem ser livres, semiconfinados e confinados. O aquífero confinado é um reservatório completamente saturado, limitado no topo e na base por camadas com baixa ou nenhuma permeabilidade.

Lençol freático - corresponde à superfície submetida à pressão atmosférica que define a interface entre a zona

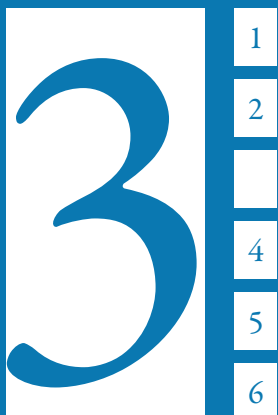
aerada e a zona de saturação (aquífero livre), abaixo da qual a água subterrânea preenche integralmente os espaços porosos e permeáveis das rochas e/ou solos.

Lençol suspenso, lençol empoleirado ou aquífero suspenso – caso particular de aquífero livre ou freático que corresponde a um acúmulo subterrâneo de águas de infiltração que, ao atravessarem a zona de aeração e antes de atingirem a zona de saturação, encontram obstáculos de muito baixa permeabilidade ou mesmo impermeáveis, como camadas ou lentes argilosas, crostas ferruginosas, ou estruturas geológicas específicas. Nessas condições, e dependendo das feições topográficas, as águas de um lençol suspenso podem aflorar à superfície antes de atingir o lençol freático propriamente dito, resultando na formação de uma nascente ou olho d'água.

Nascentes – corresponde a uma feição hidrogeológica natural onde o nível de água subterrâneo é interceptado pela superfície do terreno, gerando o fluxo de água para a superfície e originando um curso d'água de caráter permanente ou intermitente. Podem ser provenientes de aquíferos freáticos (nascentes gravitacionais) ou de aquíferos confinados (nascentes artesianas).

Olho d'água – corresponde à feição hidrogeológica natural onde o nível de água subterrâneo é interceptado pela superfície do terreno, mas sem que haja formação de um curso d'água a partir dele.

Área úmida ou alagada - Local ou região com presença de água perene ou intermitente em superfície, geralmente confinada em depressões ou bacias, sem escoamento concentrado que forme um curso d'água. Quando relacionada a um afloramento de água subterrânea, pode ser considerada análoga a um olho d'água. Termos regionais no Brasil incluem banhado, brejo, pântano, charco e vereda.



TIPOLOGIA DE NASCENTES E OLHOS D'ÁGUA



3.1 Quanto à posição no relevo

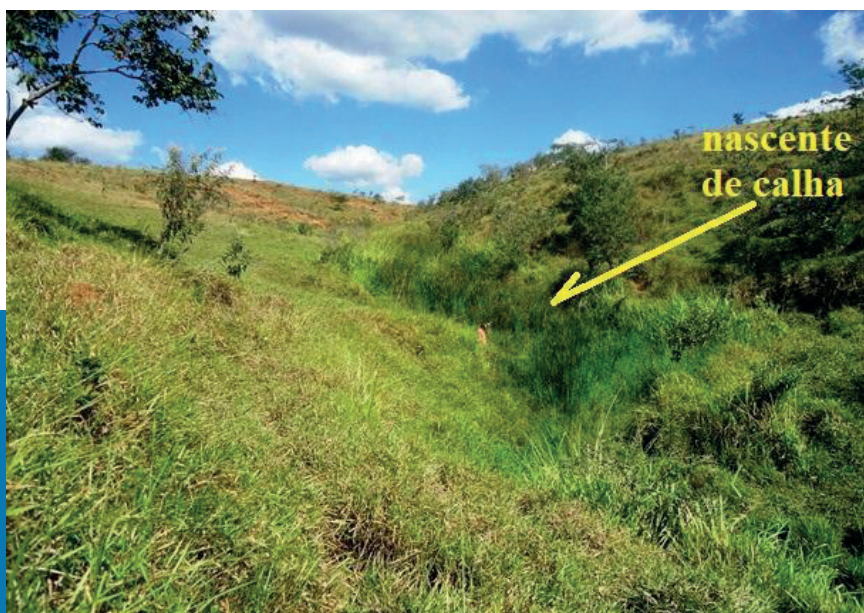
- **Nascentes de cabeceiras de drenagem:** estão posicionadas no “olho” (ruptura de declive negativa) de uma cabeceira de drenagem, ou seja, em uma depressão geomorfológica com formato de ferradura, popularmente conhecida como “grotá”.
- **Nascentes de calha:** são aquelas situadas ao meio de canais de drenagem de águas pluviais.
- **Nascente difusa:** nascente com vários pontos de afloramento da água subterrânea. Geralmente ocorrem em áreas mais planas ou ligeiramente rebaixadas, ou ao longo de contatos entre diferentes unidades geológicas, podendo, eventualmente, formar um lago ou um charco de onde se origina um curso d’água.



Nascente de calha e feições naturais de escoamento de águas pluviais



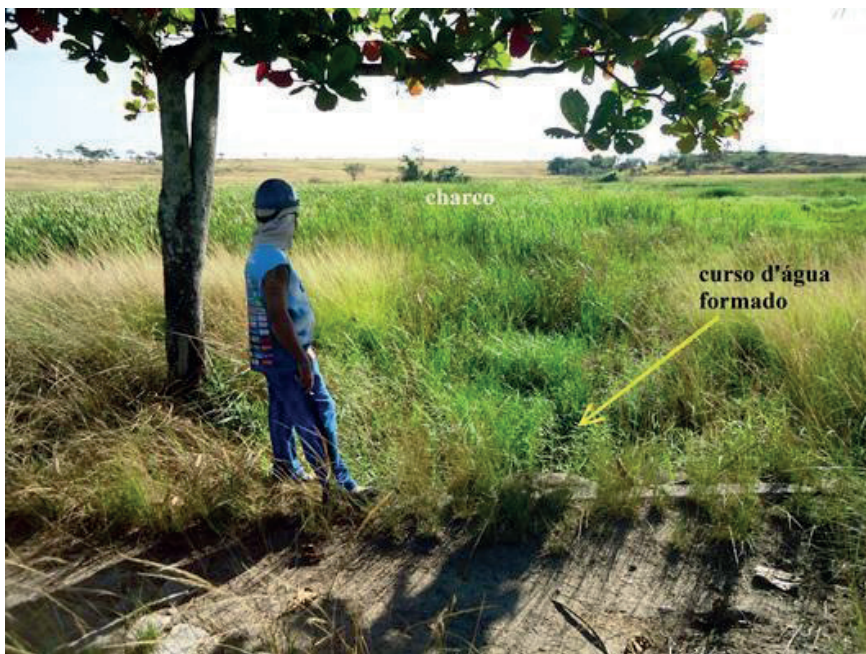
Nascente de cabeceira de drenagem



Nascente de calha



Nascente de cabeceira de drenagem



Nascente difusa

3.2 Quanto ao tempo de extravasão:

- **Nascentes perenes:** São aquelas que mantêm fluxo contínuo de água ao longo de todo o ciclo hidrológico. Estão conectadas a aquíferos com recarga suficiente para sustentar a vazão mesmo em períodos de estiagem. Embora a vazão possa apresentar variações sazonais (aumentando em períodos chuvosos e diminuindo em épocas secas), a nascente perene dificilmente seca.
- **Nascentes intermitentes:** São aquelas cujo fluxo de água não é contínuo ao longo do ano, apresentando períodos de atividade e inatividade dentro do ciclo hidrológico. Sua intermitência está diretamente relacionada à recarga do aquífero e às variações sazonais de precipitação.
- **Nascentes efêmeras:** As nascentes efêmeras são aquelas que têm sua surgência associada à concentração superficial de águas de infiltração, podendo extravasar apenas em resposta a eventos pluviométricos de alta intensidade e curta duração. Essas nascentes se extinguem logo após o término das chuvas mais intensas.



Duas nascentes de caráter perene



Nascente de caráter intermitente em cabeceira de drenagem antropicamente degradada. Possivelmente tenha já sido uma nascente de caráter perene.

3.3 Quanto ao posicionamento:

- **Nascentes fixas:** São aquelas cuja posição geográfica permanece constante ao longo do tempo, mesmo diante de variações na recarga hídrica do aquífero. Isso significa que, mesmo que a vazão de água aumente ou diminua em razão da recarga do aquífero, a nascente mantém sua localização original sem deslocamentos significativos. São mais comuns em cabeceiras de drenagem.
- **Nascentes móveis:** São aquelas cuja posição pode apresentar deslocamento para jusante ou para montante ao longo da linha do talvegue, em função da recarga variável que afeta o nível da água subterrânea. Essa mobilidade é mais comumente observada em nascentes de calha localizadas em regiões com elevada sazonalidade climática ou associadas a aquíferos fraturados.

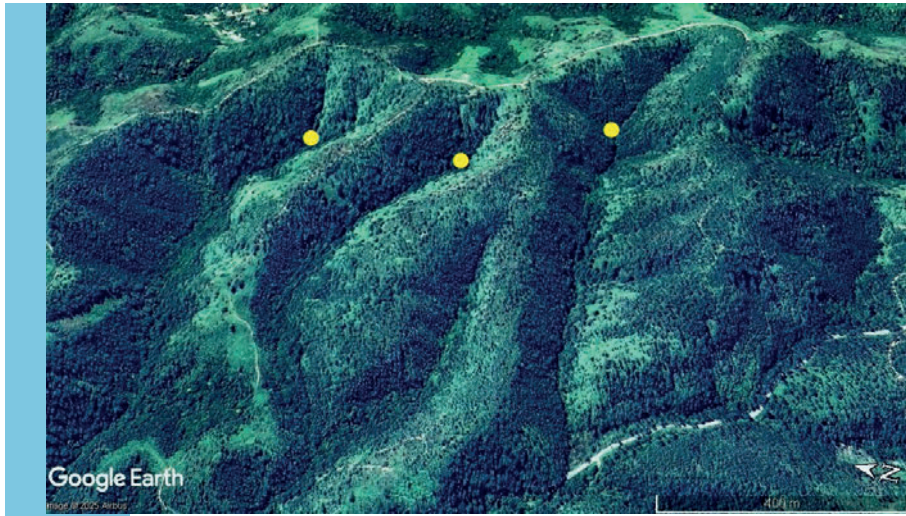


Nascente móvel. Característica mais comum de ser observada em nascentes de calha.

3.4 Quanto à natureza

- **Nascentes naturais:** são aquelas cuja origem ocorre exclusivamente devido a processos naturais, sem qualquer influência direta de atividades humanas. Elas refletem o equilíbrio natural entre a recarga e a descarga do aquífero.

- **Nascentes antrópicas (surgências):** São aquelas cuja origem está relacionada a algum tipo de intervenção humana. De acordo com o Código Florestal, esse tipo de nascente não exige a demarcação de Área de Preservação Permanente (APP).



Nascentes naturais em cabeceiras de drenagem.



Olho d'água como resultado de um processo natural de ravinamento já estabilizado.



Nascente associada a uma bossoroca de origem antrópica



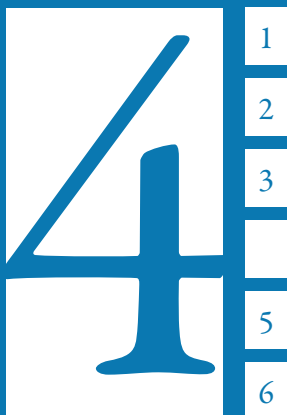
Olho d'água originado de escavação para retirada de solo em área de empréstimo. Atentar para o morrete-testemunho que indica o nível original do terreno antes das escavações.



Nascentes de origem antrópica associada a ravinamentos potencializados pelo desmatamento e concentrações do escoamento superficial

3.5 Quanto à forma

- **Nascentes pontuais:** São aquelas em que a exfiltração de água subterrânea ocorre a partir de um único ponto de descarga.
- **Nascentes difusas:** São aquelas em que a exfiltração de água subterrânea ocorre em múltiplos pontos, que definem uma área de nascente.



MÉTODOS E TÉCNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE NASCENTES E OLHOS D'ÁGUA NO CAMPO



O trabalho de identificação de nascentes e olhos d'água se estabelece como objetivo dos profissionais das Geociências em duas situações:

- **identificação de feições hidrogeológicas em uma área ainda não estudada ou com baixa intervenção humana;**
- **verificação se um determinado afloramento de água detectado em superfície corresponde a uma nascente ou a um olho d'água.**

Em ambos os casos os métodos de trabalho adotados são os mesmos, diferenciando-se apenas quanto ao grau de importância atribuído a cada método.

Considerando que o conceito adotado para **nascentes** por esse Manual em consonância com o Código Florestal em vigor impõe três condições para que um afloramento de água em superfície seja considerado uma nascente, quais sejam: ser natural, constituir uma exposição do aquífero livre ou confinado em superfície e gerar um curso d'água, **todo o trabalho de identificação de uma nascente no campo deverá ter como objetivo explícito confirmar ou não o cumprimento dessas 3 condições.**

No caso do **olho d'água**, que segundo o conceito adotado, se diferencia da nascente apenas por não gerar um curso

d'água, **os trabalhos de identificação em campo devem ter como objetivo explícito confirmar sua origem natural e sua relação com ao nível d' água subterrânea.**

Ainda que não seja uma exigência expressa no Código Florestal, este Manual considera que **nascentes associadas a lençóis suspensos** também como uma feição hidrogeológica cuja existência determina a obrigatoriedade de delimitação de respectiva APP – Área de Preservação Permanente. Essa decisão torna desnecessárias investigações com o objetivo de distinguir nascentes associadas ao aquífero regional e nascentes associadas a lençóis suspensos.

Quanto aos métodos de investigação que serão tratados a seguir, considera-se, ao menos para a maioria dos casos, que a etapa central e decisiva é a inspeção direta em campo. Dessa forma os estudos prévios de escritório, baseados em documentos de interesse devem ter como objetivo principal o planejamento detalhado da etapa de campo.

1. Pesquisa em levantamentos cartográficos antigos
2. Pesquisa em fotos aéreas antigas e histórico de imagens de satélite
3. Identificação de feições hidromorfológicas de interesse na área de estudo
4. Levantamento de informações locais por meio de entrevistas com moradores antigos.

5. Inspeção de campo com eventual execução de sondagens e instalação de medidores simples de NA

4.1 Pesquisa em documentos cartográficos. Alguns cuidados.

Os levantamentos cartográficos oficiais são fontes valiosas para a verificação da existência ou não de feições hidrogeológicas em uma região específica. No entanto, uma análise mais criteriosa e científica do processo de elaboração desses levantamentos mostra que eles não devem ser considerados como definitivos, mas sim como hipóteses iniciais que devem ser confirmadas por investigações adicionais, tanto documentais quanto de campo.

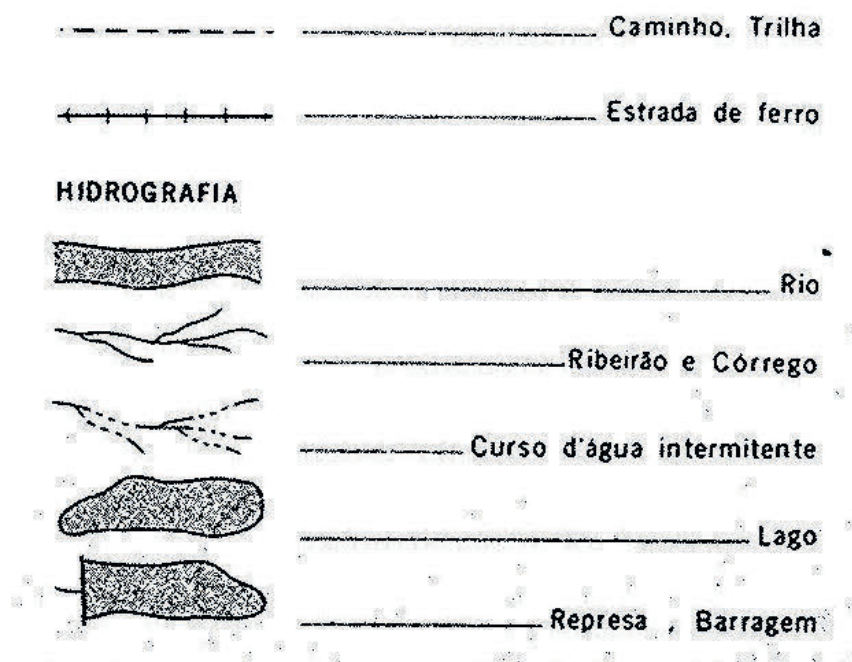
No caso específico em que a planta cartográfica indica a possibilidade de existência de nascentes e cursos d'água em determinada gleba, é necessário considerar os seguintes aspectos:

Legendas utilizadas e sua interpretação

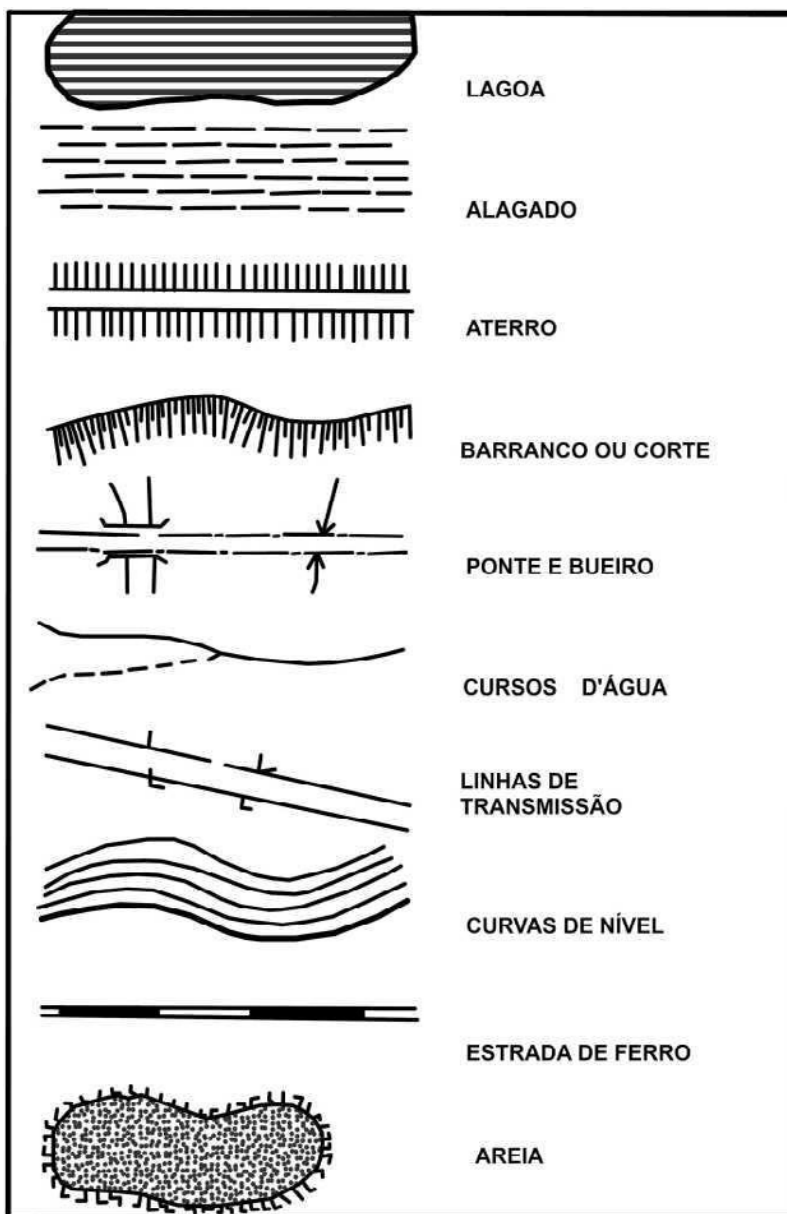
Infelizmente no Brasil ainda não há uniformidade nos conceitos e nas legendas adotadas pelos diferentes órgãos responsáveis por levantamentos cartográficos.

Além disso, há divergências entre essas legendas e os conceitos estabelecidos pelo Código Florestal.

As plantas topográficas elaboradas pelo IGC – Instituto Geográfico Cartográfico de São Paulo 1:10.000, assim como de outras instituições geradoras de plantas topográficas utilizam as seguintes representações para feições hidrográficas



*Legendas adotadas pelo IGC – Instituto Geográfico
Cartográfico de São Paulo*



Legendas adotadas pelo GEGRAN – Grupo Executivo de Planejamento da Grande São Paulo

HIDROGRAFIA

Mangue. Salina

Curso d'água intermitente

Lago ou lagoa intermitente

Terreno sujeito a inundação

Brejo ou pântano

Poço (água). Nascente

Salto, cascata ou catarata

Cachoeira

Corredeira, rápido, travessão

Barragens: terra, alvenaria

Fundeadouro

Areia

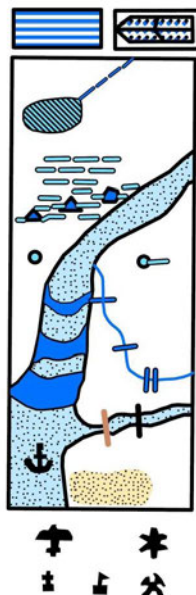
Campo de emergência. Farol

Igreja. Escola. Mina

VEGETAÇÃO

Mata, floresta. Cerrado, macega, caatinga

Culturas: permanente, temporária



Legendas adotadas pelos mapas do IBGE, escala 1:50.000

De uma forma geral para nascente não há legenda específica, mais comumente deduz-se que estão associadas ao início de montante de um curso d'água. Ou seja, a nascente estaria dando origem a um curso d'água.

Sobre perenidade ou intermitência de nascentes e cursos d'água

Sobre a indicação gráfica quanto à perenidade ou intermitência de um curso d'água, pode-se inferir que essa representação admite duas interpretações possíveis: A primeira envolve um curso d'água associado a uma nascente intermitente, ou seja, que somente existe em período do ano no qual o lençol freático se eleva o suficiente para gerar o ponto de surgência, ou então um escoamento de caráter efêmero, resultante da formação de enxurradas em episódios pluviométricos de grande intensidade, ocasião em que, frente ao Coeficiente de Escoamento Superficial local, o volume de águas de chuva excede a capacidade de infiltração do terreno, havendo então o estabelecimento de escoamento superficial de parcela desse volume.

Eventual deficiência no procedimento de reambulação

Uma outra possibilidade a ser considerada refere-se a deficiências no processo de produção cartográfica. Infelizmente erros cartográficos não são incomuns, motivo pelo qual essa possibilidade não pode ser desconsiderada.

A elaboração de uma planta cartográfica-topográfica como as referidas é feita a partir de um processo de restituição aerofotogramétrica, ou seja, a partir de informações

e dados extraídos de fotos aéreas, imagens a laser (Lidar) e de radar obtidas por vôos (aeronaves, drones, satélites) especificamente programados para tanto e seus respectivos produtos, como os Modelos Digitais do Terreno- MDT. Metodologicamente para a produção final da planta passa-se por um procedimento denominado Reambulação, que é assim definido pelo IBGE em sua publicação oficial “Noções Básicas de Cartografia”: “Reambulação é o trabalho realizado em campo, com base em fotografias aéreas, ortofotos, imagens de sensoriamento remoto, destinada à identificação, localização, denominação e esclarecimentos de acidentes geográficos naturais e artificiais existentes na área da fotografia, mesmo que nela, não apareçam por qualquer motivo (nuvens, sombra, vegetação, existência mais recente, etc.).”

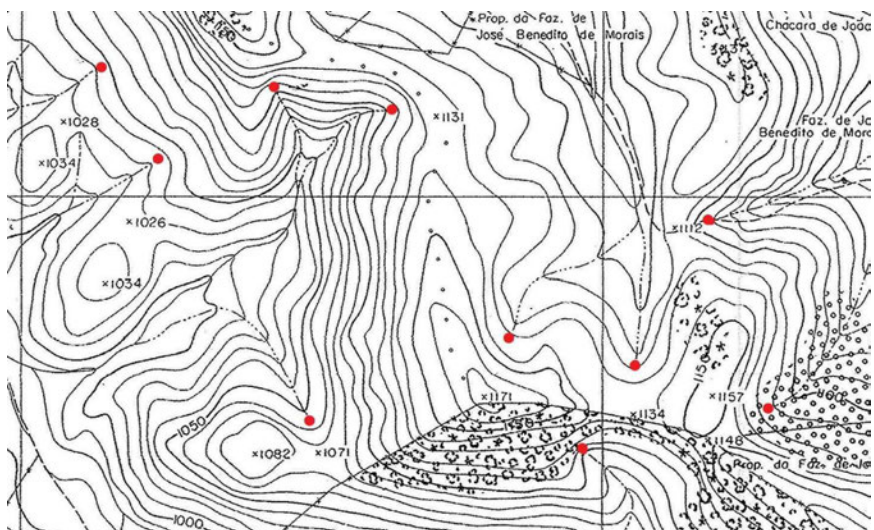
Ou seja, muitas feições exigem verificação e complementação em campo para sua confirmação e/ou melhor caracterização (reambulação). Quando essa verificação não ocorre ou é falha em sua realização, corre-se o risco de registrar, ou deixar de registrar, feições sugeridas ou não percebidas nas fotos aéreas e outros tipos de imagens.

4.2 Pesquisa em fotos aéreas antigas, histórico de imagens de satélite e levantamentos cartográficos antigos

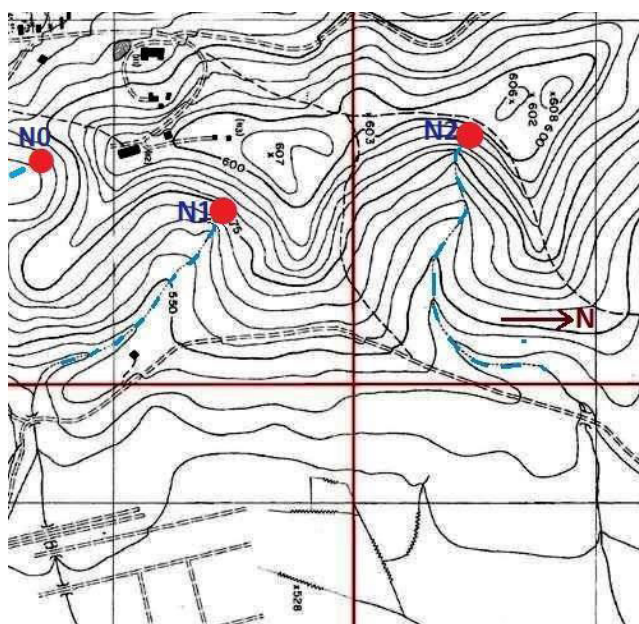
O exame de fotos aéreas antigas, imagens de satélite e levantamentos cartográficos históricos constitui ferramenta valiosa para identificar feições indicativas de nascentes e olhos d'água.

A análise da sequência temporal desses documentos permite avaliar mudanças na paisagem com especial interesse nas intervenções antrópicas potencialmente modificadoras das condições hidrológicas e hidrogeológicas naturais, como desmatamento, uso de técnicas agrícolas como terraceamento, valas de drenagem, canalização de cursos d'água, obras de terraplenagem, etc.

Essa análise documental deverá sempre preceder e orientar a inspeção de campo, considerada indispensável.



Extrato de carta topográfica do IGC com sugestão (pontos vermelhos) de possíveis nascentes perenes ou intermitentes a serem confirmadas em campo



Nascentes sugeridas em carta topográfica IGC e confirmadas em foto aérea antiga e em campo.

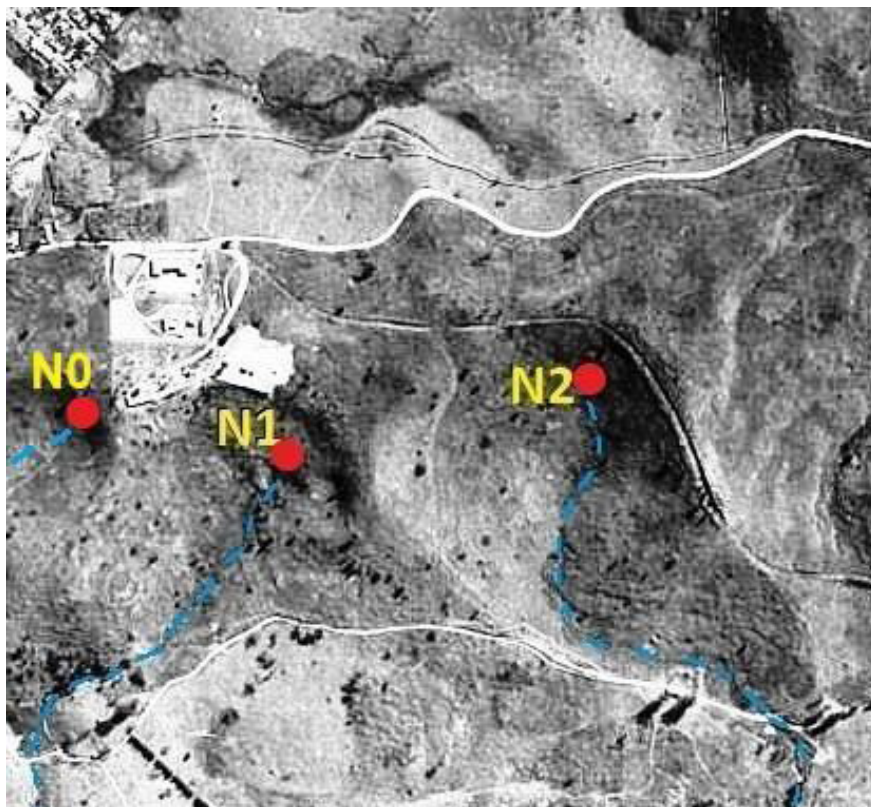
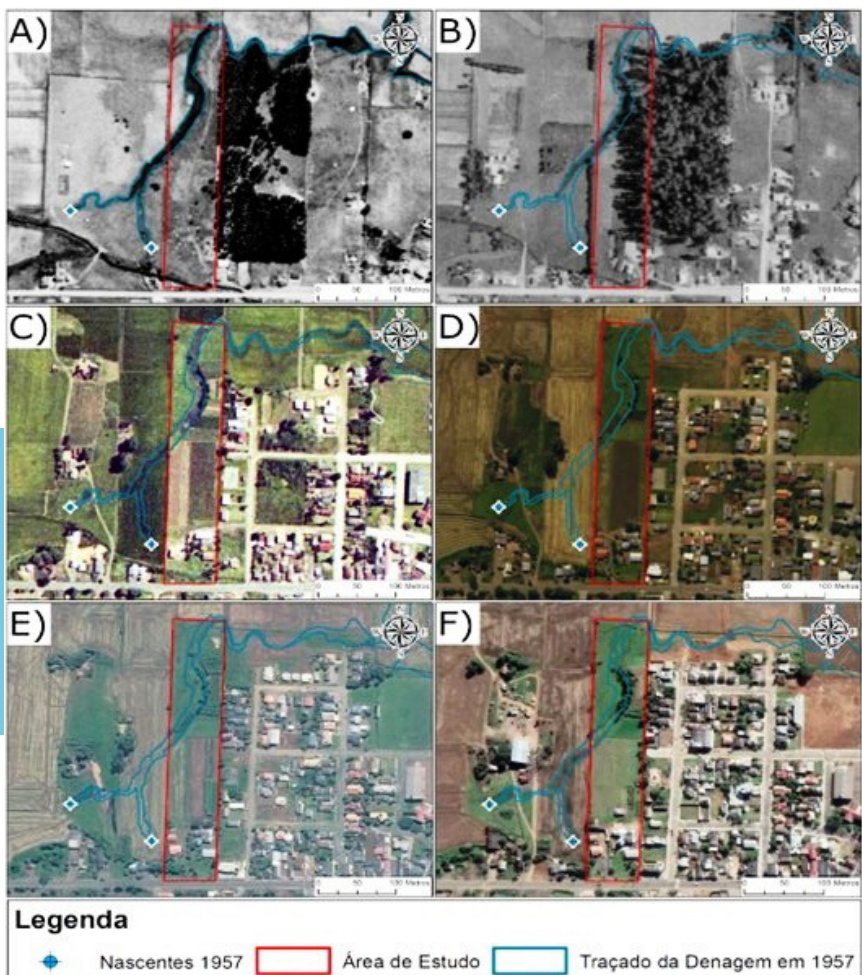


Foto aérea da mesma área acima com a sinalização das duas nascentes sugeridas na planta topográfica e confirmadas em campo.



Conjunto de retratos temporais perfazendo mais de 6 décadas de uso e ocupação do solo da área de estudo. Limites da hidrografia em azul, cabeceiras representadas por círculos em azul e a área de estudo indicada por retângulo vermelho. Círculo amarelo evidenciando trecho da feição hídrica descaracterizado ao longo do tempo. Setas amarelas indicando trecho da hidrografia linearizado ao longo do recorto temporal. Seta azul indicando localização da nascente atual. Fonte: Simão et. al. (2023)

4.3 Identificação de feições hidromorfológicas de interesse na área de estudo

Especialmente no caso de investigações sobre a existência de nascentes e olhos d'água em áreas ainda não estudadas, a identificação de feições hidromorfológicas de interesse torna-se fundamental para direcionar os focos de atenção e organizar as ações de campo.

Como foi já visto no item TIPOLOGIA DE NASCENTES E OLHOS D'ÁGUA há uma associação direta entre essas feições hidrogeológicas e determinadas características morfológicas do relevo.

O melhor recurso para identificação dessas feições é a análise comparativa entre fotos aéreas, imagens de satélite e material cartográfico/topográfico disponível. Deve-se considerar a data de aquisição de cada documento, a fim de avaliar eventuais efeitos sazonais e climáticos registrados nas imagens.

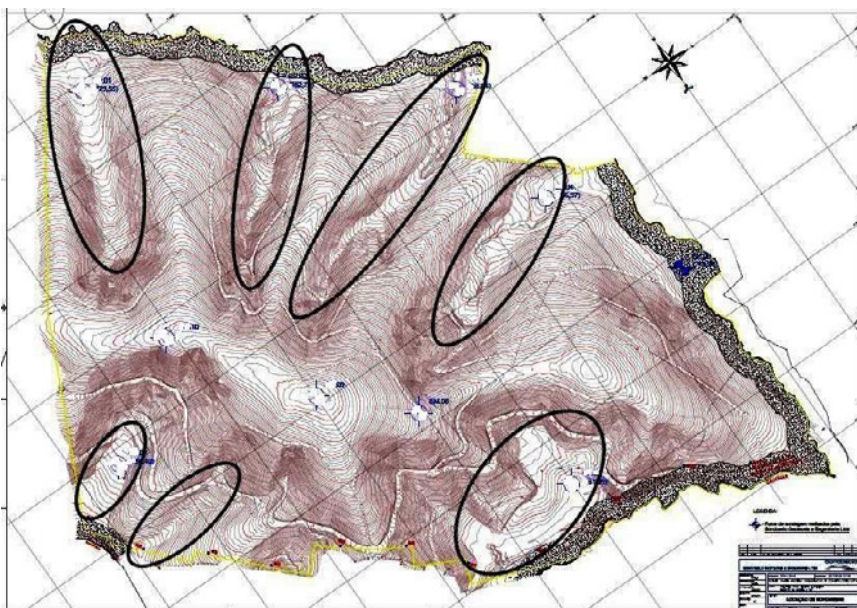
Eventualmente, no caso de dúvidas na fase de levantamento de dados, poderão ser realizadas inspeções detalhadas com drones.

Seria, portanto, de interesse identificar feições como:

- cabeceiras de drenagem
- calhas de drenagem
- lagoas

- áreas planas úmidas ou alagadiças com presença de vegetação hidrófita e solos hidromórficos
- cordões e núcleos de mata concentrada preservada
- intervenções antrópicas como reservatórios, canais de retificação de cursos d'água, valas de drenagem entre outros.

Todas as feições hidromorfológicas selecionadas deverão ser consideradas prioritárias durante as vistorias diretas em campo. As imagens a seguir ilustram o trabalho de pré-seleção de feições a serem detalhadamente investigadas em campo.



Planta topográfica com demarcação de cabeceiras de drenagem a serem devidamente investigadas



Demarcação de feições a serem devidamente examinadas

4.4 Levantamento de informações sobre existência de eventuais nascentes e olhos d'água na área em estudo via entrevistas com pessoal local

A sabedoria popular, baseada na vivência de antigos moradores e conhecedores da área, muitas vezes guarda registros valiosos sobre a possível existência de nascentes e olhos d'água, mesmo que essas feições não estejam mais ativas ou visíveis.

Também são de grande interesse relatos sobre captações de água em poços tubulares e cacimbas, incluindo informações sobre variações da profundidade do nível d'água, tanto sazonais, quanto ao longo dos ciclos hidrológicos.

É importante considerar que a ocorrência de nascentes que secaram ao longo do tempo pode estar associada ao rebaixamento do lençol freático, muitas vezes provocado por ações antrópicas, como desmatamentos, execução de drenagens ou captação excessiva.

4.5 Inspeção de campo

Trata-se da etapa final e decisiva no trabalho de identificação de nascentes e olhos d'água.

Todo o trabalho das etapas anteriores teve como finalidade planejar, orientar e estruturar a inspeção de campo, que deverá confirmar ou refutar as marcações, hipóteses e observações anteriormente registradas.

Condições climáticas ideais para a inspeção de campo

Considerando que as chuvas, durante ou logo após sua ocorrência, podem mascarar ou dificultar a identificação de feições hidrológicas e hidrogeológicas, recomenda-se realizar a inspeção de campo após um intervalo mínimo de 2 ou 3 dias de estiagem.

Deve-se registrar no Relatório (ou Parecer) Final a data e as condições climáticas do período informando as condições pluviométricas dos dias anteriores e do dia em que foi feita a inspeção.

Referenciamento dos pontos e feições investigadas

Em uma planta topográfica, ortofoto ou imagem de satélite deverão ser identificados com números ou letras todos os pontos e feições a serem investigados. Para cada local assim registrado deverão ser informadas suas coordenadas geográficas.

Uso expedito de sondagens a trado rasas

Nos casos em que for necessário confirmar a associação de um afloramento de água com o lençol freático, devem ser executadas sondagens rasas a trado (entre 1,0 a 2,5m) posicionadas a montante e nas laterais do ponto estudado. As distâncias entre o afloramento e os pontos de sondagem mais próximos não devem exceder 4,0 metros. A compatibilidade entre a cota topográfica do nível d'água nos furos e a do afloramento indicará sua relação com o lençol freático.

Instalação de Medidores Simples de Nível d'Água nos furos executados

Medidores simples de NA poderão ser instalados nos furos permitindo o acompanhamento posterior por profissionais, instituições ou para fins de monitoramento contínuo.

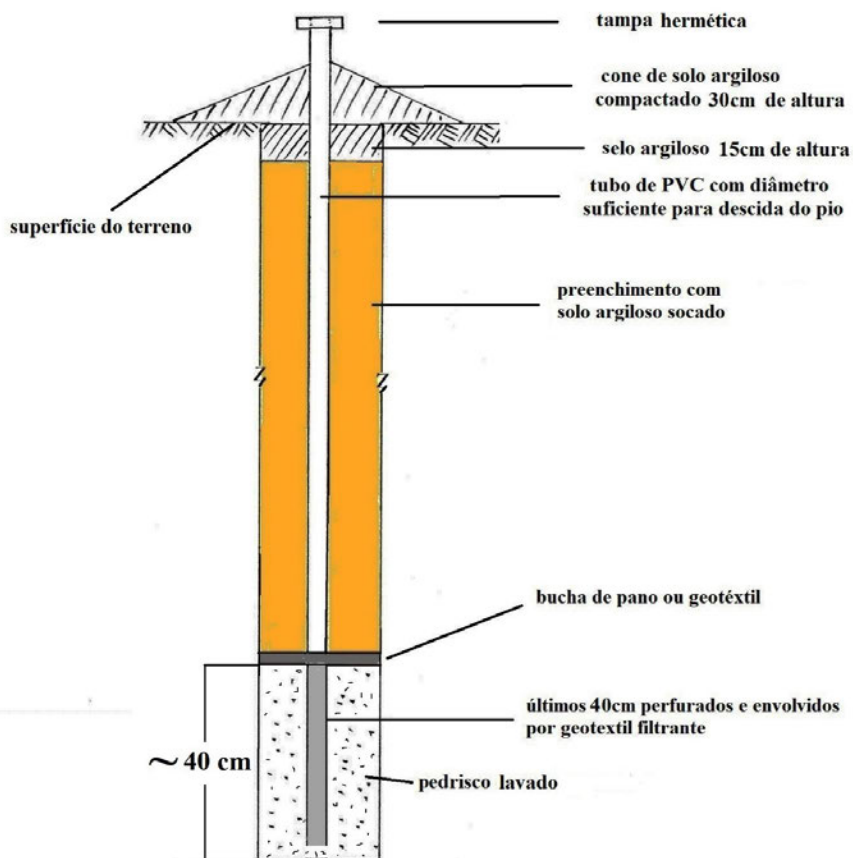
As cotas do terreno onde forem instalados os medidores deverão ser medidas e registradas.

Como sugestão, este Manual apresenta um modelo esquemático de Medidor Simples de NA (ou piezômetro) e uma tabela padrão para registro de leituras do nível d'água. Outros modelos poderão ser adotados para as mesmas finalidades.

MEDIDOR SIMPLES DE NÍVEL D'ÁGUA (piezômetro)

Geol. Álvaro Rodrigues dos Santos

(desenho esquemático)



OBS: o furo deverá ser previamente esgotado completamente antes da instalação do MSNA

MSNA	M 01	M 02	M 03	M 04	Condições de chuvas do dia anterior e do dia da leitura (forte, fraca, ou sem chuva)	
coordenadas →						
cota do terreno →						
dia da leitura ↓					dia anterior	dia da leitura
14 mar 2023	70cm	75cm	85cm	92cm	chuva fraca	sem chuva

Modelo tabela para registro de medidas do nível d'água

OBS: As leituras do nível d'água deve ser medidas a partir do nível do terreno.

Ou seja, deve ser descontado da leitura o trecho do tubo que está acima do nível do terreno.

Realização de vistorias de campo complementares. Uso de drones

Quando houver dúvidas remanescentes sobre os resultados obtidos nas etapas de identificação de nascentes e olhos d'água, recomenda-se a realização de vistorias de campo complementares com foco específico nas incertezas identificadas.

Nestes casos, pode-se executar levantamentos geofísicos de eletrorresistividade, com seções transversais ao curso d'água com até 10 m de profundidade.

Especialmente em regiões florestadas de difícil acesso recomenda-se o uso de drones para melhor visualização e mapeamento de feições de interesse.

Distinção entre nascentes e olhos d'água de caráter perene, intermitente e efêmero

A primeira versão do novo Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) inovou ao estabelecer a obrigatoriedade de APPs para nascentes e olhos d'água quando comparado ao código anterior de 1965.

Contudo, com a decisão do Supremo Tribunal Federal publicada em 12 de agosto de 2019, ficou reconhecido que também as nascentes e olhos d'água de caráter intermitente devem ter seus entornos considerados como Áreas de Preservação Permanente. Ou seja, as regras do atual Código Florestal passam a estabelecer que também as nascentes e olhos

d'água de caráter intermitente determinam a obrigatoriedade da delimitação das respectivas APPs, retirando dessa obrigação somente as nascentes e olhos d'água de caráter efêmero.

Essa decisão elimina a necessidade de diferenciação em campo entre nascentes perenes e intermitentes, processo que exigiria monitoramento ao longo de um ou mais anos hidrológicos (ano hidrológico é o período contínuo de doze meses durante o qual ocorre um ciclo anual climático completo escolhido por permitir uma comparação mais significativa dos dados meteorológicos – DAEE – SP).

Para caracterização de **nascentes e olhos d'água de caráter efêmero**, é suficiente observar sua atividade nos dias que sucedem um evento de chuva intensa, já que sua duração é naturalmente limitada a poucos dias após tais episódios.

Caracterização de nascentes e olhos d'água associados a lençóis suspensos

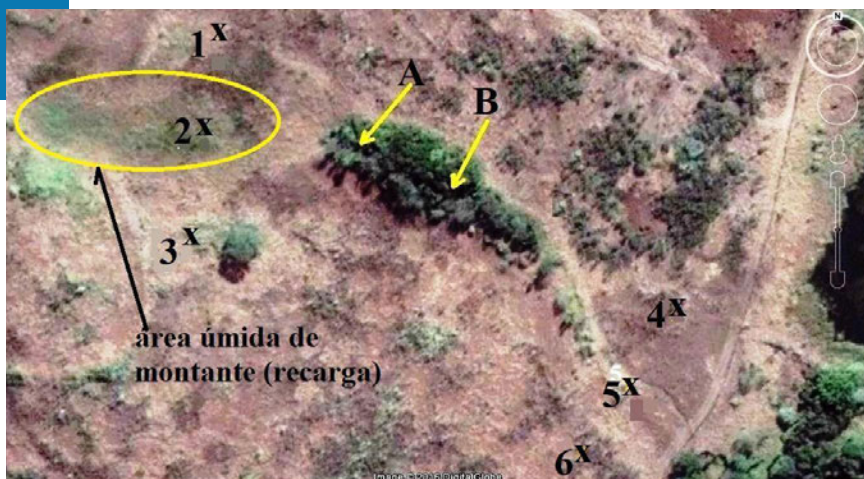
Caso se parta do entendimento que afloramentos associados a lençóis suspensos determinem a obrigatoriedade de delimitação de APPs (entendimento adotado por esse Manual), os trabalhos voltados à sua caracterização e sua distinção em relação a afloramentos associados ao lençol freático regional não se fazem necessários.

Caso se parta do princípio que afloramentos associados a lençóis suspensos não obriguem a delimitação de

respectivas APPs, a investigação para sua caracterização envolve os seguintes procedimentos:

- caracterização geológica detalhada da área;
- vistoria de campo envolvendo área de alimentação, o afloramento em questão e o percurso do eventual curso d'água gerado;
- entrevistas com moradores locais sobre o comportamento do afloramento durante o ano hidrológico;
- execução de sondagens rasas e ao menos uma sondagem profunda (sondagem mista percussão-rotativa) com instalação de Medidor de Nível d'água. Essas sondagens objetivam constatar o NA associado ao lençol suspenso e o NA, mais profundo, associado ao lençol freático regional. Quando a nascente provém de aquíferos fraturados ou de aquíferos confinados, a sondagem poderá não encontrar água.

Exemplo de investigação de um lençol suspenso. Grupo Itararé – Bacia Sedimentar do Paraná.



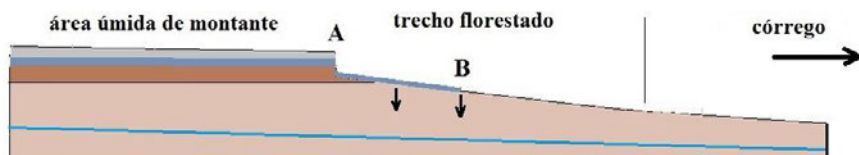
A - nascente

B - final do curso d'água com total reinfiltração no terreno

x - sondagens com instalação de medidores de NA

Imagem aérea do local de interesse e plano de investigação

PERFIL HIDROGEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DE LENÇOL SUSPENSO (Grupo Itararé - Bacia do Paraná)



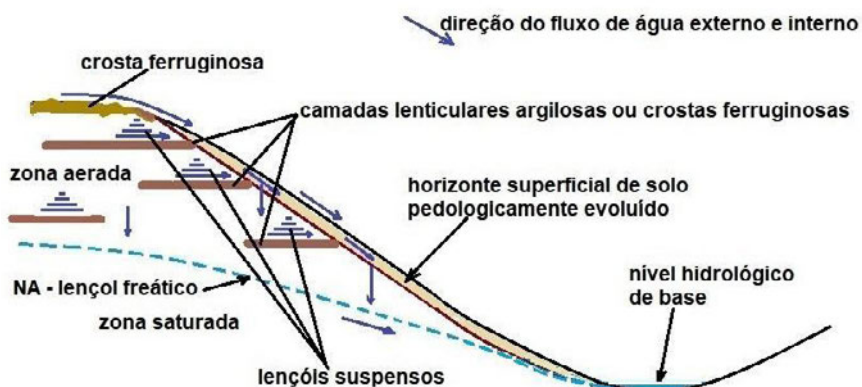
- solo orgânico - argilas hidromórficas
- lençol suspenso
- argilito compacto impermeável
- camada silto-arenosa de maior permeabilidade
- nível do lençol freático regional
- A** surgência do lençol suspenso
- B** sumidouro - ponto final do escoamento superficial

Resultado da investigação com interpretação dos resultados



Crosta limoníticas aflorante na Formação São Paulo, da Bacia Sedimentar Terciária de São Paulo. Essas crostas, quando subterrâneas, podem sustentar lençóis suspensos. Vide esquema a seguir.

PERFIL ESQUEMÁTICO DE LENÇÓIS SUSPENSOS EM CROSTAS LIMONÍTICAS DA FORMAÇÃO SÃO PAULO - BACIA SEDIMENTAR TERCIÁRIA DE SÃO PAULO



Distinção entre nascentes e olhos d'água naturais e de origem antrópica

Quando houver suspeita de que um afloramento do lençol freático tenha sido provocado por intervenção humana, fato que desobrigaria a delimitação de respectiva APP, a investigação deve buscar evidências físicas da intervenção, além de testemunhos de moradores locais e, se for o caso, de profissionais envolvidos. A reconstituição histórico temporal por meio de imagens aéreas e orbitais antigas é uma excelente técnica de análise para este aspecto.

Intervenções comuns que podem gerar afloramentos do lençol freático:

- serviços de terraplenagem para instalação de obras;
- abertura de caixas de empréstimo para retirada de solo a ser utilizado em obras civis;
- escavações para instalação de espaços subterrâneos em obras civis, como pavimentos de subsolo, garagens, etc.;
- abertura de valas de drenagem;
- ravinas e bossorocas (boçorocas) originadas de processos erosivos provocados por concentração de fluxos de águas superficiais decorrentes de algum tipo de intervenção humana: urbanização, sangras de estradas rurais, desmatamento de cabeceiras de drenagem,

lançamento de águas coletadas por sistemas de drenagem superficial de grandes obras civis, etc.

Sobre ravinas e bossorocas de origem antrópica

Nascentes associadas a ravinas e bossorocas (boçorocas) de origem antrópica não devem, em regra obrigar a delimitação de APPs. Toda nascente assim provocada representa uma “sangria” de águas do aquífero envolvido, constituindo um fator de rebaixamento local do lençol freático. Ou seja, caracterizam uma situação de desperdício de reservas subterrâneas e de perda de condições de sua acumulação.

Sob esse ponto de vista, ao contrário de uma APP, que oficializaria e consolidaria a perda permanente de águas do aquífero, torna-se muito mais indicada, **sempre que viável e possível**, a operação de tamponamento (aterramento) da nascente buscando a reconstituição do relevo original e o reposicionamento do lençol freático no local.

Sob esse ponto de vista, ao contrário de uma APP, que oficializaria e consolidaria a perda permanente de águas do aquífero, torna-se muito mais indicada, **sempre que viável e possível**, a operação de tamponamento (aterramento) da nascente buscando a reconstituição do relevo original e o reposicionamento do lençol freático no local.

Sobre nascentes aterradas

Intervenções de terraplanagem voltadas à ocupação antrópica podem resultar no aterramento de nascentes, especialmente em áreas sujeitas à expansão urbana ou rural. Tais ações, sobretudo se realizadas após a consolidação do Código Florestal, podem configurar crime ambiental. Nesses casos, deve-se promover a recuperação da área degradada, iniciando-se pela determinação da posição original da nascente, anterior à intervenção.

Esse processo deve envolver:

- o mapeamento hidrogeológico por meio da elaboração de mapas potenciométricos **e seções** hidrogeológicas que indiquem a configuração do lençol freático. A estimativa da localização original da nascente deve considerar a interseção entre a superfície do terreno natural e o nível freático. No entanto, é necessário atentar-se ao fato de que o próprio aterro pode ter modificado a configuração do lençol freático, elevando-o localmente.
- Recomenda-se ainda o monitoramento do lençol freático ao longo do tempo, sendo desejável que a interseção seja determinada com base na posição mais elevada registrada do nível freático durante o período de observação.

Sobre alguns tipos de afloramentos de água erroneamente descritos como nascentes

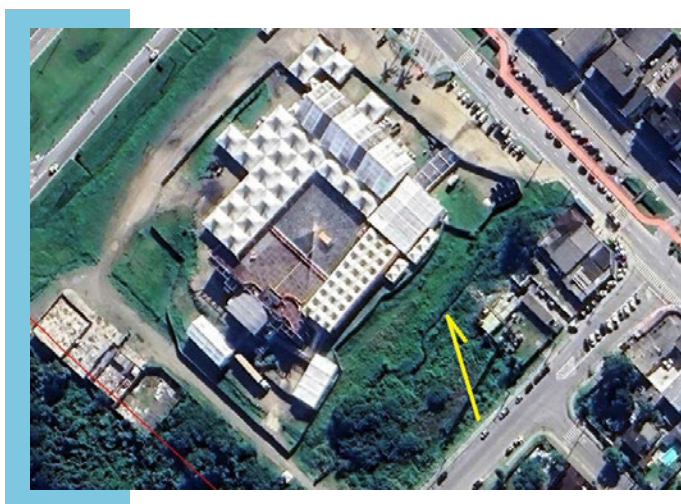
Em conflitos ambientais, é comum que certos afloramentos sejam equivocadamente identificados como nascentes. Essas situações devem ser resolvidas com **pesquisas de campo que demonstrem a ausência de relação entre o afloramento e o aquífero local**. Seguem alguns exemplos.



Acumulação de água em terraceamento mal nivelado. Classificada erroneamente como nascente.



Instalação de medidor de NA com 2m de profundidade. Resultado do monitoramento: seco, o que mostra que o acúmulo de água em superfície não está associado ao lençol freático.



Vala de drenagem erroneamente interpretada como curso d'água e sua nascente. Conclusão obtida através de análise de imagens antigas, entrevistas com moradores antigos e vistoria de campo. Esse tipo de vala é recurso tradicional para acelerar o escoamento de águas superficiais em zonas aluvionares com lençol freático raso, como, no caso, na planície costeira.



Reticulado de valas de drenagem tradicionalmente utilizadas para acelerar escoamento de águas pluviais em planícies aluvionares utilizadas para atividades agrícolas. Tem sido comumente, e erroneamente, classificadas como cursos d'água com suas nascentes. Um melhor exame mostrará sua natureza antrópica.

O caso de surgências d'água em saias de aterro ou de pilhas de rejeitos

A execução de aterros com diferentes níveis de compactação pode gerar lençóis freáticos suspensos artificiais. As águas acumuladas nesses níveis podem aflorar nas saias do aterro, gerando a falsa impressão de nascentes naturais.

Da mesma forma, quando o solo natural sob o aterro apresenta baixa permeabilidade, pode-se formar um lençol suspenso temporário com extravasamento na base do aterro, junto à interface com o solo original. Para o correto diagnóstico de situações como as descritas, recomenda-se a realização de estudos que incluam:

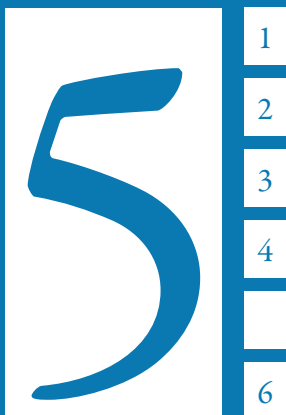
- **Reconstituição do relevo original**, por meio da comparação entre a topografia atual e cartas ou plantas topográficas históricas. Tal reconstituição também pode ser feita por meio de análises estereoscópicas de fotografias aéreas multitemporais;
- **Investigações de sub-superfície**, que podem envolver sondagens, instalação de piezômetros e, se necessário, levantamentos geofísicos voltados à identificação da posição original do terreno e das condições responsáveis pela formação dos lençóis suspensos artificiais.

O caso de afloramentos de água associados a vazamentos de redes de água ou esgoto

Vazamentos em redes de abastecimento de água ou esgotamento sanitário podem originar afloramentos que, visualmente, assemelham-se a nascentes naturais. O diagnóstico adequado pode ser obtido por meio da determinação da posição do nível freático local, que se espera seja mais profundo do que o afloramento observado.

Análises laboratoriais complementares também são recomendadas uma vez que permitem a comparação entre a composição hidroquímica da água do suposto afloramento com a água subterrânea regional.

Parâmetros indicativos da presença de esgoto, como coliformes, nutrientes (nitrogênio, fósforo), DBO, cloro residual, entre outros, também pode auxiliar na diferenciação.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



ALEXANDRE, F. I. B.; SOUSA, J. S. de. Análise do uso e ocupação em áreas protegidas na bacia do Córrego Lageado, Uberaba-MG. In: Anais do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental. 10p. 2020.

BRASIL. Lei n.12.651, de 25 de maio de 2012 – Código Florestal.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Ministério do Meio Ambiente, 2002.

CARMO, L. G. do; FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. *Boletim Goiano de Geografia*, Universidade Federal de Goiás, v. 34, n. 2, set. 2014. <https://doi.org/10.5216/bgg.v34i2.31733>.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Roteiro ao empreendedor para identificação e caracterização de cursos d'água e nascentes. 200x.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Preservação e Recuperação das Nascentes, Cartilha. Piracicaba, 2004.

DIAS, REINALDO. A abordagem inovadora das cidades-esponja diante das mudanças climáticas. *Ecodebate*, 2024. <https://www.ecodebate.com.br/2024/12/30/a-abordagem-inovadora-das-cidades-esponja-diante-das-mudancas-climaticas/>

FARIA, A. P. Dinâmica e Fragilidade de Bacias Fluviais de Primeira Ordem. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências / UFRJ, 1996. 218p.

FARIA, A. P. Influência da vegetação nos processos fluviais de bacias de 1ª ordem. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 5, n. 3, pp. 59-69, 2000.

FEITOSA, FERNANDO A.C. Coordenação Editorial. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*, 3ª edição revista e ampliada - CPRM Rio de Janeiro: LABHID, 2008. 812 p.

FELIPPE, Miguel F. Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte – MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES, Antônio Pereira. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. *Geografias – artigos científicos*, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, 2013.

FLAUZINO, F. S.; SILVA, M. K. A.; NISHIYAMA, L.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba no cerrado mineiro. *Sociedade & Natureza*, v. 22, n. 1, p. 75-91, 2010.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1993.

KEMERICH, PEDRO DANIEL DA CUNHA et al. Infiltração e Escoamento Superficial Sob Diferentes Usos e Ocupação em uma Bacia Hidrográfica. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 2014.

KRESIC, N.; STEVANOVIC, Z. *Groundwater hydrology of springs*. Oxford, UK: Elsevier, 2010. 592p.

MARANHÃO, N.; GRISOTTO, L.E.; PEREIRA, C.A.A.O.; MONTICELI, J.J.; SAAD, A.M. 2017. Gestão de Recursos Hídricos. in: Oliveira, A.M.S.; Monticeli, J.J. (eds) *Geologia de Engenharia e Ambiental*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE. São Paulo

MARINGÁ – PR. Prefeitura. Diretrizes para identificação e caracterização de nascentes e olhos d'água – Cartilha Técnica, 2023.

QUEIROZ, M. L. Nascentes, veredas e áreas úmidas: Revisão Conceitual e Metodologia de Caracterização e Determinação: Estudo de Caso na Estação Ecológica de Águas Emendadas – Distrito Federal. Dissertação (mestrado). Instituto de Geociências / Universidade de Brasília, 2015.

SANTOS, A. R. A determinação de nascentes exige uma abordagem geológica, geomorfológica e hidrogeológica. Caso 28, 3ª edição rev e ampl. In: *Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática*. Editora O Nome da Rosa, 2016.

SANTOS, A. R. As nascentes no Código Florestal: Uma proposta para a boa solução do 'IMBRÓGLIO' criado. *Ecodebate*, 2016.

<https://www.ecodebate.com.br/2016/02/16/as-nascentes-no-codigo-florestal-uma-proposta-para-a-boja-solucao-do-imbroglio-criado-artigo-de-alvaro-rodrigues-dos-santos/>

SANTOS, A. R. O Código Florestal ignora a geologia das nascentes. *Eco21*, ano XXVI, nº 237, agosto de 2016.

SCHIAVETTI, ALEXANDRE; CAMARGO, ANTONIO FERNANDO MONTEIRO. *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus, BA: Editus, 2002. 293p.

SIMÃO, G.; VIERO, A. P.; PEREIRA, J. L. Proposta de um roteiro para identificação de nascentes e cursos d'água. *Holos Environment*, v. 23, n. 1, p. 1-18, 2023.

SOUZA, K. I. S. et al. Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. *Águas Subterrâneas*, v. 33, n. 1, p. 76-86, 2019. <https://doi.org/10.14295/ras.v33i1.29254>

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

STEVENS, L. E.; SCHENK, E. R.; SPRINGER, A. E. Springs ecosystem classification. *Ecological Applications - Ecological Society of America*, 00(00):e002218, 2020. <https://doi.org/10.1002/eap.2218>

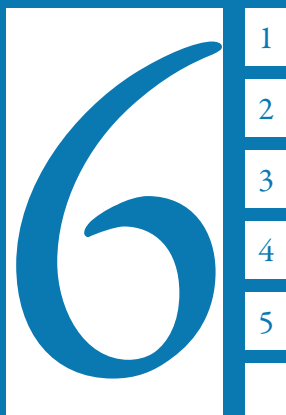
VALENTE, OSVALDO F. Aplicação da “Hidrologia e Manejo de Bacias Hidrográficas” na Busca por Segurança Hídrica. Artigo não publicado, distribuição informal. 2025.

VALENTE, OSVALDO F. Filosofia Hidrológica – Para refletir sobre a produção de água em pequenas bacias hidrográficas. *Ecodebate*, 2018.

<https://www.ecodebate.com.br/2018/05/18/filosofia-hidrologica-parte-i-artigo-de-osvaldo-ferreira-valente/>

VALENTE, OSVALDO F.; GOMES, MARCOS A. Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. As nascentes e os rios. *Revista Ação Ambiental*, Viçosa, MG, ano 6, n. 24, pp. 11-13, 2003.



**SOBRE A IMPORTÂNCIA
DA ADOÇÃO DE
PROGRAMAS DE
GESTÃO HÍDRICA
APLICADOS A SUB-BACIAS
HIDROGRÁFICAS –
TEXTOS TÉCNICOS**



6.1 Conservação de nascentes e córregos – hidrologia aplicada a pequenas bacias hidrográficas

Osvaldo Ferreira Valente – Engenheiro florestal, professor titular aposentado da Universidade Federal de Viçosa, especialista em hidrologia e manejo de pequenas bacias hidrográficas e criador da Faculdade da Água

6.1.1 Introdução

A nascente desperta um grande entusiasmo quando o assunto é conservação de recursos hídricos e, conforme está no Manual Técnico de Identificação de Nascentes, listado na Bibliografia no final do texto, ela pode ser assim conceituada:

“Nascente corresponde a uma feição hidrogeológica natural onde o nível da água subterrânea é interceptado pela superfície do terreno resultando na descarga de água subterrânea para a superfície, a qual flui dando início a um curso d’água de caráter permanente ou intermitente”.

Um detalhe importante do conceito é o fato de ela dar início a um curso d’água que, no título, está sendo chamado de ‘córrego’. Mas por que a preocupação de colocar nascentes e córregos juntos em uma chamada de conservação? É porque, em muitos casos, o córrego está também em equilíbrio com o nível da água subterrânea, pelo menos em partes do seu leito, agindo como se fosse uma nascente alongada. Esse

comportamento pode ser facilmente comprovado quando medições de vazões próximo da nascente indicam valores menores do que aqueles conseguidos em algum ponto mais distante, a jusante.

É muito comum o encantamento com as nascentes, e também com os córregos; os dois fazem parte, também, das preocupações do Código Florestal. Nada contra, desde que haja a consciência de que tanto as nascentes como os córregos não existem por si mesmos, mas são resultados do comportamento das pequenas bacias hidrográficas que lhes servem de abrigo. E do manejo adequado das pequenas bacias, mas com fundamentos hidrológicos, depende, portanto, a boa ou má produção de água de suas nascentes e dos seus córregos.

Fica estabelecido, desde já, que este texto irá tratar das pequenas bacias e não das nascentes e dos córregos em si e com a preocupação de adotar uma hidrologia voltada ao manejo das mesmas. As considerações virão da experiência de campo, mostrando que essas unidades apresentam, quase sempre, especificidades que precisam ser analisadas com muito cuidado para que se possa conseguir um bom processamento dos volumes de águas de chuvas que chegam às suas superfícies.

Mas o que é uma pequena bacia hidrográfica para as considerações que serão feitas a seguir? Não vem definida por tamanho de área, mas por complexidade hidrológica, aproveitando o conceito de ordem dos cursos d'água, conforme

descrito por Strahler. E Strahler diz que um curso d'água sem ramificação é de ordem 1; dois cursos d'água de mesma ordem formam outro de ordem imediatamente superior, e assim sucessivamente; quando um curso d'água recebe outro de ordem menor, conserva sua ordem (Figura 1). Se o curso d'água que sai da bacia é de ordem 1, a pequena bacia drenada por ele também será de ordem 1.

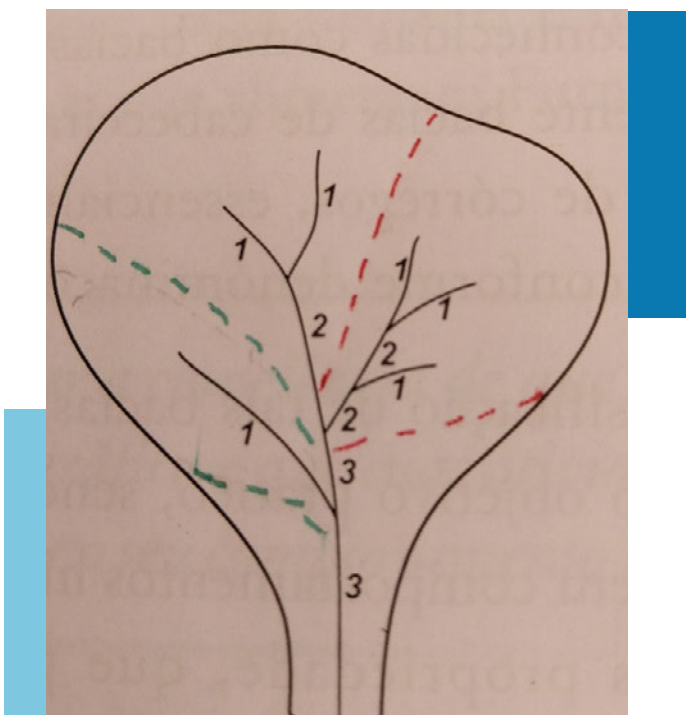


Figura 1 – classificação de cursos d'água, segundo Strahler

A pequena bacia, discutida aqui, será aquela de ordem 1, 2 ou no máximo 3. Isso para que sua complexidade hidrológica

possa ser analisada como modelo físico, com dados obtidos *in loco* e com o máximo domínio possível das realidades do campo. Modelos matemáticos gerados para grandes bacias não são capazes de descrever os comportamentos das suas pequenas formadoras e, também, não há nenhuma necessidade, ou razão lógica, de que sejam desenvolvidos para todas elas. Nos modelos para as grandes, as especificidades das pequenas acabam sendo mascaradas pelas médias resultantes. Não é nenhuma implicância como os modelos matemáticos ou hidrológicos, mas apenas uma análise de realidades. Mesmo o modelo do *Limburg Soil Erosion Model*, que é considerado aplicável a pequenas bacias, usa muitas equações que chegam a conter coeficientes retirados da literatura e que podem estar longe das especificidades da pequena bacia em foco.

Outra observação básica é a importância da pequena bacia para o comportamento das grandes, pois é nelas que acontecem as interações dos volumes de água de chuvas com os componentes do meio ambiente.

Nas pequenas bacias de cabeceiras, principalmente em regiões montanhosas, predominam as pequenas propriedades rurais, fazendo com que, frequentemente, sejam ocupadas por mais de um proprietário; bacias de ordem 3 podem estar mais propensas a isso. Já aquelas de ordem 1, podem, ao contrário, estarem dentro de uma mesma e pequena propriedade rural. Mas o número de proprietários importa

menos, pois o que é necessário mesmo é que, quer seja apenas um, quer sejam vários, estejam motivados para lidarem adequadamente com os ecossistemas hidrológicos responsáveis pela produção de água da pequena bacia hidrográfica..

Vale assinalar, também, que se uma grande propriedade rural estiver abarcando várias pequenas bacias, elas deverão ser tratadas individualmente, a princípio, para verificar a existência de especificidades.

6.1.2 Ecossistema hidrológico de produção de água

A Figura 2 mostra o ciclo hidrológico de produção de água em uma bacia hidrográfica. A referência à produção de água é porque o sistema mostra a atuação do que se pode chamar de “fábrica natural de água”; recebe água de chuva, de determinada qualidade, processa e libera em forma de nascentes, córregos ou poços, com outras qualidades.

Há um caminho virtuoso que vai da chuva ao lençol e dele para as nascentes e cursos d’água (pode ser também para poços). Mas há, também, a possibilidade de um encurtamento do caminho, indo da chuva para enxurrada e desta diretamente para o curso d’água. Não é necessário demonstrar os malefícios desse último e indesejável caminho.

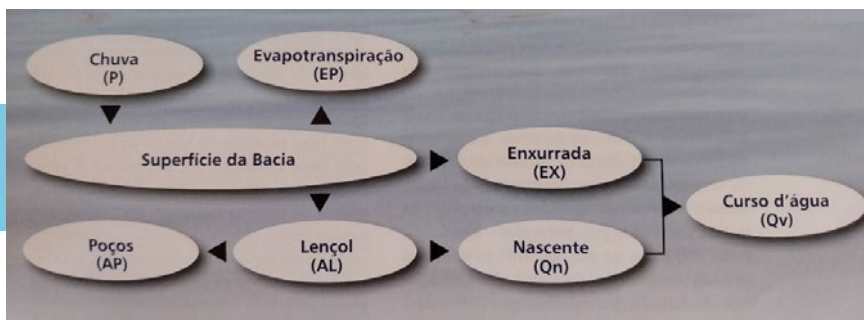


Figura 2 – Uma fábrica natural de água

A chuva é a matéria-prima da fábrica, trazendo quantidades enormes de água para a maior parte do território brasileiro. Uma chuva anual de 1200mm, atingindo uma pequena bacia de ordem 1, de 100ha, deposita em sua superfície o fantástico volume de 1.200.000m³ de água. A Figura 2 mostra a evapotranspiração agindo na superfície e que está em torno de 75% no país, conforme média encontrada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Resta à fábrica, para processamento, ainda um grande volume de 300.000m³. Se a média anual de vazão do córrego que drena essa pequena bacia, proveniente do aquífero subterrâneo (vazão de base), for de 60L/min, perfazendo um volume anual de 31.536m³, isso significa que o aquífero está recebendo e armazenando apenas 10,5% ($31.536\text{m}^3 \div 300.000\text{m}^3 \times 100$) dos volumes de água recebidos anualmente pelas chuvas que atingem a superfície da pequena bacia e que não foram evapotranspirados.

Os 10,5% indicam que a bacia está armazenando muito pouco do que fica disponível, pois a teoria hidrológica admite que é possível, para um ecossistema hidrológico otimizado, o armazenamento de até 23% desse volume. Um trabalho de conservação, para aumentar em 50% a vazão de base, levaria à colocação de 15,7% dos volumes disponibilizados, ainda bastante tranquilos em relação aos possíveis 23%.

Os cálculos feitos nos dois parágrafos anteriores fazem parte da metodologia de Contabilidade de Água, que vem sendo aplicada pelo autor do presente texto para estudos do comportamento hidrológico de pequenas bacias hidrográficas. Essa mesma metodologia será utilizada para as análises que virão a seguir.

É possível que essa metodologia seja criticada por quem domina a hidrologia tradicional, pela aceitação de menos rigor nas medições e nos cálculos, mas a intenção é levar a hidrologia para entendimento da quem vive as realidades de campo. Quer sejam os proprietários rurais que ocupam as pequenas bacias produtoras de água, quer sejam os técnicos de campo que são responsáveis pela assistência técnica dessas mesmas comunidades. Não há nenhuma possibilidade de sucesso para o bom processamento de volumes de águas de chuva que atingem uma pequena bacia sem a cooperação das comunidades que nela vivem. Também não há nenhuma possibilidade de colaboração efetiva de tais usuários

da bacia se eles não forem capacitados para entenderem o ecossistema hidrológico presente.

Tecnologia acessível tem que contar, também, com equipamentos acessíveis, de baixos custos e fáceis de serem operados.

6.1.3 Esmiuçando o ecossistema hidrológico

Pensando um pouco sobre os fenômenos hidrológicos apresentados na Figura 2, vale a pena entender que os volumes de água recebidos pela superfície da pequena bacia, vindos das chuvas, podem ficar retidos como água de molhamento dos componentes do meio e que tendem a voltar à atmosfera por evaporação; outra parte poderá escoar pela superfície, formando as enxurradas que se dirigem diretamente para os cursos d'água; mais uma parte penetra no solo, infiltra, e poderá ser retirada pelas raízes das plantas (transpiração) ou descer pelo perfil do solo, abastecendo o aquífero. Os volumes que chegam ao aquífero poderão ser acessados por poços ou emergirem em forma de nascentes ou por equilíbrio direto com os cursos d'água. Tudo simples aqui no papel, mas com muitas armadilhas na prática, demandando experiência e paciência para domínio das realidades do campo.

A paciência solicitada não parece ser uma qualidade presente em muitos trabalhos implantados em várias partes do país, que partem de conceitos apenas ambientais e

desconhecem a necessidade de estudar bem e previamente os ecossistemas hidrológicos presentes e em desenvolvimento no espaço de trabalho.

Mas antes de prosseguir nas discussões específicas dos fenômenos presentes na Figura 2, há a necessidade de dizer, como já apareceu aqui, que a água subterrânea será tratada, a partir de agora, como 'aquífero'.

6.1.4 Chuvas

Qualquer que seja a fábrica, há sempre o cuidado com a matéria-prima, pois ela representa o primeiro passo para a geração de um bom produto. Não é diferente quando se está diante de uma pequena bacia, ou seja, se as chuvas são as entradas do sistema produtivo, elas precisam passar por quantificações e qualificações. E não são suficientes apenas os totais anuais. Um bom conjunto de providências para levar o máximo dos volumes das chuvas para os aquíferos terá que ser dimensionado com o olho voltado para as intensidades das chuvas que compõem os totais. As de maiores intensidades são as grandes produtoras de enxurradas, mas, também, as que, devidamente tratadas, podem ser as grandes abastecedoras dos aquíferos. Se a pequena bacia tem chuvas bem frequentes e de intensidades como 50mm/h, por exemplo, as estruturas de conservação devem estar preparadas para infiltrar os volumes gerados, paço inicial para o possível

abastecimento do aquífero. Se as intensidades forem predominantemente baixas, mesmo compondo totais anuais de boa monta, haverá uma grande possibilidade de baixa percolação, gerando o que se pode chamar de “chuvas de aguar”, com pouco volume de água descendo para o aquífero. Chove, umedece as primeiras camadas de solo, as plantas retiram por transpiração e a superfície perde volumes por evaporação; quando volta a chover, também com baixa intensidade, há apenas a reposição da umidade das primeiras camadas. A conclusão é que as chuvas de maiores intensidades são desejáveis, desde que a pequena bacia esteja preparada para a retenção das enxurradas.

É senso comum que as chuvas são quantificadas em milímetros. As relações com volumes aparecem com a informação ouvida com frequência de que um milímetro de chuva equivale a um litro de água por metro quadrado. Isso é dito como sendo um postulado matemático, ou seja, uma verdade em si. Mas tem uma lógica, é só imaginar uma altura de lâmina d'água de 1mm em um recipiente de 1m² de base e calcular o volume (V), ou seja:

$$V = 1\text{m}^2 \times (1\text{mm} \div 1000\text{mm/m}) = 0,001\text{m}^3 \text{ (ou } 1\text{dm}^3\text{)}$$

Andando três casas para a direita, tem-se um decímetro cúbico. Aí sim, precisa-se saber que um decímetro cúbico é igual a um litro. Essa aparente bobagem descrita aqui é para deixar

claro que em todo este texto haverá a preocupação de evitar postulados, procurando entender a hidrologia passo a passo.

As chuvas são medidas por equipamentos como os pluviômetros e pluviógrafos. Estes últimos também conhecidos como pluviômetros automáticos ou pluviômetros digitais com registradores. Em todos eles, uma amostra da chuva é recolhida por uma boca e conduzida a um reservatório. O volume recolhido no reservatório, dividido pela área da boca, dará a altura da lâmina d'água; com a uniformização de unidades será possível ter-se a altura em milímetros. A ideia de se usar a altura da lâmina d'água é porque, assim, os volumes recebidos pela pequena bacia, por exemplo, poderão ser calculados para quaisquer áreas. Os pluviógrafos são importantes porque, como registram os volumes e os tempos simultaneamente, os dados permitem o cálculo das intensidades. Por exemplo, uma chuva de 20mm em 40min tem intensidade de 30mm/h ($20\text{mm} \div 40\text{min} \times 60\text{min/h}$).

Tais equipamento medidores não terão descrições detalhadas aqui, pois serão facilmente encontrados na literatura, bastando uma rápida consulta a um site de buscas, por exemplo. Estão bem descritos, também, nos Vídeos 11,12 e 13 da Faculdade da Água, canal disponibilizado no YouTube. As Figuras 3 e 4 mostram duas possibilidades, apenas para ilustração: um pluviômetro de leitura construído com tubo, redução e registro (todas as peças de PVC) e um pluviômetro

digital com coletor de dados. O coletor registra os milímetros recolhidos e os tempos de recolhimento.



Figura 3 – Pluviômetro de PVC e pluviômetro digital automático

Um aspecto importante a ser levantado aqui é quanto à precisão das medidas. Se a finalidade for conhecer as chuvas para dimensionamento de estruturas de conservação para otimização da produção de água, há espaço para medições mais expeditas, diferentes das com fins científicos e acadêmicos. Isso porque os dimensionamentos são sempre básicos e devem ser monitorados e acompanhados para ajustes sequenciais no futuro. As pequenas bacias hidrográficas são manhosas, na grande maioria, e não adianta arrogância teórica, pois a experiência acaba sendo fundamental para o sucesso do trabalho. E as medições expeditas permitem a criação de uma enorme rede de coleta de dados, envolvendo os produtores rurais que ocupam a maioria das pequenas bacias produtoras de água. Pluviômetros simples, com medições diárias podem trazer melhores informações para o

hidrologista de pequenas bacias do que os valores advindos das redes institucionais.

Até para o cálculo das intensidades os produtores poderão ajudar com um pluviômetro simples e um relógio que assinale minutos. Eles são normalmente observadores e capazes de perceberem a chegada de uma chuva forte. Poderão, então, medir o tempo da chuva e, depois, medir a quantidade recolhida pelo pluviômetro. Daí decorre a intensidade. A preocupação com as chuvas fortes é porque elas são fundamentais para o dimensionamento de estruturas de conservação, visando produção de água.

Como as chuvas fortes costumam ser muito localizadas, podem variar até mesmo em pequenas bacias hidrográficas; aquelas de ordem 3, por exemplo, pouco drenadas e que podem abranger áreas maiores. Nesses casos será sempre desejável que medidas sejam feitas por mais de um ocupante da área.

VAZÕES

Discutida a entrada das chuvas, é melhor ir para a produção, ou seja, para a vazão do curso d'água. Depois serão tratados os elementos do meio da fábrica.

Com relação às vazões produzidas pela pequena bacia, é lógico que a primeira providência deve ser a medida das mesmas ao longo do ano. E como está se tratando de pequenas bacias, de suas nascentes e de seus córregos, é possível fazer

medições com estruturas simples e de fácil operação. A Figura 4 mostra como fazer a medição, chamada direta, e adequada para medições de nascentes, por exemplo, ou de pequenos córregos. Faz-se um pequeno represamento no canal de escoamento e coloca-se um tubo ou uma bica; logo depois, cava-se um buraco para permitir a colocação de um recipiente de volume conhecido. A operação visa medir o tempo para o enchimento do recipiente, usando até mesmo um relógio comum, que assinale minutos e segundos. Se o recipiente for de dez litros e o tempo de enchimento tiver sido de trinta segundos, por exemplo, tem-se a vazão de 20L/min.

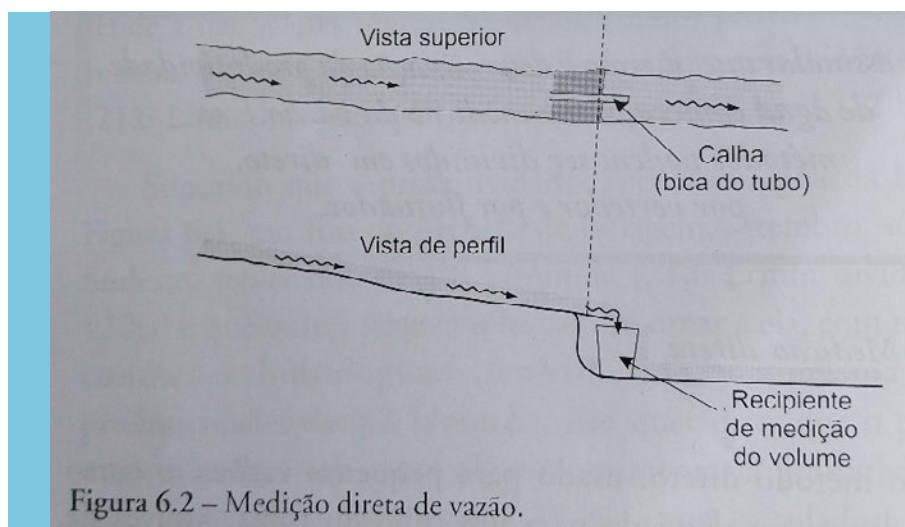


Figura 4 – Montagem para medição direta de vazão

Vê-se claramente que a medição direta só é viável para pequenas vazões; razoável para um máximo de 50L/min. Como as

leituras de tempo podem não ser muito precisas, aconselha-se repetir a operação por cinco vezes, trabalhando com a média.

Para vazões um pouco maiores, aconselha-se trabalhar com equipamentos conhecidos como vertedores, que podem ser triangulares ou retangulares, conforme esquemas da Figura 5. O triangular pode ser usado para vazões de até 250L/s e o retangular para até 800L/s. No triangular a fenda tem um ângulo de 90º; no retangular as paredes laterais são perpendiculares à base. Em ambos, as arestas de contato com a água devem ser finas, delgadas.

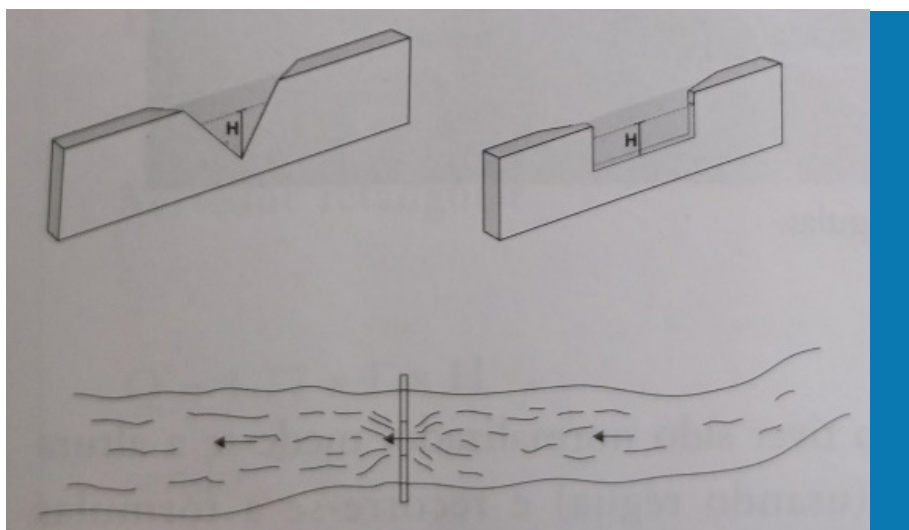


Figura 5 – Vertedores para medição de vazões

Os vertedores serão instalados transversalmente à direção do fluxo, em trechos mais ou menos retos e com fluxo laminar. É necessário que se forme um ligeiro represamento

antes da passagem da água pelas fendas, exatamente para ajudar na formação do fluxo laminar. As vazões (Q) são calculadas com as medidas de H , assinaladas na figura, usando as seguintes fórmulas.

Para o triangular: $Q \text{ (L/min)} = 0,84 \times H^{2,5}$

H em centímetros (altura da lâmina d'água)

Para o retangular: $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 1,77 \times B \times H^{1,5}$

H e B (largura da base) em metros

Os vertedores podem ser construídos de alvenaria, de madeira ou de chapas metálicas. O da foto da Figura 6 é de alvenaria e a fenda tem paredes terminadas com chapas metálicas para serem delgadas. O tubo vertical, ao lado, abriga um sistema automático de medição de H, com registro dos dados. O vertedor da foto tem, também, uma característica peculiar. O retângulo maior, acima da fenda metálica, forma um segundo vertedor que permite calcular vazões cujos fluxos excedam a fenda, bastando usar dois cálculos, um com a altura H da fenda e outro com a altura e a largura da base da parte superior. Corre-se o risco, nesse caso, de os valores serem de menor precisão. Mas que podem ser usados para dimensionamento de estruturas de conservação hídrica que tenham metas dentro de faixas toleráveis.



Figura 6 – Vertedor retangular com registrador de dados

A Figura 7 mostra um arranjo para uma estação automática como a mostrada na foto da Figura 6. A boia acompanha a alteração da altura da lâmina d'água e o coletor de dados (linígrafo) registra tanto as variações de altura como os tempos de ocorrência. Atualmente as estações automáticas estão usando uma sonda hidrostática colocada na altura da base de **h** e uma plataforma de coleta de dados que pode ser um equipamento muito comum no mercado, e de baixo custo, o chamado Arduíno. O funcionamento de sistemas automáticos de coleta de dados está bem explicado no Vídeo 30 da Faculdade da Água.

Obs.: É a segunda vez que se faz referência à Faculdade da Água e certamente outras virão. Será uma forma de

propaganda do apresentador, que é o mesmo deste texto? Pode ser que sim, mas são conteúdos de fácil acesso e com bastante detalhes.

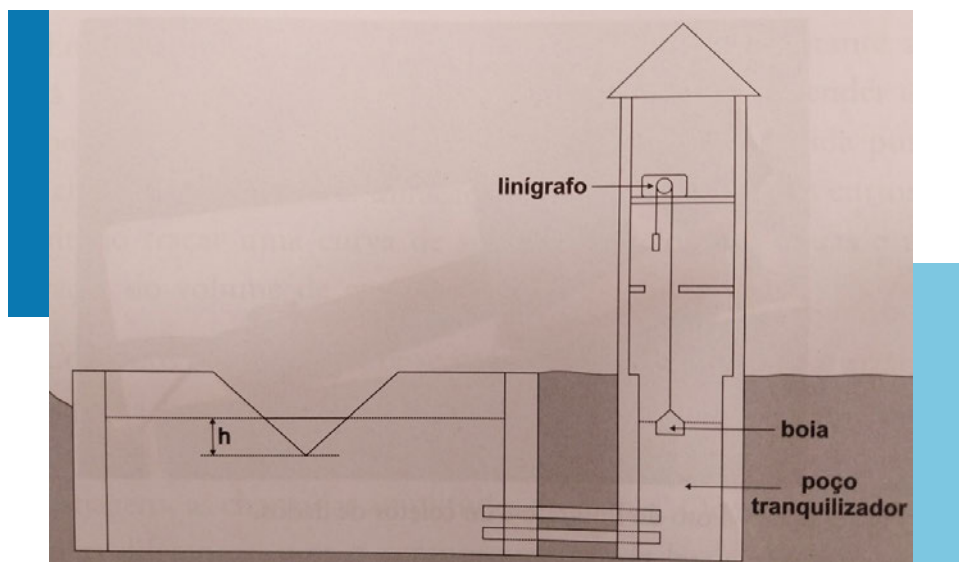


Figura 7 – Arranjo para linógrafo

Quando a coleta de dados for por leituras diárias, elas poderão ser feitas normalmente apenas uma vez por dia, entre sete e nove horas da manhã, por exemplo. Calcula-se a média mensal e depois a média das médias mensais, que será a vazão média anual. Se as médias vierem em L/min, por exemplo, a produção total anual (P_a) será o produto desse valor pelo número de minutos por ano. Para uma vazão média anual de 720L/min, por exemplo, a produção total anual será de:

$$Pa = 720\text{L/min} \times 525.960\text{min/ano} = 378.691.200 \text{ L/ano}$$

Se a chuva anual tiver sido de 1.300mm, a pequena bacia de 180ha terá recebido o total de 2.340.000 m³ (ou seja, 1.300mm ÷ 1.000mm/m³ x 180ha x 10.000m²/ha), o valor calculado para o Pa estará representando apenas 16% do total recebido.

Em bacias pequenas como a citada, quando atingidas por chuvas fortes, as vazões podem sofrer variações rápidas que não serão contempladas com a única leitura da manhã. Aconselha-se, nesses casos, mais outras leituras diárias, para que as médias sejam mais representativas. As médias mensais podem ser plotadas em um gráfico, como o da Figura 8, chamado hidrógrafa ou hidrograma. As hidrógrafas são importantes para uma análise visual do comportamento do córrego. Nota-se, no caso, a discrepância acentuada entre as vazões dos períodos chuvosos em relação aos períodos de estiagens.

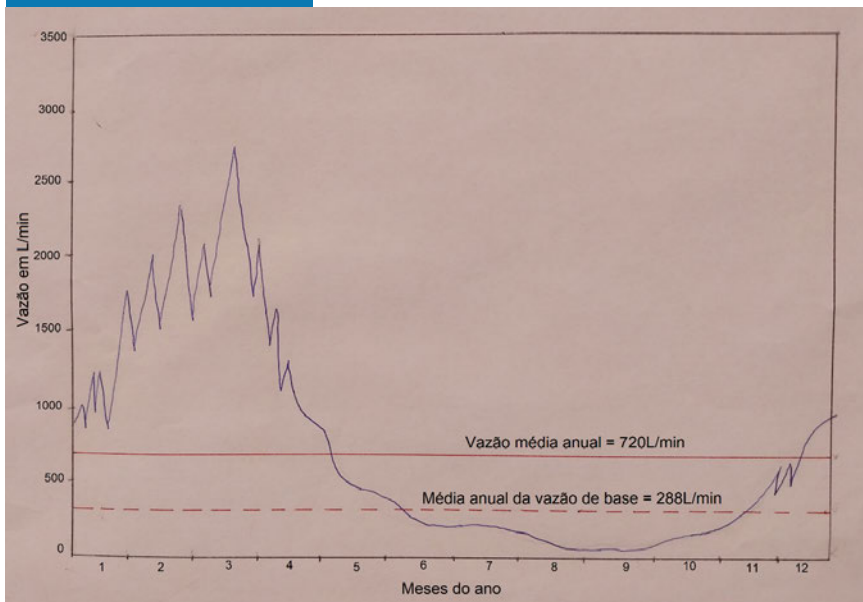


Figura 8 – Hidrógrafa

Mas uma outra informação fundamental diz respeito às vazões oriundas apenas dos aquíferos (pelas nascentes e pelos equilíbrios dos aquíferos com os leitos dos córregos), que são conhecidas como vazões de base. As médias mensais dessa vazão só coincidem com aquelas já medidas para o cálculo anterior quando referentes aos meses sem chuvas ou com chuvas esparsas e/ou de pequenas intensidades. Para os meses chuvosos, as vazões de base podem ser encontradas em dois ou três dias após estiagens. E calcular as médias mensais apenas com esses valores. Essas oportunidades podem ser vistas na hidrógrafa da Figura 8, pois elas estão

presentes ao longo das quedas em forma de V, que aparecem na curva geral de ascensão da hidrógrafa.

Na Figura 8, a linha vermelha, cheia, representa a média anual de vazão do córrego da pequena bacia de 180ha, de ordem 2, que foi de 720L/min. Já a linha vermelha tracejada representa a média das vazões de base, que foi de 288L/min.

INFILTRAÇÕES

Infiltração é o nome que se dá ao fenômeno da passagem da água da superfície para o interior do solo. Ao passar para o interior do solo ela pode ficar retida nas primeiras camadas, constituindo o que se chama umidade do solo, ou descer em direção ao aquífero, movimento conhecido por percolação. Já fica claro, portanto, que se há desejo de aumentar o armazenamento no aquífero para garantir melhores vazões de base, aquela que traz garantias para produção de bons volumes de água nas nascentes e córregos nos períodos de estiagens, precisa-se começar por uma boa infiltração.

A infiltração depende do estado e da constituição da superfície e envolve relações entre quantidades e tempos. Superfícies de solos porosos facilitam a infiltração e superfícies rugosas seguram volumes de água recebidos pelas chuvas, dando tempo para a infiltração. A quantidade no tempo é conhecida como velocidade de infiltração.

Mas vale a pena discutir a infiltração começando por uma visão de campo, a da Figura 8. Ela mostra uma pequena área de uma pastagem de encosta. Esta pequena área está isolada por placas metálicas fincadas no solo, fazendo com que e qualquer quantidade de água escoada pela sua superfície (enxurrada) seja drenada pelo tubo de PVC e conduzida diretamente para o bujão posicionado no buraco que está logo abaixo da área isolada. Essa parcela de infiltração tem três metros de comprimento ao longo da encosta e um metro de largura. Depois de uma chuva de 18 mm, com duração de 20 min, (intensidade de 54mm/h), o bujão mostrou, por exemplo, o recolhimento de 42 litros de água, provenientes da enxurrada, ou 0,042 m³. Ora, a divisão desse volume pela área, indica uma enxurrada (Ex) de 14mm.

$$Ex = 0,042 \text{ m}^3 \div 3\text{m}^2 = 0,014\text{m (ou 14mm)}$$

Vale observar, então, que dos 18 mm caídos sobre a parcela, ela reteve apenas 4 mm (18mm – 14mm). Reteve como? Pela absorção da água pelo solo, ou seja, por infiltração. E olha que foi uma quantidade no tempo, ou seja, parâmetros que definem uma velocidade de infiltração (VI), assim calculada:

$$VI = (4 \text{ mm} \div 20\text{min}) \times 60\text{min/h} = 12\text{mm/h}$$



Figura 8 – Parcela de infiltração (Fonte: Valente e Gomes, 2001)

Depois de um período continuado de chuvas, as velocidades de infiltração (curva vermelha da Figura 9) vão ficando praticamente iguais ao longo do tempo, representando o que se chama velocidade de infiltração básica (VIB)

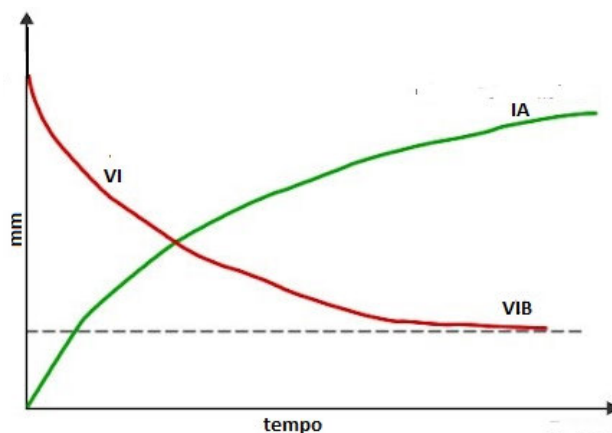


Figura 9 – Curvas de infiltração

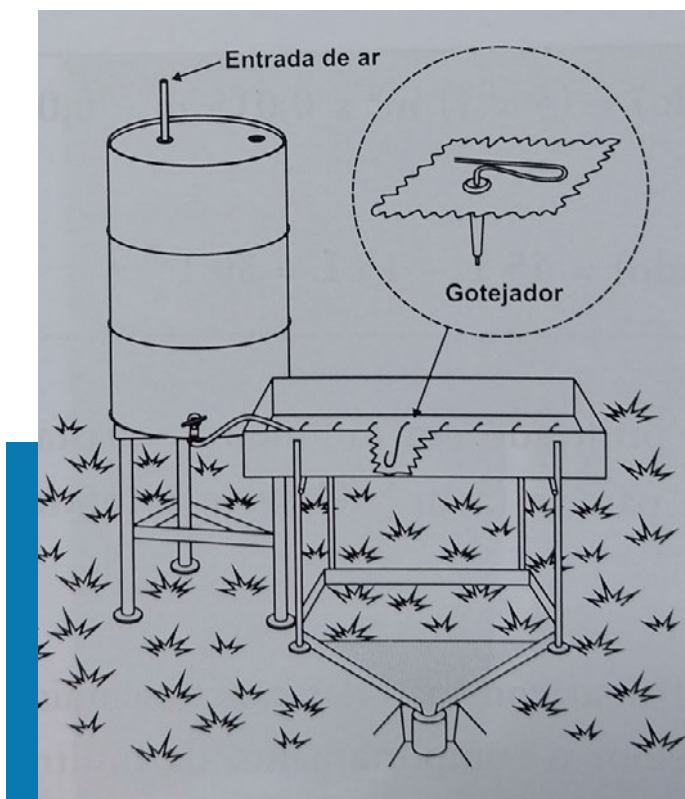
A curva verde mostra que a quantidade infiltrada vai depender do tempo de duração da chuva; ela tem inclinação forte no início, quando o solo ainda estiver mais seco e vai diminuindo à medida do umedecimento, aproximando-se de um ângulo praticamente constante. As curvas deixam claro, também, que em condições normais não cessa a infiltração água no solo, pois a ação da gravidade vai drenando os poros maiores e abrindo espaço para entrada de mais água no perfil. A infiltração só cessará se, por uma barreira logo abaixo da superfície (camada rochosa ou argila adensada), o solo vier a ficar saturado. O valor da VIB vai depender, então, do volume dos poros maiores. A infiltração é um fenômeno de superfície, mas guarda, também, uma dependência da percolação, que é o movimento de descida da água infiltrada ao longo do perfil do solo. Portanto, para que a VIB seja alta, é preciso que a percolação também seja alta.

Se a chuva tiver sido de 54 mm/h, que também é uma medida de velocidade, e a infiltração no solo da parcela, no estado em que está, tiver sido de apenas 12 mm/h, é fácil deduzir que a superfície da parcela está absorvendo pouca água de chuva e deixando produzir grandes volumes de enxurradas, numa velocidade de 42mm/h (54 mm/h - 12 mm/h). Nas chuvas fortes, portanto, está havendo uma grande perda de água para abastecimento dos aquíferos.

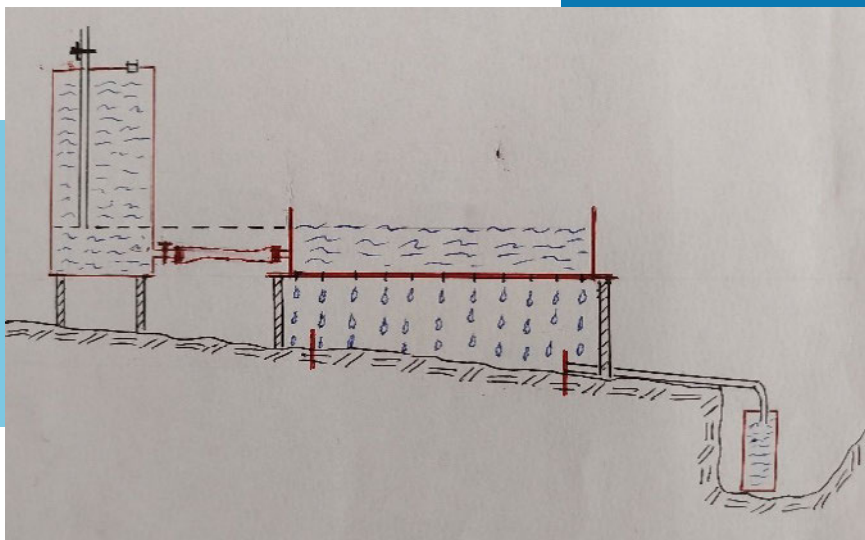
Para o traçado das curvas da Figura 9, é mais fácil usar um simulador de chuva. A coleta de dados é feita da mesma maneira, mas a chuva é fornecida por um equipamento com o Figura 10, por exemplo. Escolhe-se uma chuva que será mantida constante durante a operação (150mm/h, por exemplo), bastando regular a altura da lâmina d'água na bandeja. E para manter a chuva sempre em 150/mm/ a bandeja é ligada ao tambor por vaso comunicante. Um tubinho colocado verticalmente dentro do tambor permitirá que a altura da lâmina d'água permaneça na altura da ponta do tubinho (Figura 10b); esse tubinho ficará aberto na ponta superior, que está fora do tambor, permitindo entrada de ar. Assim, pelo princípio da garrafa de Mariotte, todo o volume de água do tambor, que estiver acima da ponta mergulhada do tubinho, escoará, mantendo constante a altura da lâmina na bandeja. Se o solo estive seco, no início da operação, será possível obter dados para a construção das curvas da Figura 9, bastando anotar quantidade de água escoada em uma

unidade de tempo, escolhida após alguns testes prévios. Se o interesse for apenas a determinação da VIB, basta usar o equipamento quando o solo já estiver bem úmido.

Mais detalhes sobre a constituição, montagem e operação do simulador poderão ser alcançados no Vídeo 19 da Faculdade da Água. Mas também é possível encontrar muitos exemplos de simuladores na literatura, bastando uma rápida consulta na internet.



(a)



(b) Figura 10 – Simulador de chuva, modelo UFV-1

Na Figura 11 está o esquema do Infiltrômetro de Cornell, que usa os mesmos princípios operacionais do simulador UFV-1, mudando apenas as dimensões e a posição dos bicos que estão posicionados no fundo do tubo que também é o depósito de água. O anel metálico deve ter resistência suficiente para ser pressionado no solo. Nele há, também, um engate para a mangueira que irá conduzir os volumes de enxurradas para o recipiente de coleta. No esquema fica claro o fato de o reservatório usar o mesmo princípio da garrafa de Mariotte, permitindo o consumo de todo o volume que está acima da ponta do tubinho sem alterar a altura da lâmina d'água que exerce pressão nos bicos.

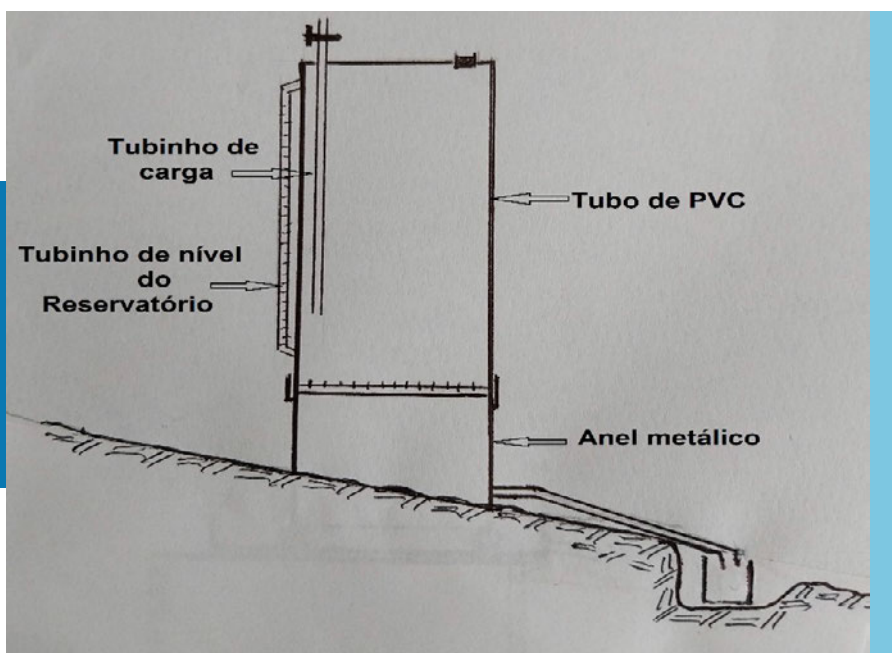


Figura 11 – Infiltrômetro de Cornell

A vantagem do Infiltrômetro de Cornell em relação ao UFV-1 é pelas suas menores dimensões, ou seja, tubo e anel de 25cm de diâmetro; e 90cm de altura do tubo-reservatório e 25 ou 30cm de altura do anel metálico. Já o UFV-1 usa um tambor de 200L e a bandeja tem 70x70cm. Dimensões menores facilitam o manuseio no campo, principalmente em áreas montanhosas. A desvantagem de menores dimensões é a diminuição da área de amostragem.

Como a infiltração é muito dependente das condições do meio, é fundamental que haja uma estratificação das áreas

da pequena bacia, contemplando principalmente as variações de solo, vegetação e declividade.

Em cálculos que serão feitos, por ocasião dos projetos, será sempre usada a VIB. Os valores mais altos no início da curva vermelha da Figura 9 acontecem quando o solo está seco. Nesse caso, os volumes infiltrados acabam ficando retidos nas primeiras camadas de solo, repondo as condições de umidade. A percolação, que vai levar água para os aquíferos, só é efetiva após atingimento da VIB.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Evapotranspiração é o fenômeno de passagem da água da forma líquida para vapor, quer por evaporação direta da superfície, quer por transpiração das plantas. Há equipamentos que podem ser usados para medir a evapotranspiração, chamados evapotranspirômetros ou lisímetros, como o mostrado na Figura 12. Nele vemos, no corte, uma caixa de PVC de 310 litros de capacidade, cheia de solo e com camadas de brita zero e areia grossa no fundo. Da caixa sai uma tubulação que leva a um recipiente de coleta de água de drenagem e que está num poço de visita. Ao cavar o buraco para instalação da caixa, deve-se separar o solo retirado em pelo menos três camadas, colocadas em separado. Depois de colocada a caixa, deve-se voltar com o solo, respeitando a posição de retirada e fazendo uma leve compactação. Da camada superior deve-se reservar

uma pequena quantidade, pois a caixa será irrigada e poderá ser necessário um complemento do volume.

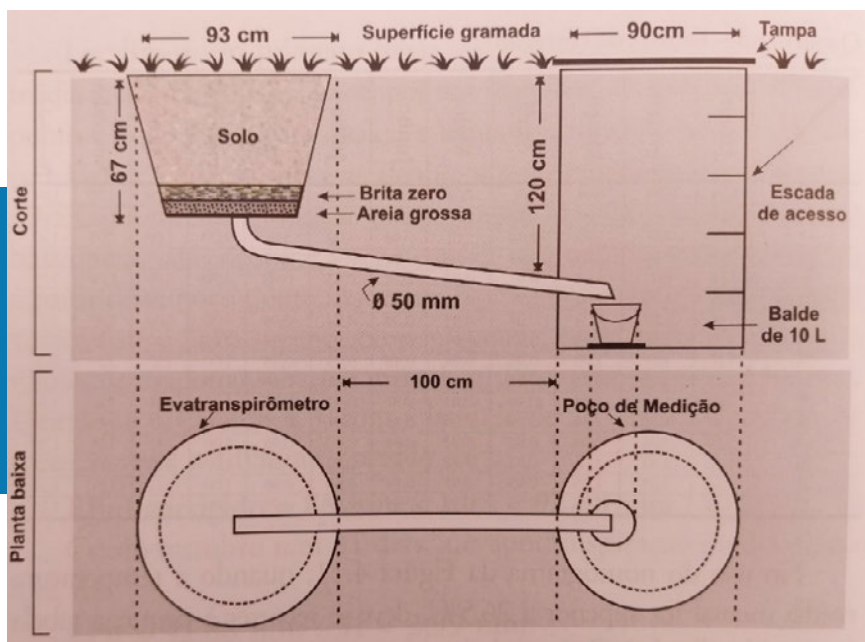


Figura 12 – Evapotranspirômetro

Depois do assentamento, deve-se irrigar a caixa até começar a drenagem que será conduzida para o recipiente colocado no poço de visita. O ideal é que isso seja feito por alguns dias para haver uma certa estruturação do solo colocado na caixa. Ao lado da caixa deve ser instalado um pluviômetro para medidas diárias de chuvas, se acontecerem.

O cálculo da evapotranspiração poderá ser feito pela fórmula:

$EP = P + I - D$, sendo

EP = Evapotranspiração no período, em mm;

P = Chuva no período, em mm

I = Irrigação no período, em mm

D = Volume drenado no período, em mm

Exemplo: Em sete dias de medições, houve 45mm de chuvas, 4,5L de irrigação e 6,4L de drenagem.

Como a caixa tem 0,68m² de área na superfície, basta dividir os volumes de irrigação e drenagem pela área superficial, adequando as unidades, para conseguir as quantidades em milímetros, assim:

$$I(\text{mm}) = 4,5\text{dm}^3 \div 68\text{dm}^2 \times 100\text{mm/dm} = 6,6\text{mm}$$

$$D(\text{mm}) = 6,4\text{dm}^3 \div 68\text{dm}^2 \times 100\text{mm/dm} = 9,4\text{mm}$$

Cálculo da evapotranspiração:

$$EP = 35\text{mm} + 6,6\text{mm} - 9,4\text{mm} = 32,2\text{mm (em sete dias)}$$

$$EP(\text{diária}) = 32,2\text{mm} \div 7 = 4,6\text{mm}$$

O valor calculado é médio, ou seja, os valores diários efetivos podem ter variado em função do nível de energia do dia. A evapotranspiração depende do nível de energia do meio, sinalizado pela temperatura, e da disponibilidade de água. No caso, como houve drenagem diária, não faltou água

e quem controlou a evapotranspiração foi a disponibilidade de energia, ou seja, a condição climática. Agora vale a pena pensar um pouco: se se deixar o solo da caixa ir secando, a evapotranspiração passará a depender tanto da variação de energia, quanto da disponibilidade de água.

A evapotranspiração que depende só da condição climática, pois água está plenamente disponível, pode ser calculada por fórmulas disponíveis na literatura e é chamada de evapotranspiração potencial. A que estiver ocorrendo com deficiência de umidade no meio é conhecida como evapotranspiração real. Esta também ocorreria com deficiência de energia, mas é bom lembrar que a variação de energia não está sob comando humano. Pelo menos por enquanto.

Continuando a pensar e usando os dados que foram expostos nas análises de vazões, ou seja, que uma pequena bacia de 180ha recebeu média de 1300mm de chuva anual e produziu, pelo córrego, a também vazão média de 720l/min, chega-se à conclusão que houve uma entrada de 2.340.000 m³ pelas chuvas e uma saída ou produção de 378.691,2m³. Ou seja, a saída foi de aproximadamente 16% da entrada. Recorrendo, agora, à Figura 2, pode-se concluir, à primeira vista, que 84% evapotranspirou. Essas percentagens são originadas da aplicação da seguinte fórmula de balanço hídrico:

$$EP = P - Q \text{ 4 } S$$

O S representa a variação do armazenamento subterrâneo (do aquífero). Se a variação for positiva durante o ano, o valor resultante dela irá aparecer na fórmula com sinal negativo; se diminuir, com sinal positivo. Mas como a influência dos valores de S não são muito significativos em relação às outras quantidades, ele acaba sendo desconsiderado, principalmente se os valores de P e Q forem médias de pelo menos cinco anos.

Parece fácil, a essa altura, verificar que a pequena bacia é como se fosse a caixa da Figura 12 e a produção de água representada pelos valores drenados. Se chove muito e não evapotranspira tanto, pode ir mais água para o aquífero e para a descarga pelas nascentes e córregos; mas desde que se lute por maior infiltração e a consequente diminuição das enxurradas.

Já foi mencionado aqui no texto que a evapotranspiração aceita como média geral para fins de alguns projetos está em torno de 70%. Trabalhos feitos pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) indicaram, entretanto, uma evapotranspiração média para o país de 75%. O alto valor encontrado, de 84%, pode ser devido a várias razões como: presença de vegetação altamente consumidora de água por transpiração, captação para irrigação em posição à montante do local de medição, erros de medições etc. Bons conhecimentos de hidrologia aplicada e boa presença no campo ajudarão a explicar os 84%. E um detalhe importante, o valor alto traz a ideia de que poderemos ter boas oportunidades de aproveitar melhor os volumes de água disponibilizados pelas chuvas.

6.1.5 Meta Hidrológica

Há uma decisão importante que na maioria das vezes não é tomada em projetos nominados como de revitalização de bacias hidrográficas. Trata-se da definição da Meta Hidrológica, ou seja, o que se esperar dos trabalhos de conservação para o aumento da produção de água. Fica-se muito na expectativa de melhora e na confiança de que providências ambientais sejam suficientes para que a bacia passe a ter uma boa capacidade de produção de água. É preciso mais do que isso, que a avaliação de comportamentos hidrológicos seja baseada em números. E a Meta Hidrológica deve ser numérica, ou seja, aumentar, por exemplo, a vazão do córrego em 30%. Mas como escolher a Meta Hidrológica?

A primeira exigência para a escolha da Meta é ter dados de comportamento hidrológico da pequena bacia, principalmente os de precipitação, vazão e infiltração. Melhor que sejam dados de pelo menos cinco anos; mas nada impede, pela premência de melhoras na produção de água, que se comece com dados de apenas um ano, mas com acompanhamentos e aprimoramentos futuros.

Aqui vale a pena um parêntese: a hidrologia tradicional trabalha muito com dados históricos de muitos anos, mas as mudanças têm sido muito rápidas ultimamente e tais dados podem mascarar situações atuais das pequenas bacias. O que os dados mais antigos podem fazer é mostrar quais eram os comportamentos

há 40/50 anos, por exemplo, ajudando na escolha de Meta que possa ser mais viável.

Mas voltando à pergunta, será importante algumas análises, tais como:

- Uma análise da hidrógrafa (como a da Figura 8, por exemplo) para descobrir os valores anuais de vazão média geral e vazão média de base;
- Cálculo da percentagem dos volumes recebidos pelas chuvas que estão sendo conduzidos para os aquíferos;
- Selecionar as chuvas mais intensas que têm atingido a pequena bacia, ver o número delas e qual o significado das mesmas em relação aos totais anuais;
- Determinar a disponibilidade teórica de volumes para serem trabalhados, considerando-se a evapotranspiração média de 75%, conforme pesquisa da ANA para o país;
- Escolher áreas de trabalho para aplicação de práticas de conservação e determinar as velocidades de infiltração básica;
- Fazer uma anamnese hidrológica, usando boas conversas com produtores rurais e suas famílias, buscando informações sobre comportamentos das nascentes e dos córregos ao longo do tempo.
- Como se vai trabalhar com as condições ambientais da pequena bacia, é importante, também, que os demais

recursos naturais da mesma sejam levantados e estudados, principalmente daquelas áreas que serão previamente escolhidas para receber intervenções.

- Os sistemas de exploração também precisam ser analisados e as escolhas de tecnologias de conservação devem contar com a participação dos produtores e produtoras rurais e suas famílias.

Com os dados e as análises feitas é possível escolher uma Meta

Hidrológica para ser inicialmente trabalhada. No caso presente, vai ser perseguido um aumento de 30% da vazão atual do córrego drenante. Mas é bom deixar bem claro que este valor poderá ser alterado ao longo do projeto, para mais ou para menos, conforme os dimensionamentos que serão feitos.

A seguir, um exemplo de dados e de análises, usando números já expostos no entorno da Figura 8.

Alguns dados:

- Chuva anual de 1.300mm, sendo 650mm oriundos de eventos com intensidades acima de 20mm/h e durações variando de 20 a 60 minutos. As chuvas mais intensas e mais comuns estão em torno de 55mm/h, com duração de 20min;
- Vazão média anual do córrego = 720L/min;

- Vazão média anual de base = 288L/min;
- Entrada de 2.340.0003/ano
- Produção de 378.691m³/ano (16% da entrada);
- Armazenamento no aquífero = 151.476m³/ano.

Algumas análises:

A produção média anual de 720L/min, representando 16% dos volumes

de entrada, até que não está ruim, pois se se considerar uma evapotranspiração de 75%, fica apenas um desaparecimento de 9%. O problema está no armazenamento do aquífero que está contribuindo com apenas 6,47% dos valores de entrada ($151.476 \div 2.340.000 \times 100$).

Olhando para a hidrógrafa da Figura 8, será fácil entender isso, pois fica claro o grande volume escoado por enxurradas entre janeiro e abril. O não armazenamento maior dos volumes de entrada provocou as baixas produções entre maio e outubro/novembro. Mas uma coisa fica clara: há bons volumes disponíveis para serem manejados e levados para o aquífero, contribuindo para maior regularização da vazão ao longo do ano.

Se a Meta Hidrológica escolhida for, por exemplo, o aumento de 30% no armazenamento, chega-se ao valor de 196.918,8 m³. A quantidade a ser aumentada é, portanto, de

45.442,8 m³ (196.918,8 – 151.476). Aí está materializado o desafio de buscar alternativas para o atendimento (Projeto).

6.1.6 Projeto de revitalização

Este item vai ser escrito na primeira pessoa, pois vai expressar decisões e escolhas do autor. Mas vai ser na primeira pessoa do plural, pois vou convidar o leitor para caminharmos juntos pelos raciocínios, análises e cálculos. Também não iremos discutir um caso real, mas vamos usar dados e raciocínios muito próximos de realidades vividas, procurando exemplificar procedimentos que possam viabilizar o atendimento da Meta Hidrológica escolhida. Vamos usar as informações referentes à pequena bacia de 180h, de ordem 2, mencionada no final do item 3.2.

ANÁLISE DE DADOS HIDROLÓGICOS E ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA CUMPRIMENTO DA META ESCOLHIDA

Com os dados hidrológicos em mãos, eles serão analisados usando a metodologia de Contabilidade de Água. A partir dessa análise, as alternativas de manejo serão escolhidas após uma boa anamnese da condição ambiental da pequena bacia; anamnese que contemplará o estudo dos recursos naturais da área, dos sistemas de exploração que estão sendo utilizados e da sensação das famílias quanto a

possíveis alterações dos hábitos atuais. Para essa etapa, portanto, nada como uma boa conversa com os membros das famílias da pequena bacia.

A exploração mostra que a pequena bacia tem, em torno das nascentes e dos córregos, uma área de 60ha de pastagens, com solos do mesmo tipo, sendo que 10ha já passaram por tecnologias de recuperação; os restantes 50ha mostram visíveis estados de degradação. Como, nas conversas com os proprietários, tenha ficado claro que eles não podem abrir mão das pastagens, tais áreas foram escolhidas inicialmente para trabalhos de conservação, mas sempre com viés hidrológico.

Quanto à necessidade de melhorar o estado vegetativo das pastagens, os produtores rurais já estão motivados para a adoção de novas tecnologias, tanto na utilização de forrageiras mais produtivas, quanto na adoção da técnica de rotação. É claro que, por questões financeiras, não há possibilidade de atacar toda a área em apenas um ano.

A nossa primeira providência será a instalação de parcelas de infiltração, tanto nos 50ha degradados, quanto nos 10ha já melhorados. O comportamento da área de 10ha servirá de modelo para o que poderemos fazer nos demais 50ha. Vamos supor que as velocidades de infiltrações básicas venham a ser de 15mm/h, na melhorada, e 9mm/h, na degradada.

A Figura 8 e o item 4 já trazem dados hidrológicos da pequena bacia. E a hidrógrafa da Figura 8 mostra uma grande

diferença de vazões do córrego entre os meses chuvosos e de estiagens, indicando que há um baixo armazenamento nos aquíferos (só 6,47%) que são responsáveis pelas vazões de estiagens. A entrada está boa, mas o processamento está falhando na distribuição melhor desses volumes recebidos ao longo do ano.

Uma boa análise da matéria-prima, as chuvas, mostra que, dos 1.300mm anuais, 600mm são provenientes de chuvas com intensidades variando em torno de valores médios de 20mm/h e 40min de duração, até algumas mais intensas de 60mm/h, com duração de 20min. A análise mostra, também, que a primeira tem ocorrido 15 vezes por ano, em média, e a segunda, 5 vezes.

Vamos, agora, para alguns cálculos aritméticos, aplicando a Contabilidade de Água. E vamos começar usando os dados de infiltração e de chuva e adotando a pastagem de 50ha como área de trabalho. Teremos **para as chuvas 20mm/h:**

- Quantidade de chuva recebida em cada evento (C)

$$C1 = 20\text{mm/h} \div 60\text{min/h} \times 40\text{min} = 13,3\text{mm}$$

- Quantidade infiltrada nas condições atuais (Ia)

$$Ia = 9\text{mm/h} \div 60\text{min/h} \times 40\text{min} = 6\text{mm}$$

- Quantidade infiltrada quando da melhoria da pastagem, conforme

medida nos 10ha já reformados (I_p)

$$I_p = 15\text{mm/h} \div 60\text{min/h} \times 40\text{min} = 10\text{mm}$$

- Acréscimo no armazenamento dos aquíferos, por chuva (A_e)

$$A_e = (10\text{mm} - 6\text{mm}) \div$$

$$1.000\text{mm/m} \times 10.000\text{m}^2/\text{ha} \times 50\text{ha} = 2.000\text{m}^3$$

- Quantidade armazenada com 15 chuvas (A_{15})

$$A_{15} = 2.000\text{m}^3/50\text{ha} \times 15 \text{ chuvas} = 30.000\text{m}^3/50\text{ha}$$

Agora vamos para a chuva de 60mm/h:

$$C_2 = 60\text{mm} \div 60\text{min/h} \times 20\text{min} = 20\text{mm}$$

$$I_a = 9\text{mm/h} \div 60\text{min/h} \times 20\text{min} = 3\text{mm}$$

$$I_p = 15\text{mm/h} \div 60\text{min/h} \times 20\text{min} = 5\text{mm}$$

$$A_e = (5\text{mm} - 3\text{mm}) \div 1.000\text{mm/m} \times 10.000\text{m}^2/\text{ha} \times 50\text{ha} = 1.000\text{m}^3/50\text{ha}$$

- Quantidade armazenada com 5 chuvas

$$A_5 = 1.000\text{m}^3/50\text{ha} \times 5 \text{ chuvas} = 5.000\text{m}^3/50\text{ha}$$

Mesmo depois de implantadas as novas ferramentas de conservação, continuará a existir grandes volumes de enxurradas, conforme veremos a seguir.

Para a chuva de 20mm/h :

- Perdas por enxurradas (Vex)

$$\begin{aligned} \text{Vex1} &= (13,3\text{mm} - 10\text{mm}) \div \\ &1.000\text{mm/m} \times 10.000\text{m}^2/\text{ha} \times 50\text{ha} = \\ &= 1.650\text{m}^3/50\text{ha} \end{aligned}$$

Para a chuva de 60mm/h:

$$\begin{aligned} \text{Vex2} &= (20\text{mm} - 5\text{mm}) \div \\ &1.000\text{mm/m} \times 10.000\text{m}^2/\text{ha} \times 50\text{ha} = \\ &= 7.500\text{m}^3/50\text{ha} \end{aligned}$$

Somando os acréscimos A15 e A5, vamos ver que o valor, 35.000m³, está abaixo dos 45.442,8m³ necessários para cumprir a Meta Hidrológica escolhida no final do item 4. Mas observe que falamos em 600mm de chuvas entre as de 20mm/h e 60mm/h. Usamos só estas nos extremos e elas representam apenas de 49,9% dos 600mm, conforme mostrado no cálculo a seguir:

$$\begin{aligned}
 & (15 \times C1 + 5 \times C2) \div 600\text{mm} = \\
 & (15 \times 13,3\text{mm} + 5 \times 20\text{mm}) \div 600\text{mm} = \\
 & = 49,9\%
 \end{aligned}$$

Devemos voltar aos dados de chuvas e procurarmos outros valores presentes no intervalo, calculando suas possíveis contribuições ao aquíferos. Talvez consigamos atingir a Meta.

Temos, também, a possibilidade de construir terraços nas pastagens. Por exemplo: 10 terraços de base estreita por hectare, com seções molháveis de 40cm x 30cm. Eles irão permitir uma retenção (Rt) de:

$$\begin{aligned}
 Rt &= (0,4\text{m} \times 0,3\text{m}) \times 100\text{m} \times 10\text{terraços/ha} \times 50\text{ha} = \\
 & 6.000\text{m}^3/50\text{ha}
 \end{aligned}$$

E há disponibilidade para isso, pois o somatório de Vx1 com Vx2 dá 9.150m³. Com os terraços, já fica possível chegarmos a 41.000m³ (35.000 + 6.000).

A esta altura, o leitor já deve ter absorvido qual é o procedimento que deveremos seguir para tentar alcançar a Meta. Há muitas outras áreas nos restantes 130ha da pequena bacia. Usamos muito pouco até agora. É só ir em frente com as escolhas e os cálculos hidrológicos para as demais áreas. Vale lembrar, ainda, que foram pensados apenas os terraços, como práticas mecânicas de conservação. Mas restam,

também, as caixas de retenção de enxurradas e as barraginhas. Caixas poderão reter, individualmente, volumes de enxurradas de 12m³ e barraginhas poderão chegar a 20m³.

Mas você, leitor, poderá estar estranhando que não fizemos nenhuma proposição de reflorestamento. E há uma explicação para isso. São pequenas propriedades que praticamente já cumprem as exigências do Código Florestal. Fizeram o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e estão aguardando as análises para fazer os ligeiros ajustes, que já reconhecem serem necessários. Mas os ajustes não atingirão áreas suficientes para produzirem mudanças significativas no comportamento hidrológico da pequena bacia. E por serem pequenas propriedades, os proprietários não estão, à primeira vista, dispostos a cederem mais áreas para reflorestamento.

NECESSIDADES DE MANUTENÇÃO

As tecnologias escolhidas e planejadas para a conservação das nascentes e dos córregos, como foi o caso da melhoria das pastagens, que é uma prática vegetativa, e a construção de terraços, prática mecânica, precisam de um plano de manutenção. As pastagens precisam ser reformadas com forrageiras adaptadas ao solo e às condições climáticas e receberem alguma forma de adubação periódica para conservarem o vigor necessário a uma boa ação hidrológica, ou seja, uma boa velocidade de infiltração

básica. Também o seu manejo como a taxa de lotação e a rotatividade da pastagem, pela divisão em piquetes. Se o objetivo for trabalhar com áreas de cultivos anuais, será importante que a prática adotada seja a do plantio direto. É claro que não temos a intenção, aqui, de entrar nos aspectos relativos às tecnologias de implantação dos cultivos, pois tal atividade envolve conhecimentos técnicos específicos. Conhecimentos que podem ser buscados e conseguidos em órgãos de assistência técnica, como Emater e Senar; também em publicações da Embrapa e de instituições de pesquisas dos estados.

Quando se trata de práticas mecânicas, há algumas constatações preocupantes em projetos já executados e que não contemplam as necessárias manutenções que precisam ser feitas pelo menos uma vez por ano. No caso presente, o exemplo que demos foi do uso de terraços de bases estreitas, conhecidos na conservação de solos como cordões em contorno. Devem ser prioritariamente em nível, mas como isso às vezes fica difícil de executar na prática, e para evitar grandes concentrações de água em pequenos espaços, em pontos que fiquem mais baixos, é aconselhável fazer pequenos bloqueios ao logo do terraço, dividindo-o em trechos de cinco a dez metros, por exemplo. Esses bloqueios costumam ser conhecidos como “travesseiros”. Outra boa providência é vegetar bem o entorno de terraço, evitando que o quase inevitável extravasamento provoque

erosão de solo. A Figura 13 mostra um terraço bem protegido, com a água limpa indicando uma área bem vegetada, com ausência de sinais de erosão.



Figura 13 – Terraço bem protegido por vegetação

O ideal, entretanto, é que o terraço seja limpo uma vez por ano, antes dos períodos chuvosos, evitando o assoreamento. Quando em solos muito argilosos essa prática é fundamental para evitar que o depósito de partículas finas forme uma camada impermeabilizante, dificultando a infiltração de água; em linguagem técnica, esse fenômeno é conhecido pelo nome de colmatção.

Vemos muitas vezes, também, a construção de terraços de bases largas, feitos com o uso de tratores de esteira. Se em pastagens, eles podem acabar sendo usados pelos animais, nas áreas de maiores declividades, como trilhas de circulação, produzindo compactação do solo, limitando a infiltração e causando os extravasamentos comumente observados.

Algumas prefeituras costumam construir caixas de retenção de enxurradas, e também barraginhas, às margens das estradas vicinais, mas nem sempre fazem as manutenções anuais, tornando-as sem efeito em pouco tempo. Muitos projetos de revitalização de bacias hidrográficas, financiados por instituições públicas e até por Comitês de Bacias, acabam não prevendo as necessárias manutenções. E aqui aproveitamos a oportunidade de fazer uma crítica ao sistema atual de financiamento de poderes públicos. Eles costumam seguir procedimentos semelhantes aos de obras de infraestrutura, ou seja, uma empresa faz o projeto, outra executa e outra fiscaliza. Terminado o projeto vai todo mundo embora e tudo se deteriora em pouco tempo. E a necessária empatia

acaba também indo embora. Muitas vezes ela nem chega a estar presente durante os trabalhos. A lida no meio rural exige apoio técnico de quem entende do riscado e, para pequenas propriedades, as maiores ocupantes de pequenas bacias de cabeceiras, o trabalho precisa ser feito com metodologia de extensão rural.

COMUNIDADES RURAIS EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Muitos projetos de conservação de nascentes e córregos podem ser de interesse próprio dos proprietários rurais que já convivem com escassez de água nos períodos de estiagens. E água é o insumo fundamental para o bem-estar da propriedade rural. Nesse caso, eles precisam estar capacitados para lidar com o ecossistema hidrológico e dispostos a participarem na coleta, na análise dos dados e nas escolhas das tecnologias de conservação. Podem até mesmo ficarem responsáveis pelas manutenções. Mas o mais importante, entretanto, é uma mudança de comportamento.

A Figura 14a mostra o comportamento que predomina atualmente nas relações das comunidades rurais com as pequenas bacias. A comunidade ali chamada de sistema familiar está posicionada acima da pequena bacia e age como simples dono. Já no caso da Figura 14b, o sistema familiar foi levado para dentro da pequena bacia, passando a ser

chamado de ecossistema familiar, ou seja, deixando de se comportar como simples dono e passando a se considerar componente do meio. E assim fica mais preparado para interagir positivamente com o ecossistema hidrológico presente, produzindo melhores resultados na produção de água.

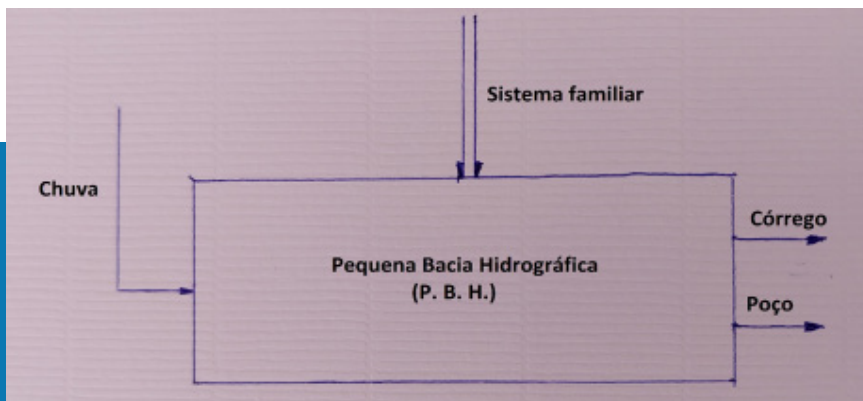


Figura 14a – Sistema familiar acima da pequena bacia

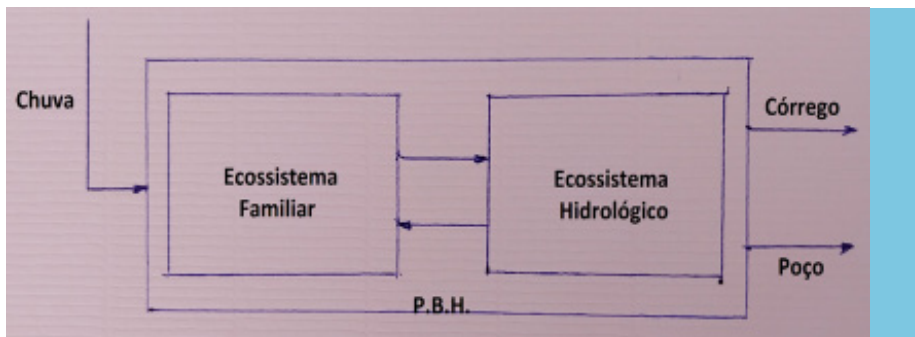


Figura 14b – Ecossistema familiar compondo a pequena bacia

No final da **Introdução** foi mencionado que a pequena bacia poderá estar ocupada por várias propriedades rurais ou por apenas uma. Até mesmo uma grande propriedade poderá abarcar mais do que uma pequena bacia. Mas o mais importante é que, qualquer que seja a situação, predomine o comportamento da figura 14b.

6.1.7 Observações Finais

6.1 Nós, hidrologistas de pequenas bacias, gostamos muito da Metodologia de Contabilidade de água, gerando todos aqueles números calculados sobre o comportamento hidrológico atual e projetado. Eles nos dão diretrizes para uma atuação consciente em prol da melhoria de produção de água. Deixamos de lado o simples desejo para lutarmos por objetivos claros, permitindo que a adoção de quaisquer providências de conservação estejam fundamentadas em princípios hidrológicos, analisados e acompanhados *in loco*. Nada de equações implementadas ou corrigidas por coeficientes, muitas vezes empíricos ou retirados de tabelas provenientes de outras realidades. É preciso ficar claro, também, que a Meta tem que ser hidrológica. As áreas de trabalho, como foram as de melhorias de pastagens e de construção de terraços, não devem ser Metas em projetos de produção

de água, como é comum vermos no país; são apenas meios;

6.2 Não há nenhuma garantia de que uma boa providência ambiental irá, por si só, produzir boas mudanças no comportamento hidrológico da pequena bacia, quando o objetivo for o aumento da produção de água. Até mesmo a obrigatória presença da vegetação ciliar, conforme previsto no Código Florestal, pode não produzir um bom efeito hidrológico de produção quantitativa de água, apesar da indiscutível ação ambiental positiva;

6.3 Fizemos cálculos e geramos expectativas. Mas não podemos nos esquecer que estamos lidando com uma unidade ambiental que tem suas especificidades e que detalhes podem ter passado despercebidas. Daí a importância de continuar fazendo medições, principalmente de chuvas e vazões, para ver se haverá necessidade de ajustes. Também há de se fazer uma previsão de tempo para perseguição da Meta. No caso da pequena bacia trabalhada, já fica estabelecido que a reforma das pastagens vai ser feita num prazo de dois a três anos;

6.4 Alguém poderá estar estranhando não termos falado na necessidade de mapas. Mas isso porque em bacias pequenas não é uma providência fundamental.

Podemos usar imagens disponíveis, como no caso do Google Earth, e trabalharmos com croquis da área. Também é possível que produtores já tenham suas propriedades mapeadas.

6.5 A ANA tem um programa intitulado Produtor de Água, desde 2001, e lançou, há pouco tempo, um conjunto de Manuais com diretrizes para a confecção de projetos de revitalização de recurso hídricos. Vale a pena um acesso ao site da ANA para uma consulta a tais Manuais. A preocupação demonstrada ali é com projeto de maior escala, em comparação com o que foi objeto deste texto. Também dá ênfase aos aspectos ambientais, enquanto, aqui, a preocupação foi a Meta Hidrológica fundamentada em princípios da hidrologia aplicada a pequenas bacias hidrográficas.

6.6 No caso dos Comitês de Bacias, que atuam em grandes áreas, eles precisam planejar ações em sequências de pequenas bacias, evitando dispersão de recursos e facilitando a avaliação de resultados, que poderão ser feitos com dados quantitativos de vazões e não com simples adjetivações. Ou então contabilizarem, como resultados, os reflorestamentos e demais práticas de conservação, na esperança de que isso seja suficiente para otimizar o ecossistema hidrológico.

6.7 Produtores e produtoras rurais e suas famílias são, muitas vezes, os principais interessados na produção de água, por ser insumo fundamental para suas atividades. Daí poderem ser até responsáveis pela implantação e manutenção das estruturas de conservação. Mas convém não se esquecer de que, por legislação, a água é um bem de domínio público e precisa de licença de captação. Portanto, o trabalho do ecossistema familiar é de interesse da sociedade e deve merecer o apoio público através do programa já existente e conhecido como Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). O PSA começa a ganhar corpo no país e é bom que produtores e produtoras rurais estejam atentos a ele e lutem pelos recursos disponibilizados.

6.1.8 Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manuais Programa Produtor de águas.** Brasília, ANA, 2025.

BRANDÃO, Viviane dos Santos; PRUSKI, Fernando Falco; SILVA, Demetrius David. **Infiltração da Água no Solo.** Viçosa, UFV, 2002. 98p.

CASTRO, Paulo Sant'Anna; GOMES, Marcos Antônio. Técnicas de Conservação de Nascentes. **Revista Ação Ambiental**, Viçosa, v. 4, n. 20, p. 24-26, 2001.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. **Degradação de pastagens: Conceitos, processos e estratégias de prevenção**. Belém, Edição do Autor, 2011. 215p.

FACULDADE DA ÁGUA (canal do YouTube):
faculdadaagua6807

MARTINS, Sebastião Venâncio. **Recuperação de Áreas Degradadas**. Viçosa, Editora Aprenda Fácil, 2021. 230p

PEREIRA, Antônio Roberto; VILLA NOVA, Nilson Augusto; SEDIYAMA, Gilberto Chokaku. **Evapotranspiração**. Piracicaba, USP, 1997. 183p.

RAMOS, Márcio Mota; OLIVEIRA, Rubens Alves. **Medição de vazão de pequenos cursos d'água (Coleção SENAR-80)**. Brasília, SENAR, 2003. 64p

PRUSKI, Fernando Falco; BRANDÃO, Viviane Santos; SILVA, Demetrius David. **Escoamento Superficial**. Viçosa, Editora UFV, 2003. 88p.

SANTOS, Álvaro Rodrigues; SEKULA, Jamile Iara. **Manual Técnico para Identificação de Nascentes**. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2025. 78p.

SERATTO, Celso Daniel et. al. **Infiltrômetro de aspersão de Cornell: Aspectos construtivos, operacionais e de manutenção**. Londrina, Embrapa, 2015. 66p.

PIRES, Fábio Ribeiro; SOUZA, Caetano Marciano. **Práticas Mecânicas de Conservação do Solo e da Água**. Viçosa, UFV, 2003. 176p

TUBELIS, Antônio. **Conhecimentos práticos sobre clima e irrigação**. Viçosa, Editora Aprenda Fácil, 2001.224p.

VALENTE, Osvaldo Ferreira; GOMES, Marcos Antônio. **Conservação de Nascentes: Produção de Água em Pequenas Bacias hidrográficas**. Viçosa, Editora Aprenda Fácil, 2011. 267p.

VALENTE, Osvaldo Ferreira. **Reflexões sobre a aplicação do conceito de bacias hidrográficas-esponja**. Instituto Humanistas- Unisinos, 2024: <https://www.ihu.unisinos.br/.../640177>

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, Editora UFV, 2000. 449p.

VIEIRA, Hélio Alves; VALENTE, Osvaldo Ferreira; BERNARDO, Salassier; CASTRO, Paulo Sant'Anna. Infiltrômetro para Aplicações Florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 2, n.2, p 214-216. 1978.

6.1.9 Ilustrações



Pastagem degradada, terraceada e preparada para recuperação



Caixa de retenção de enxurradas em cafezal



Pastagem recuperada



Construção de barraginha

6.2 Dinâmica hidrogeológica de bacias hidrográficas

José Luiz Albuquerque Filho – geólogo, Pesquisador – IPT –
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Para o entendimento de todo o processo de dinâmica hidrogeológica em uma bacia ou sub-bacia hidrográfica é necessário ter em vista que a água no meio ambiente não ocorre fracionada, em porções independentes, desconectadas e sim, são integradas, compondo um ciclo hidrológico, contínuo, com parcelas sempre em movimento, ora em vias aéreas, ora superficiais e, também, nas camadas subterrâneas, sejam nas zonas não saturadas ou sejam saturadas, nas porções denominadas aquíferos.

Dessa forma, a dinâmica das águas subterrâneas está vinculada com as parcelas sobrejacentes e adjacentes e essas, por sua vez, dependem estreitamente do comportamento dos fluxos subterrâneos, de forma concertada.

Portanto, pode ser depreendido que a dinâmica hidrogeológica encerrada em uma unidade hidrográfica (bacia ou sub-bacia) compreende o movimento, armazenamento, transmissão, circulação e interação das águas subterrâneas, ali existentes, com a rede de cursos d'água superficiais, que

compõem as drenagens da área (riachos, igarapés, arroios, córregos, ribeirões, rios e afluentes).

Essa concertação dinâmica é materializada via o funcionamento completo do ciclo hidrológico que é caracterizado pela movimentação circular da água, podendo se considerar, por exemplo, iniciando com a ocorrência da precipitação pluviométrica, seguindo-se do escoamento de parte das chuvas na superfície do solo e parte, se infiltrando e atravessando a denominada zona não saturada e, em seguida, alcançando os aquíferos, compondo o armazenamento, dando continuidade na transmissão e circulação por meio dos fluxos subterrâneos, para finalmente, alcançar os cursos d'água superficiais constituindo a descarga subterrânea, também definida como fluxo de base, essencial para a manutenção da perenidade e existência dos cursos d'água superficiais (riachos, igarapés, arroios, córregos, ribeirões, rios e afluentes).

Um caso que pode ser considerado particular da descarga subterrânea diz respeito ao afloramento das águas subterrâneas concentrado em pontos que ocorrem em distintas feições de relevo, quais sejam, encostas, vales, cabeceiras de drenagem, taludes, grotas, dentre outros, e constituem as denominadas nascentes, surgências ou olhos d'água, além de outras denominações que possam receber.

Cabe lembrar que, também, são elementos componentes desse ciclo hidrológico a evaporação direta da água dos cursos d'água superficiais e dos espelhos d'água de lagos,

lagos, represas, oceanos e mares, bem como, a evapotranspiração resultante do metabolismo da cobertura vegetal. A evaporação ocorre, também, ainda no processo de precipitação pluviométrica, atingindo parcelas da chuva antes de alcançar cobertura vegetal ou a própria superfície terrestre, cursos d'água, lagos ou mares e oceanos.

A **Figura** apresentada a seguir ilustra os componentes da dinâmica da água no ciclo hidrológico, destacando-se as parcelas que compõem o sistema subterrâneo.

É importante ressaltar que modificações ambientais causadas pelas intervenções antrópicas podem causar prejuízos significativos no ciclo hidrológico, ao impactar o balanço natural na entrada de água no solo nos processos como infiltração, na supressão de vegetação que eleva taxas de evapotranspiração, na modificação de canais naturais que proporcionam o escoamento superficial e, por fim, na diminuição do armazenamento de água subterrânea, que constitui manancial estratégico e, muitas vezes, fonte exclusiva da água para o abastecimento humano e animal e, também, o desaparecimento de nascentes.

Como exemplos de consequências que poderão advir do desequilíbrio em níveis significativos nos ciclos hidrológicos, podem ser citados a impermeabilização do solo e enchentes e inundações, a redução da evapotranspiração e secas, o assoreamento e poluição dos cursos d'água e drenagens naturais, redução da recarga de aquíferos e alteração no clima com a formação das ilhas de calor.



— — — — — Nível da água subterrânea ou lençol freático (NA)

Fonte: PROAQUÍFEROS com adaptação: <https://youtu.be/4LKRIbPQps>

6.3 Gestão hídrica – uma visão da gestão dos recursos hídricos subterrâneos e sua interface com as nascentes

Valter Galdiano Gonçalves – Geólogo, especialização em Hidrogeologia e Gestão de Recursos Hídricos, Diretor Técnico das empresas Hidrogesp e DH

Inicialmente nosso agradecimento ao amigo Álvaro Rodrigues do Santos, pelo convite para trazermos aqui nossa opinião a respeito da situação quanto ao estágio atual da GESTÃO

DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A SUA RELAÇÃO IMEDIATA COM A SITUAÇÃO DAS NASCENTES. Também nosso agradecimento ao amigo e Geólogo José Eduardo Campos, que se prontificou a ler e contribuir com seu conhecimento, em relação a legislação de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo

Um bom desafio, expor e refletir sobre este assunto.

No Capítulo 2 do Livro – **“Proteção das Nascente e Gestão Hídrica da Bacia Hidrográfica”**, já se colocam alguns pontos a respeito do assunto.

Neste sentido vamos expor o que entendemos sobre a gestão das águas subterrânea x nascentes e, aqui, a sua conexão conosco – usuários que somos, tanto das águas de superfície, quanto das águas subterrâneas e do poço.

Já no *I CHING*, há cerca de 3.000 anos, dizia-se que:

“O Poço”

Pode-se mudar uma cidade, mas não um poço. O poço não aumenta nem diminui. As pessoas vão e vêm e recolhem a água. Se antes de a corda alcançar a água, o cântaro se quebra, isso traz infortúnio.”

Interpretação

O poço representa a fonte que atende às necessidades mais primordiais dos seres, e que permanece inalterada

desde a mais remota antiguidade. Mudam-se os usos e os costumes, os estilos de comportamento e as expressões culturais, mas a forma do poço continua a mesma, simbolizando as necessidades imutáveis da existência humana”.

Ao adotar esta visão – conceito – da filosofia chinesa, entendemos que, ainda que com todos os recursos que dispomos hoje, do conhecimento que acumulamos seja das leis da natureza, do ciclo hidrológico em específico, o fato é que, se um poço seca (ou se o nível d’água rebaixa a tal ponto que se torna difícil ou inviável retirar a água daquele poço), a vida no seu entorno – animal, vegetal, acaba por ter que buscar alternativas e, muitas vezes, mudanças.

Ondas de migração interna nos países, ou mesmo transfronteiriças, ocorrem não somente (e principalmente) por perturbações sociais, guerras, disputas insanas, mas também por decorrência de condições climáticas e, aqui, a água – sua falta – pela dificuldade em se obtê-la, tem sido um fator relevante e determinante destas ondas de migração.

E onde entra, no caso, a Política de Recursos Hídricos e a GESTÃO DE RECURSOS HIDRICOS X NASCENTES?

É sabido que o Brasil detém uma das maiores reservas de água doce do planeta, seja na superfície, seja no subsolo. Temos bacias hidrográficas de grande porte e dispomos de aquíferos que se situam entre os maiores do planeta (o primeiro, o segundo e muitos outros).

No entanto, e embora já tenhamos enfrentado problemas sérios de escassez localizada de água, o fato é que este quadro de escassez está presente no nosso cotidiano e cada vez mais demandando ações de elevado custo financeiro e social.

E se isto decorre de fatores naturais, como o fato de que grande parte da população (situada em região litorânea ou mesmo em áreas do interior) se encontra a grandes distâncias dos mananciais de superfície, ou mesmo distantes também, dos grandes aquíferos (Vide por exemplo – a Região Metropolitana de São Paulo, o Rio de Janeiro para citar dois importantes centros urbanos) é certo que temos que planejar ações de longo prazo para resolver esta situação. Ações imediatistas e remediadoras resolvem temporariamente e não impedem novas ocorrências.

A estes fatores se somam os efeitos decorrentes da deficiência ou falta de planejamento a longo prazo, da mesma forma que ocorre em relação a planos diretores que deixam de considerar uma visão completa das condições ambientais de um local específico, quanto a – solo, vegetação, drenagem e ainda dos riscos naturais, do conhecimento das condições climáticas usuais na região etc.

E a isto se soma o fato de que, processos implantados que deveriam se preocupar com a Gestão Integrada de Recursos Hídricos, acabam por não considerar todas as variáveis que deveriam compor este quadro de conhecimento mínimo, para que se possa, de forma eficiente, promover uma atuação preventiva (e preditiva) naquele espaço e ambiente.

A esta situação, também se deve acrescentar que possíveis situações decorrentes de ações antrópicas associadas a mudanças climáticas localizadas (ou não) como estiagem de longa duração, períodos de chuvas intensas, acima das médias históricas e ainda não bem conhecidas, levam a uma situação que muitas vezes tem escapado do alcance dos gestores.

Há que se destacar um fato que é muito bom e que diz respeito a condição de que o Brasil dispõe de boa legislação destinada a organização e linhas de ação para o planejamento e gestão de recursos hídricos. A Lei nº 9433/1997 – a Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos é atual e considera os melhores princípios que se aplicam em outros países como França, Canadá, Espanha para citar alguns.

Em decorrência dessa Lei, dispomos de uma prática muito importante de gestão descentralizada, por bacias e micro bacias hidrográficas e com uma participação relevante de todos os setores –das áreas de governança do estado – seja da união, seja dos estados e municípios propriamente ditos (que respondem pela organização institucional e também pela gestão dos recursos hídricos subterrâneos), seja também dos centros de pesquisa e da academia situados naquele espaço físico (da Bacia), mas também de representantes de setores diversos da sociedade civil organizada (associações, cooperativas etc)

Esta dinâmica tem produzido bons resultados e as políticas públicas de uso – outorga de direitos de uso- têm nascido

nestes comitês regionais. Se pode dizer que, não somente os Estados de São Paulo, Ceará, Pernambuco, Paraná – para citar alguns, dispõem de organização semelhante e atuante, mas praticamente em todo o país há organização das atividades, de forma bastante ativas e que considera esta mesma base organizacional.

No entanto, nos diversos setores percebe-se carência de ações integradas específicas para a gestão dos recursos hídricos.

Não se dispõe de uma política nacional integrada e sistemática de cadastro, inventário das diversas fontes (inclusive nascentes), das outorgas concedidas e principalmente de grupos mais bem capacitados e ágeis para análise e estudos permanentes, que possam atuar, por exemplo, no aprimoramento dos procedimentos de regularização e do uso dos recursos – sejam os de superfície, sejam os subterrâneos.

E, ao se defrontar com esta situação, o fato é que, quaisquer que sejam as ocorrências superficiais da água, em rios de pequeno ou grande porte, ou em lagos e pequenas lagoas, ou mesmo em outras fases do ciclo hidrológico – e aqui se destacam também as nascentes (nas suas várias formas de surgência, como destacado no escopo deste livro) em todas as suas formas e fluxos, acabamos, infelizmente, por perder o controle das medidas efetivas de proteção e, por consequência, criamos as condições para que também se altere ‘para pior’ aquilo que, até então, poderia ser natural e adequado às condições ambientais desse espaço físico

- sejam tanto dos cursos de água, na forma de lagos e nascentes, quanto do meio subterrâneo.

Sem dúvida, necessitamos da captação da água de todo e qualquer bom manancial para nosso suprimento - abastecimento público, dessedentação de animais, para atividades industriais e agrícolas (onde se encontram cerca de 70% da demanda).

E a fonte não pode e não deve ser somente o manancial de superfície, mas também e, inclusive, o subterrâneo (os aquíferos).

E desta forma e embora se fale muito de gestão e de formas de ação, o fato é que nos ressentimos muito da falta de ações integradas e que deveriam propiciar um melhor controle do que ocorre e principalmente do que não poderia e não deveria ocorrer.

Observamos que, embora o país disponha de boa e atual legislação, de grupos competentes em termos de conhecimento e que estão tanto nos centros de pesquisa e das universidades, mas também nos órgãos públicos, não conseguimos efetivar ações coordenadas que possam assegurar o pleno domínio o que acontece no país e em cada Estado. E por conta também desta situação, infelizmente a clandestinidade da captação - tanto no manancial de superfície, quanto no subterrâneo (e neste em particular é maior ainda, até pela dificuldade de identificar o local da captação) é um fator que agrava e dificulta a gestão.

Há relatos de que o Brasil tem perdido uma área úmida relevante – seja de várzea de rios, de lagoas e lagos, mas também de fontes que já chega a ordem de 11-12%.

Em uma publicação recente (MapBiomias) é descrito o efeito danoso ocasionado a lagoas, lagos e NASCENTES – devido esta perda de praticamente 12% da área úmida.

Por curiosidade, e que demonstra esta situação extremamente negativa – pode se dizer do que se passa na região dos Cerrados – a Caixa d'água do Brasil – onde nasce e de onde provém praticamente todas as águas que vão formar as bacias hidrográficas brasileiras. Observa-se em uma grande área do Cerrado um processo de ocupação que não é compatível com a estrutura do meio como um todo – da biodiversidade e do ecossistema ali presente – seja do solo, de suas características geológicas, do seu ecossistema como um todo. Há que conhecer melhor e se atuar de forma a buscar o equilíbrio entre a exploração sustentável e a preservação daquele espaço, principalmente pelo que representa para o país, no tema dos recursos hídricos.

Também, e há pouco tempo se discute, sobre os milhares de poços clandestinos e dos problemas ocasionados no nível de base e na vazão dos rios etc, por interferência não planejada e controlada do uso intensivo de alguns aquíferos freáticos.

São temas polêmicos, sem dúvida,, mas que levantam aspectos que devem ser objeto de preocupações e monitoramento contínuo, de pesquisa e que deverão suportar as ações

voltadas para a gestão integrada enquanto utilização dos recursos nestas regiões.

A FONTE - A NASCENTE - E A OBSERVAÇÃO QUANTO AO FATO DO POÇO SECAR - e isto provocar mudanças é o começo de uma outra etapa no ciclo hidrológico. Esta situação poderá afetar a todos, sem distinção.

Este ciclo que se iniciaria em decorrência de uma condição especial, em que a NASCENTE - O POÇO - venham a secar e desencadear outra dinâmica na vida de um povo, ainda que de uma pequena concentração de pessoas, deve ser literalmente estancado/interrompido.

Devemos envidar esforços para que a NASCENTE - O POÇO, não venham a secar por conta de ações erradas de nossa parte ou principalmente por não atuarmos de forma a entender o processo e sua evolução e a interromper as ações danosas ao meio onde um e outro se encontram presentes.

A nosso ver, isto pode ser efetuado com ações que, na maior parte das vezes, podem e devem ser decorrentes de processos educativos, desenvolvidos em escolas, no âmbito dos comitês de bacia e levadas à frente e, na prática pelos municípios onde ali se encontram

Aqui se faz necessária uma descentralização das ações, mas com uma diretriz que, efetivamente decorra do planejamento por parte dos comitês e dos conselhos estaduais de recursos hídricos.

Ao se criar e ou fortalecer estes grupos ou câmaras técnicas que atuam na gestão de recursos hídricos do estado, suportados pelos comitês de bacia, podemos de fato levar adiante outras ações preventivas ou mitigadoras que vão resultar em melhores condições para suportar perturbações naturais, decorrente de mudanças climáticas ou outro desequilíbrio temporário.

Destacamos algumas medidas, como incentivos efetivos à implantação de Matas Ciliares ao longo de qualquer curso de água e, aqui, basta atuar de acordo com o Código Florestal para já termos uma mudança de patamar relevante.

Ações desenvolvidas dentro do município e que conte com incentivo às comunidades rurais, dos sindicatos ali presentes e será possível ir ao encontro do que todos querem
– PRODUÇÃO DE ÁGUA

Revitalização de fontes e nascentes

Outras ações, de pequeno porte, porém de longo alcance, podem ser adotadas em várias atividades dos mais diversos setores no nosso dia a dia e nosso entorno

Podemos recomendar que se inclua termos de compromisso entre o Estado (União, Estado e Município) sempre que estiverem delegando e terceirizando serviços públicos a entes privados (ou mesmo administrados por entes públicos).

E aqui podemos destacar, sem dúvida, os setores de saneamento, para quem a água é o princípio de toda sua atividade.

Seja este tipo de serviço ou mesmo outros, em que a água não esteja “presente no dia a dia”, e destacamos alguns como concessões de rodovias, de ferrovias, de administração de parques etc, e que se estabeleça compromissos com o desenvolvimento de ações voltadas para a educação ambiental em toda a base do território de tantos municípios quantos aqueles em que estiver situado a área de atuação destes serviços.

Entendemos que, ao delegar serviços a terceiros, e sem que isto venha a impactar tarifas públicas, que estes compromissos podem e devem ser firmados e gerenciados pelo poder público através dos órgãos gestores, das agências existentes para aquela finalidade.

Destacamos também um ponto fundamental que decorre da presença efetiva de equipes multidisciplinares nos municípios (ou ainda que nas sedes regionais dos comitês de bacia – mesmo na forma de um consórcio técnico apoiador das ações naquela bacia) – constituídas por engenheiros geólogos, geotécnicos, biólogos etc. e que atuem junto aos municípios, apoiando efetivamente na gestão do uso e ocupação do solo e onde estes pontos que envolvem uso e proteção de recursos hídricos se constituam em capítulos específicos, que vão dar a direção quanto a viabilidade do uso ou de restrições a algumas outras atividades

6.4 Riscos geotécnicos associados a alterações do nível freático impõem a necessidade de adoção de rígidos critérios de gestão no manejo e exploração da água subterrânea

Álvaro Rodrigues dos Santos – geólogo, Diretor Técnico da ARS Geologia Ltda, SP

Luis de Almeida Prado Bacellar – geólogo, Professor da Universidade Federal de Ouro Preto, MG

6.4.1 Introdução

Ainda que as questões tratadas nesse texto não tenham vinculação direta com o tema central do Manual, ou seja, as nascentes, achou-se oportuno incluí-lo também nessa 2ª edição, atendendo o objetivo de registrar o quadro extremamente preocupante da atual condição de nossas águas subterrâneas. Como nas demais situações descritas, aqui também se evidencia a necessidade de adoção de critérios de gestão hídrica para todas as ações que de alguma forma interfiram com a dinâmica hidrogeológica das bacias hidrográficas afetadas por intervenções antrópicas.

O atual quadro atual de rebaixamento do lençol freático como decorrência do excesso de exploração da água subterrânea por poços profundos e/ou da redução de situações naturais de recarga dos aquíferos, aqui especialmente provocada pelo absurdo aumento do Coeficiente de Escoamento

Superficial nas áreas urbanas e rurais, vem impondo, além das enormes perdas de reservas estratégicas de água subterrânea e superficial (extinção de nascentes e cursos d'água) um grande aumento de situações de riscos geotécnicos para empreendimentos de engenharia instalados nas regiões afetadas.

Esse cenário reforça a premente necessidade de adoção de rígido controle da exploração da água subterrânea nas regiões que por suas características geológicas apresentem maior risco potencial para tal tipo de fenômeno.

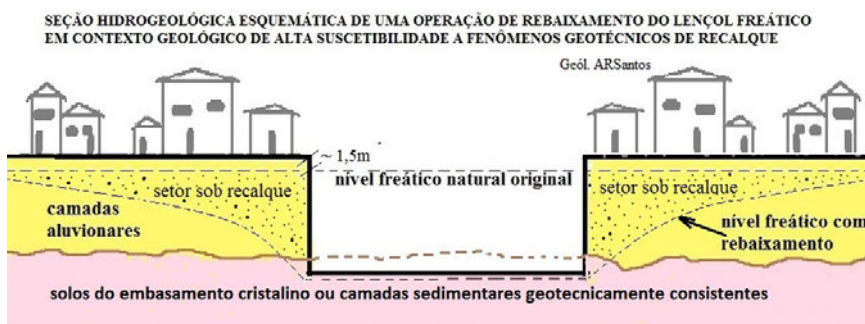
Como exemplos de riscos geotécnicos induzidos por alterações impostas a aquíferos subterrâneos, são os seguintes os riscos descritos nesse texto:

- adensamento de solos com recalques potencialmente destrutivos;
- abatimentos de terreno (dolinamentos) potencialmente destrutivos em regiões com presença de calcários cársticos;
- intrusão salina em regiões litorâneas;
- alagamento de espaços subterrâneos, contaminação de aquíferos e deformação do terreno por subida da superfície freática causado por recarga artificial.

6.4.2 Riscos associados ao rebaixamento forçado do nível freático em áreas urbanas

São velhos conhecidos das ciências geotécnicas os graves problemas decorrentes de operações de rebaixamento forçado do lençol freático em áreas urbanas. Esses rebaixamentos são via de regra executados com o objetivo de viabilizar ou facilitar ações construtivas associadas a estruturas subterrâneas situadas abaixo do nível natural do lençol freático.

Esses problemas são especialmente comuns em terrenos de características geológicas aluvionares com presença de camadas de solos compressíveis mais argilosos e nível freático próximo à superfície. Com a retirada da água dos interstícios existentes entre os grãos que compõem o solo, o que implica uma redução das poro-pressões e aumento das tensões efetivas, há um natural acomodamento interno dos constituintes granulométricos dos solos, o que leva inexoravelmente à redução de seu volume e consequentes recalques em superfície e subsuperfície. Como o rebaixamento do lençol estende-se para as áreas circunvizinhas do canteiro de obras, as edificações e empreendimentos que aí se situam sofrem as consequências da adaptação do terreno às novas condições hidrogeológicas.



Outro fenômeno também bastante comum decorrente de operações de rebaixamento do lençol freático diz respeito ao comprometimento estrutural de edificações causado pelo apodrecimento de estacas de madeira. As estacas de madeira tratada, hoje ainda em uso, foram já muito utilizadas pela engenharia como elementos de fundação de residências de maior porte em áreas de solos moles e alagadiços. Quando abaixo do nível freático, ou seja, em ambiente quimicamente redutor de solo saturado, essas estacas apresentam grande durabilidade devido à enorme resistência ao apodrecimento por ataque biológico. Com o rebaixamento do lençol ficam, ao menos em seu trecho superior, expostas à presença de oxigênio, condição em que entram em acelerada decomposição promovida pela ação de fungos e demais micro-organismos.

APODRECIMENTO DE ESTACAS DE MADEIRA PROVOCADO PELO REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

Geól. ARSantos



Por ocorrerem em situações hidrogeológicas análogas, não são raras as situações em que os dois fenômenos, recalques e apodrecimento de estacas de madeira se sobrepõem, o que leva à potencialização dos problemas decorrentes.

Poder-se-ia dizer que com a execução esmerada de paredes e pisos subterrâneos totalmente estanques, como sugere a norma técnica brasileira NBR 6122-1996 "Projeto e execução de fundações", as consequências geotécnicas do rebaixamento do lençol na execução de pavimentos subterrâneos seriam reduzidas; porém a prática mostra que esta opção, além de encarecer brutalmente o processo executivo, dificilmente consegue a total estanqueidade almejada, pelo que muitos edifícios que utilizaram o rebaixamento em sua construção são levados a manter esse rebaixamento indefinidamente, ao longo de toda sua vida útil, através da instalação de sistemas permanentes de bombas submersas em seu subsolo.

Há que se considerar também que nas áreas urbanas as intervenções diretas e indiretas sobre a água subterrânea

- redução drástica da recarga devido à impermeabilização generalizada da superfície urbana, poluição, extração para uso e consumo, rebaixamentos forçados – têm atingido níveis alarmantes, com consequências gravíssimas para a disponibilidade desse recurso hídrico como manancial estratégico de boa água para a sociedade.

As operações de rebaixamento forçado do lençol freático, ao lado da impermeabilização do solo nas áreas naturais de recarga do aquífero, vem se constituindo nos principais fatores causadores de depleções do lençol freático em várias cidades brasileiras.

Os métodos utilizados para promover o rebaixamento do lençol são escolhidos em função da constituição, da permeabilidade dos materiais geológicos presentes e da profundidade da escavação que se pretende executar. No sentido de solos mais permeáveis para solos menos permeáveis, destacam-se entre esses métodos: bombeamento direto das águas recolhidas em poços ou trincheiras, ponteiros filtrantes, poços profundos gravitacionais, poços profundos com vácuo, eletrosmose.

Do ponto de vista geotécnico não há controvérsias, impõe-se, por princípio e lógica elementar, a proibição de operações de rebaixamento forçado do lençol freático nas áreas geológicas de maior suscetibilidade ao fenômeno de recalques. Essas áreas, como já foi referido, coincidem muitas

vezes com zonas litorâneas (argilas marinhas, mangues) e as zonas aluvionares quaternárias mais argilosas e com lençol freático próximo a superfície, pelo que, do ponto de vista cartográfico e geológico, todos os territórios de bairros que se estendem sobre estes ambientes devem ser objeto de proibição absoluta de operações de rebaixamento do lençol, salvo intervenções, como metrô, obras de saneamento, etc, de alto interesse social, para as quais deverá ser encontrada solução técnica que evite danos geotécnicos a regiões vizinhas.

No caso de edifícios urbanos, de uma certa forma a rigidez com que vem sendo aplicada a lei municipal de zoneamento do uso do solo, no que se refere aos gabaritos prediais (altura máxima das edificações, instalações e estruturas), vem induzindo o construtor a se valer de pisos de subsolo para, em especial, ganhar espaços de garagem não computáveis no gabarito legalmente definido para a zona urbana considerada. Ou seja, caso optasse por garagens aéreas o construtor seria obrigado a computar os pavimentos para tanto destinados no cálculo da altura predial, o que implicaria em deixar de comercializar o espaço correspondente (salas, apartamentos etc.).

Assim, mesmo para as áreas urbanas geotecnicamente críticas para os fenômenos de recalques os construtores estão sendo induzidos pela lei em vigor a optar por escavações profundas com a utilização de operações de rebaixamento forçado do lençol freático.

Caso nas áreas geologicamente críticas consideradas (e somente e exclusivamente para essas áreas) seja acordado que os pavimentos garagem aéreos não sejam computados no cálculo do gabarito predial (altura máxima do prédio), e que o projeto arquitetônico obrigue-se a dar boa solução estética para essa alternativa, o problema estaria virtuosamente resolvido.

6.4.3 Riscos advindos do rebaixamento do nível freático em regiões com presença de calcários cársticos

INTRODUÇÃO

Com o progressivo crescimento das cidades e da ocupação física do território brasileiro por atividades próprias da agricultura, da mineração e da infraestrutura civil, e consideradas as numerosas expressões calcárias de nossas formações geológicas, tem-se multiplicado os problemas e os riscos associados à presença de estruturas e fenômenos cársticos.

Bastante exigida nos EUA, países europeus e asiáticos, a Geotecnia Cárstica constitui, no entanto, uma área técnica ainda incipiente para a Geologia de Engenharia e a Engenharia Geotécnica brasileiras, pelo que se torna imperativa e fundamental uma maior troca de experiências profissionais com o problema, como também uma atenção especial a estudos e pesquisas que se aprofundem na compreensão dos

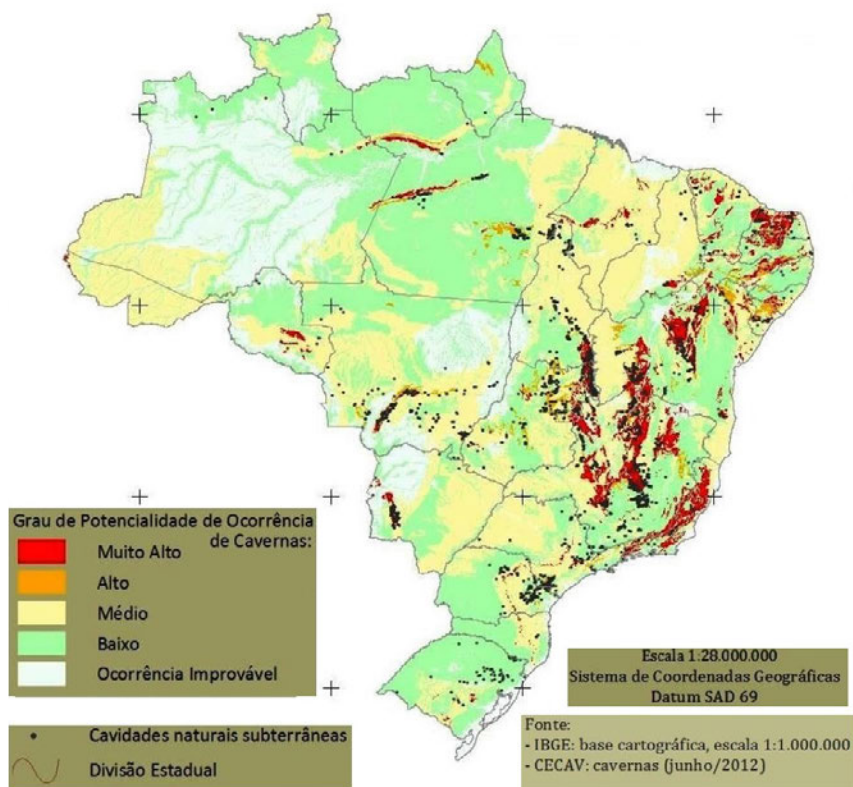
fenômenos cársticos e nas soluções de engenharia mais adequadas para enfrenta-los.

RÁPIDO HISTÓRICO DE PROBLEMAS GEOTÉCNICOS ASSOCIADOS A FENÔMENOS CÁRSTICOS NO BRASIL

Com diferentes consistências em sua descrição foram já relatados os seguintes casos de subsidências ou fenômenos cársticos no país: Mairinque – SP, Cajamar – SP, Sete Lagoas – MG, Região Metropolitana de Curitiba – PR, Bocaiúva do Sul – PR, Colombo – PR, Vazante – MG, Teresina – PI, Lapão – BA, Vespasiano – Confins – MG, Jaíba – MG, Irecê – BA, Vale do Ribeira – SP. Muitos outros eventos similares por certo já aconteceram por todo o país, mas que, por motivos vários, não obtiveram repercussão de mídia e/ou devida atenção de especialistas para sua análise e registro técnico.

Cajamar e Mairinque estão situadas em rochas calcárias do Grupo São Roque, Sete Lagoas e Vazante em calcários do Grupo Bambuí, Lapão em calcários do Grupo Una, as cidades paranaenses em calcários do Grupo Açungui. As subsidências verificadas em Teresina estão associadas a lentes calcárias pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba.

MAPA DE POTENCIALIDADE DE OCORRÊNCIA DE CAVERNAS NO BRASIL



Não há um mapeamento de corpos calcários no Brasil. Cabe como referência razoável dessas ocorrências o Mapa de Potencialidades de Ocorrência de Cavernas acima reproduzido.



O famoso Buraco de Cajamar, colapso ocorrido em agosto de 1986 no bairro de Lavrinhas. Foto arquivo IPT

OS DIFERENTES PROCESSOS DE CARSTIFICAÇÃO

As feições de dissolução cárstica podem ter origem hipogênica, quando as dissoluções são promovidas por águas interiores hidrotermais ácidas ascendentes, ou epigênica, quando as dissoluções são promovidas por águas meteóricas ácidas que se dirigem para um determinado nível hidrológico de base regional. Não são raros carstes de origem hipogênica retrabalhados por processos epigênicos.

As rochas calcárias são rochas carbonáticas, em que predominam os carbonatos de cálcio (CaCO_3) e magnésio (MgCO_3), que as compõem em diferentes proporções,

formando então os calcários calcíferos (mais ricos em carbonato de cálcio) e os calcários dolomíticos (mais ricos em carbonato de magnésio). No âmbito dos processos epigênicos as águas de chuva (H_2O) interagem com o gás carbônico (CO_2) do ar produzindo um ácido fraco, o ácido carbônico (H_2CO_3). Essas águas assim levemente acidificadas, ao encontrar um maciço calcário fraturado, penetram por essas discontinuidades e vão lentamente, através do tempo geológico, dissolvendo a rocha e produzindo vazios que podem evoluir para grandes fendas, cavernas e canais por onde fluem as águas interiores. A maior parte das famosas e belas cavernas brasileiras, com suas estalactites e estalagmites, são feições originadas desse fenômeno de dissolução de rochas calcárias.

OS PROBLEMAS GEOTÉCNICOS E AMBIENTAIS PRÓPRIOS DE TERRENOS CÁRSTICOS

O principal fenômeno cárstico de interesse da engenharia é o abatimento, brusco ou lento, de terrenos. Esses abatimentos, que podem destruir por completo edificações de superfície, colocando em risco patrimônios e vidas humanas, podem ser decorrentes do colapso de um teto de caverna ou de contínua migração do solo de cobertura para o interior de vazios na interface solo/rocha ou na própria rocha calcária.

Tão mais prováveis serão os abatimentos quanto mais próximos da superfície estejam os vazios do maciço rochoso

ou os vazios da zona de interface solo/rocha e do próprio horizonte de solos sobreposto à rocha sã.

Em boa parte do território brasileiro, por decorrência de seu clima tropical úmido, as rochas calcárias cársticas estão cobertas por uma camada de solos de espessura variada, são os chamados carstes cobertos, o que torna muito comum o abatimento decorrente de vazios residuais na camada de solos ou vazios resultantes da migração de solo para o interior de vazios subterrâneos. Carstes exumados, ou seja, calcários cársticos em superfície ou muito próximos à superfície, são mais comuns em climas áridos, onde as condições ambientais inibem a ação do intemperismo químico produtor de solos.

Um outro grande risco advindo da ocupação de terrenos cársticos está relacionado à construção de reservatórios de água (barragens para produção de energia ou abastecimento). As águas do reservatório podem migrar em grande vazão para os vazios da rocha calcária, não só impedindo o completo enchimento do lago, como provocando variações de nível, fluxo e pressões no lençol subterrâneo, o que, de sua parte, coloca em risco a própria obra da barragem, como também outras edificações próximas.

Do ponto de vista ambiental os terrenos cársticos, pela possibilidade de franca e rápida comunicação entre águas superficiais e águas subterrâneas, obrigam um redobrado cuidado para que se evite a contaminação do lençol freático. Nessas condições deverá ser severamente evitada em

regiões cársticas a instalação de empreendimentos geradores de riscos de contaminação do solo e da água subterrânea, como indústrias utilizadoras ou produtoras de produtos químicos perigosos, disposição precária de lixo ou resíduos contaminantes no meio rural e urbano, cemitérios, depósitos vários de substâncias contaminantes, etc.

O IMPORTANTÍSSIMO FATOR HIDROGEOLÓGICO NA EVOLUÇÃO DOS FENÔMENOS CÁRSTICOS

Quase sempre a aceleração de um processo de afundamento de terreno em regiões cársticas está associada a rebaixamentos do lençol freático nas proximidades, como consequência de um longo período de estiagem pluviométrica ou como decorrência direta de algum tipo de interferência humana, especialmente uma excessiva exploração de água subterrânea através de poços profundos. O rebaixamento do lençol freático implica na quebra do equilíbrio hidrostático subterrâneo e no direcionamento de redes de fluxo para o interior das cavidades com decorrente carreamento de solos.

TERRENOS CALCÁRIOS, ÁREAS DE RISCO POTENCIAL PARA A ENGENHARIA E O MEIO AMBIENTE

Depreende-se que os terrenos calcários, pela possibilidade de apresentar feições cársticas, devem ser entendidos como típicas áreas de risco para o meio ambiente e para a

ocupação humana por obras de engenharia: cidades, barragens, termoeletricas, instalações industriais, estradas, dutos, linhas de transmissão, etc., sugerindo, portanto, cuidadosa investigação anterior a qualquer decisão de engenharia. De tal forma que, detectadas e estudadas as feições cársticas, ou o empreendimento humano em questão possa ser deslocado para situações geologicamente mais seguras ou, impedido ou desaconselhado esse deslocamento, possa-se adotar as medidas necessárias para que acidentes e futuros problemas venham a ser evitados.

Em áreas com formações geológicas potencialmente suscetíveis a carstificação, recomenda-se uma investigação geológica detalhada para avaliar o grau de risco a abatimentos cársticos. Identificado o risco, como medida preventiva e essencial impõe-se a proibição da exploração da água subterrânea nas proximidades de instalações potencialmente sujeitas a estes riscos, ou ao menos sua exploração em condições rigidamente controladas e limitadas.

A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM GEOLÓGICA

Ainda que os diferentes terrenos cársticos tenham elementos estruturais e fenomenológicos em comum, a experiência prática nacional e internacional tem mostrado ser essencial a elaboração de um exato modelo geológico específico para cada caso com que os empreendimentos humanos

se defrontem. Será esse modelo geológico – no qual devem ser destacadas em importância a distribuição espacial das diversas feições de interesse, os elementos fenomenológicos implicados em possíveis subsidências e a dinâmica hidrogeológica natural e induzida – que orientará as decisões de engenharia a serem tomadas. Sem a referência de um modelo geológico fatalmente essas decisões ficarão sujeitas a uma considerável margem de insegurança, portanto incorporando sérios riscos construtivos e operacionais para o pretendido empreendimento.

UM EXEMPLO, O MODELO GEOLÓGICO CONTROLADOR DOS FENÔMENOS CÁRSTICOS DA REGIÃO DE CAJAMAR – SP

A região de Cajamar – SP, pelo número de situações críticas provocadas por fenômenos cársticos, provavelmente seja aquela mais detalhadamente pesquisada e estudada no país. Essa experiência acumulada permitiu a elaboração de um modelo geológico que controla uma dinâmica cárstica particular, específica da região. Ou seja, um modelo somente válido para a região.

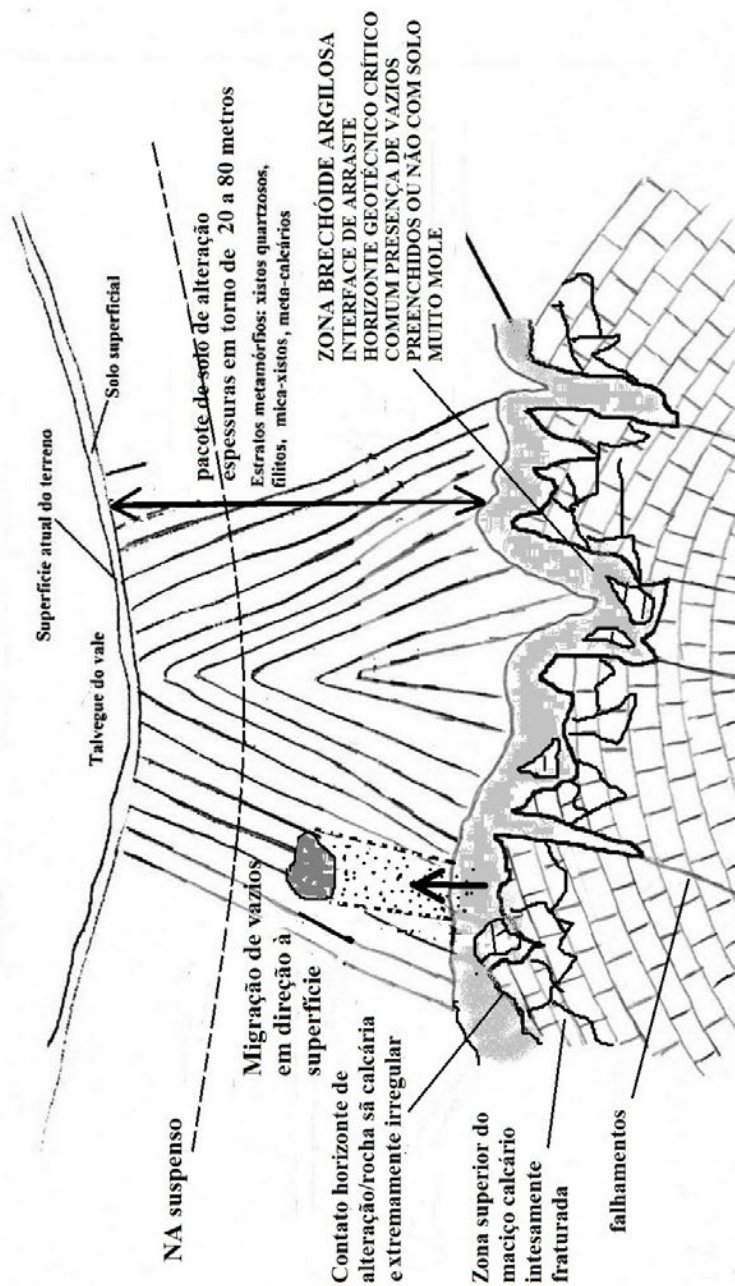
Os problemas cársticos da região de Cajamar têm origem exclusivamente na zona brechóide argilosa de interface entre o pacote de solos de alteração e o substrato calcário são. Segundo esse modelo, os colapsos têm sua maior possibilidade

de acontecer quando esses bolsões vazios ou preenchidos com solos muito moles encontram-se mais próximos à superfície do terreno, como consequência de sua própria evolução natural ou por intervenções de terraplenagens.

A associação dos abatimentos à exploração de poços profundos indica que esses processos acontecem, ou são diretamente potencializados, quando há a comunicação hidráulica entre o lençol d'água superior, sustentado pela zona brechóide argilosa, com vazios internos a essa zona ou diretamente com o lençol d'água inferior, controlados pelas fraturas da rocha sã. Por decorrência dessas intercomunicações hidráulicas haveria a aceleração do carreamento do solo superior para o interior dos vazios, como também o aumento relativo do peso de horizontes superiores sobre vazios interiores. Obviamente, quando esses vazios aproximam-se da superfície do terreno abre-se a probabilidade maior para o colapso do horizonte superior e os decorrentes abatimentos em superfície.

FENÔMENOS CÁRSTICOS NA REGIÃO DE CAJAMAR - SP MODELO GEOLÓGICO

Geól. Álvaro R. Santos



Croqui do novo modelo geológico para os fenômenos cársticos da região de Cajamar -SP

6.4.4 Riscos associados ao rebaixamento forçado da superfície freática em áreas urbanas litorâneas

A extração descontrolada de água subterrânea em regiões litorâneas, assim como intervenções antrópicas des-criteriosas na orla marinha e na faixa oceânica próxima podem desorganizar a dinâmica costeira natural, podendo, em certas circunstâncias, provocar a intrusão e a ascensão de águas mais salinas provenientes do mar, com decorrente desequilíbrio no ecossistema costeiro e salinizando fontes de água potável. Por ser mais densa que a água dos aquíferos continentais, a água mais salgada avança progressivamente formando uma cunha salina, inviabilizando o uso de água de poços e tornando seu tratamento mais dispendioso. Para que preventivamente esses problemas sejam evitados faz-se necessário um rígido controle técnico das expansões urbanas junto à orla marítima, como das intervenções diretas na faixa oceânica próxima.

6.4.5 Riscos associados à elevação do nível freático por recarga artificial em áreas urbanas

Se por um lado, a impermeabilização do solo e o excesso de extração de água subterrânea em poços em áreas densamente urbanizadas pode causar o rebaixamento da superfície freática, por outro lado, a recarga artificial pode ter localmente efeito contrário. A recarga artificial pode ocorrer por

vazamentos de tubulações de água e de esgoto, percolação por reservatórios urbanos e piscinões, sob aterros industriais e sanitários, nestes casos pela redução da evapotranspiração e pelo desligamento de bateria de poços, especialmente em áreas industriais abandonadas. Há registros dando conta que até 60% da recarga de aquíferos em trechos da cidade de São Paulo provém de recarga artificial, segundo pesquisadores da USP.

Além dos problemas de contaminação, especialmente por vazamento de esgotos e de outras fontes contaminantes, a recarga artificial pode causar alagamento de espaços subterrâneos, como garagens, inutilização e danificação de infraestrutura. Estima-se que a subida da superfície freática pode provocar a ascensão do terreno da ordem de 10% do recalque provocado pelo adensamento, devido à componente elástica deste fenômeno.

A redução de danos provocados pela recarga artificial depende diretamente de rígidos programas de monitoramento e correção de vazamentos subterrâneos e infiltrações concentradas de superfície.



Referências

ALEXANDRE, F. I. B.; SOUSA, J. S. de. Análise do uso e ocupação em áreas protegidas na bacia do Córrego Lageado, Uberaba-MG. In: Anais do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental. 10p. 2020.

BRASIL. Lei n.12.651, de 25 de maio de 2012 – Código Florestal.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Ministério do Meio Ambiente, 2002.

CARMO, L. G. do; FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Áreas de preservação permanente no entorno de nascentes: conflitos, lacunas e alternativas da legislação ambiental brasileira. *Boletim Goiano de Geo-grafia*, Universidade Federal de Goiás, v. 34, n. 2, set. 2014. <https://doi.org/10.5216/bgg.v34i2.31733>.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Roteiro ao empreendedor para identificação e caracterização de cursos d'água e nascentes. 200x.

Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Preservação e Recuperação das Nascentes, Cartilha. Piracicaba, 2004.

DIAS, REINALDO. A abordagem inovadora das cidades-esponja diante das mudanças climáticas. *Ecodebate*, 2024.

<https://www.ecodebate.com.br/2024/12/30/a-abordagem-inovadora-das-cidades-esponja--diante-das-mudancas-climaticas/>

FARIA, A. P. Dinâmica e Fragilidade de Bacias Fluviais de Primeira Ordem. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências / UFRJ, 1996. 218p.

FARIA, A. P. Influência da vegetação nos processos fluviais de bacias de 1ª ordem. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 5, n. 3, pp. 59-69, 2000.

FEITOSA, FERNANDO A.C. Coordenação Editorial. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*, 3ª edição revista e ampliada - CPRM Rio de Janeiro: LABHID, 2008. 812 p.

FELIPPE, Miguel F. Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES, Antônio Pereira. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. *Geografias - artigos científicos*, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, 2013.

FLAUZINO, F. S.; SILVA, M. K. A.; NISHIYAMA, L.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba no cerrado mineiro. *Sociedade & Natureza*, v. 22, n. 1, p. 75-91, 2010.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1993.

KEMERICH, PEDRO DANIEL DA CUNHA et al. Infiltração e Escoamento Superficial Sob Diferentes Usos e Ocupação em uma Bacia Hidrográfica. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 2014.

KRESIC, N.; STEVANOVIC, Z. *Groundwater hydrology of springs*. Oxford, UK: Elsevier, 2010. 592p.

MARINGÁ – PR. Prefeitura. Diretrizes para identificação e caracterização de nascentes e olhos d'água – Cartilha Técnica, 2023.

OLIVEIRA, Antonio M. dos Santos; JERÔNIMO, João (org.). *Geologia de Engenharia e Ambiental*. 3 v. São Paulo: ABGE, 2018.

QUEIROZ, M. L. Nascentes, veredas e áreas úmidas: Revisão Conceitual e Metodologia de Caracterização e Determinação: Estudo de Caso na Estação Ecológica de Águas Emendadas – Distrito Federal. Dissertação (mestrado). Instituto de Geociências / Universidade de Brasília, 2015.

SANTOS, A. R. A determinação de nascentes exige uma abordagem geológica, geomorfológica e hidrogeológica. Caso 28, 3ª edição rev e ampl. In: *Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática*. Editora O Nome da Rosa, 2016.

SANTOS, A. R. As nascentes no Código Florestal: Uma proposta para a boa solução do 'IMBRÓGLIO' criado. *Ecodebate*, 2016.

<https://www.ecodebate.com.br/2016/02/16/as-nascentes-no-codi-go-florestal-uma-proposta-para-a-bou-solucao-do-imbroglho-criado-artigo-de-alvaro-rodrigues-dos-santos/>

SANTOS, A. R. O Código Florestal ignora a geologia das nascentes. *Eco21*, ano XXVI, nº 237, agosto de 2016.

SCHIAVETTI, ALEXANDRE; CAMARGO, ANTONIO FERNANDO MONTEIRO. *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus, BA: Editus, 2002. 293p.

SIMÃO, G.; VIERO, A. P.; PEREIRA, J. L. Proposta de um roteiro para identificação de nascentes e cursos d'água. *Holos Environment*, v. 23, n. 1, p. 1-18, 2023.

SOUZA, K. I. S. et al. Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. *Águas Subterrâneas*, v. 33, n. 1, p. 76-86, 2019. <https://doi.org/10.14295/ras.v33i1.29254>

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

STEVENS, L. E.; SCHENK, E. R.; SPRINGER, A. E. Springs ecosystem classification. *Ecological Applications - Ecological Society of America*, 00(00):e002218, 2020. <https://doi.org/10.1002/eap.2218>

VALENTE, OSVALDO F. Aplicação da "Hidrologia e Manejo de Bacias Hidrográficas" na Busca por Segurança Hídrica. Artigo não publicado, distribuição informal. 2025.

VALENTE, OSVALDO F. Filosofia Hidrológica – Para refletir sobre a produção de água em pequenas bacias hidrográficas. *Ecodebate*, 2018.

<https://www.ecodebate.com.br/2018/05/18/filosofia-hidrologica-parte-i-artigo-de-osvaldo-ferreira-valente/>

VALENTE, OSVALDO F.; GOMES, MARCOS A. Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. As nascentes e os rios. *Revista Ação Ambiental*, Viçosa, MG, ano 6, n. 24, pp. 11-13, 2003.

SÓCIOS PATROCINADORES DA ABGE



SEJA SÓCIO DA ABGE

ASSOCIADOS INDIVIDUAIS



TÍTULAR

Profissionais de nível superior que exerçam atividades na Geologia de Engenharia e Ambiental



AFILIADO

Profissionais de nível superior interessados em Geologia de Engenharia e Ambiental



ESTUDANTE

Estudantes de graduação regularmente matriculados em instituições ligadas à GEA e técnicos de nível médio da área de GEA



ESTUDANTE DE PÓS

Estudantes de pós-graduação stricto sensu, em período integral, nas áreas de GEA ou relacionadas.

♥ Vantagens de ser sócio ABGE

- **Recebe grátis** todas as publicações editadas pela entidade durante o período de filiação;
 - Recebe **informações técnicas e acadêmicas**/participa de networkings;
- **Desconto** em cursos e eventos promovidos pela ABGE e entidades parceiras.

ASSOCIADOS CORPORATIVOS

| Empresas e Entidades



| Patrocinadores Coletivos PREFEITURAS



A melhor relação entre custo e benefício de entidades tecnocientíficas.
Previsão de distribuição de seis publicações no ano.
Consulte os valores da nossa anuidade.

www.abge.org.br/associe-se



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

abge@abge

abge@abge.org.br | 11 98687 - 6560

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Butantã, São Paulo - SP

Baseado em conceitos científicos consolidados nas geociências e nas disposições do atual Código Florestal, este Manual oferece diretrizes técnicas para a correta identificação de nascentes em campo, atendendo uma grande demanda explicitada por profissionais, instituições, agentes públicos e privados e demais interessados na gestão e proteção de nossos recursos hídricos.

O sucesso da primeira edição, rapidamente esgotada, confirma a relevância do tema. Nesta segunda edição, além da atualização do conteúdo original, foram incluídos textos que ampliam a abordagem sobre o atual e generalizado processo de degradação de nossos aquíferos subterrâneos e reforçam a importância da implementação de planos de gestão hídrica de bacias hidrográficas.

Patrocinadores



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL