

... Coleção UAB–UFSCar

..... Engenharia Ambiental

..... Monitoramento ambiental

: Simone Andréa Pozza

: Carmenlucia Santos

: Monitoramento e : Caracterização Ambiental





Monitoramento e Caracterização Ambiental



**Reitor**

Targino de Araújo Filho

Vice-Reitor

Adilson J. A. de Oliveira

Pró-Reitora de Graduação

Claudia Raimundo Reyes

**Secretária Geral de Educação a Distância - SEaD**

Aline Maria de Medeiros Rodrigues Reali

Coordenação SEaD-UFSCar

Daniel Mill

Glauber Lúcio Alves Santiago

Joice Otsuka

Marcia Rozenfeld G. de Oliveira

Sandra Abib

Coordenação UAB-UFSCar

Daniel Mill

Sandra Abib

Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental

Ruy de Sousa Júnior

UAB-UFSCar

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, km 235

13565-905 - São Carlos, SP, Brasil

Telefax (16) 3351-8420

www.uab.ufscar.br

uab@ufscar.br



EdUFSCar

Conselho Editorial

Ana Claudia Lessinger

José Eduardo dos Santos

Marco Giulietti

Nivaldo Nale

Oswaldo Mário Serra Truzzi (Presidente)

Roseli Rodrigues de Mello

Rubismar Stolf

Sergio Pripas

Vanice Maria Oliveira Sargentini

EdUFSCar

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, km 235

13565-905 - São Carlos, SP, Brasil

Telefax (16) 3351-8137

www.editora.ufscar.br

edufscar@ufscar.br

Simone Andréa Pozza
Carmenlucia Santos Giordano Penteado

Monitoramento e Caracterização Ambiental

São Carlos



EdUFSCar

2015

© 2015, das autoras

Concepção Pedagógica

Daniel Mill

Supervisão

Douglas Henrique Perez Pino

Revisão Linguística

Clarissa Galvão Bengtson

Daniel William Ferreira de Camargo

Kamilla Vinha Carlos

Paula Sayuri Yanagiwara

Diagramação

Izis Cavalcanti

Juan Toro

Vagner Serikawa

Capa e Projeto Gráfico

Luís Gustavo Sousa Sguissardi

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária da UFSCar

P893m	Pozza, Simone Andréa. Monitoramento e caracterização ambiental / Simone Andréa Pozza, Carmenlucia Santos Giordano Penteado. -- São Carlos : EdUFSCar, 2015. 101 p. ISBN – 978-85-7600-400-4 1. Engenharia ambiental. 2. Monitoramento ambiental. 3. Água - monitoramento. 4. Solo - monitoramento. 5. Ar - monitoramento. I. Título. CDD – 628 (20ª) CDU – 62
-------	---

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
---------------------------	----

UNIDADE 1: Introdução ao monitoramento ambiental

1.1 Primeiras palavras.....	15
1.2 Bases legais	15
1.3 Principais objetivos do monitoramento	16
1.4 Conceitos importantes	17
1.5 Características ambientais.....	18
1.5.1 Propriedades espaciais	18
1.5.2 Propriedades temporais.....	19
1.5.3 Unidades representativas.....	19
1.6 Qualidade analítica requerida	19
1.6.1 Precisão e exatidão	20
1.6.2 Limites de detecção.....	21
1.6.3 Unidades de medida	21
1.7 Considerações finais.....	21

UNIDADE 2: Monitoramento do meio aquático

2.1 Primeiras palavras.....	25
2.2 Problematizando o tema	25

2.3	Principais características do meio hídrico e parâmetros de qualidade	25
2.3.1	Parâmetros físicos	27
2.3.2	Parâmetros químicos	27
2.3.3	Parâmetros biológicos	29
2.4	Tipos de monitoramento	29
2.4.1	Principais objetivos do monitoramento de águas superficiais	30
2.4.2	Amostragem	31
2.4.2.1	Medidas diretas	31
2.4.2.2	Medidas indiretas	33
2.5	Biomonitoramento	35
2.6	Índice de Qualidade de Água (IQA)	37
2.7	Considerações finais	37
2.8	Estudos complementares	37

UNIDADE 3: Monitoramento do meio solo e das águas subterrâneas

3.1	Primeiras palavras	41
3.2	Poluição do solo e das águas subterrâneas	41
3.3	Definições e conceitos importantes	43
3.3.1	Usos e funções do solo	43
3.3.2	Definição de solo	44
3.3.3	Formação e composição do solo	44
3.3.3.1	Fase sólida	45
3.3.3.2	Fase líquida	45
3.3.3.3	Fase gasosa	46

3.3.4	Perfil do solo	46
3.3.5	Definição e classificação das águas subterrâneas	47
3.3.6	Tipos de aquífero	48
3.3.7	Fases da contaminação	50
3.4	Qualidade do solo e das águas subterrâneas	51
3.4.1	Valores de orientadores de qualidade	51
3.4.2	Gerenciamento da qualidade das águas subterrâneas	52
3.4.2.1	Parâmetros de qualidade das águas subterrâneas	52
3.4.2.2	Padrões de qualidade das águas subterrâneas	53
3.4.2.3	Indicadores de qualidade das águas subterrâneas	54
3.4.3	Vulnerabilidade de aquíferos	55
3.4.4	Gerenciamento de áreas contaminadas	56
3.5	Amostragem e monitoramento do solo	57
3.5.1	Aspectos gerais da amostragem	57
3.5.1.1	Elaboração do plano de amostragem do solo	60
3.5.1.2	Técnicas e equipamentos de amostragem	61
3.6	Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas	64
3.6.1	Aspectos gerais da amostragem	64
3.6.2	Poços de monitoramento	64
3.6.2.1	Distribuição dos poços de monitoramento	65
3.6.2.2	Localização dos poços em relação à fonte	65
3.6.2.3	Perfuração de poços de monitoramento	66
3.6.2.4	Componentes dos poços de monitoramento	67
3.7	Considerações finais	68
3.8	Estudos complementares	68

UNIDADE 4: Monitoramento do meio ar

4.1	Primeiras palavras.....	71
4.2	Definições importantes	71
4.3	Qualidade do ar	72
4.4	Monitoramento.....	73
4.4.1	Recomendações para a localização e implantação.....	75
4.4.2	Objetivos do monitoramento	75
4.5	Níveis de referência.....	76
4.5.1	Padrões de qualidade do ar	76
4.5.2	Padrão de emissão	77
4.6	Métodos analíticos usados no monitoramento.....	77
4.7	Equipamentos para monitoramento	77
4.7.1	Equipamentos para monitorar partículas.....	79
4.7.1.1	Amostrador de grande volume (AGV ou Hi-vol)	79
4.7.1.2	Amostrador dicotômico	82
4.7.2	Equipamentos para monitorar gases/vapores	83
4.7.2.1	Equipamentos de leitura direta	83
4.7.2.2	Métodos de retenção de contaminantes do ar	84
4.8	Índices de qualidade do ar.....	85
4.8.1	Qualificação dos índices	86
4.9	Considerações finais.....	86
4.10	Estudos complementares	86

UNIDADE 5: Outros tipos de monitoramento

5.1	Primeiras palavras.....	89
5.2	Poluição sonora – ruídos.....	89
5.2.1	Conceituação.....	89
5.2.2	Classificação.....	90
5.2.3	Medição.....	90
5.2.4	Controle.....	90
5.2.5	Aspectos legais.....	90
5.3	Vibração.....	91
5.3.1	Usos e classificação.....	91
5.3.2	Medição.....	91
5.3.3	Controle.....	91
5.4	Radiação.....	92
5.4.1	Medição.....	92
5.4.2	Legislação vigente.....	93
5.5	Considerações finais.....	94
5.6	Estudos complementares.....	94
	REFERÊNCIAS.....	97

APRESENTAÇÃO

Caro leitor,

Este material, intitulado “Monitoramento e Caracterização Ambiental”, foi elaborado com o principal objetivo de servir como guia de estudos para a disciplina de Monitoramento Ambiental do curso de Engenharia Ambiental da UAB-UFSCar. Todavia, o livro também é um instrumento de complementação no ensino para todos aqueles que se interessam pelo assunto.

A perspectiva para o material foi a elaboração de um guia de estudos simplificado, mas com características abrangentes, envolvendo conceitos de instrumentação, técnicas analíticas, amostragens, descrições necessárias etc., para um adequado monitoramento dos diversos meios.

O material está dividido em 5 unidades:

Unidade 1: Introdução ao monitoramento ambiental;

Unidade 2: Monitoramento do meio aquático;

Unidade 3: Monitoramento do meio solo e das águas subterrâneas;

Unidade 4: Monitoramento do meio ar;

Unidade 5: Outros tipos de monitoramento.

Na **Unidade 1**, pretende-se abordar as características gerais do monitoramento, objetivando um amplo conhecimento das características de interesse no momento da escolha do local e da respectiva forma de amostrar. Nessa unidade é apresentada a introdução à disciplina, ou seja, as principais bases legais, os objetivos do monitoramento de forma geral, a conceituação do tema, as características ambientais e a qualidade analítica requerida.

A **Unidade 2** visa a mostrar as principais características de interesse para o monitoramento do meio hídrico (águas superficiais), os tipos de monitoramento existentes e o índice de qualidade de águas.

O conteúdo da **Unidade 3** é referente aos aspectos relacionados ao monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas, mostrando que um contaminante presente no solo pode alcançar o nível freático e comprometer tanto a qualidade do solo quanto da água subterrânea. Por esse motivo, os dois recursos serão tratados de forma conjunta nessa unidade.

Na **Unidade 4**, são trabalhados os principais conceitos de poluentes no meio atmosférico e as formas de monitorar (coletar e identificar) essas partículas e gases/vapores poluentes. São apresentados alguns dos equipamentos disponíveis no mercado e suas principais características.

A **Unidade 5**, para terminar o material impresso, enfoca outros tipos de poluição passível de monitoramento (ruídos, vibrações e radiações). Essas “poluições”, nem sempre tão poluentes, apresentam características específicas e podem estar presentes nos outros três meios já abordados, atuando sozinhas ou simultaneamente a outras problemáticas ambientais.

Espera-se que o material agregue conhecimento e maior interesse no Monitoramento Ambiental e em seus instrumentos.

UNIDADE 1

Introdução ao monitoramento ambiental

1.1 Primeiras palavras

O monitoramento ambiental consiste no conjunto de medições e/ou observações de alguns parâmetros de forma frequente, sendo usado para controle ou medida de informação da qualidade ambiental.

Esse monitoramento envolve muitas medidas que são usadas para avaliar o estado do meio ambiente. Mas o foco, as estratégias de amostragem e os métodos analíticos utilizados no monitoramento devem ser bem-definidos, a fim de se obter resultados confiáveis.

1.2 Bases legais

A legislação ambiental brasileira é bastante ampla e uma das mais abrangentes. A seguir, são citadas algumas das que estão de algum modo relacionadas à questão de monitoramento ambiental.

- Lei Estadual (SP) nº 118, de 29 de junho de 1973 – Autoriza a constituição de uma sociedade por ações, sob a denominação de Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle da Poluição das Águas – Cetesb, e dá providências correlatas. Hoje a Cetesb recebe o nome de Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
- Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
- Decreto nº 97.822, de 8 de junho de 1989 – Institui o Sistema de Monitoramento Ambiental e dos Recursos Naturais por Satélite – SIMARN e dá outras providências.
- Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 – Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.
- Resolução do Conama nº 312, de 10 de outubro de 2002 – O Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, tendo em vista as competências que lhe foram conferidas pela Lei 6.938/81, regulamentada pelo Decreto 99.274/90, alterado pelo Decreto nº 3.942, de 27 de setembro de 2001, e tendo em vista o disposto nas Resoluções do Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997, e nº 001, de 23 de janeiro de 1986, e em seu Regimento Interno, trata, em seu Art. 1º, sobre o procedimento de licenciamento ambiental.

E agora: você seria capaz de citar outras legislações pertinentes, do Brasil, de outros estados ou mesmo de outros países?

1.3 Principais objetivos do monitoramento

O principal objetivo do monitoramento ambiental é fornecer as informações necessárias para um programa de gerenciamento ambiental. O monitoramento deve considerar os métodos e as frequências de amostragem, a preservação das amostras e, quando necessário, amostras duplicadas para eventual averiguação, a adequação dos programas existentes, e deve possibilitar distinguir entre alterações ambientais decorrentes das emissões, efluentes e resíduos de um possível empreendimento e alterações que tenham outras causas.

O monitoramento deve envolver um processo de aprofundamento no conhecimento do meio a ser avaliado, dos parâmetros medidos e também do entorno e seus habitantes (fauna e flora circundantes). Dessa forma, pode-se seguir o organograma apresentado na Figura 1.1, que descreve uma espécie de “escada do conhecimento”, ou seja, atribui um avanço de “degrau” a cada nova etapa a ser executada.

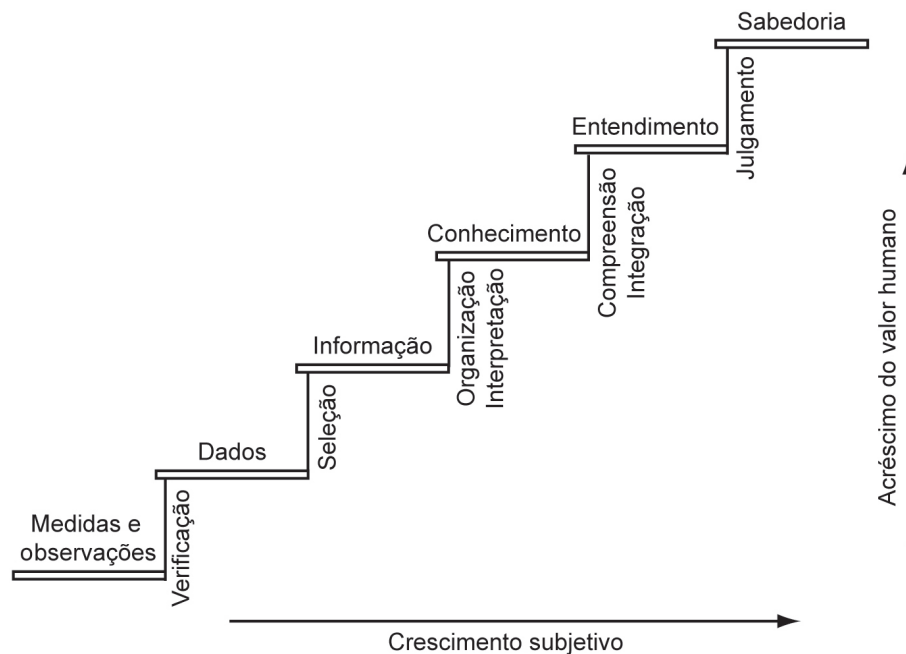


Figura 1.1 Escada do conhecimento.

Fonte: adaptada de Artiola, Pepper & Brusseau (2004).

1.4 Conceitos importantes

Alguns termos são fundamentais no entendimento do monitoramento ambiental (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004), tais como:

- *Amostragem*: ato de testar realizando uma medição, selecionando a amostra ou fazendo uma observação.
- *Atributo*: definido como um aspecto específico ou a qualidade de uma medida, tais como cor, tamanho ou concentração química.
- *Medida*: também conhecida como *observação*. O termo comum é *amostra*, a qual é definida como “uma pequena parte da coisa” ou um exemplar. No entanto, em estatística, uma amostra ou o tamanho da amostra refere-se ao número de medidas ou observações. Nota-se que o nome “observação” normalmente se refere ao resultado do ato de “observar”. Isso implica um ato visual que é considerado uma forma de amostragem não invasiva, como tirar uma foto ou observar qualitativamente uma característica de uma amostra, local ou meio ambiente.
- *Padrão*: um ambiente com características únicas ou especiais.
- *Parâmetro biológico*: uma propriedade associada à componente biológica do meio ambiente incluindo cobertura vegetal, densidade e distribuição, parâmetros indicadores de qualidade de água como os coliformes, população microbiana nos solos, como fungos e bactérias.
- *Parâmetro físico*: uma propriedade associada ao componente físico do ambiente, incluindo topografia, distribuição de águas superficiais e subterrâneas (qualidade, ciclos e gradientes), distribuições de temperatura de calor, mudanças de direção e intensidade do vento.
- *Parâmetro químico*: uma propriedade associada ao componente químico do meio ambiente, incluindo parâmetros de qualidade de água como os sólidos dissolvidos e poluentes, propriedades do solo como nutrientes e poluentes, e parâmetros de qualidade do ar como ozônio, hidrocarbonetos, material particulado ou monóxido de carbono.
- *População*: definido como um grupo de unidades similares.
- *Processo*: uma ação ou série de ações envolvendo entidades físicas, químicas e biológicas, como fluxo de água, crescimento microbiano, degradação de poluentes, intemperismo mineral e reações de oxirredução.

1.5 Características ambientais

Muitos ambientes têm características especiais ou únicas que podem auxiliar os pesquisadores ambientais a escolher e/ou selecionar o melhor método de amostragem (mais adequado). Numa escala global, pode-se distinguir entre a terra e áreas cobertas por água e, em seguida, separá-las com facilidade (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004). Escalas de bacias hidrográficas, mapas topográficos e fotografias aéreas podem auxiliar na identificação de rios, campos agropastoris ou atividades industriais que subdividem ainda mais o meio ambiente.

Conhecimentos prévios, sejam eles físicos, químicos ou biológicos, são indispensáveis ao monitoramento ambiental (DERÍSIO, 2007). O monitoramento ambiental também apresenta geralmente uma componente temporal. Dessa forma, o conhecimento dos ciclos que possam afetar um meio ou um parâmetro de interesse é fundamental.

1.5.1 Propriedades espaciais

O meio terrestre é definido por duas ou três dimensões espaciais. Medidas realizadas na interface de dois meios têm duas dimensões (X e Y) ao longo de um plano ou superfície. Esse plano é frequentemente a superfície da Terra e define muitos meios críticos, incluindo campos agrícolas e grandes extensões de terra, florestas, ou superfícies de lagos e oceanos. A terceira dimensão é o eixo Z no plano X-Y (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004). Z constitui peso ou profundidade e incorpora ambientes como a atmosfera, a superfície terrestre e os oceanos profundos. Seres humanos vivem na atmosfera e andam no plano X-Y definido pela superfície da Terra. Portanto, cientistas ambientais gastam muito tempo tentando quantificar o que acontece na – ou muito próximo – da interface crosta terrestre/atmosfera.

Uma série de exemplos de múltiplos vales ou intervalos de altitude leva a terceira dimensão (Z) para amostragem em duas dimensões (2D). Isso é possível para amostragem em intervalos randômicos sob o perfil solo/geológico. De outro modo, muitas das vezes, a amostragem é realizada em intervalos fixos, também conhecida como amostragem estratificada (definida por camadas geológicas), e, em laboratório, são escolhidas cores para identificação dessas camadas.

Analogamente, para medições atmosféricas, conhecimentos prévios de inversões de temperaturas, ventos e camadas turbulentas possibilitam que os pesquisadores definam com maior precisão os locais (altitudes e faixas) para amostragem (FRONDIZI, 2008).

1.5.2 Propriedades temporais

Geralmente, as amostras são definidas em intervalos adequados (diariamente, sazonalidade ou anualmente); intervalos mais precisos são às vezes definidos em unidades de tempo mais convenientes, como segundos (ou frações), minutos, horas, semanas ou meses (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004; CETESB, 2009). Portanto, programas de amostragem temporal podem ser definidos como sistemáticos, pois eles geralmente são realizados a intervalos regulares.

1.5.3 Unidades representativas

Os ambientes nem sempre consistem de unidades claramente definidas. Exemplificando, embora uma floresta seja composta de unidades discretas facilmente reconhecíveis (árvores), um lago não é definido por um grupo de unidades discretas de água. Essas unidades de água (como as unidades de florestas) ocupam volumes específicos no espaço em algum dado instante (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004). Além disso, a totalidade das unidades de água reside dentro dos limites fixos definidos por cruzamentos com outros componentes do meio ambiente.

1.6 Qualidade analítica requerida

Um componente crucial do monitoramento ambiental é o tipo de equipamento analítico utilizado para analisar as amostras. A escolha do método geralmente segue conformidade ao ambiente monitorado, o parâmetro de interesse e os requisitos de qualidade dos dados. Normalmente, deve-se selecionar um método cientificamente aprovado por uma agência reguladora. Por exemplo, o método da qualidade da água requer uma técnica específica de laboratório.

O profissional técnico responsável pela amostragem deve se preocupar em realizar coletas perfeitamente representativas do meio a ser monitorado, mostrando a situação ambiental do momento amostrado. Dessa forma, uma amostra mal coletada ou mal conservada poderá apresentar resultados analíticos, todavia, estes não são considerados representativos do ambiente, ou seja, perde-se aquela amostragem (BAUMGARTEN, ROCHA & NIENCHESKI, 1996).

Muitos métodos analíticos estão disponíveis, os quais podem ser encontrados nas normas referenciadas para a análise e para o solo, água e resíduos (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004; DERÍSIO, 2007). Existem bibliografias específicas para as metodologias a serem empregadas. Alguns

laboratórios e/ou agências ambientais adotam métodos específicos e que, com o passar do tempo, se tornam usuais aos técnicos laboratoriais.

E agora: quais seriam as principais precauções analíticas a serem tomadas para realização de coleta/amostragem e análise dos meios de interesse? Exemplo: se substâncias químicas encostarem-se à pele ou contaminarem a boca, é preciso lavar imediatamente com água corrente, e, caso a quantidade desse contaminante seja grande, deve-se procurar um médico. Enumere diversas outras.

1.6.1 Precisão e exatidão

As medições são limitadas pela capacidade intrínseca de cada método em detectar um determinado parâmetro. Essas limitações são dependentes do instrumento e/ou métodos utilizados, bem como as características da amostra (tipo, tamanho da matriz) e elemento humano (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004; DERÍSIO, 2007).

Precisão: é uma medida da reprodutibilidade de uma medição feita várias vezes sobre a mesma amostra ou amostras idênticas. As observações são feitas com instrumentos que são um conjunto de peças móveis e componentes eletrônicos sujeitos a alterações. Então, nem sempre é possível garantir que o mesmo sinal vai produzir a mesma resposta diversas vezes. Uma medida da proximidade das medidas é dada pela distribuição e seu desvio padrão. Na maioria das medições químicas, instrumento de precisão/método é calculado sob condições controladas com nada menos do que 30 repetições de medições. Essas medições são feitas com as normas perto do limite de detecção do instrumento. Medições analíticas geralmente apresentam uma distribuição normal.

Resolução: é um termo às vezes usado como sinônimo de precisão e é aplicável a dispositivos de medição modernos que convertem sinal analógico contínuo (A) em uma resposta digital discreta (D). A resolução é a menor unidade que provoca uma resposta do instrumento mensurável e reprodutível. Essa resposta determina a detecção dos limites do instrumento. Todos os instrumentos têm um poder intrínseco de resolução.

Exatidão: os instrumentos utilizados no monitoramento ambiental e de análise são muitas vezes extremamente sofisticados, mas vale ressaltar que, sem uma calibragem adequada, suas medidas não têm qualquer significado. Assim, a maioria dos instrumentos requer calibração com um ponto de referência, pois as medidas são, essencialmente, comparações com a resposta do instrumento. Uma referência é normalmente um padrão como um ponto fixo, um comprimento, uma massa, um ciclo no tempo, ou um espaço que a confiança não se altera. Instrumentos de laboratório e de campo devem ser calibrados utilizando

“certificado” de normas. A calibração é um processo que exige medições repetidas para obter uma série de respostas do instrumento.

1.6.2 Limites de detecção

Todas as técnicas e equipamentos de medição apresentam limites de detecção. Além disso, a maioria dos instrumentos pode ser calibrada para produzir respostas previsíveis dentro de apenas um intervalo especificado ou escala. De forma geral, na extremidade inferior da escala, um sinal gerado a partir de uma amostra é indistinguível do ruído de fundo e na faixa superior, o sinal da amostra gera uma resposta que ultrapassa a capacidade de medição do instrumento. Quando as medições são feitas no limite de detecção e/ou perto dele, pode acontecer informação equivocada ou ausência de sinal (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004).

1.6.3 Unidades de medida

O uso apropriado de unidades ou dimensões nos resultados finais é importante pela transferibilidade e aplicabilidade. Existem diversos tipos de sistema de unidade, mas o mais comumente utilizado é Sistema Internacional (SI).

E agora: pesquisem sobre o Sistema Internacional, conhecido como SI, e também sobre o Sistema Inglês. Esses são os principais sistemas usados mundialmente.

1.7 Considerações finais

Após este capítulo introdutório será abordado cada um dos meios a serem monitorados. Neste capítulo foi possível discutir detalhes pertinentes a qualquer tipo de monitoramento.

UNIDADE 2

Monitoramento do meio aquático

2.1 Primeiras palavras

Quando se trata de qualidade de águas, devem-se avaliar suas características inerentes, comumente mensuráveis, de natureza física, química e biológica. Tais características devem ser mantidas dentro de determinados limites (critérios e padrões) para que se possa assegurar seu uso adequado.

Dentre os critérios de avaliação (DERÍSIO, 2007) da qualidade do meio aquático, a Organização Mundial de Saúde (OMS) sugere três formas de obtenção de dados: vigilância (*surveillance*), monitoramento (*monitoring*) e estudo especial (*survey*).

O monitoramento caracteriza-se pelo levantamento ordenado de dados em determinados pontos de amostragem, objetivando avaliar e acompanhar o desenvolvimento (ou evolução) da qualidade da água que resulte em séries temporais de dados (CASARINI, DIAS & LEMOS, 2001; MACÊDO, 2002).

No meio aquático, o monitoramento avalia tanto águas naturais (ou superficiais) quanto águas residuárias.

Nesta unidade é apresentada a instrumentação (seleção de métodos analíticos e de coleta, tratamento dos dados coletados) necessária para a realização do monitoramento, bem como amostragem, principais parâmetros avaliados, instalação de redes de monitoramento etc.

2.2 Problematizando o tema

A questão do monitoramento de águas é uma das mais difundidas. A problemática das águas residuárias é comum a todas as áreas urbanas, rurais e industriais. Os instrumentos a serem apresentados neste capítulo talvez sejam os mais conhecidos, quando comparados com monitoramento de outros meios.

Após a escolha do critério de avaliação do meio, no caso, o monitoramento, deve-se fazer a caracterização propriamente dita, envolvendo várias etapas. São elas: definir os objetivos da amostragem; selecionar locais de coleta e parâmetros a serem amostrados; definir número e frequência de amostragem; selecionar o método analítico adequado, selecionar método de coleta e preservação das amostras; realizar o tratamento dos dados coletados.

2.3 Principais características do meio hídrico e parâmetros de qualidade

Na natureza, a água tem sofrido mudanças devido aos impactos naturais e antropogênicos. A água pode ser dissolvida ou estar em suspensão (outros

líquidos, gases e partículas), resultando em misturas complexas. Os ciclos da água (naturais) contribuem para esse processo de “mistura”. O ciclo da água pode ser observado na Figura 2.1.

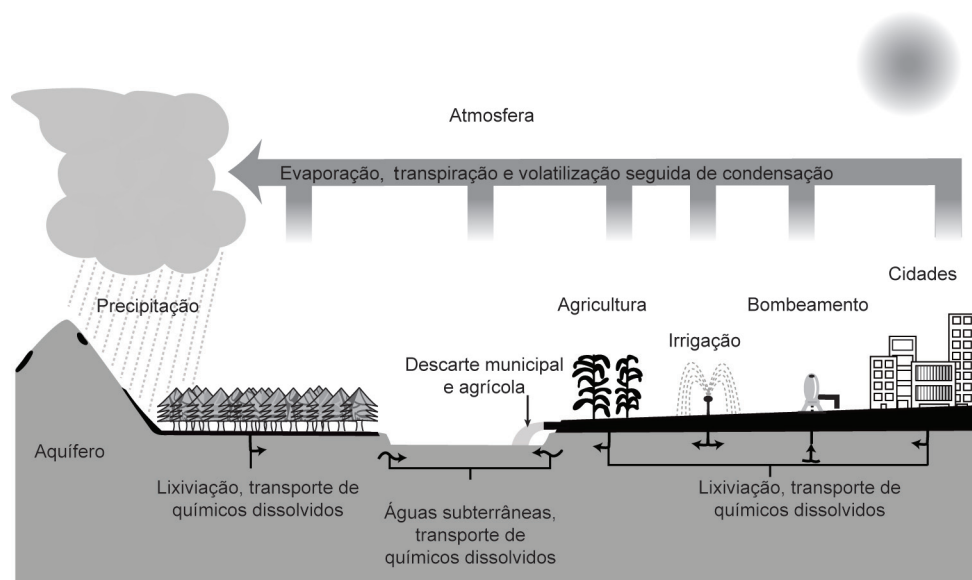


Figura 2.1 Ciclo natural da água.

Fonte: adaptada de Artiola, Pepper & Brusseau (2004).

A água pode estar no estado sólido, líquido ou gasoso. Os processos de evaporação, solidificação por meio da formação de gelos, condensação e precipitação controlam a distribuição de água entre esses três estados no meio ambiente.

A qualidade química da água é determinada pela quantidade e diversidade de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas ali presentes. Algumas alterações em propriedades químicas e microbiológicas estão diretamente relacionadas com a adequação da água para consumo humano e animal, bem como para a absorção vegetal. Inversamente, as mudanças nos estados físicos da água tendem a afetar os ciclos naturais da água em todas as escalas (BRAGA et al., 2005).

Uma das normas que rege a qualidade é a Resolução do Conama nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Também no Brasil, a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde define os padrões de potabilidade da água com base nas exigências da OMS.

A seleção dos parâmetros deve ser avaliada seguindo alguns critérios relacionados às fontes poluidoras, aos usos previstos para os corpos-d'água e às fontes de poluição presentes nos arredores.

A seguir, serão descritos alguns dos principais parâmetros avaliados em monitoramento de recursos hídricos.

2.3.1 Parâmetros físicos

Cor: normalmente resultado de substâncias em suspensão ou processos de decomposição e, na maioria das vezes, de natureza orgânica.

Sabor e odor: as substâncias que produzem essas características às águas são, normalmente, originadas de decomposição de matéria orgânica, ou mesmo por fontes poluentes (de natureza industrial).

Sólidos: quase todas as impurezas, excetuando-se os gases dissolvidos, podem contribuir para a carga de sólidos presentes em corpos-d'água. Eles podem ser classificados em função de suas características químicas e tamanho (BRAGA et al., 2005; DERÍSIO, 2007).

Temperatura: é a medida de intensidade de calor. A presença de gases na água ou a solubilidade destes em líquidos é inversamente proporcional à temperatura (DERÍSIO, 2007). Então, quanto maior for a temperatura de um líquido qualquer (no caso, corpo hídrico), menor será a possibilidade de este líquido reter gases. Os efeitos prejudiciais à fauna e à flora presentes em água, devido ao aumento de temperatura, são indiretos. Uma maior temperatura, normalmente, implica numa maior movimentação dos seres aquáticos, causando aumento do consumo de oxigênio dissolvido (elemento de importância vital para organismos aquáticos aeróbios), bem como a diminuição do poder de retenção do gás oxigênio através desse líquido.

Turbidez: pode ocorrer de forma natural (processos de erosão) ou devido a atividades antropogênicas (lançamentos de efluentes domésticos e industriais). É a propriedade de desviar raios luminosos e pode ser considerada, do ponto de vista sanitário, um problema mais estético. Já com relação aos demais organismos vivos presentes no meio hídrico, pode afetar a capacidade de desenvolvimento da fauna e flora ali presentes, devido à redução da penetração de luz (BRAGA et al., 2005; MACÊDO, 2002).

2.3.2 Parâmetros químicos

Alcalinidade: é devida à presença de carbonatos e bicarbonatos, metais alcalinos e alcalinos terrosos. Geralmente não constitui um problema isolado, desde que a salinidade esteja dentro dos níveis determinados para uso dessa água. A maior preocupação com a alcalinidade está na água para abastecimento (BRAGA et al., 2005; MACÊDO, 2000).

DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio): quantidade de oxigênio necessária para oxidar (estabilizar) a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbias, com auxílio de microrganismos (como bactérias decompositoras) (BAUMGARTEN & POZZA, 2001; MACÊDO, 2002).

DQO (Demanda Química de Oxigênio): tal qual a DBO₅, é indicador de presença de matéria orgânica, mas é definida com a quantidade necessária para a oxidação completa da matéria oxidável total presente nas águas (orgânica e inorgânica) por meio de um agente químico (MACÊDO, 2002). Em alguns casos, a DQO pode substituir a análise de DBO₅ (para determinação de matéria orgânica), pois na determinação de DBO₅ podem existir substâncias interferentes (DERÍSIO, 2007).

Dureza: provocada pela presença de sais de cálcio e magnésio. Não apresenta importância sanitária, mas pode comprometer o uso industrial, pois pode acarretar incrustações, corrosão e perda de eficiência na transmissão de calor em caldeiras e em sistemas de refrigeração.

Metais: a maioria deles encontra-se como traços no meio (naturalmente), dissolvidos ou não, e quando em excesso são considerados poluentes. Alguns podem ser considerados nutrientes fundamentais aos ciclos vitais (BAUMGARTEN & POZZA, 2001). Nas águas podem ocorrer devido a despejos principalmente de origem industrial, na forma de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas (DERÍSIO, 2007).

Nutrientes: normalmente são compostos de fósforo e nitrogênio e seus derivados. Esses elementos ocorrem naturalmente em pequenas concentrações, e o aumento de sua concentração é devido a aportes principalmente de despejos domésticos (DERÍSIO, 2007). Um aumento descontrolado pode proporcionar a proliferação de organismos aquáticos e conseqüente eutrofização.

OD (Oxigênio Dissolvido): importante aos seres aquáticos aeróbios (DERÍSIO, 2007). Quando uma água tem aporte de despejos de origem orgânica, pode acontecer a redução nas concentrações de oxigênio no corpo hídrico. O OD é fundamental para a manutenção e verificação de condições aeróbicas num curso-d'água que possa receber material poluidor (BAUMGARTEN & POZZA, 2001).

pH (Potencial Hidrogeniônico): é a relação numérica que mostra o equilíbrio entre íons H⁺ e OH⁻. Organismos aquáticos geralmente são mais adaptados a condições de neutralidade (pH = 7); dessa forma, bruscas alterações nesse parâmetro podem acarretar extinção de algumas espécies. A forma antropogênica mais comum é por despejos industriais (DERÍSIO, 2007).

Praguicidas (Agrotóxicos): substâncias químicas sintéticas ou naturais utilizadas no controle de pragas (de plantas e animais). São produtos tóxicos ao ser humano, peixes e outros animais, e a contaminação pode acontecer pelo

uso e transporte e não pela contaminação por atividades de transformação ou produção desses produtos (BRAGA et al., 2005; DERÍSIO, 2007).

Radioatividade: o desenvolvimento da indústria nuclear pode acarretar problemas de radioatividade em ambientes, podendo, as águas de chuvas, serem as responsáveis pelo carreamento dessa contaminação, e em alguns casos pode acontecer lançamentos diretos (BRAGA et al., 2005).

Salinidade: o conjunto de sais que possam estar dissolvidos em água (como cloretos, bicarbonatos, sulfatos etc.) pode causar sabor salino, bem como possibilidades de incrustações. Quando uma água estiver com teor de cloretos intenso, pode ser característica de poluição por esgotos domésticos (BRAGA et al., 2005).

E agora: o que é o processo de eutrofização?

2.3.3 Parâmetros biológicos

Algas: de fundamental importância para o equilíbrio do meio aquático, inclusive por serem responsáveis por parte do oxigênio presente na água. Mas podem formar excesso de carga orgânica, podendo gerar compostos tóxicos ou produzir sabor e odor desagradáveis. Podem também, quando desenvolvidas nas superfícies dos reservatórios, causar turbidez (BRAGA et al., 2005).

Coliformes: é o indicador de possível presença de organismos patogênicos, por si só não representa perigo à saúde (DERÍSIO, 2007). A análise de coliformes fecais tem maior significância para a avaliação de qualidade sanitária dos corpos hídricos (BAUMGARTEN & POZZA, 2001).

2.4 Tipos de monitoramento

O ambiente aquático é especialmente vulnerável aos poluentes. Dois mecanismos podem ser considerados responsáveis pelo transporte e, consequentemente, pela contaminação dos corpos-d'água: a difusão e a advecção. Difusão é uma transferência de massa que ocorre, ou seja, é a tendência das moléculas a se moverem de zonas de maior para outras de menor concentração (MACÊDO, 2002). Advecção é o resultado do movimento das águas em resposta à gravidade ou às forças de pressão. Exemplo: se um barril de insumos contaminantes fosse despejado em um rio, as características químicas levariam ao processo difuso, fazendo com que se afastasse do local inicial de despejo; já as forças de advecção, tais como ondas e correntes, moveriam essa substância na direção do fluxo de água. Eventualmente, a concentração dos contaminantes

pode tornar-se relativamente uniforme em todo o lago (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004). Assim, em teoria, toda a água acabará por ser igualmente contaminada. Os mesmos mecanismos atuam sobre outras formas comuns de poluição das águas, tal como escoamentos e descargas de tubulação de usinas de tratamento de esgotos ou de embarcações em geral.

Os ambientes de águas superficiais, que são geralmente classificados como oceanos, rios, lagos e reservatórios, são mais homogêneos em composição do que os solos. No entanto, essa aparente homogeneidade pode ser enganosa. Na verdade, os corpos-d'água de superfície são geralmente estratificados onde eles têm camadas compostas com diferentes temperaturas e densidades e com diferentes composições químicas (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004). Isso significa que uma liberação de poluentes em um corpo de água pode ou não contaminar uniformemente toda a água dentro de um rio, como no exemplo dado anteriormente, uma vez que concentrações de poluentes e demais propriedades químicas podem alterar todo um corpo de água e o monitoramento das águas superficiais deve também avaliar essas heterogeneidades.

2.4.1 Principais objetivos do monitoramento de águas superficiais

A Cetesb estabeleceu alguns dos principais objetivos de uma rede de monitoramento de águas superficiais:

- Avaliar a evolução da qualidade das águas superficiais do local de interesse;
- Realizar o levantamento das áreas prioritárias para o controle da poluição das águas, identificando trechos de onde a qualidade de água possa estar mais degradada, possibilitando ações preventivas e corretivas;
- Auxiliar o diagnóstico e controle da qualidade das águas utilizadas para o abastecimento público, bem como para os múltiplos usos, averiguando se suas características são compatíveis com o tratamento existente;
- Subsidiar tecnicamente nos casos de execução de planos específicos, bem como seus relatórios, visando a cobrança do uso da água e/ou para o estudo do enquadramento dos corpos hídricos;
- Fornecer elementos necessários para a implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007).

As principais fontes de poluição dos recursos hídricos a serem consideradas podem ser os lançamentos de efluentes líquidos domésticos e/ou industriais;

dessa forma, tem-se a carga difusa tanto de origem urbana quanto agrícola. A avaliação da qualidade das águas deve ser realizada por meio de análises temporais e espaciais.

2.4.2 Amostragem

Não se pode distinguir entre métodos de amostragem destrutivos e não destrutivos para análises em ambientes aquáticos. Essa distinção é desnecessária, pois a remoção de um pequeno volume de água de um lago ou um rio, por exemplo, para uma amostragem não interrompe ou perturba esses ambientes. Conhecem-se dois tipos de amostragem de água: em *tempo real* ou análise *in situ*, que é feito no local; e a *remoção de amostras*, que é seguida pela análise no campo ou em laboratório.

2.4.2.1 Medidas diretas

Através do desenvolvimento de equipamentos analíticos portáteis, diversos parâmetros ou indicadores de qualidade de águas podem ser quantificados no local (em campo) da amostragem (análise *in situ*) (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004; CASARINI, DIAS & LEMOS, 2001). Para cada ponto de amostragem, uma das formas para realizar o perfil da coluna-d'água com medições contínuas é por meio da sonda multiparâmetros. Esse tipo de sonda pode possuir vários eletrodos, que são sensores capazes de medir e de fornecer dados imediatamente ao entrar em contato com a água. Essas sondas podem registrar resultados das seguintes variáveis: Oxigênio Dissolvido (OD), Temperatura, pH, Condutividade, Turbidez, Profundidade, Cloreto, Salinidade, Clorofila a, Sólidos Totais Dissolvidos e Potencial Redox. Um exemplo dessa sonda pode ser observado na Figura 2.2.

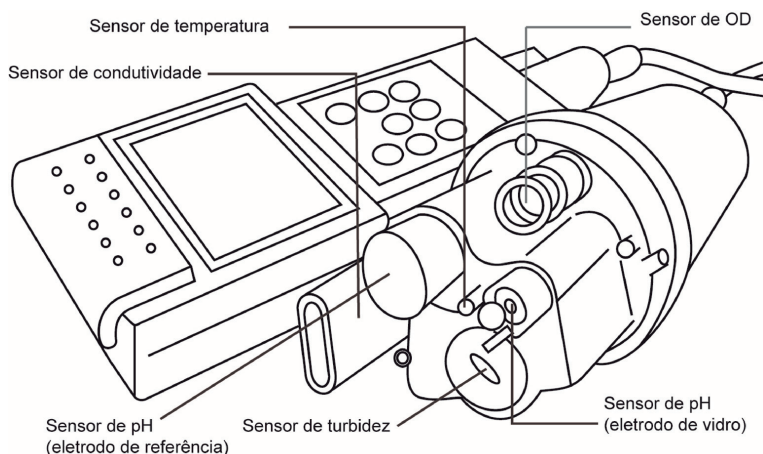


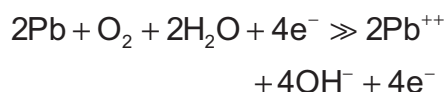
Figura 2.2 Sensor multiparâmetros.

Fonte: adaptada de Artiola, Pepper & Brusseau (2004).

O uso desses tipos de equipamento é possível devido ao desenvolvimento de sensores que respondem a mudanças em propriedades físicas e químicas quando em contato direto com a água. A maioria dos sensores tem algum tipo de membrana porosa ou semiporosa que detecta as alterações nas atividades das espécies de interesse, bem como as reações do tipo redox. Os componentes eletrônicos convertem essas reações em potencial elétrico (V), que pode ser medido (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004).

As medições de *pH* da água requerem o uso de um eletrodo de vidro acoplado a um eletrodo de referência. O mecanismo de funcionamento é da seguinte forma: os dois eletrodos formam um circuito e, quando colocados em solução, desenvolvem diferentes potenciais internos que se anulam. E isso faz com que o potencial (E) da solução possa ser medido, o qual é proporcional à atividade do H⁺ da solução.

O *oxigênio dissolvido (OD)* é medido com eletrodos que podem sofrer reações de oxidação/redução na presença de oxigênio. Em suma, o oxigênio dissolvido difunde na membrana porosa, onde é reduzido com a água e os elétrons, que são o produto da oxidação do chumbo no ânodo. A reação geral é escrita da seguinte forma (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004):



A corrente de fluxo resultante será proporcional à concentração de oxigênio molecular (O₂) na solução.

A *turbidez* pode ser determinada diretamente na água através da medição da quantidade de luz que é dispersa pelas partículas em suspensão na água. De forma geral, é utilizada uma sonda portátil que usa um diodo de baixo poder pulsante, como uma fonte de luz infravermelha, para minimizar as partículas que interferem nas cores.

Alguns dos parâmetros que podem ser medidos com o equipamento de

campo, inserindo uma sonda diretamente na água, estão listados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Parâmetros de qualidade de água medidos diretamente (*in situ*).

Parâmetro	Parâmetros associados	Método analítico
pH	Bases ácidas [H ⁺]	Eletrodo de íon hidrogênio
Salinidade	Íons mais solúveis	Condutividade elétrica
Oxigênio Dissolvido (OD)	Dióxido de Carbono (CO ₂)	Eletrodo de membrana de gás sensível
Potencial redox	Elétrons livres	Eletrodo de platina
Turbidez	Particulado suspenso	Dispersão de luz
Temperatura	Energia térmica	Termopar
Vazão	Energia cinética	Medidor de fluxo

Fonte: adaptada de Artiola, Pepper & Brusseau (2004).

Esses parâmetros discutidos são medidos rotineiramente na maioria dos corpos de água, servindo de indicador de qualidade da água. Quaisquer desvios em relação ao que é considerado natural (padrão) podem sugerir que um sistema está sob estresse. Por exemplo, baixas concentrações de oxigênio dissolvido geralmente indicam atividade biológica devido ao excessivo aporte de nutrientes, como nitratos e fosfatos e matéria orgânica, com uma alta demanda de oxigênio biológico (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004). Então, em lagos ou riachos, sinais iniciais de eutrofização podem ser observados pela medida e observação nas mudanças de concentração de oxigênio.

As *medições de vazão* são importantes para quantificar o volume de água transportada em uma correnteza, pois, em associação aos dados da qualidade da água, pode-se calcular as quantidades de produtos químicos transportados. Devido ao fluxo de água dentro de córregos, podem ocorrer mudanças temporais e espaciais, então a definição de tempo e local de medição é importante (ARTIOLA, PEPPER & BRUSSEAU, 2004). É preferível selecionar seções transversais, com baixa turbulência e geometria suave, para uma adequada amostragem.

2.4.2.2 Medidas indiretas

Algumas análises podem ser realizadas tanto *in situ* quanto em laboratório, outras apenas de uma ou outra forma.

Nesta seção, falaremos das técnicas analíticas realizadas em laboratório após a coleta adequada de cada amostra para determinação de seu respectivo parâmetro.

Segundo Baumgarten, Rocha & Niencheski (1996), existem alguns procedimentos normalmente adotados com as amostras ambientais antes da realização

das análises. Essas informações podem ser observadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Procedimentos adotados com as amostras ambientais antes da análise.¹

Parâmetro analisado	Condições de amostragem, preservação e acondicionamento das amostras.
Temperatura	Medir no local amostrado. O bulbo do termômetro deve ficar submerso na amostra.
pH	Sempre que possível, medir no local amostrado. Caso contrário, refrigerar a amostra a 4 °C até a chegada ao laboratório, por no máximo duas horas. Após essa análise, a amostra poderá ser congelada para posteriores outros tipos de análise.
Salinidade	Sempre que possível, medir no local amostrado, usando um refratômetro. Caso contrário, refrigerar a amostra a 4 °C até a chegada ao laboratório. Quando a temperatura estiver ambiente, realizar a leitura, e em seguida a amostra poderá ser congelada para posteriores outros tipos de análise.
Oxigênio dissolvido	A amostra deve ser coletada sem nenhum borbulhamento e sem agitação e fixada quimicamente, imediatamente após a coleta.
Alcalinidade	Sifonar a amostra diretamente para o fundo de uma proveta ou frasco de coleta.
Turbidez	As amostras devem ser coletadas em frascos de plástico ou de vidro. Recomenda-se que as análises sejam realizadas num período máximo de 24 horas, e as amostras devem ser guardadas no escuro.
Material em suspensão	A água deve ser acondicionada em frasco de polietileno de um litro. Deve-se realizar a filtração imediata com filtro de acetato de celulose, com 0,45 µm de poro, seco e previamente pesado. Caso não seja possível a filtração imediata, armazenar a amostra e realizar a filtração no menor período de tempo possível. Os resultados são dados por gravimetria.
Nutrientes	Pode-se utilizar a mesma amostra coletada para material em suspensão. O filtrado pode ser distribuído em frascos de polietileno limpos e secos, individualmente para cada parâmetro e devidamente etiquetados. Dependendo do parâmetro a ser avaliado, a amostra poderá ou não ser congelada (avaliar se são nitratos, nitritos, fosfatos etc.).
Metais no sedimento superficial	Pode-se coletar o sedimento com cano de PVC e acondicioná-lo em saco plástico etiquetado. Resfriar o sedimento para transporte até o laboratório, onde será seco a 40 °C por 48 horas, em placas de vidro. Esse material deve ser guardado em frasco de vidro limpo, etiquetado e hermeticamente fechado até a análise.

Fonte: adaptada de Baumgarten, Rocha & Niencheski (1996) e Macêdo (2001).

E agora: você conhece os conceitos de titrimetria e gravimetria? Pesquise!

O pH pode ser avaliado também laboratorialmente por meio da técnica

¹ As sugestões são específicas para alguns tipos de análise, cabendo uma prévia avaliação do técnico, dependendo do tipo de técnica analítica a ser utilizada.

de potenciometria (com equipamento chamado potenciômetro ou peagâmetro) (BAUMGARTEN, ROCHA & NIENCHESKI, 1996; MACÊDO, 2001).

Para águas consideradas potáveis, pode-se utilizar o método nefelométrico para a verificação de *turbidez*. O método consiste na comparação da quantidade de luz espalhada pela amostra nas condições definidas com a intensidade da luz espalhada por uma suspensão considerada padrão (MACÊDO, 2001). Dessa forma, quanto maior a intensidade da luz espalhada maior será a turbidez da amostra. O aparelho utilizado para a leitura é o turbidímetro, o qual é constituído por um nefelômetro, sendo a turbidez expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (BAUMGARTEN, ROCHA & NIENCHESKI, 1996).

A determinação de *OD (oxigênio dissolvido)* pode ser realizada laboratorialmente pelo método iodométrico clássico de Winkler (titrimetria de oxidação e redução) (BAUMGARTEN, ROCHA & NIENCHESKI, 1996).

O *material particulado em suspensão*, ou seston, são pequenas partículas com diâmetro maior que 0,45 µm. Por esse motivo, a forma de determinar esse parâmetro é por meio da filtração. O material retido na membrana (filtro) é considerado material em suspensão, e o material que resta na amostra filtrada é o material dissolvido (BAUMGARTEN, ROCHA & NIENCHESKI, 1996). Devem-se evitar filtros de nitrato de celulose, quando se pretende posteriormente fazer análise de nitratos, e o filtro de fibra de vidro, se for prevista a análise de silicato (BAUMGARTEN, ROCHA & NIENCHESKI, 1996).

As variáveis selecionadas para a avaliação da qualidade das águas normalmente abrangem os principais parâmetros estabelecidos na Resolução do Conama 357/2005. Conjuntamente, realiza-se também a avaliação da qualidade dos sedimentos, por ser um compartimento importante na caracterização do ambiente aquático (CASARINI, DIAS & LEMOS, 2001).

Em relação à avaliação da *qualidade dos sedimentos* no entorno dos emissários, devem-se colher amostras em pontos coincidentes com os de amostragem de água, além do ponto controle. Para essas amostras de sedimento superficial, podem-se realizar determinações de variáveis físicas e químicas, granulométricas, químicas, microbiológicas e ecotoxicológicas. A qualidade do sedimento pode ser avaliada, também, pelos testes de biomonitoramento em crustáceos (CASARINI, DIAS & LEMOS, 2001).

2.5 Biomonitoramento

Biomonitoramento é definido como o uso sistemático das respostas de organismos vivos para detectar e quantificar as mudanças ocorridas no ambiente, geralmente causadas por ações humanas. Pode avaliar a saúde dos

ecossistemas de corpos hídricos, fornecendo subsídios para uma análise integrada da qualidade da água.

As espécies usadas para indicar essas condições são conhecidas como bioindicadores. Esses bioindicadores são espécies escolhidas devido à sua sensibilidade ou tolerância a vários parâmetros, apresentando uma resposta biológica.

Resposta biológica refere-se ao conjunto de reações de um indivíduo ou de uma comunidade em relação a um estímulo ou a um conjunto de estímulos (ARMITAGE, 1995 apud BUSS, BAPTISTA & NESSIMIAN, 2003).

As metodologias biológicas são bastante eficazes na avaliação de poluição não pontual (difusa), tendo, portanto, grande valor para avaliações em escala regional.

Para um indicador biológico ser considerado “ideal”, deve possuir as seguintes características (BIANDIN, 1986 apud FRANÇA FLASH, 1996, p. 2; JOHNSON et al., 1993 apud BUSS, BAPTISTA & NESSIMIAN, 2003, p. 3):

- ser taxonomicamente bem definido e facilmente reconhecível por não especialistas;
- ser amostrado com facilidade;
- apresentar distribuição geográfica ampla;
- ser abundante ou de fácil coleta;
- apresentar baixa variabilidade genética e ecológica;
- preferencialmente possuir tamanho grande;
- apresentar baixa mobilidade e longo ciclo de vida;
- dispor de características ecológicas e biológicas bem conhecidas;
- acumular poluentes;
- ter possibilidade de uso em estudos em laboratório.

Os bioindicadores podem ser classificados da seguinte forma:

- Espécies sentinelas – que são introduzidas no meio para indicar a poluição;
- Espécies detectoras – já ocorrem naturalmente e respondem ao estresse ocorrido no meio de forma mensurável;
- Espécies exploradoras – reagem de forma positiva (sinalizam) ao distúrbio ou agente estressor;
- Espécies acumuladoras – acumulam agentes estressores, permitindo avaliar a qualidade do meio.

E agora: leia os textos complementares sugeridos sobre biomonitoramento.

2.6 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Devido ao grande número de parâmetros (com características diversas) a serem avaliados, surge a necessidade de criar um índice que consolide todos os possíveis problemas de poluição hídrica, o chamado IQA (BRAGA et al., 2005). Esse índice é uma média harmônica ponderada de um conjunto de nove indicadores específicos: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez. Em situações nas quais não se dispõem de algum desses nove parâmetros, o cálculo do IQA fica inviabilizado.

Esse parâmetro foi desenvolvido pela Cetesb, baseado em estudo realizado em 1970 pela National Sanitation Foundation dos Estados Unidos (ROCHA, ROSA & CARDOSO, 2009). Para o cálculo do IQA, são consideradas variáveis de qualidade que indicam o lançamento de águas brutas para o corpo-d'água, fornecendo uma visão geral sobre as condições de qualidade das águas superficiais (CASARINI, DIAS & LEMOS, 2001).

2.7 Considerações finais

O estudo do monitoramento das águas superficiais é de fundamental importância, pois a maior parte de nosso planeta é banhada por elas. Os seres vivos (fauna e flora) são dependentes desse meio, e a necessidade de ele estar em perfeitas condições é imprescindível.

Sempre se deve avaliar a maioria dos parâmetros possíveis de monitoramento para um adequado estudo pontual.

2.8 Estudos complementares

Para um melhor entendimento do estudo abordado neste capítulo, são sugeridas as seguintes leituras:

- Brasil (2005)
- Casarini, Dias & Lemos (2001)
- Embrapa (2004)
- Buss, Baptista & Nessimian (2003).

UNIDADE 3

Monitoramento do meio solo e das águas
subterrâneas

3.1 Primeiras palavras

Caro leitor, esta unidade abordará aspectos relacionados ao monitoramento da qualidade do solo e das águas subterrâneas. Você irá verificar que um contaminante presente no solo pode alcançar o nível freático, comprometendo tanto a qualidade do solo quanto da água subterrânea, e, por esse motivo, esses dois recursos serão tratados de forma conjunta nesta unidade.

Dessa forma, a unidade tem como início conceitos básicos sobre o solo, sua composição e propriedades e os conceitos relacionados às águas subterrâneas e tipos de aquífero, para então, de forma específica, abordar os procedimentos de monitoramento e amostragem de solo e águas subterrâneas.

3.2 Poluição do solo e das águas subterrâneas

A preservação da qualidade do solo, assim como a dos outros compartimentos do sistema terrestre (hidrosfera e atmosfera), é de extrema importância para a manutenção da vida no planeta.

No ciclo hidrológico (Figura 3.1) ocorre a infiltração da água das chuvas no solo, que renova os aquíferos subterrâneos (ou lençol freático), os quais irão por sua vez formar os rios e lagos. Nesse ciclo também ocorre o escoamento superficial da água que não infiltrou no solo e os processos de transpiração e evaporação, que devolvem a água à atmosfera na forma de vapor.

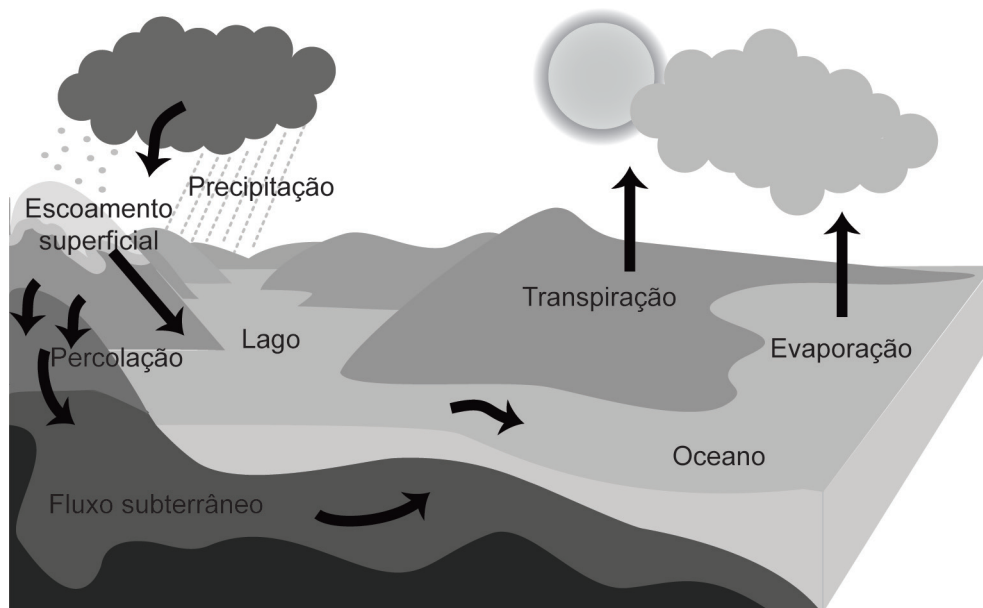


Figura 3.1 Ciclo hidrológico.

Fonte: adaptada de Environment Canada (2011).

Ao analisar o ciclo hidrológico, é fácil perceber que o solo pode atuar como um meio de transferência ou de retenção de poluentes para os corpos hídricos superficiais ou subterrâneos. Dependendo das características do solo, especialmente sua permeabilidade, ele pode ter uma maior ou menor capacidade de retenção dos poluentes.

A água subterrânea encontra-se nas zonas saturadas, onde os poros, fraturas ou espaços vazios da matriz sólida estão completamente preenchidos por água. Logo, a migração dos poluentes através do solo, para as águas superficiais e subterrâneas, constitui uma ameaça para a qualidade dos recursos hídricos usados no abastecimento público, industrial, agrícola, comercial, lazer e serviços (CASARINI, DIAS & LEMOS, 2001).

Esse processo está bem ilustrado na Figura 3.2, em que são mostradas as principais fontes de poluição do solo e seus mecanismos de transporte.

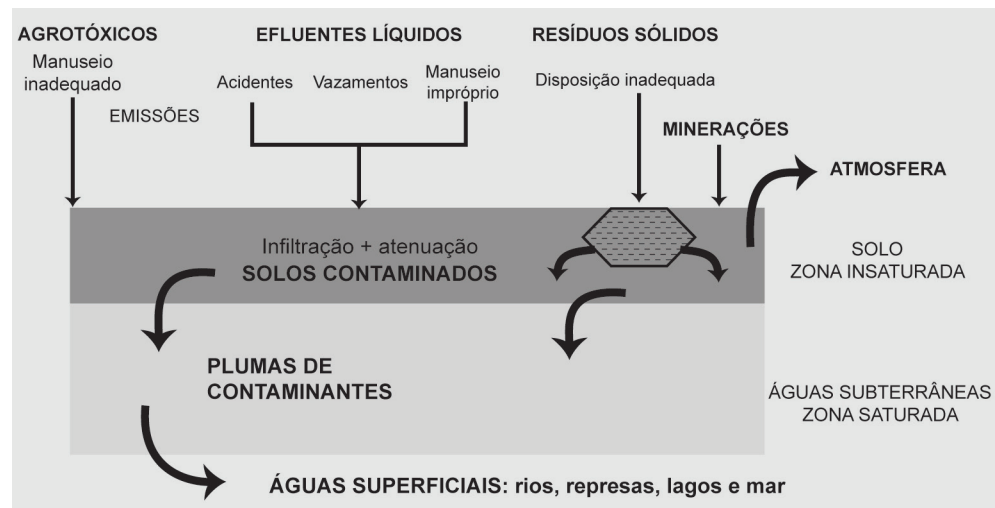


Figura 3.2 Fontes de poluição do solo e rotas de migração.

Fonte: adaptada de Cetesb (2011a).

Fetter (1993 apud CETESB, 2001) apresenta um levantamento bastante detalhado de todas as possíveis fontes de contaminação do solo e das águas subterrâneas:

- a) *Fontes projetadas para descarga de substâncias no subsolo:* tanques sépticos e fossas negras, que descartam efluentes domésticos; poços de injeção de substâncias perigosas, águas salgadas da exploração de petróleo, entre outros (nesse caso, a contaminação das águas subterrâneas pode ocorrer devido à má construção do poço ou falhas de projeto); aplicação de efluentes municipais ou industriais no solo, lodos de tratamento de água usados como fertilizantes, resíduos oleosos de refinarias;

- b) *Fontes projetadas para armazenar, tratar e/ou dispor substâncias no solo*: áreas de disposição de resíduos (aterros sanitários e industriais, lixões); lagoas de armazenamento e tratamento de efluentes industriais; depósitos de resíduos de mineração; tanques de armazenamento de substâncias;
- c) *Fontes projetadas para reter substâncias durante o seu transporte*: oleodutos, tubulações para o transporte de esgoto e efluentes industriais; transporte de substâncias químicas, como combustíveis, por meio de caminhões e trens;
- d) *Fontes utilizadas para descarregar substâncias como consequência de atividades planejadas*: irrigação ou fertirrigação de lavouras, aplicação de pesticidas e fertilizantes na lavoura; percolação de poluentes atmosféricos;
- e) *Fontes que funcionam como um caminho preferencial para que os contaminantes entrem em um aquífero*: poços de produção de petróleo e poços de monitoramento com falhas de construção e projeto;
- f) *Fontes naturais ou fenômenos naturais associados às atividades humanas*: interação entre águas subterrâneas e superficiais contaminadas, a ocorrência natural de substâncias inorgânicas nas águas subterrâneas; contaminação do solo e águas subterrâneas por gases de processos produtivos, ou outras fontes de poluição contendo substâncias perigosas de alta toxicidade, que podem ser lançados à atmosfera e se infiltrarem no solo, quando carregados pelas águas de chuva.

3.3 Definições e conceitos importantes

3.3.1 Usos e funções do solo

A superfície do ambiente terrestre é composta de rochas e solos, bem como de formas de matéria viva associadas a estes, conjunto chamado de litosfera. O solo fornece o meio para a sobrevivência de várias formas de vida e também para o desenvolvimento da agricultura e de reflorestamentos e representa ainda um importante agente ambiental, atuando como verdadeiros filtros para substâncias líquidas e sólidas, como água de chuva, resíduos sólidos, pesticidas e demais produtos químicos (VANLOON & DUFFY, 2005).

Dentre as funções do solo, a Cetesb (2011a) destaca as seguintes:

- Sustentação da vida e do “habitat” para pessoas, animais, plantas e outros organismos;
- Manutenção do ciclo da água e dos nutrientes;
- Proteção da água subterrânea;
- Manutenção do patrimônio histórico, natural e cultural;
- Conservação das reservas minerais e de matérias-primas;
- Produção de alimentos;
- Meio para manutenção da atividade socioeconômica.

3.3.2 Definição de solo

Na literatura podem ser encontradas algumas definições sobre solo.

A Cetesb define solo como

um meio complexo e heterogêneo, produto de alteração do remanejamento e da organização do material original (rocha, sedimento ou outro solo), sob a ação da vida, da atmosfera e das trocas de energia que aí se manifestam; constituído por quantidades variáveis de minerais, matéria orgânica, água da zona não saturada e saturada, ar e organismos vivos, incluindo plantas, bactérias, fungos, protozoários, invertebrados e outros animais (CETESB, 2011a).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1995), através da norma técnica NBR 6502 – Rochas e solos – define solo como o “material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica” (ABNT, 1995, p. 17).

De forma mais ampla, a Norma 1:63.01-001 da ABNT define solo como um material natural que compõe a parte superficial do terreno, constituído por horizontes (camadas) de compostos minerais e/ou orgânicos. É resultante da alteração e evolução de um material original (rocha ou outro solo), diferindo deste por características físicas, químicas, morfológicas, mineralógicas e biológicas (CETESB, 2004).

3.3.3 Formação e composição do solo

O solo é formado ao longo de períodos das eras geológicas por meio da combinação de processos físicos e químicos, incluindo processos bióticos. Esses processos atuam sobre rochas consolidadas para produzir componentes

minerais e sobre restos de plantas e animais para produzir a porção orgânica do solo. O produto desses processos de intemperismo é um material finamente dividido que contém ar e/ou água entre os espaços vazios (poros). A natureza e a composição de um solo estão em contínua modificação e podem ser significativamente afetadas pelas atividades humanas (VANLOON & DUFFY, 2005).

Dessa forma, o solo pode ser representado como um ciclo natural, do qual fazem parte fragmentos de rochas, minerais, água, ar, seres vivos e seus detritos em decomposição, sendo resultado das interações da litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera (ROCHA, ROSA & CARDOSO, 2009).

Os solos apresentam três fases – sólida, líquida e gasosa –, em proporções que variam com o tipo de solo ou, em um mesmo solo, com as condições climáticas, a presença de vegetação e com a forma de manejo, a seguir definidas, segundo Rocha, Rosa & Cardoso (2009).

3.3.3.1 Fase sólida

A fase sólida é composta de uma fração mineral e uma orgânica. A primeira resulta da desagregação física de rochas, com composição química idêntica à da rocha que lhe deu origem, porém com dimensões bem menores; a segunda é constituída por substâncias resultantes da degradação de plantas e animais e por produtos intermediários da degradação biológica, realizada por bactérias e fungos presentes no solo.

3.3.3.2 Fase líquida

A fase líquida é conhecida como “solução do solo”, uma solução de eletrólitos que ocorre no solo em condições de não saturação de umidade. É chamada de solução porque contém inúmeras substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas, provenientes da fase sólida. Sempre que chove ou que é realizada irrigação, a água se infiltra através do solo, preenchendo os espaços vazios existentes entre as partículas de solo; essa infiltração será maior ou menor, dependendo das características de permeabilidade do solo. Dessa forma, a “solução do solo” propicia o fornecimento de nutrientes para as plantas, representa o meio para a ocorrência da maioria dos processos químicos e biológicos que ocorrem no solo e é o principal meio de transporte de materiais no solo.

3.3.3.3 Fase gasosa

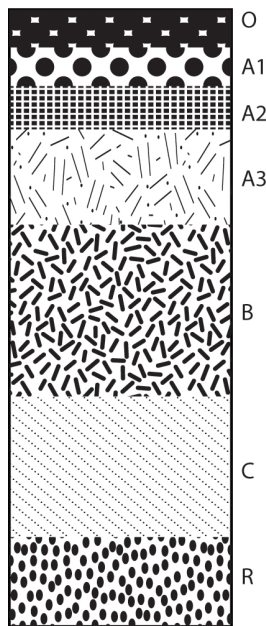
O solo apresenta qualitativamente a mesma composição do ar atmosférico, entretanto, do ponto de vista quantitativo, pode haver variações. Essa variação quantitativa se deve à respiração das raízes e microrganismos, à decomposição da matéria orgânica e a reações que ocorrem no solo, que consomem O_2 e liberam CO_2 , de modo que a composição do ar no solo não é fixa. O ar que circula no interior do solo representa a fonte de oxigênio para a respiração das células das raízes, de microrganismos e de pequenos animais, produtores de húmus.

3.3.4 Perfil do solo

Considerando a variabilidade de fatores que influenciam a sua composição, deve-se ter em mente que o solo não é uma massa de composição uniforme, e sim apresenta variações no sentido horizontal e vertical. Ao se escavar o solo, tomando uma porção de um metro de profundidade ou mais, pode-se observar a existência de uma série de camadas horizontais, que se diferenciam em cor e/ou textura. Essas camadas são conhecidas como “horizontes”, e o conjunto de horizontes é chamado de “perfil do solo” (VANLOON & DUFFY, 2005).

Um solo típico contém rochas e cascalhos, materiais de tamanho grosseiro e mediano, tais como areia e silte formados por sílica e outros minerais primários, e materiais finos e intemperizados, classificados como argilas. A maioria dos solos contém uma pequena porcentagem de componentes orgânicos, tais como substâncias húmicas e restos vegetais não decompostos; entretanto, alguns tipos específicos de solos, como as turfas, podem conter até 95% de matéria orgânica. Os horizontes do solo resultam do decaimento biológico e dos processos de intemperismo e lixiviação e definem a classificação dos diferentes tipos de solo (BAILEY et al., 2002).

A Figura 3.3 representa um esquema com as diferentes camadas que formam um perfil típico de solo, designadas por letras maiúsculas.



O – Horizonte orgânico, formado por matéria orgânica recente e/ou em decomposição.

A – Camadas ricas em matéria orgânica parcialmente decomposta, de onde são liberados minerais que são absorvidos pelas raízes ou lixiviados para a camada inferior.

B – Camada rica em argila, carbonatos e outras substâncias lixiviadas das camadas superiores.

C – Pedras e cascalhos formados pela rocha que compõe a região.

R – Camada de rocha.

Figura 3.3 Camadas de um perfil idealizado de um solo típico.

Fonte: adaptada de Bailey et al. (2005) e Rocha, Rosa & Cardoso (2009).

3.3.5 Definição e classificação das águas subterrâneas

A Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008, do Conama trata da classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas em território nacional e define águas subterrâneas como “as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo”; e aquífero como “corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos” (BRASIL, 2008, p. 2).

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – Abas define água subterrânea como “toda a água que ocorre abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos” (ABAS, 2011).

Conforme já mencionado, a água subterrânea é formada a partir da infiltração da água de chuvas no solo, e essa infiltração, segundo a Abas (2011), pode ocorrer de forma mais ou menos acentuada devido aos seguintes fatores:

- a) Porosidade do subsolo: a presença de argila no solo diminui sua permeabilidade, reduzindo a taxa de infiltração; já solos arenosos permitem uma maior infiltração;

- b) Cobertura vegetal: um solo coberto por vegetação é mais permeável do que um solo desmatado;
- c) Inclinação do terreno: em declividades acentuadas, a água corre mais rapidamente, reduzindo a infiltração;
- d) Tipo de chuva: chuvas intensas saturam rapidamente o solo, enquanto chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem.

A Resolução do Conama 396/2008 definiu seis classes para enquadramento das águas subterrâneas no território nacional, segundo os usos preponderantes, conforme mostra a Tabela 3.1. Além disso, foram estabelecidos valores máximos permitidos para as substâncias de interesse de forma a garantir água com qualidade adequada a cada uso específico (BRASIL, 2008).

Tabela 3.1 Classificação das águas subterrâneas.

Classe especial	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial.
Classe 1	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 2	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 3	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 4	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.
Classe 5	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Fonte: elaborada pelo autor com base na Resolução do Conama 396/2008 (BRASIL, 2008).

3.3.6 Tipos de aquífero

Um aquífero é uma formação geológica do subsolo, constituída por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou fraturas. A constituição

geológica do aquífero irá determinar a velocidade e a qualidade da água e a qualidade do aquífero como reservatório, determinando os tipos de aquífero. Estes podem ser classificados quanto à porosidade em: aquífero poroso ou sedimentar, aquífero fraturado ou fissural e aquífero cárstico (Figura 3.4); e quanto à superfície superior (ou pressão de água) em: aquífero livre ou freático e aquífero confinado ou artesiano (ABAS, 2011).

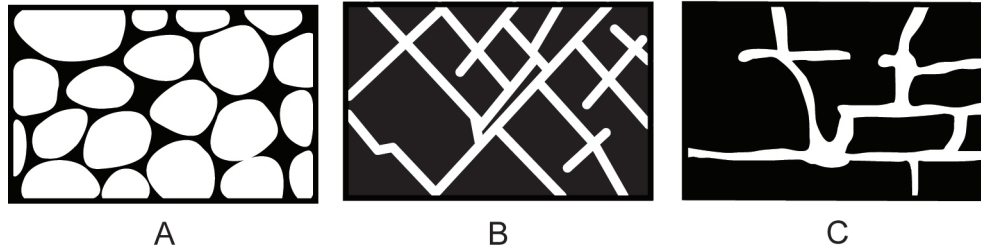


Figura 3.4 Classificação dos aquíferos quanto à porosidade. (A) aquífero poroso; (B) aquífero fraturado; (C) aquífero cárstico.

Fonte: adaptada de Environment Canada (2011).

Os aquíferos porosos possuem água armazenada nos espaços entre os grãos criados durante a formação da rocha e funcionam como esponjas onde os espaços vazios são ocupados por água. Nos aquíferos fraturados, a água circula pelas fissuras resultantes do fraturamento das rochas relativamente impermeáveis (ígneas ou metamórficas). Os aquíferos cársticos constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, no qual as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos (CETESB, 2004).

A Figura 3.5 mostra os tipos de aquífero classificados quanto à superfície superior ou pressão de água.

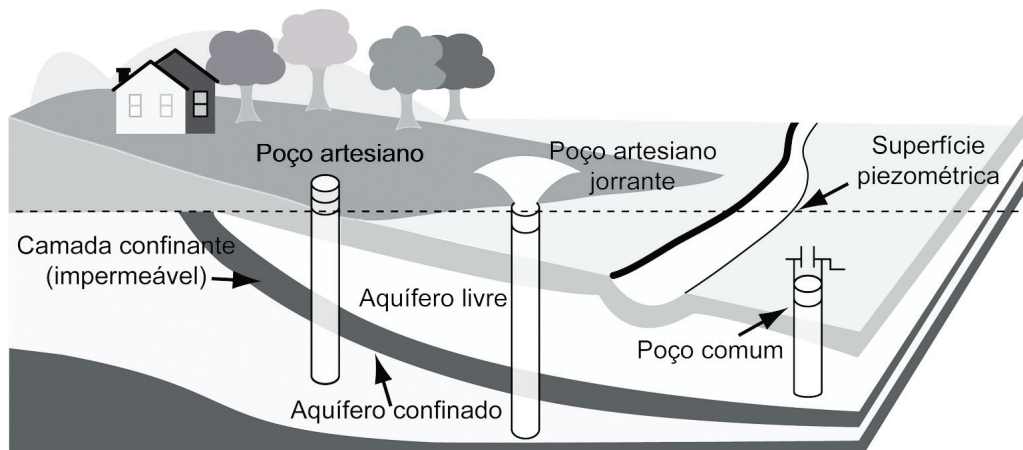


Figura 3.5 Classificação dos aquíferos quanto à superfície superior.

Fonte: adaptada de Environment Canada (2011).

Os aquíferos livres ou freáticos são constituídos por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitados na base por uma camada impermeável. Possuem recarga direta, cujo nível de água varia de acordo com a quantidade de chuva. São os aquíferos mais comuns e mais explorados e, portanto, apresentam maiores problemas de contaminação (ABAS, 2011).

Os aquíferos confinados ou artesianos são constituídos por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica, fazendo com que a água ascenda no poço. Os aquíferos confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (ABAS, 2011).

3.3.7 Fases da contaminação

Considerando que uma fonte de poluição do solo pode liberar um contaminante, e este pode percolar através do solo, atingindo as águas subterrâneas, o contaminante pode estar presente em três fases distintas: fase adsorvida, fase livre e fase dissolvida.

- a) *Fase adsorvida*: o poluente, ao migrar pela zona subsaturada (zona de aeração), é parcialmente retido pelas partículas ou por forças de capilaridade, e nos níveis argilosos existe um efeito maior de capilaridade e adsorção e, desse modo, maior retenção do produto contaminante. Em solos silto-arenosos, existe uma menor permeabilidade do meio, e o poluente irá possuir uma mobilidade muito baixa. Assim, sempre existirá uma fonte de contaminação para as águas subterrâneas pela liberação gradual, porém contínua, do produto contaminante (CETESB, 2004).
- b) *Fase livre*: compostos com densidade diferente da densidade da água e imiscíveis (como os derivados da gasolina e outros hidrocarbonetos), ao atingirem a franja capilar,² apoiam-se sobre ela, comprimindo-a e permanecendo flutuando sobre o nível de água, em fase livre (CETESB, 2004).
- c) *Fase dissolvida*: da fase livre, parte dos constituintes do composto contaminante, ao se solubilizar, migra para a zona aquífera e compõe a fase dissolvida, originando a pluma de contaminação. O fluxo de água subterrânea é o principal mecanismo de transporte dos contaminantes da fase

2 A franja capilar, também conhecida como zona capilar, está localizada logo acima do nível freático, na zona não saturada, onde a água sobe sob efeito da capilaridade da água nos interstícios dos grãos do solo.

dissolvida e, conseqüentemente, da maior extensão da pluma contaminante³ (CETESB, 2004).

3.4 Qualidade do solo e das águas subterrâneas

3.4.1 Valores de orientadores de qualidade

No Estado de São Paulo, a Cetesb, seguindo a tendência de outros países, passou a adotar, a partir de 2001, valores orientadores para a qualidade do solo e das águas subterrâneas. Esses valores orientadores se dividem em três categorias: valor de referência da qualidade, valor de alerta e valor de intervenção. O *valor de referência da qualidade* indica o limite de qualidade para um solo considerado limpo⁴ ou a qualidade natural das águas subterrâneas. Esse valor deverá ser utilizado em ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas. O *valor de alerta* indica uma possível alteração da qualidade natural dos solos, tem um caráter preventivo e, quando excedido no solo, deverá ser exigido o monitoramento das águas subterrâneas, a identificação e o controle das fontes de poluição. E o *valor de intervenção* indica o limite de contaminação do solo e das águas subterrâneas, acima do qual existe risco potencial à saúde humana, sendo utilizado em caráter corretivo no gerenciamento de áreas contaminadas, e quando excedido se faz necessária a intervenção na área (CASARINI, DIAS & LEMOS, 2001).

Logo, uma área será considerada contaminada se as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental estiverem acima do valor de intervenção, que indica a existência de um risco potencial para a saúde humana.

No Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da Cetesb, pode ser encontrada a seguinte definição para área contaminada:

Área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou natural. Nessa área, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou,

3 Pluma de contaminação é o conceito utilizado para definir a emissão contínua de poluente em uma água subterrânea, sendo possível medir a sua extensão e a concentração do contaminante presente nela.

4 Um solo é considerado limpo quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. Essa concentração foi denominada como valor de referência de qualidade, não sendo fixada como padrão em legislação (CASARINI, DIAS & LEMOS, 2001).

de uma forma geral, nas zonas não saturada e saturada, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções [...] (CETESB, 2001, p. 3).

Dessa definição, cabe esclarecer dois termos importantes: zona não saturada e zona saturada.

A *zona não saturada* (também chamada de zona de aeração ou zona vadosa) é a parte do solo que está parcialmente preenchida por água. A *zona saturada* encontra-se abaixo da zona não saturada, onde os poros ou fraturas da rocha estão totalmente preenchidos por água. As águas atingem esta zona por gravidade, através dos poros ou fraturas, até alcançar uma profundidade limite, onde as rochas estão tão saturadas que a água não pode penetrar mais, formando o lençol freático (ABAS, 2011).

3.4.2 Gerenciamento da qualidade das águas subterrâneas

A água subterrânea apresenta-se, em geral, em condições adequadas para o uso *in natura*, necessitando apenas de simples desinfecção, tendo como uso prioritário o abastecimento humano. Logo, é de fundamental importância a proteção e o controle da qualidade da água subterrânea, e, para tanto, os órgãos ambientais utilizam os seguintes instrumentos: a) licenciamento ambiental e fiscalização de fontes potenciais de poluição; b) monitoramento da qualidade para subsidiar as ações de proteção e controle; c) estabelecimento de padrões de qualidade ambiental; d) mapeamento da vulnerabilidade ao risco de poluição; e) zoneamento ambiental por meio da delimitação de áreas de proteção de zonas de recarga de aquíferos, áreas de restrição e controle do uso da água e de perímetros de proteção de poços; f) elaboração de sistemas integrados de informação; g) planos de recursos hídricos; h) classificação e enquadramento das águas subterrâneas; i) projetos de caracterização dos aquíferos; j) controle da contaminação de solo e águas subterrâneas (CETESB, 2011c).

3.4.2.1 Parâmetros de qualidade das águas subterrâneas

As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam. Sua qualidade resulta de processos físicos, químicos e biológicos que determinam uma grande variedade de substâncias presentes na água, decorrentes dos tipos litológicos e da atividade antropogênica, de origens urbana, industrial e rural (CETESB, 2013, p. 31).

Atualmente, a Cetesb analisa mais de 40 parâmetros para avaliação da qualidade da água subterrânea. De acordo com dados referentes ao período

de 2007 a 2009, publicados em 2010, foram analisados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos mostrados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Parâmetros de qualidade de águas subterrâneas avaliados no Estado de São Paulo.

Físicos	Temperatura (água e ar), turbidez, cor aparente, sólidos dissolvidos totais e sólidos dissolvidos.
Químicos	Alcalinidade (bicarbonato, carbonato, hidróxido), condutividade, dureza, nitrogênio (total, nitrito, amoniacal total, kjeldahl total), carbono orgânico dissolvido, sulfato, concentrações totais de alumínio, antimônio, arsênio, bário, berílio, boro, cálcio, cloreto, chumbo, cobre, cromo, estrôncio, ferro, fluoreto, magnésio, manganês, sódio, potássio e zinco.
Microbiológicos	Bactérias heterotróficas, <i>Clostridium perfringens</i> , <i>Escherichia coli</i> e coliformes totais.

Fonte: elaborada pelo autor com base no Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (CETESB, 2010).

Convém ressaltar que, para os pontos de monitoramento de águas subterrâneas localizados na Região Metropolitana de São Paulo, também foram determinadas, segundo relatório de 2010, as substâncias orgânicas 1,2 dicloroetano, tetracloroetileno, cloreto de vinila, clorofórmio e benzeno, em virtude do histórico das indústrias da região (CETESB, 2010).

3.4.2.2 Padrões de qualidade das águas subterrâneas

Segundo a Cetesb (2010), para o controle da poluição das águas subterrâneas, atualmente dispõe-se dos seguintes instrumentos legais para avaliar a evolução da sua qualidade:

a) Portaria do Ministério da Saúde nº 518, de 25 de março de 2004

Essa portaria estabelece os padrões de qualidade da água para o consumo humano, que são fixados com base em risco à saúde humana e, em alguns casos, em características organolépticas da água.

b) Valores orientadores para solos e águas subterrâneas⁵

A lista de valores orientadores foi publicada pela Cetesb em 2001 e revisada e ampliada em 2005, sendo utilizada no gerenciamento de áreas contaminadas.

⁵ Os valores de referência de qualidade para águas subterrâneas foram estabelecidos em 2007, com base na série de dados obtidos pela Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, no período de 1994 a 2006. Os valores foram publicados no Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas 2004-2006, para cada um dos sistemas aquíferos do estado. Esses valores devem ser considerados como valores-base, de forma a orientar ações de prevenção e controle de contaminação das águas subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, 2010).

Para as águas subterrâneas no Estado de São Paulo, foram adotados apenas os valores de intervenção, que indicam as concentrações máximas de determinadas substâncias acima das quais existe potencial de risco à saúde humana em um cenário genérico. Foram adotados como valores de intervenção os padrões de potabilidade, que foram definidos com base em risco à saúde humana, e os padrões de aceitação ao consumo humano da Portaria do Ministério da Saúde nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, em vigor à época.

Na lista de 2005, ampliada e revisada, os valores orientadores para manganês, etilbenzeno, tolueno e xileno, relacionados ao padrão de aceitação para consumo humano da Portaria 518/2004, foram substituídos pelas concentrações máximas definidas pela OMS com base em avaliação de risco à saúde humana.

c) Resolução do Conama nº 420, de 28 de dezembro de 2009

Esta resolução publicou uma lista de valores orientadores para proteção da qualidade dos solos e águas subterrâneas visando o gerenciamento de áreas contaminadas no território nacional. Os valores de intervenção do Estado de São Paulo, com algumas alterações, serviram de base para definição dos valores de investigação dessa lista.

3.4.2.3 Indicadores de qualidade das águas subterrâneas

A Rede de Monitoramento de Qualidade das Águas Subterrâneas operada pela Cetesb é constituída por poços utilizados por concessionárias ou departamentos municipais responsáveis pelo abastecimento público de água. A potabilidade das águas subterrâneas brutas é um dos indicadores de qualidade, e qualquer desconformidade representa a necessidade de tratamentos adicionais da água, além da cloração, antes de ser distribuída para consumo humano (CETESB, 2010).

Em 2009, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente instituiu o Indicador de Potabilidade das Águas Subterrâneas. Esse indicador representa o percentual das amostras de águas subterrâneas em conformidade com os padrões de potabilidade e de aceitação ao consumo humano da Portaria do Ministério da Saúde 518/2004, considerando os parâmetros medidos nas duas campanhas semestrais da rede Cetesb. O indicador foi calculado para as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHs, para os aquíferos e para o Estado de São Paulo. O indicador foi dividido em três classes para orientar a avaliação da qualidade das águas (CETESB, 2010):

- a) Ruim (0%-33%);
- b) Regular (33,1%-67%);
- c) Boa (67,1%-100%).

3.4.3 Vulnerabilidade de aquíferos

O termo “vulnerabilidade de aquíferos” significa sua maior ou menor suscetibilidade de ser atingido por uma carga contaminante. A caracterização da vulnerabilidade pode ser expressa pela não acessibilidade da zona saturada à penetração do poluente e da possibilidade de atenuação deste. Esses fatores naturais estão em interação com a carga potencial poluidora, através de sua disposição no solo e/ou subsuperfície. O conceito de carga potencial poluidora permite inferir qual atividade antrópica pode gerar ou causar uma contaminação (CETESB, 2004).

O risco de contaminação está, portanto, associado às diferentes fontes potenciais de poluição (industrial, disposição de resíduos, mineração, vazamentos em postos, entre outras).

O levantamento e a classificação de indústrias são feitos considerando-se as indústrias que armazenam ou manuseiam produtos ou substâncias corrosivas ou tóxicas, ou geram resíduos perigosos,⁶ ou infiltram resíduos no solo e armazenam e/ou dispõem inadequadamente, sobre o solo, resíduos Classe IIA – não inertes, em quantidade superior a 100 t/mês. Com base nos dados de produção, tipo de matéria-prima, natureza e quantidade dos resíduos gerados, forma de armazenamento e disposição final, bem como características dos efluentes líquidos, as indústrias são classificadas de acordo com seu potencial de geração de carga poluidora em elevado, moderado ou reduzido (CETESB, 2004).

Com base no levantamento da carga poluidora e no mapeamento de vulnerabilidade natural, determinam-se as áreas críticas onde deverão ser tomadas medidas de prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. A Cetesb publicou, em parceria com outros órgãos, o mapeamento da vulnerabilidade ao risco de poluição das águas subterrâneas para identificar as áreas mais vulneráveis e as atividades com maior potencial poluidor do estado. Foram identificadas seis áreas críticas, sendo as atividades da indústria química, mecânica, metalúrgica e curtume classificadas como sendo de elevado potencial poluidor (CETESB, 2004).

Em função da vulnerabilidade dos aquíferos e o potencial de contaminação das águas subterrâneas, há a necessidade de escolha adequada dos locais de perfuração dos poços tubulares utilizados para o abastecimento humano, do estabelecimento de áreas de proteção para esses poços e do controle das atividades potencialmente poluidoras nessas áreas.

⁶ A classificação dos resíduos quanto à periculosidade é dada pela NBR 10004 da ABNT. Essa norma classifica os resíduos em função das características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade em: Classe I – perigosos; Classe IIA – não inertes; e Classe IIB – inertes (ABNT, 2004a).

3.4.4 Gerenciamento de áreas contaminadas

Segundo a Cetesb (2001), o gerenciamento de áreas contaminadas visa minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, por meio de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados para a tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.

Com o objetivo de otimizar recursos técnicos e econômicos, a metodologia utilizada pela Cetesb no gerenciamento de áreas contaminadas baseia-se em uma estratégia constituída por uma série de etapas sequenciais, dentro de dois processos principais: o processo de identificação da área contaminada e o processo para sua recuperação.

O processo de identificação tem como objetivo principal a localização das áreas contaminadas e envolve as seguintes etapas: a) definição da região de interesse; b) identificação de áreas potencialmente contaminadas; c) avaliação preliminar; d) investigação confirmatória.

Já o processo de recuperação tem como objetivo a adoção de medidas corretivas que possibilitem a recuperação da área, para um uso compatível com as metas estabelecidas a serem atingidas após a intervenção. Esse processo é constituído por seis etapas: a) investigação detalhada; b) avaliação de risco; c) investigação para remediação; d) projeto de remediação; e) remediação; f) monitoramento.

A Figura 3.6 apresenta um fluxograma que resume o processo de identificação e remediação de uma área contaminada. É importante notar que o processo de monitoramento é executado até se atingir o valor-alvo de remediação, o qual é baseado nos valores orientadores para qualidade do solo e das águas subterrâneas.

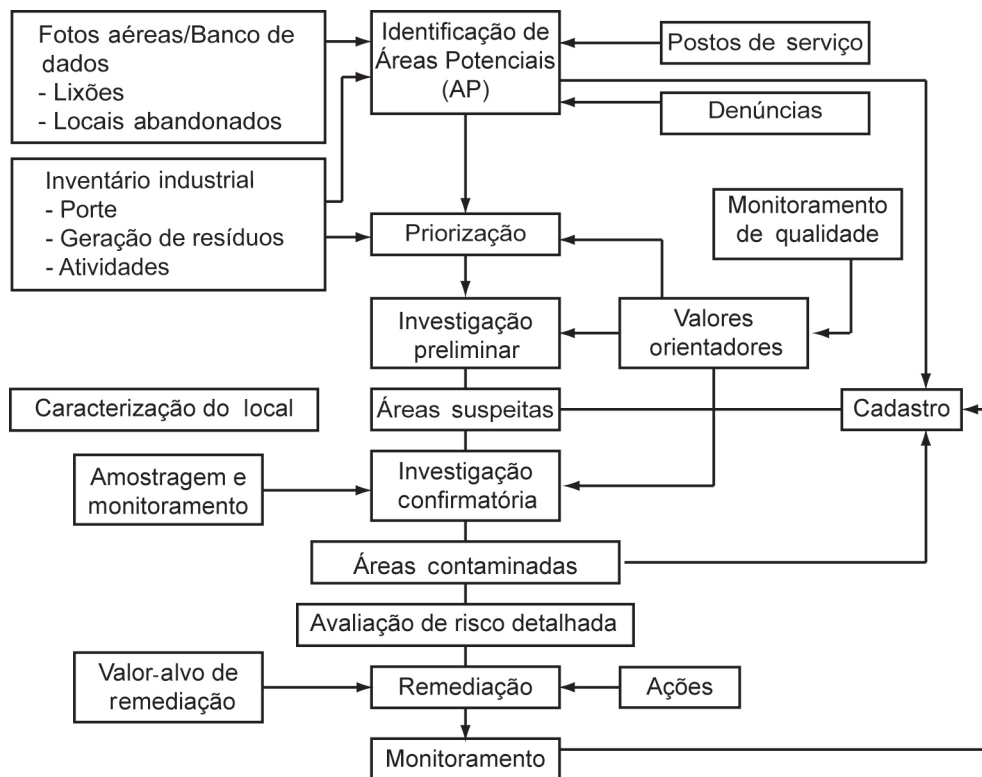


Figura 3.6 Etapas do gerenciamento de áreas contaminadas.

Fonte: adaptada de Cetesb (2004).

3.5 Amostragem e monitoramento do solo

3.5.1 Aspectos gerais da amostragem

No monitoramento ambiental, o objetivo é obter dados analíticos que devem ser comparados com valores previamente estabelecidos, de forma a verificar se o objeto em estudo atende aos padrões de qualidade especificados nos regulamentos. O ideal seria que as determinações analíticas fossem realizadas *in situ*, ou seja, diretamente no ambiente e em tempo real, fornecendo o resultado prontamente. No entanto, quando não é possível a medida direta para a realização da análise, é necessária a coleta de amostras do material, para análise em laboratório. Assim sendo, uma amostra deve representar, o mais próximo possível, a realidade do meio da qual foi retirada, podendo ser este meio a água, o ar ou o solo (ROCHA, ROSA & CARDOSO, 2009).

Considerando o aumento da ocorrência de fontes de contaminação do solo, métodos mais precisos para coleta de amostras têm sido desenvolvidos em virtude da necessidade de se quantificar a poluição na chamada zona vadosa (zona não saturada ou de aeração). Da mesma forma, são precisos métodos estatísticos para definir o número de amostras necessárias para alcançar os padrões de qualidade e de remediação, bem como para definir os custos associados com a

amostragem do solo e as análises. No entanto, a amostragem do solo ainda requer uma combinação de amostragens sistemáticas e aleatórias, além do conhecimento das características da área e seu histórico (WILSON & ARTIOLA, 2004).

Em procedimentos de amostragem, define-se população ou universo como a quantidade total de material a ser estudado, analisado e amostrado, sendo a amostra uma fração dessa quantidade, podendo a população ser grande ou pequena. Para qualquer população, haverá todas as características que a descreverão, sendo cada uma destas denominada de parâmetro, cujo valor se deseja obter (CUELBAS, 2006).

Geralmente, a coleta de amostras de sólidos requer um tratamento especial, pois na maioria das situações o material é pouco homogêneo, sendo necessária a coleta de material em vários pontos; em seguida, mistura-se o material e retira-se uma nova amostra, que é então enviada para análise química. No que se refere à amostragem do solo, a profundidade da coleta da amostra pode ser importante, sendo necessária a utilização de equipamentos específicos, como brocas, trados, tubos metálicos, entre outros (ROCHA, ROSA & CARDOSO, 2009).

Convém ressaltar que devem ser adotados os procedimentos adequados de forma a garantir que as amostras coletadas sejam representativas do material original ou área a ser caracterizada.

Para alguns tipos de amostra, sólidos atípicos devem ser removidos passando a amostra através de uma grade de 5 mm. Esses sólidos atípicos devem ser retidos, para uma possível análise posterior. Ainda, vale ressaltar que algumas amostras podem ter mudanças significativas em virtude das atividades biológicas, sendo importante que a análise seja efetuada o mais rapidamente possível após a amostragem. Se for preciso estocar ou transportar as amostras antes das análises, a temperatura deve ser mantida entre 0 e 5 °C, e em alguns casos é necessário adicionar substâncias preservantes, tais como ácidos, bases, agentes quelantes, oxidantes, redutores, desinfetantes, entre outros⁷ (CUELBAS, 2006).

Em alguns casos, a fonte de poluição é conhecida, e o objetivo passa a consistir em caracterizar a extensão da contaminação no solo; nesses casos, a quantidade de amostras coletadas é maior na origem da contaminação e diminui radialmente à medida que se afasta da origem.

A Figura 3.7 ilustra a localização dos pontos de amostragem realizados para avaliar a contaminação originada em uma área de produção industrial. Cada ponto indica o local onde será coletada uma amostra e é definido em função da topografia e da direção do vento.

7 Mais detalhes relacionados às condições gerais e procedimentos para amostragem de líquidos e sólidos podem ser obtidos respectivamente em APHA (1998) e na ABNT (2004b).

Na região próxima à origem da contaminação os pontos de amostragem são mais próximos e, à medida que se afasta da origem, estes se tornam mais espaçados. Também é importante notar que são realizadas amostragens ao longo do fluxo do rio, de forma a verificar a extensão da contaminação próxima a este.

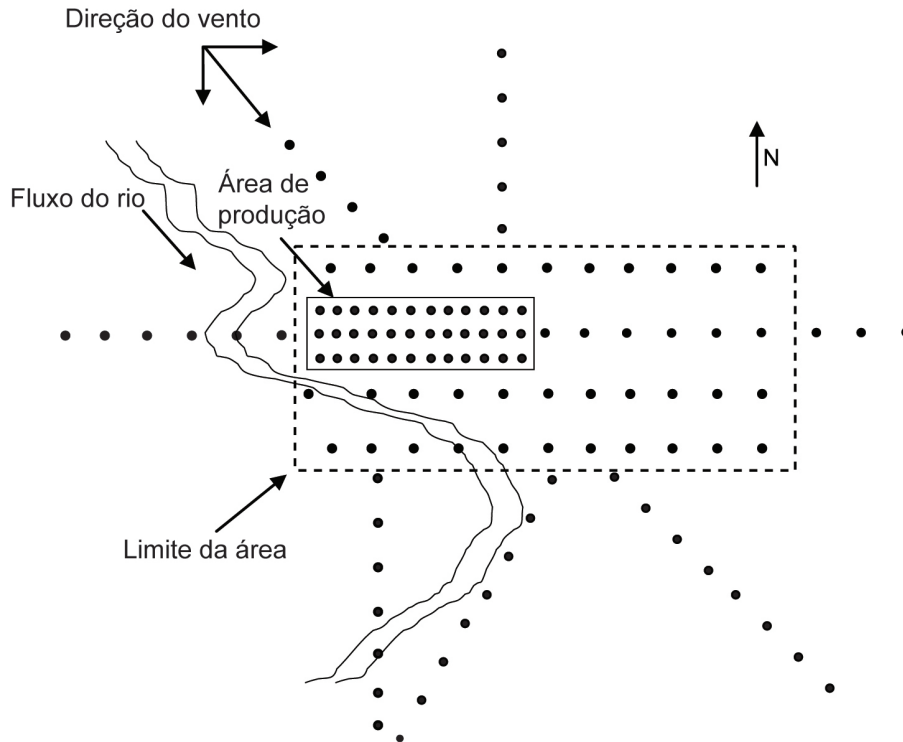


Figura 3.7 Localização dos pontos de amostragem em relação à fonte de poluição.
Fonte: adaptada de Wilson & Artiola (2004).

Existem casos em que a fonte de poluição não é conhecida, logo, o objetivo da amostragem é localizar essa fonte, e, para tanto, é necessária análise estatística que define o tamanho da área a ser amostrada.

Os perfis do solo tipicamente se estendem de 0 a 3 metros abaixo da superfície, dependendo de suas espessuras e do número de horizontes. Para a caracterização da contaminação de um solo, o objetivo da amostragem é determinar a profundidade em que o contaminante se encontra (ou seja, o quanto o contaminante percolou através do solo); e, nesse caso, dados sobre os perfis do solo naquela região podem ser úteis. Outra consideração importante do monitoramento é a profundidade do lençol freático (WILSON & ARTIOLA, 2004).

A grande maioria dos poluentes possui alguma solubilidade em água, logo a amostragem da água intersticial (água presente nos poros dos grãos de solo) é usada para determinar o grau e a extensão da contaminação da zona saturada. A Tabela 3.3 mostra as fontes de poluição para as quais a amostragem de água intersticial se mostra adequada.

Tabela 3.3 Amostragem de água intersticial – fontes de poluição.

Fonte de poluição	Possíveis poluentes
Industrial	
Lagoas de rejeitos	Alcalinidade, pesticidas, gás sulfídrico, solventes clorados, compostos orgânicos e inorgânicos.
Aterros	Alcalinidade, resíduos tóxicos e perigosos, metais, cinzas de incinerador.
Áreas de tratamento de solos	Resíduos oleosos, compostos nitrogenados, fósforo, metais pesados, compostos orgânicos recalcitrantes.
Tanques subterrâneos	Gasolina, óleo diesel, óleo combustível, resíduos líquidos perigosos.
Drenagem de minas	Metais pesados, radionuclídeos, ácido sulfúrico.
Pilhas de resíduos	Alcalinidade, ácido sulfúrico, metais pesados.
Municipal	
Aterros sanitários	Alcalinidade, compostos nitrogenados, metais traço, patógenos, compostos orgânicos traço, metano.
Tanques sépticos	Compostos nitrogenados, fósforo, DBO, patógenos, compostos orgânicos traço.
Lagoas de oxidação	Compostos nitrogenados, fósforo, DBO, patógenos.
Wetlands	Compostos nitrogenados, fósforo, DBO, TOC, patógenos.
Sistemas de drenagem de águas pluviais	Alcalinidade, óleos e graxas, gasolina, compostos nitrogenados, pesticidas, sólidos suspensos, patógenos.

Fonte: adaptada de Wilson & Artiola (2004).

A escolha entre a amostragem do solo ou a amostragem da água intersticial irá depender dos objetivos do programa de amostragem. Se o propósito da amostragem for a caracterização da distribuição dos constituintes líquidos nos poros através da zona saturada, a amostragem do solo é mais indicada. Entretanto, a amostragem de solo é um processo destrutivo, que não permite mensurar a variação de um perfil ao longo do tempo. Já a amostragem da água intersticial permite coletar amostras múltiplas ao longo do tempo, possibilitando a avaliação de pontos específicos da zona saturada (WILSON & ARTIOLA, 2004).

3.5.1.1 Elaboração do plano de amostragem do solo

Antes de se iniciar qualquer programa de amostragem de solo, os objetivos devem ser definidos por serem os fatores determinantes no planejamento do programa a ser executado (definição da densidade, da posição dos pontos de amostragem, dos procedimentos de campo, dos métodos de conservação das amostras e das necessidades analíticas). De acordo com os objetivos estabelecidos, serão determinados o grau de detalhe e a precisão a serem adotados no programa de amostragem estabelecido para a área. Na definição desses

objetivos, é importante levar-se em conta toda informação preexistente do local ou mesmo aquelas informações existentes em locais similares ao estudado, em algumas situações; onde essas informações são escassas, pode ser necessária a realização de estudos iniciais, como a aplicação de métodos geofísicos e de *screening*, antes que sejam definidos os objetivos finais da amostragem (CETESB, 2001).

E agora: o que são métodos geofísicos e *screening*? Vamos pesquisar?

O objetivo da amostragem do solo é assegurar a obtenção de informações confiáveis a respeito da existência, concentração e distribuição na área investigada de determinadas substâncias, de acordo com o objetivo da fase de investigação para a qual foi desenvolvida. Os fatores a serem considerados na elaboração de um plano de amostragem do solo são os seguintes: a) distribuição dos pontos de amostragem; b) número de pontos de amostragem; c) profundidade de amostragem; d) quantidade de amostra necessária – tamanho da amostra; e) amostras simples e compostas; f) protocolo de amostragem e preparação de amostras de solo; g) técnicas de amostragem.

3.5.1.2 Técnicas e equipamentos de amostragem

Segundo Byrnes (1994 apud CETESB, 2001), a seleção do equipamento mais apropriado para efetuar a amostragem dependerá basicamente da profundidade a ser amostrada, das substâncias a serem analisadas e do tipo de amostra a ser coletada (se indeformada ou não).

Os equipamentos dividem-se em manuais e mecanizados, e a escolha do tipo depende de fatores como: profundidade do solo, condições do solo (presença de materiais que dificultem a perfuração), tamanho da amostra, condições de umidade, acessibilidade ao local, custos e disponibilidade de pessoal especializado. Os equipamentos manuais são utilizados para amostragem superficial (inferior a 5 m de profundidade), e os mecanizados são indicados para profundidades superiores a 5 m ou em outras condições que impeçam a utilização de equipamentos manuais (WILSON & ARTIOLA, 2004).

A seguir, nas Tabelas 3.4, 3.5 e 3.6, são apresentados os equipamentos para amostragem de solo, suas aplicações e limitações.

Tabela 3.4 Equipamentos manuais e trados.

Equipamento	Aplicações	Limitações
Pás de jardinagem	Amostras de superfície ou em trincheiras e perfis expostos	Profundidade limitada
Pás e picaretas	Amostragem em uma grande variedade de solos	Profundidade limitada
Trado de rosca	Amostragem em solos coesos macios a duros	Não retém materiais secos, soltos ou granulares
Trado de caneco Standard	Qualquer tipo de solo ou resíduo	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Trado de caneco para materiais pouco coesos	Ponteira desenvolvida para reter materiais secos, soltos ou granulares (silte, areia e cascalho)	Difícil de aprofundar a sondagem em materiais muito argilosos ou coesos
Trado de caneco para materiais coesos	Ponteira e caçamba desenvolvidas para solos de textura argilosa ou resíduos úmidos	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Trado holandês	Desenvolvido para solos de várzeas com presença de materiais fibrosos e raízes	-
Trado plano	Limpa e nivela o fundo de furos já realizados	-
Trado de caneco com amostrador	Coleta o solo em tubos de amostragem reutilizáveis com tampa, reduzindo a contaminação por desmoronamento das paredes laterais. Minimiza o contato do solo com o ar	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Trado para solos pedregosos	Solos pedregosos e asfalto	-

Fonte: adaptada de Wilson & Artiola (2004).

Tabela 3.5 Amostradores tubulares.

Equipamento de amostragem	Aplicações	Limitações
Amostrador tubular	Solos ou resíduos macios até ligeiramente duros	Profundidade limitada (1 m)
Amostrador tubular com liner	Similar à sonda para solo, recuperando a amostra dentro de tubos de amostragem reutilizáveis com tampa, reduzindo a contaminação por desmoronamento das paredes laterais. Minimiza o contato do solo com o ar	Dificuldade em ser utilizado em materiais muito densos ou duros. Pode não reter materiais soltos ou granulares. Quando utilizado em profundidades maiores, pode requerer equipamento extrator

Fonte: adaptada de Wilson & Artiola (2004).

Tabela 3.6 Equipamentos mecanizados.

Equipamento de amostragem	Aplicações	Limitações
Trado mecânico	Utilizável em qualquer tipo de solo ou resíduo	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Amostrador tubular de percussão ou hidráulico	Utilizável em qualquer tipo de solo ou resíduo	Pode não reter materiais secos, soltos ou granulares
Amostrador tubular de percussão ou hidráulico, com liner	Utilizável em qualquer tipo de solo ou resíduo. Minimiza o contato da amostra com o ar	Pode não reter materiais soltos ou granulares

Fonte: adaptada de Wilson & Artiola (2004).

No caso de amostragem da água intersticial, o equipamento usado para coletar amostras é o *lisímetro de sucção* (Figura 3.8). Esses equipamentos possuem seções porosas que facilitam a extração de amostras líquidas de diferentes regiões da saturada.

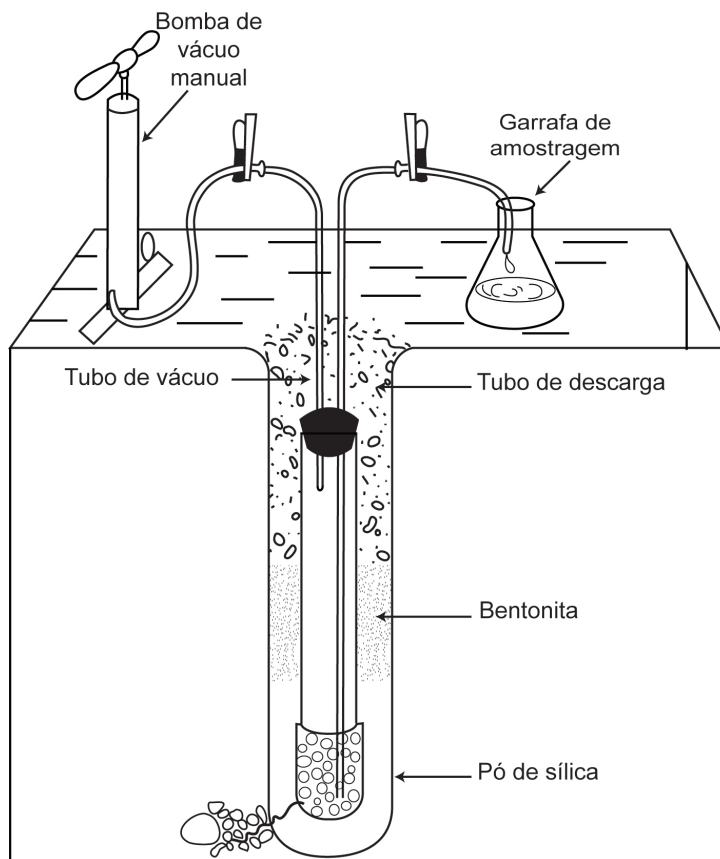


Figura 3.8 Lisímetro de sucção.

Fonte: adaptada de Wilson & Artiola (2004).

Por fim, na Tabela 3.7 é apresentado um resumo das análises de solo que são necessárias, de acordo com o objetivo da amostragem, que pode estar relacionada à saúde e segurança, à avaliação do local, a estudos de avaliação de riscos, à investigação para remediação e a projetos de remediação de uma área contaminada.

Tabela 3.7 Análises de solo necessárias de acordo com o objetivo da amostragem.

Tipo	Saúde e segurança	Avaliação do local	Avaliação de risco	Investigação para remediação	Projeto de remediação
Químicas					
Metais	X	X	X	X	X
Orgânicos voláteis	X	X	X	X	X
Orgânicos semivoláteis	X	X	X	X	X
Físicas					
Densidade				X	X
Granulometria				X	X
Composição do material	X		X	X	X
Microbiológicas				X	X
Vapores	X	X	X		

Fonte: US EPA (1989 apud CETESB, 2001).

3.6 Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas

3.6.1 Aspectos gerais da amostragem

O monitoramento tem o papel de acusar a influência de uma determinada fonte de poluição na qualidade da água subterrânea. As amostragens são efetuadas num conjunto de poços distribuídos estrategicamente, nas proximidades da área que se quer avaliar (um aterro sanitário, área de armazenamento de resíduos perigosos, uma área suspeita de contaminação, entre outras), de forma a fornecer subsídios para o diagnóstico da situação.

A localização estratégica e a construção adequada dos poços de monitoramento, aliadas a métodos eficientes de coleta, acondicionamento e análise de amostras, permitem resultados bastante precisos sobre a influência de uma determinada fonte de contaminação na qualidade da água subterrânea.

3.6.2 Poços de monitoramento

Os poços de monitoramento são aqueles instalados com a finalidade de avaliação da qualidade da água sob influência de uma fonte potencial de

contaminação ou para medição do nível-d'água. São poços de diâmetro reduzido, 0,05 a 0,10 m, e relativamente rasos (CETESB, 2011b).

A Norma Cetesb 6410 – Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas – fixa as condições exigíveis para construção de poços de monitoramento de aquíferos freáticos e apresenta os dados mínimos para apresentação de projeto de redes de monitoramento (CETESB, 1988). Nesta seção serão descritos os pontos básicos colocados na norma.

3.6.2.1 Distribuição dos poços de monitoramento

Os poços de monitoramento se dividem em poços de montante e de jusante.

O poço de montante é situado a montante da fonte de contaminação, em relação ao fluxo preferencial das águas subterrâneas. As amostras coletadas nesse poço deverão servir como indicação da qualidade das águas subterrâneas do local sem a interferência da fonte de contaminação a ser avaliada.

Geralmente, um único poço de montante, bem posicionado, é suficiente para o fim destinado, contanto que não haja nenhuma possibilidade de exposição ao fluxo da possível pluma gerada pela fonte de contaminação.

Os poços de jusante são formados por um conjunto de poços colocados a jusante da fonte de contaminação, ou da área de investigação, em relação ao fluxo preferencial das águas subterrâneas, de forma a interceptar o fluxo de poluentes provenientes da área.

Quanto maior for a certeza do real comportamento do sentido de fluxo subterrâneo, menor o número de elementos que deverão compor o conjunto de poços de jusante. De qualquer forma, recomendam-se no mínimo três poços de jusante no sistema de monitoramento. Os poços de jusante são posicionados transversalmente ao fluxo subterrâneo, distribuindo-se ao longo da largura da possível pluma.

3.6.2.2 Localização dos poços em relação à fonte

O poço de montante deve ser locado próximo à área de disposição, mas a uma distância segura da influência do efluente. Os poços de jusante devem ser distribuídos próximo à área de disposição para que a pluma possa ser identificada o mais breve possível, no caso de o lixiviado atingir o lençol. Entretanto, a localização exageradamente próxima dos poços aumenta o risco de contaminação direta (Figura 3.9).

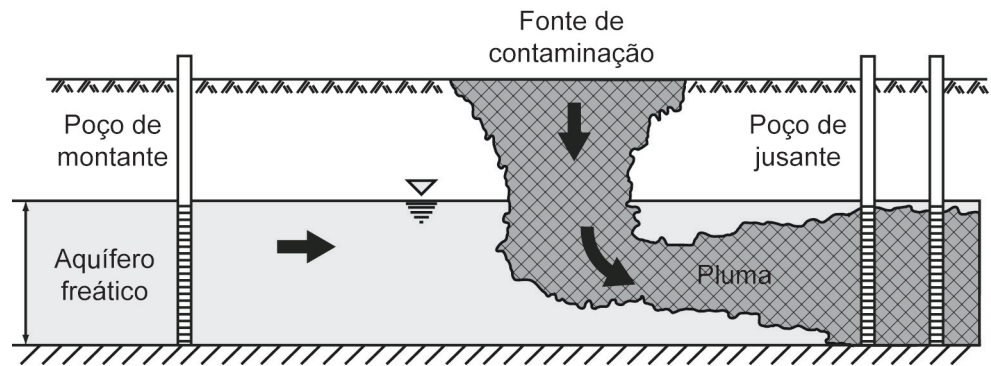


Figura 3.9 Localização dos poços em relação à fonte de poluição.
Fonte: adaptada de Cetesb (1988).

3.6.2.3 Perfuração de poços de monitoramento

Nos poços para monitoramento, a profundidade e o diâmetro de perfuração normalmente são menores. O método utilizado para a perfuração não deve utilizar fluidos de perfuração que possam influir na composição química da água de amostragem.

Durante a perfuração, é importante acompanhar as variações do nível de água e manter o controle das amostras do solo escavado. A boa descrição do solo e a correlação deste com a respectiva profundidade são importantes na avaliação da profundidade ideal e da melhor forma de acabamento do poço.

O princípio básico dos processos de perfuração está na desagregação da rocha ou solo por instrumento cortante, triturador ou abrasivo, aliado a movimentos de rotação ou percussão.

- a) *Trado manual*: é o equipamento mais utilizado para a escavação de poços de monitoramento, por ser de manuseio simples, apresentar custo de operação e manutenção baixo e ainda não exigir a utilização de fluidos de perfuração. Porém, a perfuração a trado atinge uma profundidade restrita, opera com deficiência na zona saturada e tem como fatores limitantes a presença de crosta dura e de pedregulhos. O equipamento consiste em um trado (escavador) e uma haste composta de seções de 1 m de comprimento, que são rosqueadas à medida que a perfuração prossegue. O avanço da perfuração ocorre pela rotação da alavanca, executada manualmente por um a três homens. Esgotada a capacidade de retenção de solo, o trado é recolhido para a retirada do solo correspondente ao intervalo de perfuração, e uma porção da amostra é coletada, acondicionada e etiquetada com os dados de descrição e do intervalo de perfuração.

b) *Trado mecanizado*: o seu funcionamento é semelhante ao do trado manual; a diferença está no motor, que transmite o movimento de rotação à haste.

c) *Percussão com jato de água*: esse método emprega uma sonda de percussão destinada à perfuração em depósitos aluvionares e mantos de intemperismo. Uma torre sustenta o trépano, componente responsável pela desagregação do solo. Um motor imprime ao trépano movimentos de descida e subida. Na sua descida, em queda livre, haverá impacto com o solo, resultando na perfuração. À medida que a escavação prossegue, são encaixadas seções de tubos de revestimento para proteção da parede. Para carrear o material triturado, é injetada água sob pressão pelo interior da haste que sustenta o trépano.

3.6.2.4 Componentes dos poços de monitoramento

Os poços de monitoramento são constituídos basicamente dos seguintes elementos: a) revestimento interno; b) filtro; c) pré-filtro; d) proteção sanitária; e) tampão; f) sistema de proteção; g) selo; h) preenchimento; i) guias centralizadoras.

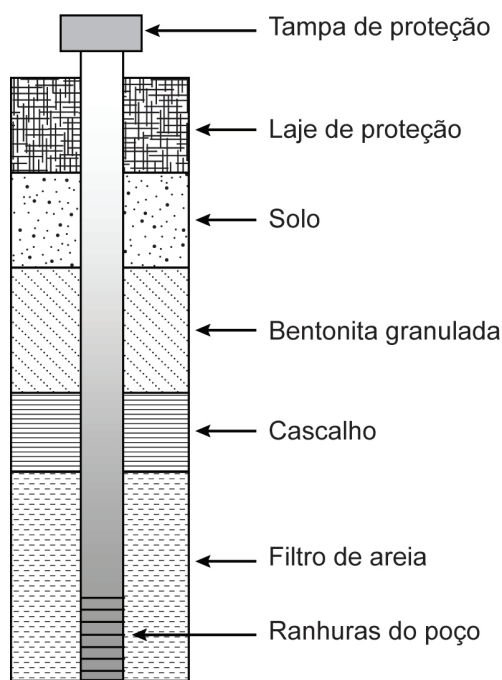


Figura 3.10 Poço de monitoramento de águas subterrâneas.

Fonte: adaptada de Barackman & Brusseau (2004).

Conforme mostra a Figura 3.10, o poço de monitoramento possui elementos de proteção, visando impedir a contaminação da água subterrânea pelo seu mau

uso ou, ainda, a contaminação da amostra, comprometendo, assim, o resultado da análise. O poço deve permanecer sempre tampado e lacrado e deve possuir a laje de proteção, para evitar a infiltração de contaminantes ou interferentes através do solo.

E agora: vamos dar uma olhada na norma de instalação de poços de monitoramento para mais detalhes? Está disponível no site da Cetesb.

3.7 Considerações finais

Conforme foi verificado nesta unidade, o monitoramento da qualidade do solo é um assunto de extrema importância, bem como complexo e extenso. Dessa forma, procuramos enfatizar os conceitos relacionados aos mecanismos de transporte dos poluentes no solo e nas águas subterrâneas e os instrumentos legais e técnicos existentes para realizar o monitoramento.

O monitoramento do solo tem por objetivo básico identificar eventuais fontes de contaminação e áreas contaminadas, a partir de análises de amostras, e compará-las com valores orientadores, que, no Estado de São Paulo, são divididos em valores de referência, de alerta e de intervenção. A partir desses resultados, serão definidas as estratégias necessárias para o controle de fontes poluidoras ou mesmo de remediação de uma área que já esteja contaminada e apresente risco à saúde pública.

Logo, é importante que o monitoramento seja realizado de forma adequada, pois, conforme verificado, os pontos de coleta de amostras de solo, bem como de perfuração dos poços de monitoramento das águas subterrâneas devem ser feitos de forma a interceptar o fluxo contaminante. O monitoramento permitirá que seja feita uma avaliação real, de forma qualitativa e quantitativa, da extensão da contaminação, provendo, assim, os dados para a tomada de decisão com relação ao gerenciamento da qualidade do solo e das águas subterrâneas.

3.8 Estudos complementares

Os conceitos apresentados nesta unidade permitem que você possa estudar de forma mais detalhada o capítulo VI do *Manual de Áreas Contaminadas* da Cetesb, que trata de investigação confirmatória e apresenta os métodos de amostragem de solo e águas subterrâneas, disponível no link:

- <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/7-manual-de-gerenciamento-das--acs>>

UNIDADE 4

Monitoramento do meio ar

4.1 Primeiras palavras

A prevenção e o controle da poluição ambiental são um grande desafio ambiental para a sociedade moderna. A resolução desse problema é bastante importante, principalmente para as milhares de pessoas que vivem e trabalham em ambientes urbanos onde a queima de combustíveis fósseis é a principal forma de emissão poluente para a atmosfera. A identificação, pela população, de que as características do ar não estão em conformidade se dá, principalmente, pela visão e pelo olfato.

As primeiras regulamentações de controle da qualidade do ar surgiram no Brasil quando o Ministério do Interior criou a Portaria nº 231, de 27 de abril de 1976, a qual estabelecia alguns padrões de qualidade do ar e suas respectivas metodologias de referência (FRONDIZI, 2008). A partir daí surgiram diversas outras.

Atualmente a Resolução do Conama nº 03, de 28 de junho de 1990, é a principal legislação brasileira que estabelece os parâmetros e padrões para emissão, bem como as técnicas analíticas a serem adotadas para cada critério.

4.2 Definições importantes

Para uma adequada abordagem do tema monitoramento do meio ar, faz-se necessário o conhecimento de alguns termos usuais, dos quais alguns estão presentes em Legislação Ambiental como parâmetros de emissão, outros denotam as características de cada tipo de parâmetro. A seguir, são descritas essas informações.

Poeiras: são partículas sólidas produzidas por trituração, manipulação, impacto rápido, esmagamento, explosão e/ou desintegração de substâncias inorgânicas ou orgânicas, como rochas, minérios e até mesmo cereais. Não tendem a formar flocos, a não ser sob a ação de forças eletrostáticas; não se difundem no ar, mas podem sedimentar sob a ação da gravidade. Exemplos: poeira de sílica, poeira de asbesto, poeira de algodão.

Fumos: são partículas sólidas que sofrem condensação ou sublimação de gases, normalmente após volatilização de metais fundidos (substâncias que estão no estado sólido a 25 °C). Os fumos podem flocular e até mesmo coalescer. Exemplos: fumos de cloreto de amônio e fumos metálicos em geral (chumbo, alumínio, zinco etc.).

Névoas: são gotículas líquidas em suspensão, produzidas pela condensação de gases ou pela passagem de um líquido ao estado de dispersão, por respingo, pela formação de espumas e/ou pela atomização. Exemplos: névoas de ácido sulfúrico, de tinta e de óleo.

Vapor: é a forma gasosa de substâncias que a 25 °C e 760 mmHg se apresentam tanto como líquidos ou como sólidos, podendo retornar ao seu estado preliminar por aumento de pressão, ou por diminuição de temperatura.

Gases: são fluidos que só podem se solidificar ou se liquefazer pela ação combinada de aumento de pressão e diminuição de temperatura. Exemplos: monóxido de carbono, cloro, ozônio.

Aerossóis: são partículas em suspensão dispersas no ar (ou em gases em geral), em forma sólida ou líquida. A parte sólida é comumente conhecida como Material Particulado (MP) (FRIEDLANDER, 2000). Os aerossóis contribuem para o resfriamento da superfície da Terra, por produzirem espalhamento e reflexão de luz solar incidente. Fontes: uso de combustíveis fósseis (carvão, petróleo), queima de vegetação.

Poluentes primários: emitidos diretamente pelas fontes de emissão.

Poluentes secundários: formados na atmosfera por meio de reação química ou transformação física entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

Padrões primários de qualidade do ar: concentrações de poluentes que, caso sejam ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Conhecidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, estabelecendo metas de curto e médio prazo (CETESB, 2009).

Padrões secundários de qualidade do ar: concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, bem como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. São os níveis desejados de concentração de poluentes, estabelecendo metas de longo prazo (CETESB, 2009).

Índice de qualidade do ar: ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. É a média aritmética calculada para cada um dos poluentes medidos em todas as estações de medição da rede de uma determinada área. Os parâmetros contemplados pela estrutura do índice da Cetesb (2009) são: dióxido de enxofre (SO₂), partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10), fumaça (FMC), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂). Para divulgação é utilizado o índice mais elevado dos poluentes medidos em cada estação.

4.3 Qualidade do ar

A avaliação da meteorologia é levada em consideração quando debatidos vários aspectos ambientais. Além da meteorologia, a avaliação das concentrações de poluentes na atmosfera é importante para o desenvolvimento de um

programa de controle de poluição do ar por parte do órgão ambiental responsável por esse controle, ou mesmo pelo responsável por um empreendimento em execução ou que já está implantado (DERÍSIO, 2007).

Segundo Derísio (2007), os fins da avaliação podem ser:

- verificar tendências objetivando fixar padrões de qualidade do ar;
- fornecer dados e informações necessários para avaliação de possíveis efeitos sobre o ser humano, animais, plantas e materiais em geral;
- conhecer e comparar a qualidade do ar na área sob jurisdição, no momento da amostragem;
- acionar ações de emergência, evitando episódios agudos de poluição do ar;
- fornecer dados para o planejamento do uso do solo, planejamento urbano e sistema de transportes;
- analisar e desenvolver possíveis estratégias de controle e/ou mitigação de poluição do ar;
- estudar a validade de uso de modelos matemáticos de dispersão atmosférica, por exemplo, os modelos preditivos.

O nível ou a qualidade do ar são medidos por meio da quantificação das substâncias poluentes presentes nesse ar. Considera-se poluente qualquer substância que possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ou uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade, como consta em diversas legislações.

4.4 Monitoramento

Utiliza-se o monitoramento para avaliar a qualidade do ar de uma determinada região. As atenções devem estar direcionadas aos métodos analíticos e equipamento, de forma a produzir resultados apropriados aos propósitos a que se destinam (DERÍSIO, 2007). Em estações de monitoramento, é bastante comum verificar o monitoramento de parâmetros meteorológicos, como vento, temperatura, umidade e pluviosidade (ÁLVAREZ JR., LACAVA & FERNANDES, 2002). Outro fator de fundamental importância é o número de estações de amostragem (redes de monitoramento) e a frequência de amostragem (ÁLVAREZ JR., LACAVA & FERNANDES, 2002; DERÍSIO, 2007).

Uma rede de monitoramento consiste em duas ou mais estações de medidas de qualidade do ar em uma dada região (FRONDIZI, 2008). Nesses locais

são realizadas medições periódicas de concentração de poluentes, bem como dados meteorológicos (intimamente ligados à questão de poluição atmosférica). Uma rede de monitoramento (ou monitoração) pode ser dividida em:

- Monitoração de emissões: mede as concentrações ou taxas de emissões de poluentes emitidos por dutos e chaminés. Normalmente essa medição acontece em pontos fixos;
- Monitoração da qualidade do ar: mede e quantifica as concentrações de poluentes no ar ambiente, no qual estamos expostos;
- Monitoração de “emissões fugitivas” ou “dispersas”: são as chamadas fontes difusas, que representam a grande quantidade de pequenas emissões por perdas, evaporações, vazamentos. Geralmente não são encontradas em dutos ou chaminés e, por essa razão, são medidas no local mais próximo possível do ponto de emissão.

Como objeto principal desse estudo, é preciso se deter a estudar o *monitoramento da qualidade do ar*.

Uma rede de monitoramento deve atender vários critérios (ARTIOLA, PEPER & BRUSSEAU, 2004; FRONDIZI, 2008), dentre eles podemos destacar:

- checar o aumento da concentração de poluentes em locais onde os padrões foram ultrapassados e, estranhamente, os níveis melhoraram, ou vice-versa;
- verificar se os padrões estabelecidos pelo órgão ambiental competente foram atendidos e estabelecer situações para ativar planos de emergência;
- validar modelos de dispersão em áreas específicas;
- considerar os impactos das fontes poluidoras na qualidade do ar (muito utilizado para EIA/Rima), fazendo-se a monitoração não apenas antes e depois da implantação de um empreendimento mas também durante ela.

E agora: você conhece o EIA/Rima? Vamos pesquisar a respeito?

A fase de projeto de um programa de monitoramento, mesmo tendo atendido a definição dos objetivos para um programa de amostragem, fixados os poluentes de interesse e escolhidos os métodos e instrumentos a serem utilizados, precisa responder alguns questionamentos (DERÍSIO, 2007):

- a) Quantas estações de monitoramento deverão ser instaladas?
- b) Com que frequência serão operadas?

- c) Como instalar a estação?
- d) Qual volume de cada amostra?
- e) Que tempo terá cada amostra?
- f) Por quanto tempo o programa será mantido?
- g) Onde colocar cada estação?

Responder essas perguntas pode não ser tão simples. Experiências anteriores foram necessárias para a verificação de tabelas e gráficos que permitem a resposta a algumas das perguntas, mas, em alguns casos, apenas um enfoque estatístico é necessário. Dessa forma, vários métodos têm sido propostos para cálculo do número adequado de estações de amostragem numa determinada localidade, bem como a frequência com que as amostras devem ser coletadas.

4.4.1 Recomendações para a localização e implantação

Para a determinação da localização das estações, ou mesmo redes de monitoramento (quando fixas), deve-se obedecer a algumas recomendações:

- priorizar áreas mais povoadas;
- priorizar áreas mais poluídas;
- instalar estações nos locais de entrada de ar para a região (a direção predominante dos ventos é importante nesse caso);
- nivelar todas as estações à altura do solo (verificar as recomendações do fabricante do equipamento);
- evitar proximidade de obstáculos tais como prédios etc.;
- evitar proximidade de chaminés.

4.4.2 Objetivos do monitoramento

O monitoramento em geral deve ter como principais objetivos (ÁLVAREZ JR., LACAVA & FERNANDES, 2002, p. 133-134; DERÍSIO, 2007, p. 108; FRON-DIZI, 2008, p. 18):

- avaliar a qualidade do ar, determinando as mais altas concentrações nas regiões estudadas;
- criar uma base científica para desenvolver estratégias e priorizar ações de controle;

- avaliar se os níveis de poluição atendem aos padrões legais;
- identificar as principais fontes poluidoras;
- verificar as concentrações em regiões mais povoadas;
- obter informações que possam indicar os impactos sobre o meio ambiente;
- acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar;
- desenvolver e validar modelos de qualidade do ar;
- informar à população, órgãos públicos e sociedade em geral os níveis presentes da contaminação do ar, alertando para possíveis situações críticas.

O tamanho da população, a concentração atual do poluente e o método analítico do poluente devem ser considerados para o dimensionamento da estação de monitoramento. As estações de amostragem devem ser instaladas em determinado local, objetivando avaliar a qualidade do ar de uma área ou região. A escolha dessa área depende das características de distribuição dos poluentes que se deseja avaliar.

4.5 Níveis de referência

4.5.1 Padrões de qualidade do ar

A poluição atmosférica ocorre pela alteração da composição da atmosfera e resulta em danos potenciais ou reais. Dessa forma, pressupõe-se a existência do que chamamos de níveis de referência para diferenciarem a atmosfera poluída da atmosfera não poluída. Sob o aspecto legal, nível de referência é denominado de *Padrão da Qualidade do Ar*.

No Brasil, os padrões de qualidade do ar vigentes estão estabelecidos na Resolução do Conama 03/1990 e são válidos em todo o território nacional. Nessa resolução foram considerados os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (PTS); dióxido de enxofre (SO₂); monóxido de carbono (CO); ozônio (O₃); fumaça (FMC), partículas inaláveis (MP10) e dióxido de nitrogênio (NO₂). Dentro dessa resolução também estão estabelecidos padrões primários, os quais são destinados à proteção da saúde pública, e os padrões secundários, para proteção de todo o meio ambiente e bem-estar da população. Os padrões brasileiros foram baseados em outras legislações já vigentes em outras partes do mundo, mas principalmente têm referência às legislações da United States Environmental Protection Agency (US-EPA) e da OMS.

4.5.2 Padrão de emissão

O limite estabelecido legalmente e que deve ser respeitado para a emissão na fonte é conhecido como *Padrão de Emissão*. Podem estar expressos em concentração (mg/L), em taxa de emissão (kg/h) ou em função de um parâmetro da fonte (ex: kg/t incinerada).

Os padrões de emissão geral são fixados nacionalmente pela Resolução do Conama nº 08, de 6 de dezembro de 1990, e, no Estado de São Paulo, tem-se o Decreto da Cetesb nº 8.468, de 8 de setembro de 1978.

4.6 Métodos analíticos usados no monitoramento

A Resolução do Conama 03/1990 estipula ainda os métodos de medição e os tempos de amostragem padronizados para alguns parâmetros avaliados. Primeiramente, devem-se estabelecer quais os parâmetros a serem avaliados (monitorados) e identificar se são considerados gases ou partículas poluentes. Outrossim, cabe ao técnico responsável avaliar a melhor (ou mais adequada) técnica de amostragem, bem como método analítico a ser empregado, em função de todas as características ambientais, pontuais, sociais etc. envolvidas. Essa descrição é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Métodos analíticos para monitoramento da qualidade do ar.

Poluente	Método de medição	Tempo de amostragem
Partículas totais em suspensão (PTS)	Amostrador de grandes volumes	24 horas
Partículas inaláveis	Separação inercial/filtração	24 horas
Fumaça	Refletância	24 horas
Dióxido de enxofre	Pararosanilina	24 horas
Dióxido de nitrogênio	Quimiluminescência	1 hora
Monóxido de carbono	Infravermelho não dispersivo	1 hora
Ozônio	Quimiluminescência	1 hora

Fonte: Brasil (1990).

4.7 Equipamentos para monitoramento

Existem, atualmente, disponíveis no mercado, diversos tipos de equipamento para amostragem de qualidade do ar. Alguns deles coletam gases e/ou vapores poluentes, outros apenas partículas e, ainda, alguns outros coletam gases/vapores e partículas simultaneamente.

Existem as estações móveis (como exemplo, pode-se citar a da Cetesb) equipadas com amostradores e analisadores de gases e particulados (simultaneamente).

A medição deve ocorrer nas escalas de tempo e espaço. Para tanto, os amostradores escolhidos devem garantir que os dados gerados atendam ao objetivo do monitoramento (ÁLVAREZ JR., LACAVA & FERNANDES, 2002). Além de equipamentos, podemos também fazer uso do biomonitoramento, como já mencionado na unidade sobre monitoramento do meio aquático (Unidade 2). Normalmente, utilizam-se superfícies de plantas como receptoras dos poluentes atmosféricos (para coleta e posterior análise em laboratório). Pode-se verificar também a capacidade de acumulação ou a aparência visual dessas plantas.

Os equipamentos para monitoramento da qualidade do ar podem ser divididos em quatro classes (ÁLVAREZ JR., LACAVA & FERNANDES, 2002):

- **amostradores passivos:** amostragem com período definido; coleta por difusão; dispensam uso de bombas ou qualquer tipo de equipamento de sucção; simples e de baixo custo, mas com baixa resolução temporal;
- **analisadores automáticos:** podem apresentar informações on-line, com alta eficiência e para grande variedade de poluentes; dependendo do tipo de poluente a identificar, o analisador utiliza diferentes princípios eletro-ópticos;
- **sensores remotos:** são os mais modernos; fornecem informações de poluentes em postos do espaço mais distantes dos equipamentos, por técnicas como espectroscopia; são complexos e caros, com operação, calibração e validação geralmente difíceis;
- **amostradores ativos:** são de baixo custo e fácil operação, apresentando dados confiáveis; normalmente exigem coletas e análises em laboratório; são muito utilizados nas medidas de MP e SO₂, existindo alguns métodos para O₃, NO₂ e Pb.

Pode-se usar um opacímetro, aparelho que promove a medição de gases poluentes emitidos por veículos que utilizam diesel. O opacímetro é usado em cumprimento da NBR 13037 (ABNT, 2001), a qual determina a quantidade de gases poluentes e partículas que pode ser emitida pelos automotores a diesel.

Esse equipamento é acoplado ao veículo parado, com aceleração livre, e ligado a uma central que recebe os dados. No escapamento do veículo se insere um calibrador para captar a fumaça emitida que é transportada até uma câmara de medição, a qual possui um filtro de luz. Através da quantidade de luz que

ultrapassa o filtro, pode-se calcular o nível de partículas sólidas em suspensão e definir o grau de opacidade da fumaça, que não pode exceder o valor de 2,8, de acordo com a norma.

4.7.1 Equipamentos para monitorar partículas

O material particulado atmosférico é uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas, variando em tamanho, origem e composição. O tamanho (diâmetro aerodinâmico) é a principal influência na saúde humana; partículas menores tendem a ser mais perigosas.

Para a determinação de Material Particulado (MP), existem vários equipamentos no mercado, e cada equipamento avalia um tamanho específico. Há equipamentos portáteis e também de grande porte. Apresentamos apenas alguns desses importantes equipamentos.

Normalmente, após a coleta em filtros específicos para cada equipamento e tamanho de particulado, utiliza-se da técnica gravimétrica para avaliar a quantidade de massa (torta) depositada nos filtros, e, por meio de cálculos específicos que levam em consideração alguns parâmetros, como vazão, é possível calcular a concentração de MP depositado nos filtros naquela amostragem.

4.7.1.1 Amostrador de grande volume (AGV ou Hi-vol)

Existe no mercado um equipamento simples que é utilizado na determinação de PTS (particulado total em suspensão), como sugere a Resolução do Conama 03/1990. Esse amostrador é conhecido como AGV PTS, o qual coleta partículas em frações médias de 30 μm de diâmetro.

A Figura 4.1 mostra foto do equipamento devidamente instalado em uma estação de monitoramento na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, na cidade de Limeira-SP.



Figura 4.1 Foto do AGV-PTS.

Fonte: acervo pessoal.

Existe outro equipamento similar (outro AGV), com algumas características mais sofisticadas, que é usado na determinação da concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de partículas de tamanho aproximado $10\ \mu\text{m}$, as chamadas MP10, que se encontram em suspensão no ar ambiente.

Consiste em uma bomba de sucção à vazão constante de $1,13\ \text{m}^3/\text{min}$, e a amostragem é realizada independentemente da direção do vento, pois a geometria de entrada da cabeça de separação favorece apenas a coleta de partículas com diâmetro aerodinâmico $\sim 10\ \mu\text{m}$.

O MP10 é normalmente coletado em um filtro de fibra de vidro de dimensões $20 \times 25\ \text{cm}^2$, instalado dentro da camisa de abrigo, durante um período de amostragem de 24 horas. A Figura 4.2 mostra o desenho esquemático do equipamento desse tipo, já a Figura 4.3 mostra o detalhamento do cabeçote de separação.

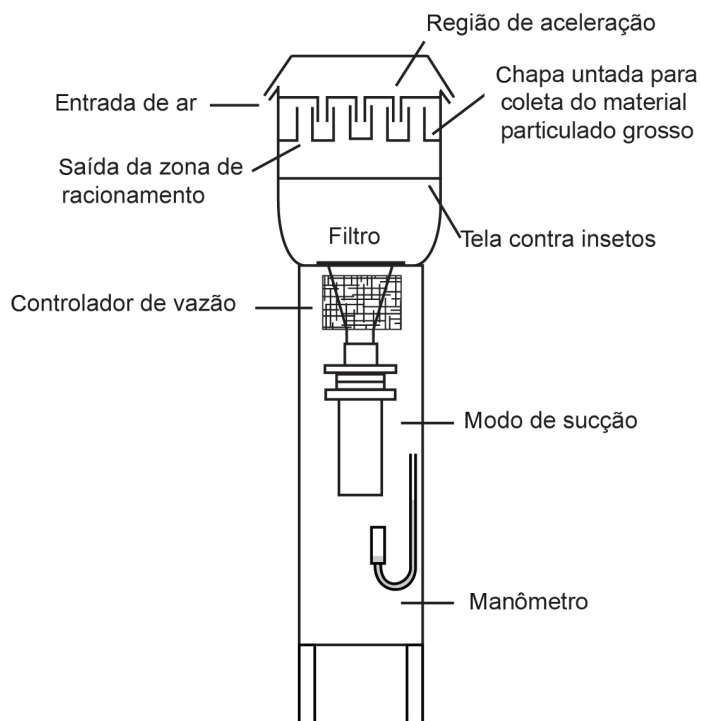


Figura 4.2 Desenho esquemático do AGV.

Fonte: adaptada do catálogo do fabricante.

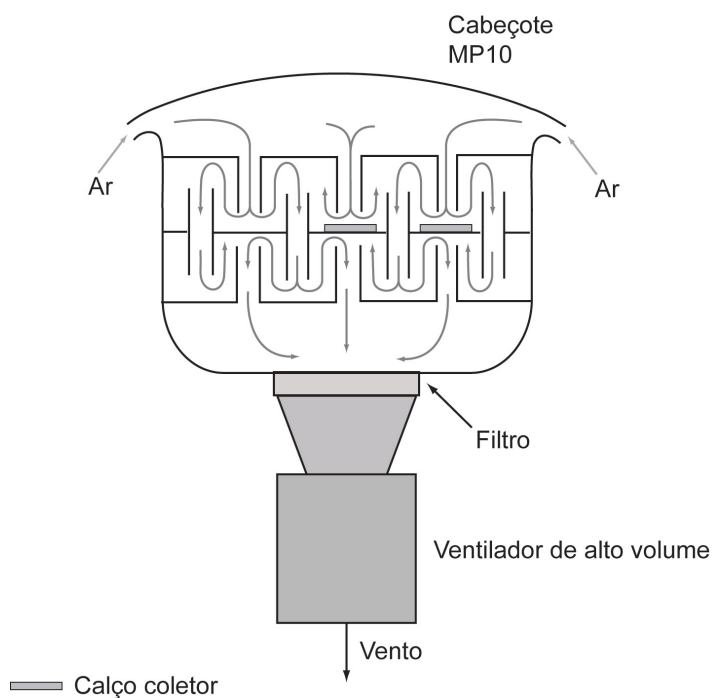


Figura 4.3 Detalhamento do cabeçote de separação do equipamento AGV.

Fonte: adaptada de Artiola, Pepper & Brusseau (2004).

A Figura 4.4 mostra foto do equipamento (e seus detalhes) devidamente instalado em uma estação de monitoramento na Faculdade de Tecnologia da Unicamp na cidade de Limeira-SP.

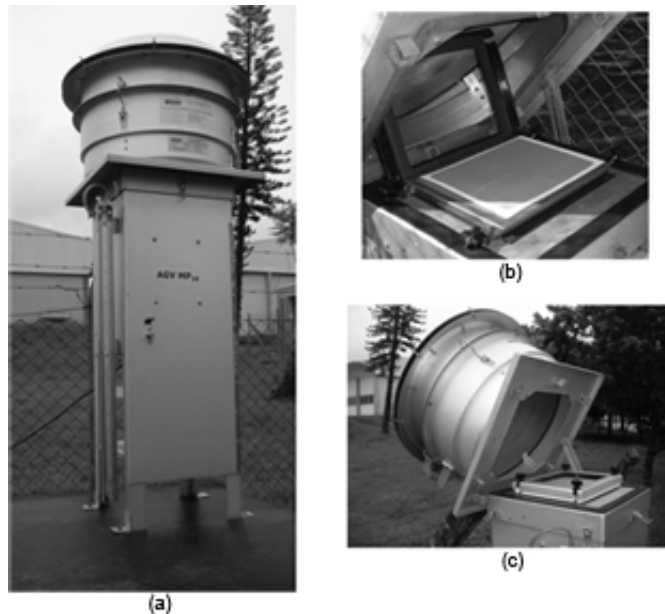


Figura 4.4 (a) Foto do AGV-MP10; (b) Filtro após a coleta (com torta de MP10 em cor mais escura); (c) Detalhamento da abertura do cabeçote para instalação do filtro de coleta.

Fonte: acervo pessoal.

Um terceiro AGV, para amostragem de partículas finas (MP_{2,5}), também está disponível no mercado com funcionamento similar ao do AGV-MP10, mas com diferença na vazão de operação e algumas outras peculiaridades.

E agora: pesquisem sobre este último equipamento (AGV-MP_{2,5}). Em que características difere do AGV-MP10?

4.7.1.2 Amostrador dicotômico

É usado na determinação da concentração de partículas inaláveis finas (MP_{2,5}) e partículas inaláveis grossas (MP_{10-2,5}).

Seu princípio de funcionamento consiste em uma bomba de sucção que suga o ar por meio de uma região de entrada, em que perfaz 360° a fim de coletar o ar em todas as direções. O material particulado é coletado em filtros de teflon (ou outro material adequado) com diâmetro de 37 mm e diâmetro de poro de 0,22 µm. Depois do fracionamento inicial, o escoamento *ar-partículas* é direcionado a um impactador virtual, no qual ocorre a subdivisão em duas correntes, separando aerodinamicamente as partículas nas frações fina e grossa. A Figura 4.5 apresenta um desenho esquemático do amostrador dicotômico.

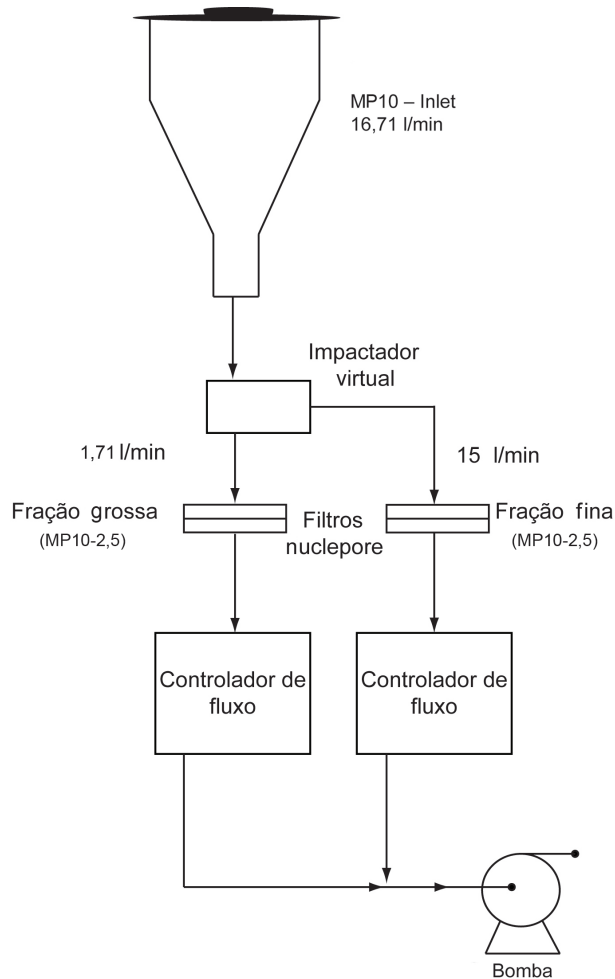


Figura 4.5 Desenho esquemático do amostrador dicotômico.

Fonte: adaptada do catálogo do fabricante.

E agora: vamos pesquisar. Quais outros equipamentos amostradores de partículas estão disponíveis no mercado brasileiro e mundial?

4.7.2 Equipamentos para monitorar gases/vapores

Existem diversos equipamentos para monitorar gases poluentes. Alguns são equipamentos portáteis de simples manuseio, mas nem sempre com respostas simples de serem interpretadas. Outros necessitam de instalação fixa. Uns conseguem monitorar vários gases simultaneamente, outros apenas analisam um gás de interesse.

4.7.2.1 Equipamentos de leitura direta

Esses equipamentos fornecem, imediatamente, no próprio local (*in situ*) em que está sendo analisada a concentração do contaminante. São usados para

a avaliação de gases e vapores e, também, de alguns aerodispersóides. Eles podem ser divididos, para estudo, em dois grupos: metodologia química e metodologia física.

Os indicadores colorimétricos, que utilizam métodos químicos, são aqueles que fornecem a concentração existente no ambiente, pela modificação de cor ocorrida em função de uma reação química. O método utilizado nesses equipamentos é bastante simples, consistindo da passagem de uma quantidade conhecida de ar através de um reagente, produzindo uma alteração de cor neste último, caso a substância contaminante esteja presente, a qual então é determinada.

4.7.2.2 Métodos de retenção de contaminantes do ar

Existem três formas de reter os contaminantes do ar, as quais utilizam princípios de operações unitárias para realizar a amostragem e identificação dos poluentes. São eles:

- a) Retenção em meio sólido (adsorção): faz-se passar um volume conhecido de ar contaminado através de um tubo contendo um sólido poroso, geralmente carvão ativado ou sílica-gel, na superfície do qual os gases e vapores são adsorvidos, por princípios de trocas iônicas ou forças de van Der Waals.
- b) Retenção em meio líquido (absorção): ar contaminado passa através de um meio líquido (substância absorvente) adequado, no qual os gases e vapores ficam retidos, por diluição ou por reação química. Geralmente o líquido absorvente é a água.
- c) Condensação: ar contaminado passa através de condensadores, a uma temperatura inferior à do Ponto de Ebulição (PE) do contaminante a ser coletado. O resfriamento pode ser realizado com a utilização de ar liquefeito ou gelo seco.

De forma resumida é possível apresentar as principais formas de coleta/amostragem de gases poluentes, como mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Resumo amostradores gases/vapores.

Amostradores	Princípios utilizados na amostragem	Equipamento utilizado
Amostrador de ar total (coletam o contaminante juntamente com o ar)	Deslocamento de ar	Frascos evacuados, sacos de aspiração
	Deslocamento de líquido	Frascos de Mariot
Amostradores que separam o contaminante do ar (coletam apenas o contaminante)	Absorção (retenção do contaminante em meio líquido)	Borbulhadores (impactadores ou impinger)
	Adsorção (retenção do contaminante em meio sólido)	Bomba de sucção mais tubo contendo material adsorvente (carvão ativado, sílica-gel)
	Condensação (mudança do estado gasoso para o estado líquido)	Condensadores

Fonte: Derísio (2007).

E agora: vamos pesquisar quais são os amostradores de gases/vapores disponíveis no mercado?

4.8 Índices de qualidade do ar

Os dados da Cetesb e de outros órgãos ambientais são ou podem ser divulgados diariamente, juntamente com uma previsão meteorológica para a dispersão dos poluentes para as 24 horas seguintes (através de modelos).

Utiliza-se o índice de qualidade do ar a fim de simplificar esse processo de divulgação. Esse índice é concebido com base no PSI (Pollutant Standards Index), e foi desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency) com base numa experiência acumulada de vários anos nos Estados Unidos e Canadá, a fim de padronizar a divulgação da qualidade do ar pelos meios de comunicação.

O índice é adquirido por meio de uma função linear segmentada, em que os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar. Essa função, que relaciona o valor do índice com a concentração do poluente, resulta em um número adimensional referido a uma escala com base em padrões de qualidade do ar.

Para cada poluente medido é calculado um índice. Para efeito de divulgação é utilizado o índice mais elevado, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso.

4.8.1 Qualificação dos índices

De forma geral os índices utilizados, principalmente pela Cetesb, estão definidos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Índices de qualidade do ar.

Índice	Qualidade do ar
0-50	Boa
51-100	Regular
101-199	Inadequada
200-299	Má
300-399	Péssima
400	Crítica

Fonte: Cetesb (2009).

4.9 Considerações finais

A qualidade do ar pode ser considerada a mais difícil de ser mantida dentro dos padrões e/ou critérios esperados. É muito mais simples isolar áreas de solo e água para seu tratamento e adequação, e praticamente impossível isolar áreas atmosféricas. Monitorar poluentes, com o intuito de mitigar ações destrutivas, é essencial.

É importante que o monitoramento seja realizado de forma adequada, determinando os poluentes de interesse, e que as estações de monitoramento sejam adequadamente instaladas.

Também se deve verificar qual o monitoramento desejado: poluentes dispersos na atmosfera (qualidade do ar), poluentes saindo de chaminés de indústrias ou poluentes que saem de escapamentos veiculares.

4.10 Estudos complementares

Os conceitos apresentados nesta unidade podem ser complementados com o conhecimento de Cetesb (2009).

Outros relatórios de qualidade do ar disponíveis em outras agências reguladoras brasileiras (ou não) podem ser observados e estudados.

UNIDADE 5

Outros tipos de monitoramento

5.1 Primeiras palavras

Dentro do monitoramento, além de avaliar (medir) a qualidade dos meios solo, água e ar, devemos levar em consideração alguns fatores externos que diretamente estão ligados e interferem nesses meios: ruídos, vibrações radiações etc.

Este capítulo pretende apresentar a conceituação desses problemas ambientais e suas possíveis medições e legislações e/ou normas aplicáveis.

5.2 Poluição sonora – ruídos

O som é parte tão rotineira da vida das pessoas, mas não é apreciado com a devida atenção. Através dele, tem-se a comunicação oral, alertas sonoros para prevenção em algumas circunstâncias (sirenes, por exemplo) e possibilidade de avaliar e diagnosticar dados momentos (limite ou padrão recomendado em locais específicos, por exemplo). Quando o som se apresenta de forma desagradável ou indesejável, ele é considerado *ruído* (DERÍSIO, 2007).

Cada vez mais o ser humano é submetido a condições sonoras agressivas no ambiente em que se encontra, mesmo em momentos de lazer. O som deixou de ser privativo e transformou-se num invasor comunitário em todas as camadas sociais. Por meio do desenvolvimento tecnológico, a sociedade está aumentando sua capacidade produtiva, as indústrias passaram a ser instaladas próximas às residências, com todas as implicações do impacto ecológico, num crescimento desordenado e gerador de muitos incômodos. Tal crescimento pode gerar problemas de trânsito, já que as ruas, geralmente, não foram dimensionadas considerando a localização das indústrias ou grandes centros comerciais, trazendo com isso um forte acréscimo dos níveis de ruído ambiental, que já não são apenas localizados (como no caso de indústrias), mas afetam toda a comunidade.

5.2.1 Conceituação

Da física acústica, define-se som como o resultado da vibração acústica capaz de produzir sensação auditiva, ou seja, qualquer variação de pressão que o ouvido humano possa detectar. A avaliação do som dá-se pela sua frequência (vibrações/segundos ou Hertz), e o alcance da audição varia entre 20 Hz e 20.000 Hz. O som mais baixo que o ouvido humano é capaz de captar é da ordem de 20 μ Pa ou 0 dB (decibel, que representa a medida de intensidade do som).

5.2.2 Classificação

Poluição sonora é o som (ruído) não desejado que possa provocar danos à saúde física ou comportamental. As fontes de ruído são classificadas em *estacionárias* (industriais, construções, comércio e casas noturnas) e *móveis* (veículos automotores, aeronaves, trens e martelos pneumáticos). Alguns dos possíveis efeitos sobre a saúde humana são as perdas auditivas (temporária ou permanente), a interferência na fala, a perturbação no sono, o estresse, a hipertensão, entre outros.

5.2.3 Medição

Para medições de poluição sonora, pode-se utilizar principalmente o decibelímetro (ou Dosímetro de Ruído Digital), o qual mede o nível de pressão sonora (grandeza física), realiza cálculos internos rapidamente e apresenta os resultados em um número relativo denominado decibel (que não tem grandeza física).

5.2.4 Controle

As técnicas de controle dos níveis de ruído podem ser conseguidas na fonte, no percurso entre a fonte e o receptor e no receptor. Essas técnicas podem ser utilizadas simultaneamente ou de forma independente em função das necessidades a serem atendidas.

5.2.5 Aspectos legais

Para a regulação de ambientes internos, existem, no Brasil, a Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho e a NBR 10152, sobre níveis de ruído para conforto acústico, da ABNT (DERÍSIO, 2007).

Para ambientes externos temos a Resolução do Conama nº 01, de 8 de março de 1990, que contém níveis para ruído ambiental, e a ABNT NBR 10151, de 31 de dezembro de 1987, que é referente à “Avaliação de ruídos em áreas habitadas visando o conforto da comunidade”. Tal norma define metodologia para medição de ruído, a aplicação de correção nos valores e uma comparação dos níveis corrigidos, usando critério que leva em consideração vários fatores ambientais.

E agora: pesquisem se há fora do Brasil normas/legislações relativas à poluição sonora.

5.3 Vibração

Em relação aos problemas com as vibrações, desde a Revolução Industrial os engenheiros procuram uma maneira de reduzi-las ou isolá-las. A unidade de medida de vibração também é o Hertz (Hz). Sua leitura se faz usando acelerômetros que convertem movimentos vibratórios em sinal elétrico. Na direção longitudinal (4 a 8 Hz) o corpo humano é mais sensível à vibração do que na posição transversal (1 a 2 Hz).

5.3.1 Usos e classificação

A vibração mecânica ocorre nas obras de engenharia, como em perfurações e explosões de blocos de rocha em minerações, bem como com o uso de motosserras para o corte de árvores. Assim como as fontes de ruído, as fontes de vibração são classificadas em estacionárias (indústrias, construções e comércios) e móveis (veículos automotores, aeronaves, trens e bate-estacas).

Os efeitos das vibrações na saúde podem ser sérios, ocasionando transtornos como visão obscura e perda de equilíbrio e concentração, podendo ainda danificar alguns órgãos internos.

5.3.2 Medição

Os níveis de vibração são avaliados por instrumentos eletrônicos, como simples medidores (como os parâmetros aceleração, velocidade e deslocamento) e também por complexos analisadores digitais de vibração.

O medidor de vibração mede a aceleração da vibração por meio de um *acelerômetro*, transformando o sinal vibratório em um sinal elétrico; o sinal elétrico passa por um integrador no qual se escolhe o parâmetro de vibração de interesse, seja aceleração, velocidade ou deslocamento. Em seguida, o sinal vai para um retificador que seleciona o valor para RMS ou pico e, por fim, alcança o visor onde aparece o valor ou nível de vibração medido, sendo expresso em velocidade, aceleração ou deslocamento (DERÍSIO, 2007).

5.3.3 Controle

As técnicas de controle das vibrações podem ser realizadas na fonte, no percurso entre a fonte e o receptor e no receptor, bem como as técnicas de controle da poluição sonora.

E agora: já ouviram falar da Síndrome de Raynaud? Pesquisem a respeito.

5.4 Radiação

Elementos radioativos possuem uma meia-vida, que é o tempo que metade da quantidade original de átomos instáveis leva para se transformar em átomos estáveis. Por exemplo, o Rn-222 tem uma meia-vida de 3,8 dias, o C-14 tem uma meia-vida de 5.570 anos, e o U-238 de 4,5 bilhões de anos.

Para se quantificar o decaimento radioativo, utiliza-se a unidade Ci (Currie), que é a quantidade de radioatividade presente em 1 g de Rádio (37 bilhões de núcleos decaindo por segundo). A meia-vida do Ra é de 1.622 anos, e, após essa meia-vida, a quantidade de Ra será de 0,5 g com 0,5 Ci de atividade. No Sistema Internacional, utiliza-se a unidade Bq (Becquerel), que corresponde à radioatividade de um decaimento por segundo ($1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ou $1 \text{ Ci/L} = 37 \times 10^{10} \text{ Bq/m}^3$).

A dose de radiação retida ou recebida pelos tecidos vivos de uma fonte radioativa é expressa em rad (dose de absorção de radiação) e rem (dose equivalente de radiação), respectivamente. Os correspondentes no SI são grays (Gy) e sieverts (Sv): $1 \text{ gray} = 100 \text{ rad}$, e $1 \text{ sievert} = 100 \text{ rem}$. A unidade Sv ou mSv será a mais utilizada na maioria dos estudos comentados.

O fenômeno da emissão de radiações é chamado de *radioatividade*, e as radiações emitidas e natureza da exposição podem ser (LEME, 1984):

- a) As *partículas alfa* são muito perigosas para a saúde quando isótopos emissores alfa são engolidos ou inalados, pois toda emissão é armazenada pelo tecido do corpo.
- b) A *radiação gama* possui energia muito alta, que pode penetrar fortemente no tecido humano, sendo perigosa dentro ou fora do corpo.
- c) As *partículas beta* são intermediárias em seus efeitos e podem ser absorvidas pelo corpo quando um emissor beta é ingerido.

A radiação natural (próxima à superfície da Terra) recebida pelas Américas é de 1,5 mSv/ano, com variação de 1 até 2,5 mSv/ano.

E agora: qual a dose de exposição que causa perigo à saúde humana?

5.4.1 Medição

Em caso de exposição à radiação proveniente de várias fontes com frequências de emissão diferentes, faz-se necessário considerar o somatório de efeitos. De modo a obter uma margem de segurança mais aceitável, a análise

deve ser feita sempre na perspectiva de pior caso, ou seja, devem ser medidos os pontos nos quais o valor medido é mais elevado.

Devem-se também considerar outros fatores que podem influenciar o valor medido, como o horário em que se faz a medição. Normalmente, o valor é mais elevado durante o dia.

De acordo com o procedimento de medida, começa-se por medir os níveis de radiação no local, medindo o valor do campo elétrico. Caso os níveis medidos estiverem abaixo dos limites de referência para a população diretamente exposta, então se conclui que no local analisado os valores medidos estão em conformidade com os limites de referência de exposição (normas e legislações vigentes). Se os valores medidos estiverem acima dos limites de referência para o público, então é necessário proceder a uma investigação para averiguar qual a contribuição de cada fonte de emissão para o nível de campo total.

Existem no mercado vários tipos de equipamento para medir radiações ionizantes (as que causam câncer), tal como o Contador Geiger, ou transportadores de mão para medir radiação (equipamentos portáteis).

Há disponíveis atualmente dispositivos de medida e monitoramento de radiações ionizantes para altas e médias energias, constituídos de um filme fino nanométrico ou micrométrico do polímero condutor polianilina, portáteis e de baixo custo, podendo ser utilizados para dosimetria pessoal, controle de processos, salas de esterilização hospitalar, irradiação de alimentos, monitoramento de centrais nucleares ou acidentes nucleares. Já as radiações ditas domésticas, tais como as provenientes de aparelhos elétricos e eletrônicos (forno de micro-ondas, telefones celulares, aspirador de pó, rádio, TV, monitor de vídeo, redes wi-fi etc.), são consideradas não ionizantes e, em tese, são incapazes de causar prejuízos aos organismos vivos, mas mesmo assim são passíveis de medições quando se julgar necessário.

E agora: existem efeitos de despejos radioativos em águas receptoras e em sistemas de esgoto. Pesquisem a respeito. (Sugestão: LEME, F. P. *Engenharia do saneamento ambiental*. 2. ed. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1984. 359 p.)

5.4.2 Legislação vigente

Uma lei concede somente à União, por meio da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o ciclo nuclear e de materiais radioativos em geral. A CNEN emitiu algumas normas para regulamentar a segurança do emprego de fontes radioativas ionizantes, além de possuir o controle sobre a aquisição dos materiais radioativos ou geradores de radiação ionizantes. Porém, a CNEN

libera a operação com materiais radioativos após o atendimento das exigências (DERÍSIO, 2007).

Além do controle de aquisição de materiais radioativos, ou que possuam alguma fonte radioativa, também dá a liberação para pessoas físicas e jurídicas para manipular e instalar tais equipamentos.

E agora: visite o site do CNEN (<<http://www.cnen.gov.br/>>) e descubra as normas e discussões disponíveis.

5.5 Considerações finais

O estudo de monitoramento ambiental requer disciplina e treinamento, independentemente do meio que será avaliado.

As três formas de poluição citadas neste capítulo servem como complementação de alguns monitoramentos, principalmente quando envolvem saúde ocupacional.

Cabe ressaltar que, independentemente do local a ser monitorado, deve-se conhecer o local, as técnicas, fatores socioeconômico-ambientais e *sempre* as normas e legislações vigentes.

5.6 Estudos complementares

Pesquisadores do Instituto de Química da USP desenvolveram um dispositivo de uso pessoal capaz de medir o nível de exposição aos raios ultravioleta (UV). O trabalho rendeu a conquista do prêmio NanoEurope 2006 (categoria médica), na Suíça, um dos maiores congressos de nanotecnologia da Europa.

O aparelho é um dosímetro – um medidor de doses – descartável e capaz de informar ao usuário, de modo simples e acessível, acerca de um possível excesso de radiação ultravioleta, uma dose que possa ser nociva à saúde.

O dispositivo tem a forma de um cartão, no qual se encontram pequenos círculos coloridos. O funcionamento é extremamente simples. À medida que fica exposto à radiação UV, o círculo tem a intensidade de sua cor diminuída, como que desbotando: o roxo vira lilás.

Filme de nanopartículas

A simplicidade de funcionamento, porém, esconde a pesquisa e a tecnologia por trás do aparelho. “Se o resultado não é um aparelho sofisticado, o conceito químico do trabalho é bastante elaborado. A questão abrange uma relação entre a química supramolecular e a nanotecnologia”, aponta Juliano Bonacin, participante da pesquisa.

O dosímetro inventado, em última análise, é um filme de nanopartículas de dióxido de titânio, substância que tem a capacidade de absorver a luz ultravioleta, e só a luz ultravioleta – ela não é sensível às outras. Quando o UV é absorvido, o dióxido de titânio gera um processo de reações fotoquímicas que degradam o corante (um complexo de ferro).

Alerta de exposição aos raios ultravioleta

Ficando mais tempo exposto ao sol, o corante, inicialmente roxo e depois lilás, passa para um lilás mais claro e assim por diante, cada vez mais claro. E quem estiver de posse do cartão pode conferir, visualmente, se os minutos ou horas passados sob o sol representam perigo. Numa hipotética escala, o roxo indicaria, por exemplo, nenhuma exposição e o lilás, exposição de uma hora.

“É preciso calibrar o dosímetro. Para isso, basta expor a uma fonte ultravioleta de intensidade conhecida e marcar quanto tempo levou para degradar o spot, o pequeno poço com corante. A partir daí, podemos criar uma escala comparativa de tonalidades, correlacionada com as doses de radiação UV” esclarece Sergio H. Toma, um dos autores do projeto. Além dele e de Bonacin, participaram os pesquisadores Koiti Araki e Henrique E. Toma.

Danos cumulativos dos raios ultravioleta

Dosímetro descartável mede nível de exposição aos raios ultravioleta. Sergio Toma explica por que o novo dosímetro é ideal para apontar os efeitos negativos do sol sobre a pele.

Ela recebe os raios e inicia um processo inflamatório e, depois, de recuperação. Mas o dano vai se acumulando, por isso a pele envelhece. Nesse ponto, o dosímetro mais ou menos simula a pele.

Já existem dosímetros capazes de medir a radiação UV recebida durante certo período de tempo – mas são equipamentos eletrônicos sofisticados e caros e, por isso, pouco acessíveis. Não havia sido confeccionado, ainda, um aparelho descartável. Prático e barato, o novo dosímetro poderá vir a preencher esta lacuna no mercado, quando passar a ser comercializado.

Dosímetro portátil

Sergio Toma esclarece: “A proposta é usar o cartão como um crachá, por exemplo. Porque não envolve só a questão de riscos à saúde nas horas de lazer. Pessoas que utilizam aquelas soldas elétricas, os soldadores – a própria utilização da solda gera ultravioleta”.

O mais próximo de um dosímetro acessível e comercializável à disposição são adereços que mudam de cor ao receberem luz solar. Bastante comuns, eles normalmente vêm na forma de presilhas de cabelo. Mas, por definição, não se pode considerá-los dosímetros: não medem dose alguma. Indicam, de fato, certa intensidade de luz ultravioleta, e apenas isso. Desprovidas de qualquer “efeito de memória”, tais presilhas não permitem que se conheça a quantidade total de radiação recebida ao longo de um período determinado.

“No Brasil, esta é a primeira patente para dosímetros visuais”, pondera Sergio Toma. “Existem propostas alternativas de dosímetros na forma de cartão. Só que, na hora da leitura, é preciso que se recolha todos os cartões utilizados e leve até o equipamento para fazer análise. Depois é que sai o resultado”.

Melanoma

Na prática, o resultado desse experimento pode representar importante alternativa na prevenção de problemas de saúde causados por doses excessivas de UV. Os olhos e o tecido epidérmico sofrem, e irão sofrer ainda mais, as consequências da tendência à diminuição – ou mesmo ausência, em certos pontos próximos aos polos – da camada de ozônio.

Entre o ano de 1975 e 2000, informa o texto do trabalho, a incidência do melanoma, forma mais agressiva do câncer de pele, quase dobrou. E cerca de 15 milhões de pessoas no mundo sofrem de catarata associada à radiação ultravioleta.

Fonte: Dosímetro... (2007).

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ JR., O. M.; LACAVAL, C. I. V.; FERNANDES, P. S. *Emissões atmosféricas*. Brasília: Senai/DN, 2002. 373 p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington: APHA, 1998. 937 p.
- ANDRADE, J. C.; ABREU, M. F. *Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2006. 178 p.
- ARTIOLA, J. F.; PEPPER, I. L.; BRUSSEAU, M. *Environmental monitoring and characterization*. Burlington: Elsevier Academic Press, 2004. 410 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. *Águas subterrâneas, o que são?* Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 06 jan. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 6502: rochas e solos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 18 p.
- _____. *NBR 10004: resíduos sólidos – classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a. 71 p.
- _____. *NBR 10007: amostragem de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b. 21 p.
- _____. *NBR 13037: veículos rodoviários automotores – gás de escapamento emitido por motor diesel em aceleração livre (determinação da opacidade)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- BAILEY, R. A.; CLARK, H. M.; FERRIS, J. P.; KRAUSE, S.; STRONG, R. L. *Chemistry of the environment*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002. 835 p.
- BARACKMAN, M.; BRUSSEAU, M. L. Groundwater sampling. In: ARTIOLA, J. F.; PEPPER, I. L.; BRUSSEAU, M. *Environmental monitoring and characterization*. Burlington: Elsevier, 2004.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; ROCHA, J. M. B.; NIENCHESKI, F. F. H. *Manual de análises em oceanografia química*. Rio Grande: Furg, 1996. 132 p.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. *Qualidade de águas – descrição dos parâmetros químicos referidos na legislação ambiental*. Rio Grande: Furg, 2001. 164 p.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, L.; CONEJO, J.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à engenharia ambiental*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. [...] Considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no país. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 22 ago. 1990.
- _____. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 02 jan. 2005.
- _____. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

- _____. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 07 abr. 2008.
- BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, 2003.
- CASARINI, D. C. P.; DIAS, C. L.; LEMOS, M. M. G. *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para os solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: Cetesb, 2001. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-subterraneas/111-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 06 jan. 2015.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Norma 06010: construção de poços de monitoramento de aquífero freático*. São Paulo: Cetesb, 1988. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/anexos/download/6410.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2015.
- _____. *Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. Capítulo I: conceituação. São Paulo: Cetesb/GTZ; Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, 2001.
- _____. *Prevenção e controle da poluição do solo e das águas subterrâneas*. São Paulo: Cetesb, 2004.
- _____. *Qualidade do ar no Estado de São Paulo*. São Paulo: Cetesb, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 06 jan. 2015.
- _____. *Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo: 2007-2009*. São Paulo: Cetesb, 2010. 258 p.
- _____. *Solo: Poluição*. 2011a. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/solo/informacoes-basicas/2-Definicao>. Acesso em: 06 jan. 2015.
- _____. *Noções em hidrogeologia*. 2011b. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Informa??es-B?sicas/2-Hidrogeologia>>. Acesso em: 06 jan. 2015.
- _____. *Águas subterrâneas: proteção da qualidade*. 2011c. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Informa??es-B?sicas/4-Prote??o-da-Qualidade>>. Acesso em: 06 jan. 2015.
- _____. *Qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2010-2012*. São Paulo: Cetesb, 2013. 222 p.
- CUELBAS, C. J. Procedimentos básicos de amostragem. In: ANDRADE, J. C.; ABREU, M. F. *Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2006. 178 p.
- DERÍSIO, J. C. *Introdução ao controle da poluição ambiental*. 3. ed. São Paulo: Cetesb, 2007. 192 p.
- DOSÍMETRO descartável mede nível de exposição aos raios ultravioleta. *Inovação Tecnológica*, 12 set. 2007. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010165070912>>. Acesso em: 8 jan. 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.
- ENVIRONMENT CANADA. *Groundwater – nature's hidden treasure*. Disponível em: <<https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=300688DC-1>>. Acesso em: 06 jan. 2015.

FRANÇA-FLASH MEIO AMBIENTE. São Paulo: Cendotec, n. 9, out./dez. 1996. Disponível em: <<http://www.cendotec.org.br/ffantigos/ff09m.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2015.

FRIEDLANDER, S. K. *Smoke, dust and haze: fundamentals of aerosol dynamics*. 2. ed. Nova York: Oxford University Press, 2000. 407 p.

FRONDIZI, C. A. *Monitoramento da qualidade do ar: teoria e prática*. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 276 p.

LEME, F. P. *Engenharia do saneamento ambiental*. 2. ed. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1984. 359 p.

MACÊDO, J. A. B. *Águas & águas*. Juiz de Fora: Ortofarma, 2000. 505 p.

_____. *Águas & águas: métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas*. Juiz de Fora: Quick Press, 2001. 302 p.

_____. *Introdução à química ambiental*. Juiz de Fora: Jorge Macêdo, 2002. 487 p.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. *Introdução à química ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 256 p.

VANLOON, G. W.; DUFFY, S. J. *Environmental chemistry: a global perspective*. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. 515 p.

WILSON, L. G.; ARTIOLA, J. F. Soil and vadose zone sampling. In: ARTIOLA, J. F.; PEPPER, I. L.; BRUSSEAU, M. *Environmental monitoring and characterization*. Burlington: Elsevier, 2004.

SOBRE AS AUTORAS

Simone Andréa Pozza

Engenheira química graduada pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande – Furg (2002), mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (2005), especialista em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário Claretiano (2008) e doutora em Engenharia Química também pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (2009). Desenvolveu pós-doutorado no DEQ-UFSCar, estudando a formação de nanoaerossóis. Tem experiência na área de engenharia química, com ênfase em engenharia de processos químicos, atuando, principalmente, nos seguintes temas: poluição atmosférica, monitoramento ambiental e qualidade de águas. É coautora do livro *Qualidade de águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental* (2001). Atualmente, é professora doutora em regime integral para ensino e pesquisa na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, no curso de Tecnologia em Controle Ambiental, sendo responsável pela disciplina “Controle da poluição atmosférica” na graduação e desenvolvendo pesquisas na área de monitoramento da qualidade do ar.

Carmenlucia Santos Giordano Penteadó

Engenheira química graduada pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (1998), mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (2000) e doutora em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo – USP (2005). Realizou estágio na Universidade de Nebraska, Estados Unidos (2002-2003), e atuou como professora visitante na Universidade de Coimbra, em Portugal (2009), na área de gerenciamento de resíduos e prevenção à poluição. É professora da Faculdade de Tecnologia da Unicamp, no curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, ministrando as disciplinas sobre gerenciamento de resíduos sólidos, processos industriais e química da poluição ambiental. Na pós-graduação, é responsável pela disciplina “Gerenciamento de resíduos” e desenvolve pesquisas na área de gerenciamento de resíduos sólidos, produção mais limpa e gestão ambiental.

