

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

Documentos 65

ISSN 1517-2627
Dezembro, 2004

Manual Técnico de Coleta, Acondicionamento, Preservação e Análises Laboratoriais de Amostras de Água para Fins Agrícolas e Ambientais



Embrapa
Solos

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto
Presidente

Clayton Campanhola
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires
Ernesto Paterniani
Hélio Tollini
Marcelo Barbosa Saintive
Membros

Diretoria-Executiva

Clayton Campanhola
Diretor-Presidente

Gustavo Kauark Chianca
Herbert Cavalcante de Lima
Mariza Marilena T. Luz Barbosa
Diretores-Executivos

Embrapa Solos

Celso Vainer Manzatto
Chefe Geral

Alúísio Granato de Andrade
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

David Dias Moreira Filho
Chefe Adjunto de Administração



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1517 -2627

Dezembro, 2004

Documentos 65

Manual Técnico de Coleta, Acondicionamento, Preservação e Análises Laboratoriais de Amostras de Água para fins Agrícolas e Ambientais

Rachel Bardy Prado

Sílvio Roberto de Lucena Tavares

Flávio Barbosa Bezerra

Luciana da Conceição Rios

Viviane Escaleira

Rio de Janeiro, RJ

2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Cláudia Regina Delaia*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*

1ª edição

1ª impressão (2004): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Prado, Rachel Bardy

Manual técnico de coleta, acondicionamento, preservação e análises laboratoriais de amostras de água para fins agrícolas e ambientais / Rachel Bardy Prado, Sílvio Roberto de Lucena Tavares. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2004.

97 p. - (Embrapa Solos. Documentos; nº 65)

ISSN 1517 -2627

1. Água - Manual de Análises. 2. Análise de Água - Embrapa Solos. I. Tavares, Sílvio Roberto de Lucena. II. Embrapa Solos (Rio de Janeiro). III. Título. IV. Série.

CDD (21.ed.) 628.02

© Embrapa 2004

Autores

Rachel Bardy Prado

Pesquisadora III Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1.024. CEP.22.460-000. Rio de Janeiro/RJ.

Sílvia Roberto de Lucena Tavares

Pesquisador II Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1.024. CEP.22.460-000. Rio de Janeiro/RJ.

Flávio Barbosa Bezerra

Técnico de Nível Superior III Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1.024. CEP.22.460-000. Rio de Janeiro/RJ.

Luciana da Conceição Rios

Tecnóloga Ambiental. Bolsista DTI/CNPq.

Viviane Escaleira

Assistente de Operações I Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1.024. CEP.22.460-000. Rio de Janeiro/RJ.

Sumário

Introdução	7
1. Caracterização e Monitoramento da Qualidade da Água ..	10
1.1. Determinação da qualidade da água para fins agrícolas	12
1.1.1. Determinação da qualidade da água para irrigação	13
1.1.2. Determinação da qualidade da água para criação animal	29
1.2. Determinação da qualidade da água para fins ambientais	30
2. Coleta, Acondicionamento, Preservação e Transporte de Amostras de Água	35
2.1. Coleta de amostras	35
2.1.1. Plano de coleta	35
2.1.2. Cuidados gerais nas amostragens	36
2.1.3. Procedimento de coleta	40
2.2. Armazenamento, acondicionamento e preservação das amostras	43
2.3. Transporte	44
3. Métodos de Análises de Água Realizados na Embrapa Solos	46
3.1. Temperatura	46
3.2. Resíduos Totais, Totais Fixos e Totais Voláteis	47
3.3. Resíduos Filtráveis: Totais, Fixos, Voláteis	49
3.4. Resíduos Não Filtráveis: Totais, Fixos e Voláteis	51
3.5. Dureza total	53
3.6. Dureza de cálcio	56

3.7. Dureza de magnésio	57
3.8. Alcalinidade	57
3.9. Determinação de ânions por cromatografia iônica	61
3.10. Análise elementar por espectrometria de emissão por plasma ...	63
3.11. Potencial hidrogeniônico	66
3.12. Condutividade elétrica	68
3.13. Medição em campo de pH, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e condutividade elétrica	70
4. Critérios, padrões e índices de qualidade da água	73
5. Referências Bibliográficas	78
Anexo	82

Manual Técnico de Coleta, Acondicionamento, Preservação e Análises Laboratoriais de Amostras de Água para Fins Agrícolas e Ambientais

Introdução

A água é um recurso natural que merece destaque, pois, sua manutenção em condições ideais é irrevogavelmente necessária a todo tipo de vida no planeta. Porém, devido à forma não-sustentável como a humanidade conduziu a exploração dos recursos hídricos, atualmente estes se encontram em escassez, ocasionando sérios problemas de ordem ambiental, social e econômica. Esse processo tem ocorrido não somente em relação à quantidade de água, como também na redução de sua qualidade, comprometendo a sua destinação aos múltiplos usos. Neste sentido, é preciso que se adotem medidas, sejam elas preventivas ou mitigadoras, visando preservar este recurso vital, amenizando, assim, os problemas expostos.

Na natureza a água nunca é encontrada quimicamente pura e sim com gases dissolvidos e sais minerais de diversos tipos, com maior ou menor concentração, o que é essencial ao equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e para atender à maior parte das atividades humanas. No entanto, com o lançamento de resíduos e contaminantes nos corpos d'água, provenientes de fontes pontuais e difusas, vai ocorrendo a poluição.

A poluição das águas pode ser abordada sob dois aspectos: o sanitário e o ecológico. Na abordagem sanitária, a poluição é definida como quaisquer modificações das qualidades químicas, físicas ou biológicas da água que afetem diretamente o homem ou prejudiquem a sua utilização por ele. Por outro lado, sob o aspecto

ecológico, a poluição é definida como alterações da qualidade da água que causam um desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos.

A composição da água depende naturalmente dos seus constituintes e das características do compartimento onde se encontra (superficial ou subterrâneo). As águas superficiais em seu estado natural geralmente apresentam, em sua composição, um maior percentual de sedimentos (orgânicos e inorgânicos) do que as águas subterrâneas, já que recebem uma contribuição representativa de substâncias na fase de escoamento superficial.

No caso da água subterrânea, sua composição é influenciada pelo material geológico no qual se insere. As características químicas das águas subterrâneas dependem, inicialmente, da composição das águas de recarga e, em seguida, de sua evolução química, influenciada diretamente pelas litologias percorridas. As variações naturais da qualidade das águas subterrâneas são muito pequenas (CETESB, 1988). Apesar disso, a água, em determinadas condições, pode, naturalmente, acumular certas substâncias tornando-se, por exemplo, muito ácida ou alcalina, apresentando altos teores de salinidade, ferro, entre outros, provocando cor e sabor desagradável, o que a torna imprópria ao consumo humano e dessedentação de animais, além de se tornar inadequada para a irrigação.

Portanto, percebe-se que a água pode apresentar-se em condições não ideais para atender aos diversos usos antrópicos, bem como para propiciar o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, seja pela introdução de poluentes nos corpos d'água ou pela sua própria natureza. Sendo assim, é preciso determinar a sua qualidade, analisando os teores de seus componentes, denominados parâmetros de qualidade da água.

Para tal, uma série de procedimentos deve ser adotada desde a coleta da amostra de água, passando por sua análise e obtenção dos resultados. Estes procedimentos são estabelecidos por normas internacionais como as da *American Public Health Association* (APHA), *Environmental Agency* (EPA), assim como as nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), publicadas na forma de manuais geralmente bastante complexos e extensos, além de em alguns casos estarem em outra língua, o que dificulta uma consulta rápida, seja no ambiente de trabalho ou no campo, por pessoas que não são especialistas no assunto.

Este manual tem a finalidade de preencher uma grande lacuna existente quando se trata de obter em um único exemplar, e de forma simples, a compilação de

informações necessárias à caracterização e monitoramento da água para fins agrícolas e ambientais. Esta publicação tem como público alvo os técnicos, produtores rurais, extensionistas, empresas, laboratoristas, estudantes e outros que direta ou indiretamente utilizam a água em seu processo produtivo ou a contemplam em seus estudos. Especificamente no setor agrícola, percebe-se uma ausência de informação e demanda bastante grande no que se refere à qualidade da água, pois muitas perguntas são formuladas aos extensionistas rurais, aos acadêmicos das nossas universidades, aos pesquisadores da Embrapa e dos Sistemas Estaduais de Pesquisa Agrícola, e muitas vezes não são respondidas adequadamente, por falta destas informações estarem sistematizadas em uma publicação de fácil acesso e leitura.

O presente manual será apresentado na forma de capítulos. O Capítulo 1 introduz o conceito de qualidade de água e fatores correlatos, bem como apresenta o "estado da arte" para tal temática, enfocando a qualidade da água para fins agrícolas e ambientais.

Quando se trata de caracterizar e monitorar a qualidade da água, muitos dos parâmetros podem ser analisados no próprio corpo d'água com o auxílio de sensores portáteis, como por exemplo pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez e outros, mas a maioria dos parâmetros ainda são analisados em laboratório.

Desta forma, torna-se necessário que se faça amostragens da água a ser examinada, transportando as amostras até um laboratório que seja capaz de realizar este tipo de análise. A amostragem poderá ser feita por profissional capacitado quando se tratar de estudos ambientais, mas poderá ser feita também por um proprietário rural ou qualquer pessoa que tenha interesse em verificar a qualidade da água seja para qual uso se destinar (irrigação, dessedentação de animais, abastecimento doméstico, entre outros). No entanto, em ambos os casos, alguns cuidados devem ser tomados para garantir a integridade das amostras, contribuindo para que não haja contaminação, evitando-se, assim, imprecisões nos resultados. Os procedimentos adequados para a coleta, acondicionamento, preservação e transporte das amostras serão apresentados no Capítulo 2 deste manual, de forma bastante detalhada.

As metodologias, materiais e equipamentos empregados na análise dos parâmetros em laboratório, bem como observações para se garantir a acurácia dos resultados e cálculos aplicados serão apresentados no Capítulo 3. Porém, como são muitos os parâmetros passíveis de análise quando se trata de qualidade da água, e mantendo

o propósito de apresentar um manual prático e com informações compiladas, optou-se por descrever apenas os métodos empregados para os parâmetros analisados na Embrapa Solos até o presente, o que não inviabiliza a possibilidade de inclusão de métodos para outros parâmetros, que por ventura este centro passe a analisar, sendo publicados em versões posteriores deste manual.

Uma vez obtidos os resultados das análises dos parâmetros de qualidade da água para uma determinada situação, é preciso analisá-los de forma cautelosa, aplicando ferramentas estatísticas, obtendo índices de qualidade de água e comparando-os com padrões estabelecidos pela legislação para saber se os teores resultantes atendem aos usos propostos e qual o nível de degradação em que o corpo d'água analisado se encontra. Neste sentido, foi proposto o Capítulo 4 que aborda estas questões de forma resumida.

1. Caracterização e Monitoramento da Qualidade da Água

O conceito de qualidade de água refere-se às suas características que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico. Usos específicos podem ter diferentes requisitos de qualidade. Assim, uma água pode ser considerada de melhor qualidade, se produzir melhores resultados, ou causar menos problemas (Ayers, 1991). Por exemplo: uma água de um rio pode ser considerada de boa qualidade para determinado sistema de irrigação, ao mesmo tempo pode, por sua carga de sedimentos, ser inaceitável para o consumo humano e/ou animal se não sofrer um tratamento anterior.

Se certas águas originalmente encontradas na natureza muitas vezes são impróprias para determinados usos na propriedade rural, o que se dirá da grande maioria dos recursos hídricos brasileiros que apresentam um estágio de degradação assustador, no que se refere à grande carga poluidora neles contida e que interfere diretamente na saúde da população e na qualidade ambiental.

A degradação ambiental causada pelo processo de desenvolvimento urbano-industrial do Brasil, e que se manifesta na contaminação de rios e córregos, em muitos casos acaba impedindo o uso da água para o consumo da população, da própria indústria e da agricultura. Hoje, apenas 20% dos esgotos urbanos passam por tratamento para remoção de poluentes. O restante é simplesmente lançado em rios e córregos ou em fossas sépticas, com elevada probabilidade de contaminação de lençóis freáticos.

Tabela 1. Parâmetros adotados em monitoramentos de qualidade da água com as diferentes finalidades.

Parâmetros	Finalidade do Monitoramento de Qualidade da Água						
	Usos				Caracterização do corpo de água		
	Irrig.	Pot.	Ind.	Pisc.	Eutr.	Pol.	Salin.
Alcalinidade Hidróxidos		X	X				
Alcalinidade Carbonatos		X					
Alcalinidade Bicarbonatos		X					
Alumínio		X					
Amônia			X	X		X	
Cálcio	X		X				
Cloretos		X	X				X
Clorofila <i>a</i>					X		
Condutividade elétrica	X			X			X
Cor		X					
DBO		X			X	X	
Dureza		X	X				
Ferro		X	X	X			
Fosfato Total					X		
Fósforo Total						X	
Magnésio	X		X				
Manganês			X				
Nitratos			X		X		
Ortofosfato					X		
Oxigênio Dissolvido				X	X		
pH		X	X	X			
Potássio						X	
Sílica					X		
Sódio	X						
Sólidos Dissolvidos Totais				X			
Sólidos em Suspensão Totais					X		
Sulfatos			X				
Turbidez		X					
Coliformes Fecais				X		X	

Legenda: Irrig. = Irrigação; Pot. = Potabilidade; Ind. = Indústrias; Pisc. = Piscicultura; Eutr. = Eutrofização; Pol. = Poluição e Salin. = Salinização.

Fonte: Adaptada de COGERH, 2004.

Existem hoje no Brasil e em seus Estados Federados diversas leis, decretos, resoluções e outros, que estabelecem critérios para a captação, derivação, uso, reuso e descarte dos recursos hídricos para os mais diversos fins. Neste emaranhado de leis, uma questão é básica, a água que participa nos processos biológicos da produção de alimentos que visem o homem como seu consumidor final, possui

uma classificação rigorosa de uso e tem de ser respeitada, sob pena de se tornar uma questão de saúde pública. Infelizmente, esses parâmetros de classes de uso, principalmente para irrigação ou criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana, são desconhecidas e/ou ignoradas pelo setor, com conseqüências muito drásticas para a saúde do consumidor brasileiro.

A caracterização das águas e os sistemas de monitoramento de qualidade da água podem ser definidos como esforços direcionados no sentido de obter informações qualitativas a respeito das características físicas, químicas e biológicas da água, via amostragens dos corpos d'água. Para se estabelecer um sistema de monitoramento, primeiramente é preciso estar bem claro o seu objetivo, assim como estabelecer os parâmetros a serem monitorados e qual a metodologia a ser adotada. A tabela 1 apresenta os principais parâmetros utilizados em monitoramentos de qualidade da água, relacionando-os aos fins pelos quais se pretende monitorar, sejam eles referentes ao uso da água ou à caracterização do corpo d'água.

Neste manual são apresentadas e descritas técnicas de coleta, acondicionamento, armazenamento, transporte e metodologias de análises laboratoriais relacionadas à caracterização e monitoramento da qualidade da água para fins agrícolas, e à verificação do nível de degradação da água (poluição por fontes pontuais e difusas) com enfoque ambiental.

1.1. Determinação da qualidade da água para fins agrícolas

No Brasil, de maneira geral, até bem pouco tempo, quando se falava em análise de água para fins agrícolas (principalmente para fins de irrigação), sempre vinha em mente uma abordagem de coleta simples, visando exames puramente físico-químicos, que respondessem de imediato se física e quimicamente a água amostrada serviria ao processo irrigado, e se sua qualidade não comprometeria os equipamentos de irrigação e as propriedades também físico-químicas do solo. Os fatores de poluição das fontes de água utilizadas e, conseqüentemente, suas influências sobre o meio ambiente, a saúde e o bem-estar do próprio irrigante e dos seus consumidores, sempre foram desconsiderados ou relegados a segundo plano.

Tal negligenciamento se deve, em parte, à cultura brasileira da abundância, já que o país possui a maior reserva de água doce do mundo, com aproximadamente 12% da disponibilidade mundial (Azevedo & Baltar, 2000) e em parte a uma não preocupação pretérita das potencialidades das práticas agrícolas que veiculam água em seus processos, de poluírem o ambiente e contaminarem o homem.

A determinação da qualidade da água para fins agrícolas depende predominantemente do seu uso específico. Como na propriedade agrícola geralmente são encontrados usos múltiplos para suas reservas hídricas (irrigação, dessedentação de animais, uso humano, pesca, dentre outros), aspectos particulares na determinação da qualidade da água em função do seu uso específico serão discutidos neste capítulo. O conceito de qualidade da água está relacionado às suas características, que podem afetar a sua adaptabilidade para uso específico, ou seja, a relação entre a qualidade da água e as necessidades do usuário. A qualidade da água é determinada por parâmetros físicos, químicos e biológicos.

A qualidade da água exigida pelos diversos usos é diferenciada. Assim sendo, uma água pode ser considerada de boa qualidade para lazer e recreação, mas não para o consumo humano ou irrigação. E ainda, dentro dos usos específicos a exigência também é diferenciada, por exemplo, uma água pode ser considerada de boa qualidade para ser utilizada em um determinado sistema de irrigação (aspersão), e por causa de sua carga de sedimentos, ser inaceitável para sistemas de irrigação localizados (micro-aspersão e gotejamento).

1.1.1. Determinação da qualidade da água para irrigação

Praticamente até o início deste século, os numerosos guias para o uso da água visando sua utilização na agricultura irrigada, segundo a sua qualidade, se restringiam somente a parâmetros que pudessem afetar o bom desenvolvimento da cultura irrigada ou o solo: pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, cálcio, magnésio, cloretos, sódio, potássio, nitratos, boro, sulfatos, carbonatos e bicarbonatos, e praticamente nenhuma atenção era dada aos parâmetros de degradabilidade deste recurso que pudessem afetar a saúde humana e animal, bem como o meio ambiente receptor desta água. Na prática, esse comportamento refletia a filosofia da revolução verde, que não possuía uma visão integrada da produção de alimentos com a preservação dos recursos naturais utilizados como insumos a essas produções agrícolas. Atualmente, em virtude de novas normas e legislações ambientais, vários parâmetros foram incorporados às análises de qualidade da água para fins de irrigação.

Parâmetros Físicos

Os parâmetros físicos da água incluem dois componentes: a natureza dos sólidos em suspensão e as substâncias dissolvidas, pois a água encontrada na natureza pode conter impurezas em suspensão ou dissolvidas, que podem dificultar ou até mesmo inviabilizar o seu uso para a irrigação. Os sólidos em suspensão podem ter

origem mineral (areia, silte, argila, etc.), ou orgânica (matéria orgânica morta, por exemplo detritos animais e vegetais, e viva por exemplo bactérias, vírus, protozoários e outros.) Quando às condições físicas da água forem suficientes para prejudicar o bom funcionamento dos sistemas de irrigação ou a qualidade final do produto agrícola, deve-se fazer o seu pré-tratamento. As folhas e os demais detritos vegetais podem ser facilmente retirados na própria captação, através do uso de telas nos poços de captação e/ou na própria válvula de pé do conjunto propulsor do sistema. As partículas minerais maiores, por exemplo areia, podem ser eliminadas pelo uso de separadores de partículas do tipo ciclone ou de tanques de sedimentação. As partículas minerais menores por exemplo silte e argila, podem ser removidas através de filtros de areia, disco ou tela (obrigatórios na instalação de sistemas de irrigação localizado).

Temperatura

As variações de temperatura afetam as concentrações de O_2 e CO_2 da água, o teor de carbonato, os valores de pH e, principalmente, a solubilidade dos sais no sistema (parâmetro importantíssimo quando da utilização de diferentes produtos na fertirrigação). Esse parâmetro deve ser medido em campo.

Resíduos (Turbidez e Sólidos Totais)

A determinação deste parâmetro é de grande importância quando se vai utilizar a água em irrigação pressurizada, principalmente a irrigação localizada (micro-aspersão e gotejamento), uma vez que indica a concentração de partículas sólidas em suspensão que podem obstruir os micro-aspersores e gotejadores, comprometendo a uniformidade de distribuição de água às plantas. Na tabela A, em anexo, são apresentados os parâmetros a serem analisados, quanto ao potencial de risco de entupimento dos sistemas de irrigação localizados. As partículas em suspensão podem restringir o uso da água para irrigação, requerendo pré tratamento para a sua utilização, por exemplo a filtração.

Bombas hidráulicas, tubulações e emissores têm sua vida útil reduzida quando a água utilizada apresenta quantidades excessivas de material vegetal e animal em suspensão. Esse material (sobretudo a areia) atua nos equipamentos de forma abrasiva, danificando fisicamente os componentes internos dos sistemas de irrigação, principalmente os rotores das bombas hidráulicas. Esse comportamento abrasivo aumenta de forma contínua o coeficiente de rugosidade interno das tubulações, requerendo com o passar do tempo, maiores potências instaladas para

o mesmo projeto hidráulico. Além do mais, as águas turvas podem ser impróprias para irrigação de hortaliças, principalmente as folhosas e as do tipo fruto, por depositarem resíduos sobre as partes comestíveis, prejudicando a aparência externa e a cotação do produto.

Parâmetros Químicos

Potencial Hidrogeniônico (pH)

É um parâmetro muito importante a ser analisado para água para fins de irrigação, pois está intimamente relacionado com as concentrações de outras substâncias presentes na água. Por exemplo, a água com pH acima de 8,3 poderá conter altas concentrações de sódio, carbonatos e bicarbonatos, podendo se tornar inadequada para a irrigação. E ainda, uma água com pH entre 7,5 a 8,0, geralmente apresenta a presença de carbonatos de cálcio e magnésio.

Segundo Paterniani & Pinto (2001), as águas de irrigação com pH inferior a 7 tornam-se corrosivas, enquanto valores acima de 7 favorecem a incrustação de materiais nas tubulações e equipamentos de irrigação. Assim, segundo os mesmos autores, nesses casos, a fim de melhor verificar os efeitos corrosivos e incrustantes da água, outros fatores, além do pH devem ser considerados tais como oxigênio dissolvido, gás sulfídrico, sólidos totais dissolvidos, cloretos, ferro, dureza total, entre outros. Segundo Ayers (1977), os valores de pH para a água de irrigação devem ser normalmente entre 6,5 e 8,4. Valores fora destes limites indicam que a utilização da água pode ocasionar problemas para o sistema de irrigação e/ou para o solo/cultura agrícola, sendo recomendado uma análise mais detalhada dos parâmetros que definem sua qualidade. Águas de baixa salinidade ($CE_a < 0,3$ dS/m), geralmente apresentam valores de pH fora do normal, o que indica a necessidade de se realizar uma análise química completa desta água, com o intuito de se determinar a possível causa desta anormalidade de valor. Águas com baixa salinidade, geralmente não causam problemas no solo e/ou plantas, porém podem colaborar para o aceleração do fenômeno de corrosão pela água dos componentes metálicos dos sistemas de irrigações, por exemplo, tubulações, arpersores, válvulas, medidores e outros.

O pH adverso (fora da faixa normal) da água de irrigação ocasiona mudanças muito lentas no pH do solo e essa anormalidade pode ser corrigida não na água (pois na prática trata-se de um processo complicado e inviável), mas no solo (calcário para corrigir um baixo pH e enxofre e outras substâncias ácidas para corrigir um alto pH).

Condutividade Elétrica e Sais Solúveis

A qualidade da água de irrigação é fortemente influenciada pelo tipo e a quantidade de sais dissolvidos em sua matriz. A classificação da água de irrigação quanto à sua salinidade (expressa pela sua condutividade elétrica – CE_a) é feita levando-se em consideração o conjunto de fatores determinantes da sua qualidade, relacionado com seus efeitos no solo, nas culturas e no manejo da irrigação (Chrisriansen, 1997). Em relação a esse conjunto de efeitos, geralmente as águas para irrigação são classificadas em função de quatro fatores básicos: concentração total de sais solúveis; concentração relativa de sódio em relação a outros cátions; concentração de carbonatos e bicarbonatos; e concentração de elementos (íons) fitotóxicos.

Concentração Total de Sais Solúveis

A adequação da água para fins de irrigação não depende unicamente do teor total de sais dissolvidos, mas também dos tipos de sais presentes na água. Logicamente, à medida que o conteúdo total dos sais aumenta, os problemas no solo e nas culturas irrigadas se agravam, o que requer o uso de práticas especiais de manejo para manter os rendimentos culturais aceitáveis.

A qualidade da água contendo maiores teores de sais pode ser avaliada também pelos seus efeitos deletérios para o solo, que possam surgir depois do seu uso a longo prazo. Esses efeitos deletérios que causa ao solo variam em tipo e intensidade e dependem do solo e do clima, bem como da habilidade e conhecimento no manejo do sistema solo-água-planta por parte do usuário. Na prática, não existe um valor fixo para a qualidade da água em relação à concentração total de sais solúveis. O que leva ao uso da água de certa qualidade está determinado pelas condições que controlam a acumulação dos sais e o efeito no rendimento das culturas. Os problemas mais comuns relacionados à salinidade das águas de irrigação são a velocidade de infiltração da água no perfil do solo e a toxidade, além de outros problemas, geralmente ligados à excessos de nutrientes na água de irrigação, que levam à redução dos rendimentos das culturas e/ou suas qualidades.

Teores relativamente altos de sódio (em relação aos teores de cálcio e magnésio), ou baixos de cálcio no solo, reduzem a velocidade com que a água de irrigação atravessa o perfil do solo irrigado. Esta redução pode atingir tal magnitude que o sistema radicular das plantas cultivadas não recebe água suficiente entre as freqüências de irrigação. A alta salinidade aumenta a velocidade de infiltração. Os problemas de infiltração ocasionados pela má qualidade da água ocorrem geralmente nos

primeiros centímetros do perfil do solo, e estão diretamente ligados à estabilidade estrutural do solo e ao teor de sódio em relação ao cálcio. A água com alto teor de sódio provoca o acúmulo deste íon na superfície do solo (nos primeiros centímetros de profundidade) dispersando os agregados presentes em partículas muito pequenas, que provocam a obstrução dos poros do solo, o que também pode ser provocado por teor de cálcio extremamente baixo. A dispersão dos solos e a destruição da sua estrutura ocorrem unicamente quando o teor de sódio supera o do cálcio, numa proporção acima de 3:1 (este teor relativo de sódio provoca problemas sérios de infiltração). Em alguns casos, as águas com baixo conteúdo de sais provocam o mesmo problema, porém mais como consequência de sua natureza corrosiva que do teor de sódio na água ou no solo. Essas águas de baixo conteúdo de sais propiciam que a maioria dos minerais solúveis (incluindo o cálcio) se dissolva e se lixivie ao longo do perfil do solo.

Quando os sais se acumulam na zona radicular, ocorrem perdas crescentes na produção agrícola. Esses são geralmente provenientes dos sais contidos nas águas de irrigação ou nas águas de lençol freático alto. O rendimento cultural diminui quando o teor de sais na solução do solo é tal que não permite que as culturas extraiam água suficiente na zona radicular, provocando assim, um estado de escassez hídrica no interior das plantas, em um período relativamente longo, que contribui para perdas percentuais da produção vegetal.

Quando a concentração de íons como cloreto, sódio e boro está relativamente alta, podem ocorrer problemas de fitotoxicidade, pois os vegetais podem absorvê-los e acumulá-los em seus tecidos em concentrações suficientes para provocar danos e redução no rendimento cultural. A magnitude destes danos depende da quantidade de íons absorvidos e da sensibilidade das plantas. Neste caso, culturas perenes são mais sensíveis do que as culturas anuais. Em geral os sintomas de toxicidade se expressam como queimaduras nas bordas das folhas e clorose inter-nervural, pois uma vez absorvidos, os íons são transportados às folhas onde se acumulam durante o processo de transpiração, atingindo assim, maior concentração. Essa toxicidade pode também ser manifestada quando os íons tóxicos são absorvidos pelas folhas das culturas molhadas durante a aplicação de água por aspersão, pivot-central, canhão hidráulico, dentre outros. Neste caso, os íons sódio e cloreto são os principais íons absorvidos pelas folhas vegetais e a toxicidade destes íons pode causar problemas para as culturas sensíveis.

A toxicidade iônica mais freqüente é provocada pelo cloreto contido na água de irrigação. Em culturas sensíveis, esses sintomas se manifestam em concentrações de 0,3 a 1,0% em base do peso seco das folhas.

A toxicidade do sódio é mais difícil de se diagnosticar que a do cloreto. Para muitas culturas (principalmente espécies arbóreas), o nível tóxico na folha encontra-se em concentrações acima de 0,25 a 0,50%, em base de peso seco das folhas.

O boro é um elemento químico essencial para o desenvolvimento vegetal. Necessário em quantidades relativamente pequenas, mas torna-se tóxico quando ultrapassa alguns níveis. As águas dos corpos hídricos superficiais em raríssimas vezes contêm níveis tóxicos de boro, porém, nascentes e em poços podem conter concentrações tóxicas, principalmente nas proximidades de falhas sísmicas e áreas geotérmicas. Os sintomas de toxicidade do boro aparecem, em geral, como manchas amarelas ou secas (necrose), nas bordas e ápices das folhas mais velhas. À medida que o boro se acumula, os sintomas se estendem pelas áreas internervurais até o centro das folhas. Para a maioria das culturas os sintomas de toxicidade do boro se manifestam quando a concentração foliar do elemento excede 250 a 300 mg/kg de matéria seca das folhas, mas nem todas as culturas sensíveis acumulam boro em suas folhas.

Com relação à condutividade elétrica e sais solúveis na água de irrigação, várias classificações foram propostas ao longo dos tempos. Nesta publicação adotaremos a classificação proposta pelos técnicos do laboratório de salinidade dos Estados Unidos por ser a mais utilizada internacionalmente, sendo baseada na condutividade elétrica da água de irrigação (CE_e), como indicadora do perigo de salinização do solo, e na razão de adsorção de sódio (RAS), como indicador do perigo de alcalinização ou sodificação do solo.

Perigo da Salinização e Sodificação do Solo:

A qualidade da água destinada à irrigação em relação aos seus sais presentes pode variar significativamente, segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos em sua massa. Os principais cátions e ânions presentes na água de irrigação são: cálcio, magnésio, sódio, pequenas quantidades de potássio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos e pequenas quantidades de nitratos e fluoretos. À medida que o conteúdo total de sais aumenta, os problemas relacionados ao solo e às culturas irrigadas com essa água se agravam, o que requer o uso de práticas especiais de manejo, para que se consiga manter os rendimentos de produtividade das culturas

a um nível econômico aceitável. É importante ter em mente que, problemas com excesso de sais podem surgir após o uso desta água a longo prazo (efeitos acumulativos no tempo). Esses problemas também dependem do tipo de solo e do clima, bem como da habilidade e do manejo do sistema água-solo-planta-atmosfera por parte do usuário. Existem critérios rígidos estabelecidos mas, na prática não ocorre este rigor visto que em muitos casos, águas com problemas de salinidade são as únicas fontes disponíveis aos irrigantes. Deve-se dar especial atenção à acumulação de sais no perfil do solo e seus efeitos no rendimento das culturas. Os problemas de solo mais comuns, segundo os quais se avaliam os efeitos da qualidade da água relacionados à salinidade, são a velocidade de infiltração da água no perfil do solo, a toxicidade de íons específicos nas plantas e a redução dos rendimentos das culturas e/ou suas qualidades, corrosão excessiva dos equipamentos de irrigação, dentre outros.

Em relação ao perigo de salinização do solo, as águas que se destinam à irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons, variáveis fundamentais na determinação da qualidade agrônômica das mesmas. O efeito da salinidade é de natureza osmótica, podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade se refere ao efeito relativo do sódio da água de irrigação tendendo a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), com danos às propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração. A toxicidade diz respeito ao efeito específico de certos íons sobre as plantas, afetando o rendimento, independente do efeito osmótico. Em algumas situações, o efeito iônico pode se manifestar na forma de desequilíbrio nutricional (Holanda & Amorim, 1997).

A classificação da água destinada à irrigação, proposta por técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, é baseada na condutividade elétrica (CE), como indicadora do perigo de salinização do solo, e na razão de adsorção de sódio (RAS), como indicadora do perigo de alcalinização ou sodificação do solo.

Quanto ao perigo de salinização do solo, numa avaliação qualitativa, as águas se dividem em quatro classes de salinidade, segundo sua condutividade elétrica (CE), ou seja, à medida que aumenta a concentração de sais e conseqüentemente sua condutividade elétrica, recebendo denominações crescentes e sucessivas de C_1 , C_2 , C_3 e C_4 :

C₁ – Água com baixa salinidade (CE entre 0 e 250 micromhos/cm, a 25° C).

Essa água pode ser usada na irrigação da maioria das culturas agrícolas e na maioria das classes de solos, com pouca possibilidade de ocasionar salinidade no solo e/ou decréscimo de produção vegetal. Se necessária alguma lixiviação de sais, pode ser efetuada nas práticas normais de irrigação, à exceção de solos com permeabilidade extremamente baixas.

C₂ - Água com média salinidade (CE entre 250 e 750 micromhos/cm, a 25° C).

Essa água pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle de salinidade no solo.

C₃ - Água com alta salinidade (CE entre 750 e 2250 micromhos/cm, a 25° C).

Essa água não pode ser usada em solos com deficiência de drenagem. Mesmo em solos com drenagem adequada, requer práticas especiais de manejo de solo e água para o controle da salinidade. Pode ser utilizada somente para plantas de alta tolerância aos sais. Os riscos apresentados por essa classe de água podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada, mantendo o solo continuamente úmido, praticando altíssima frequência de reposição da lâmina de irrigação (Holanda & Amorim, 1997).

C₄ - Água com muito alta salinidade (CE entre 2250 e 5000 micromhos/cm, a 25° C).

Essa água não é apropriada para irrigação em condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais em solos muito permeáveis e de excelente drenagem interna, utilizando plantas altamente tolerantes aos sais. Nestas condições, a utilização desta classe de água, requer um excesso de aplicação de água nas irrigações com o objetivo de promover a lixiviação dos sais do perfil de solo.

Quanto ao perigo de sodificação ou alcalinização do solo, a classificação das águas de irrigação se baseia essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade. No solo, a água de irrigação promove um processo de intercâmbio catiônico, entre os colóides da matriz do solo e os íons dissolvidos presentes na água infiltrada no

seu perfil. Para considerar o grau provável em que o solo adsorverá o sódio da água de irrigação, assim como a velocidade em que tal adsorção ocorrerá ao se aplicar a água, determina-se o índice conhecido como razão de adsorção de sódio (RAS). O valor da RAS pode ser calculado mediante a seguinte equação:

$$\text{RAS} = \text{Na}^{+1}/[(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/2]^{1/2}$$

Como o perigo de sodificação depende ao mesmo tempo da concentração relativa do sódio em relação aos outros cátions e da concentração total de sais presentes na água, não se pode estabelecer valores críticos da RAS de forma independente. Em termos práticos, o valor da RAS da água de irrigação aumenta no solo em consequência do aumento da concentração total de sais e da possível precipitação dos teores de cálcio e magnésio, à medida que diminui o conteúdo de umidade a ser extraído pelas plantas e perdido por evaporação superficial (Paterniani & Pinto, 2001).

Richards (1954) dividiu as águas quanto ao risco de sodificação em quatro classes, tomando por base os valores limites da RAS, em função da CE da água de irrigação, com as seguintes interpretações:

S₁ - Água com baixa sodicidade ou com baixa concentração de sódio (RAS < 18,87 – 4,44log CEa)

Pode ser usada para a irrigação da maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável. Entretanto, em culturas sensíveis podem acumular quantidades prejudiciais de sódio.

S₂ - Água com média sodicidade ou com média concentração de sódio (RAS 18,87 – 4,44log CEa < RAS < 31,31 – 6,66log CEa)

Só pode ser usada em solos de textura grossa (arenosos) ou em solos orgânicos de boa permeabilidade. Em solos de textura fina (argilosos), o sódio desta classe de água representa um perigo considerável de dispersão com redução de permeabilidade.

S₃ - Água com alta sodicidade ou com alta concentração de sódio (RAS 31,31 – 6,66log CEa < RAS < 43,75 – 8,87log CEa)

Pode produzir níveis críticos de sódio trocável na maioria dos solos. O uso desta água requer práticas especiais de manejo do solo, boa drenagem, alta lixiviação e adição constante de matéria orgânica. Em solos com muito gesso, pode não desenvolver níveis prejudiciais de sódio trocável. Pode requerer uso de corretivos químicos para a substituição do sódio trocável, exceto quando apresentar salinidade muito elevada (Paterniani & Pinto, 2001).

S₄ - Água com muito alta sodicidade ou com muito alta concentração de sódio (RAS > 43,75 – 8,87log CEa)

É uma classe inadequada para uso em irrigação exceto quando a sua salinidade é baixa ou média e/ou quando a concentração de cálcio no solo é alta e/ou a aplicação de condicionadores (corretivos químicos) não se torna anti-econômica.

Além do cálculo da RAS, outro parâmetro de salinidade pode ser medido, e tem a finalidade de investigar o efeito da precipitação de cálcio e magnésio no solo em forma de carbonato, quando utilizadas águas que contém elevadas concentrações de íons bicarbonatos. A presença destes íons na água de irrigação reduz a concentração de cálcio e magnésio na solução do solo, e, conseqüentemente aumenta a proporção de sódio, uma vez que a solubilidade do carbonato de sódio é superior à dos carbonatos de cálcio e magnésio. Esse parâmetro é denominado de percentagem possível de sódio (PPS), e pode ser calculado em miliequivalentes por litro pela equação abaixo, desde que a concentração de $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ não exceda a de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$:

$$\text{PPS} = \frac{\text{Na}^{+1} \times 100}{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^{+1}) - (\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-1})}$$

Visando considerar os efeitos desses íons bicarbonatos contidos na água, Ayers & Westcot (1976) propuseram uma modificação na equação da RAS, introduzindo o parâmetro pHc. Essa modificação levou ao cálculo de uma nova relação de RAS, denominada de relação de adsorção de sódio ajustada (RAS_{aj.}), e é calculada pela equação:

$$\text{RAS}_{aj.} = \{\text{Na}^{+1}[1 + (8,4 - \text{pHc})]\} / [\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}] / 2^{0,5}$$

O parâmetro pHc é calculado pela equação:

$$\text{pHc} = (\text{pK} - \text{pKc}) + \text{p}(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) + \text{pAlc}$$

Os valores desta equação são obtidos em função dos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , CO_3^{-2} e HCO_3^{-1} , utilizando a tabela B, em anexo. Com a soma dos valores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , se determina o $\text{pK} - \text{pKc}$. Com a soma do Ca^{+2} e Mg^{+2} se determina o p ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) e com a soma dos bicarbonatos (CO_3^{-2} e HCO_3^{-1}) se obtém o pAlc . O pHc é o valor calculado do pH que avalia a tendência da água de irrigação em dissolver ou precipitar o cálcio do solo. Valores acima de 8,4 indicam a tendência da água em dissolver óxido de cálcio, enquanto que valores inferiores a 8,4 indicam a tendência da água em precipitar o óxido de cálcio, favorecendo o acúmulo de sódio no solo, afetando a permeabilidade do mesmo e, em consequência, a dinâmica da água no sistema.

Dureza

A dureza da água está associada à concentração de cátions metálicos bivalentes de Ca^{+2} e Mg^{+2} . Esses cátions podem reagir com ânions presentes na água e formar precipitados. A utilização de água classificada como dura para a irrigação pode provocar incrustações nas tubulações e nos sistemas hidráulicos como um todo, aumentando a perda de carga no sistema, e, conseqüentemente, aumentar a potência requerida do mesmo. Faz-se a redução da dureza da água adicionando produtos químicos na água (geralmente ácidos), por um custo muito elevado. Para águas consideradas duras ou muito duras, se for realmente necessário o seu uso na irrigação, deve-se dar prioridade à escolha de sistemas por superfície. Os sistemas de irrigações pressurizados (principalmente gotejamento e microaspersão) devem ser evitados.

Quanto a esse parâmetro, a água é classificada em função da concentração de carbonato de cálcio (CaCO_3), e pode ser sub-classificada como dureza carbonato e dureza não carbonato, dependendo do ânion a que está associada.

A produtividade das culturas parece ser menor nos solos com altos teores de magnésio, ou quando se irrigam com águas que contém altos níveis deste elemento, mesmo quando a infiltração é adequada. Este fato se deve, possivelmente, à deficiência de cálcio, induzida por excesso de magnésio trocável no solo (Ayers & Westcot, 1991). Ainda que não esteja definitivamente comprovado, pode-se inferir que as águas de irrigação com excesso de magnésio ($\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2} < 1$), podem produzir sintomas de deficiência nas plantas, caso não haja no solo cálcio suficiente para contrabalancear seus efeitos (Ayers & Westcot, 1991).

Nitrogênio

O nitrogênio contido nas águas de irrigação exerce o mesmo efeito nas plantas que aquele aplicado com os fertilizantes em adubações de cova, de cobertura, assim como os aplicados via água na fertirrigação. Logo, a aplicação em quantidades excessivas, via água de irrigação, pode promover o crescimento vegetativo acentuado, retardar a maturação dos frutos ou provocar colheitas de baixa qualidade.

Na água de irrigação, o nitrogênio encontra-se em todas as formas possíveis: nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico, amônia (NH_3), amônio (NH_4^{+1}), nitrito (NO_2^{-1}) e nitrato (NO_3^{-1}). O nitrogênio mais facilmente assimilável pelas plantas encontra-se em forma de nitrato e amônio. A forma mais freqüente nas águas de irrigação é a de nitrato, enquanto que nelas o nitrogênio em forma de amônio é raras vezes superior a 1 mg/L, a menos que contenham águas residuárias (10 a 50 mg/L) ou fertilizante contendo nitrogênio amoniacal. O teor de nitrogênio em forma de nitrato, na maioria das águas subterrâneas e superficiais, é normalmente inferior a 50 mg/L.

A maioria das culturas não é afetada por concentrações de nitrogênio inferiores a 30 mg/L, enquanto que culturas sensíveis poderão ser afetadas por concentrações superiores a 5 mg/L.

O excesso de nitrogênio pode propiciar a eutrofização, isto é, a proliferação de algas e redução do oxigênio dissolvido das águas nos reservatórios e nas tubulações e gotejadores dos sistemas destinados à irrigação que poderão ser obstruídos. O uso de algicidas, cloro e filtros biológicos específicos é recomendado neste caso.

Fósforo

Possui importância semelhante ao nitrogênio quando presente nas águas de irrigação. É um dos elementos responsáveis pelos processos de eutrofização em reservatórios quando presente em altas concentrações. Geralmente é encontrado nas águas nas formas de ortofosfatos, sendo o mais comum delas o HPO_4^{-2} . A tabela C, em anexo, indica o estágio de eutrofização dos corpos d'água.

Ferro e Manganês

O ferro e o manganês normalmente estão presente na água nas formas insolúveis (Fe^{+3} e Mn^{+4}). Esses elementos podem precipitar na presença de oxigênio dissolvido na água, convertendo-se em fortes contribuintes para a obstrução de gotejadores (Sperling, 1996, citado por Paterniani & Pinto, 2001).

A potencialidade do ferro em causar problemas de obstrução nos gotejadores é mais difícil de se avaliar, devido ao fato de que, frequentemente, este elemento contribui para a formação de mucilagens produzidas por ferrobactérias. A concentração de ferro de 0,5 mg/L, vista na tabela D, em anexo, deve ser considerada a máxima permissível, porém, quando no sistema de irrigação se utiliza boa filtração, o valor máximo prático é de 20 mg/L. Quando o total de sulfeto ou de substâncias adstringentes na água excede o valor de 2,0 mg/L, o teor de 0,5 mg/L de ferro deve ser considerado como um problema potencial (Ayers & Westcot, 1991, citado por Gheyi, *et al.*, 1995).

Para se evitar a precipitação de ferro nos emissores (particularmente nos gotejadores), deve-se provocar a precipitação e filtração do mesmo antes que o elemento entre no sistema de irrigação. Para isso, o ferro é oxidado à forma insolúvel, geralmente por cloração ou por aeração da água em tanques abertos (utilizando torres piramidais com pás), ou se injetando, mecanicamente, ar na água para introduzir a oxidação e precipitação do ferro. Uma vez precipitado o ferro, este pode ser separado por meio de filtros adequados. As figuras 1, 2 e 3 mostram aeradores muito utilizados por produtores de mamão nos tabuleiros costeiros do Estado do Espírito Santo, onde as águas de irrigação provenientes do lençol freático contém altas concentrações de ferro em forma insolúvel.

Boro e Cloro

O boro é um elemento essencial para a nutrição vegetal requerido em quantidades bastante pequenas (0,03 a 0,04 mg/L). Porém, em concentrações um pouco maiores ele pode ser muito tóxico para algumas culturas agrícolas. Logicamente, o nível de concentração que o torna tóxico varia de acordo com a espécie vegetal.

O cloro quando presente acima de concentrações de 3 meq/L (106 mg/L) começa a acumular problemas de absorção foliar pelos vegetais, e acima de 4 meq/L começam a surgir problemas com absorção radicular. A tabela E, em anexo, mostra os valores permissíveis de boro e cloro nas águas de irrigação.



Fig. 1. Torre de aeração para água contendo ferro precipitado, a ser utilizado em sistema de irrigação localizado. Calliman Agrícola- Linhares-ES.

Foto: Sílvio Tavares.



Fig. 2. Torre de aeração para água contendo ferro precipitado, a ser utilizado em sistema de irrigação localizado. Calliman Agrícola – Linhares - ES.

Foto: Sílvio Tavares.



Fig. 3. Detalhe do tanque de recalque antes da pré-filtração da água contendo ferro precipitado. Calliman Agrícola – Linhares - ES.
Foto: Sílvio Tavares.

Oligoelementos

As análises de oligoelementos geralmente não são realizadas como análises de rotina. Este fato é evidenciado tanto pelo alto preço da análise como também pela pouca disponibilidade de laboratórios no Brasil capacitados para proceder tais análises. Logo, recomenda-se realizá-las somente quando há suspeita de potencial de toxicidade da água. Essa suspeita deve ser maior quando se utiliza águas residuárias na irrigação ou quando se utiliza águas de corpos hídricos em regiões com problemas relacionados à poluição destes corpos hídricos.

Geralmente, a maioria das águas contém baixas concentrações de oligoelementos ($< 0,1$ mg/L) e as águas superficiais costumam ter concentrações mais baixas do que as águas subterrâneas. Como as implicações na fisiologia vegetal variam muito de planta para planta, não se pode estabelecer regras gerais, e sim parâmetros orientadores para tomadas de decisão quanto ao uso e/ou correção de determinada água. Alguns oligoelementos são considerados essenciais para o crescimento e produção vegetal, como o Fe, Mn, Mo e Zn, já discutidos anteriormente.

Dentre os oligoelementos presentes na água, os metais pesados recebem maior atenção por serem tóxicos às plantas, animais e ao homem quando encontrados em concentrações elevadas. Os metais pesados mormente encontrados na água

são: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata. O grande perigo reside no fato dos metais pesados participarem do mecanismo de bioacumulação na cadeia alimentar, transferindo-se aos organismos situados em degraus superiores da cadeia alimentar.

Em relação à presença de metais pesados em corpos hídricos, já existe no Brasil uma legislação estadual (São Paulo) que estabelece os valores orientadores para águas subterrâneas (CETESB, 2001). As concentrações naturais de metais em águas subterrâneas, com exceção do ferro, encontram-se geralmente abaixo de 1 mg/L. Isto se deve a fatores de atenuação que regulam a solubilidade dos metais, como a adsorção em minerais de argila, em hidróxidos de ferro e manganês e na matéria orgânica do solo (Freeze & Cherry, 1979).

A remoção de oligoelementos indesejáveis e/ou em quantidades elevadas na água requer a utilização de processos físico-químicos combinados, como coagulação, filtração e em alguns casos osmose reversa. A tabela F, em anexo, recomenda as concentrações máximas de oligoelementos nas águas de irrigação, para evitar acumulações a longo prazo e para proteger os solos contra danos irreversíveis. As diretrizes desta tabela são aplicáveis tanto às irrigações promovidas com águas residuárias, quanto às que utilizam essas águas misturadas a outras. Os limites estabelecidos nesta tabela devem ser atualizadas constantemente à luz do conhecimento científico, visto que, com estudos mais aprofundados, pode-se chegar à conclusão de que alguns elementos em concentrações que ultrapassem os limites recomendados não são tão tóxicos e, por outro lado, concentrações consideradas não-tóxicas, em culturas mais sensíveis podem apresentar problemas.

A Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (FEEMA), através do seu Manual do Meio Ambiente (FEEMA, 1979), estabelece critérios de qualidade de água para irrigação de hortaliças ou frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem a remoção de casca ou película, bem como critérios de qualidade de água para irrigação de culturas arbustivas, cerealíferas e forrageiras. As tabelas G e H, em anexo, mostram esses critérios.

Obstruções nos sistemas de Irrigação Localizada

Os emissores (gotejadores e em menor frequência os microaspersores) podem ser obstruídos por sedimentos, substâncias químicas e organismos biológicos, contidos frequentemente nas águas de irrigação. A tabela I, em anexo, apresenta um

resumo destes elementos. Essa obstrução pode ser causada por um dos elementos ou por um conjunto deles atuando simultaneamente. Quando se aumenta esse conjunto de elementos, geralmente aumenta a dificuldade de contorná-los. Por exemplo: Uma obstrução provocada originalmente por mucilagens, pode agravar-se pela acumulação de sedimentos sobre os mesmos.

Remediar os entupimentos do sistema de irrigação localizado é quase sempre impraticável e anti-econômico, o que leva a tomada de medidas eficazes por conta do agricultor irrigante de prevenir a obstrução dos emissores desde o início da operação do projeto, mediante a utilização de filtros específicos e medidas de manejo adequados.

A tabela J, em anexo, mostra os elementos que devem ser incluídos na análise da água que será utilizada num sistema de irrigação localizada. A tabela K, em anexo, mostra os problemas e o grau de restrição de uso da qualidade da água a ser utilizada neste sistema de irrigação, conforme sua qualidade.

1.1.2. Determinação da qualidade da água para criação animal

Uma das utilizações dos corpos hídricos de uma propriedade agrícola é a dessedentação animal, tanto de ruminantes quanto de monogástricos. Em sua grande maioria, nenhum tratamento prévio é dispensado à água de abastecimento dos animais, e geralmente do mesmo conjunto de bombas utilizado para a irrigação, derivam água para o consumo animal.

Do ponto de vista da salinidade, os requisitos de qualidade são mais rigorosos para as águas de irrigação que para as utilizadas no consumo animal, porém as águas altamente salinas e aquelas que contêm elementos tóxicos representam perigo para os animais e podem chegar a afetar a qualidade da carne e do leite, até o ponto de torná-los inadequados para o consumo (Ayers & Westcot, 1991, citado por Gheyi, *et al.*, 1995).

A utilização de águas salinas em regiões áridas e semi-áridas para o consumo animal é, em geral, muito comum durante a maior parte do ano, as quais podem ser encontradas em barreiros, pequenos poços, canais, riachos e nascentes. Quando essas águas contêm altos níveis de sais, podem provocar dessaranjos fisiológicos e até a morte dos animais. O efeito mais comum causado nos animais é a falta de apetite, que tem origem não apenas em um desequilíbrio no conteúdo de água nos tecidos, mas também, em uma toxicidade iônica. Muito comum como expressão

deste desequilíbrio é a diarreia no gado bovino quando consome águas com alto teor de magnésio. A tabela L, em anexo, orienta sobre os níveis de magnésio tolerados pelas aves e gados de uma maneira geral. Deve-se deixar claro que poucos estudos foram realizados em relação à qualidade de água nos rebanhos, já que essa matéria apresenta variações segundo as espécies dos animais.

Quanto ao nível de salinidade como um todo, a Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos (National Academy of Sciences, 1972), estabeleceu que as águas com condutividade elétrica inferior a 5 dS/m são satisfatórias para o gado, praticamente em qualquer circunstância. Essa academia propõe um guia de orientação de qualidade da água para o abastecimento animal com relação à salinidade presente (tabela M, em anexo).

Em relação às substâncias e aos íons tóxicos que possam representar perigo à saúde animal, deve-se normalmente nortear pelos níveis recomendados pela Organização Mundial de Saúde para consumo humano, tendo em mente que esses níveis dependem de muitos fatores, entre os quais se encontram o consumo diário de água pelo animal e o seu peso. A tabela N, em anexo, apresenta os níveis máximos de elementos inorgânicos tóxicos, que a Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos recomenda não exceder nas águas para a dessedentação do gado. Esses valores têm ampla margem de segurança e se baseiam nas concentrações geralmente encontradas em águas subterrâneas e superficiais, consideradas para o consumo animal, e não representam, necessariamente, os níveis de tolerância dos animais (Ayers & Westcot, 1991, citado por Gheyi, *et al.*, 1995).

A FEEMA, através do seu Manual do Meio Ambiente (FEEMA, 1979), estabelece critérios de qualidade de água para dessedentação e criação de animais. A tabela O, em anexo mostra esses critérios.

1.2. Determinação da qualidade da água para fins ambientais

Apesar de o Brasil ser um dos países com maior potencial hídrico do mundo, regiões onde o contingente populacional é maior enfrentam problemas de qualidade da água, pois grande parte dos seus corpos d'água encontram-se parcialmente ou completamente poluídos e já não podem ser destinados aos usos nobres como o abastecimento doméstico. Por este, entre outros motivos, é que se torna importante conhecer as características dos corpos d'água (rios, córregos, represas, corpos hídricos subterrâneos, entre outros). Este processo ocorre, geralmente, por

um sistema de monitoramento da qualidade da água. As características que descrevem as propriedades de um dado ecossistema aquático são conhecidas por propriedades limnológicas ou variáveis limnológicas. Estas, como o próprio nome evidencia, são propriedades que variam no tempo e no espaço, quer num dado sistema aquático, quer entre sistemas diferentes (Novo & Braga, 1995).

Diversos são os fatores que levam à deterioração da água, podendo ser classificados em fontes pontuais e difusas. As fontes pontuais se caracterizam, essencialmente, pelos efluentes domésticos e industriais, já as difusas são caracterizadas pelos resíduos provindos da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros), podendo ser citados ainda o escoamento superficial urbano e dos pátios de indústrias. Este tipo de poluição pode ser intensificado pela irrigação, pela compactação do solo devido à mecanização, ao desflorestamento (inclusive de mata ciliar), pela ausência de práticas conservacionistas do solo, aos processos erosivos, e outros fatores.

Portanto, com a entrada dos poluentes e nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, ocorre uma proliferação de algumas espécies de algas e a diminuição do oxigênio na coluna d'água, favorecendo o aumento de bactérias anaeróbias, podendo atribuir sabor e cheiro desagradável à água, restringindo o seu uso. Este processo é denominado de eutrofização do corpo hídrico.

Após se estabelecer o objetivo do monitoramento e os parâmetros a serem analisados, alguns cuidados devem ser tomados, sendo alguns deles recomendados por Smith & McBride (1990), a seguir:

- As peculiaridades dos diversos tipos de corpos d'água e trechos dos mesmos com diferentes características devem ser consideradas (rios, lagos, água subterrânea, oceanos, diferentes compartimentos de reservatórios, dentre outros);
- Determinação das possíveis estações e períodos de amostragens, visando melhor representatividade espacial e temporal;
- A frequência na obtenção dos dados deve estar também acoplada aos ciclos sazonais e às características hidrológicas da área;

- Deve-se considerar a proximidade das estações amostrais das fontes de poluição e uso e cobertura da terra da bacia de drenagem;
- Avaliação da acurácia necessária ao programa de monitoramento;
- Os operadores de campo devem estar capacitados visando manter a integridade das amostras durante a coleta, transporte e armazenamento;
- A análise das amostras deve ser feita em laboratórios apropriados, assim como os equipamentos de medição em campo devem estar calibrados e em boas condições e os procedimentos analíticos devem garantir a confiabilidade dos resultados;
- No momento das análises dos resultados, deve-se considerar o efeito diluição (precipitação e vazão), assim como procurar comparar os valores dos parâmetros com os limites estabelecidos pela legislação, considerando o fim que esta água terá;
- Desenvolver sistemas de armazenamento dos dados de forma adequada e segura (Banco de Dados);
- Avaliar os custos do programa, e,
- Sempre que possível é importante que o monitoramento de qualidade da água tenha continuidade, dentre outras recomendações.

Quanto à forma como é efetuado e ao tipo de técnicas envolvidas, o monitoramento de qualidade da água pode ser classificado em:

- *Convencional*: atualmente é feito com auxílio de sensores portáteis para medição *in situ*, porém, com a maior parte dos parâmetros sendo analisados em laboratório;
- *Participativo e educativo*: monitoramento realizado com o objetivo de educação ambiental e participação da comunidade na gestão dos recursos hídricos, utilizando *kits* de análise *in situ*. Esta metodologia inclui além das análises de alguns parâmetros de qualidade de água convencionais, uma análise perceptiva, a partir das observações de campo.

- *Em tempo real ou contínuo (Telemetria):* é feito por estação automática, provida de amostrador contínuo, tendo capacidade para medição de vários parâmetros como oxigênio dissolvido, pH, temperatura, condutividade, carbono orgânico total, diversos íons, turbidez e clorofila. A transmissão dos dados é feita via satélite em tempo real. Segundo Toms (1975), um sistema telemétrico é muito útil em rios ou reservatórios que servem ao abastecimento público e ao mesmo tempo recebem vários tipos de efluentes devidamente tratados. O monitoramento contínuo permite a detecção instantânea de qualquer falha que possa ocorrer nestes tratamentos, bem como qualquer tipo de descargas acidentais, e,
- *Biológico:* Utiliza organismos para uma melhor avaliação e entendimento das condições existentes na água, por meio de vigilância comportamental e medidas em animais, vegetais, algas e fungos. Assumem grande importância quando se deseja determinar os efeitos de contaminantes presentes no ambiente ao longo do tempo. Quando este tipo de estudo é realizado em laboratório utilizando métodos de bioensaios, onde os organismos são submetidos a diferentes concentrações dos contaminantes, denomina-se ecotoxicologia. Mas pode-se ainda estudar o comportamento dos organismos na natureza com relação aos contaminantes, sendo denominados de indicadores biológicos. Porém, de acordo com os objetivos e necessidades de cada programa, esses tipos de monitoramento podem ser conciliados, atribuindo maior eficiência ao mesmo.

E ainda, o monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos. Segundo Coimbra (1991), o monitoramento qualitativo fornece a base para decisões de aproveitamento múltiplo e integrado dos recursos hídricos, bem como a minimização de impactos ao meio ambiente, diante da possibilidade de se avaliar conjuntamente as características da água com sua adequação aos usos previstos, ou por meio da definição de projetos de recuperação e identificação dos níveis de poluição.

No entanto, o monitoramento regular e confiável, não é uma tarefa fácil, devido à complexidade destes ecossistemas. Há problemas metodológicos que precisam ser resolvidos para se encontrar uma abordagem de baixo custo e confiável superando a disponibilidade de recursos e de mão-de-obra especializada. Porém, não é ainda suficiente identificar e monitorar apenas os vários parâmetros técnicos, sociais, ambientais e econômicos; é essencial rever a estrutura institucional e suas restrições, uma vez que são as instituições envolvidas, que em última análise, precisam

desenvolver e implantar uma política apropriada para o monitoramento dos corpos hídricos (Biswas, 1991).

Convém mencionar ainda que não existe um monitoramento único e aplicável a todos os corpos hídricos, uma vez que cada sistema apresenta suas características próprias, sejam elas de localização geográfica, hidrológicas, climáticas, utilização antrópica da água, dentre outras. O conhecimento do corpo d'água permite estabelecer os pontos chaves sobre os quais se deve focar o monitoramento.

Finalmente, vale ressaltar que para haver um avanço no sistema de monitoramento dos recursos hídricos no Brasil são necessários avanços conceituais, gerenciais, institucionais, no balanço de massa, na modelagem ecológica e na aplicação de novas técnicas como, por exemplo, as de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

2. Coleta, Acondicionamento, Preservação e Transporte de Amostras de Água

Para garantir a caracterização e o monitoramento da qualidade da água, seja referente ao seu uso ou para identificar o nível de degradação de um determinado corpo d'água, é de fundamental importância que sejam tomadas medidas adequadas nas etapas de coleta, acondicionamento, preservação e transporte das amostras. Sendo assim, os procedimentos recomendáveis serão apresentados na seqüência.

2.1. Coleta de amostras

Em todo o campo da ciência e tecnologia aplicadas à avaliação de parâmetros de estudos, erros de identidade são inadmissíveis e em geral, se configuram como erros de amostragem. Por mais sofisticados que sejam os equipamentos e técnicas empregados nos laboratórios de análises de água, não se pode pretender que essas sofisticadas não levem a erros de precisão, devido a erros acumulados que se iniciam na coleta da amostra a ser analisada se a mesma não for coletada com o máximo rigor e critério. A amostra colhida em local impróprio, com técnica inadequada ou sujeita a adulteração posterior, pode por a perder todo o esforço humano e recursos laboratoriais e financeiros despendidos para o diagnóstico do estado da qualidade dessa água, e na tomada de decisão posteriormente ao diagnóstico.

Devido as enormes variações nas condições locais para as coletas de amostras de água e das diferentes finalidades de uma amostragem, torna-se impossível o estabelecimento de normas absolutas para todos os casos. Existem, entretanto, princípios gerais aplicáveis na maioria dos casos, e que podem ser adaptados sempre que necessário (Souza & Derísio, 1977).

O objetivo de qualquer amostragem é sempre coletar uma porção representativa para exame, cujo resultado fornecerá uma imagem real do universo estudado em um volume de água pequeno o bastante para ser convenientemente transportado e manuseado no laboratório e que represente, o mais acuradamente possível, o material coletado.

2.1.1. Plano de Coleta

Para o planejamento da amostragem, devem considerar os recursos disponíveis, os parâmetros a serem analisados, o tempo entre a coleta e a análise, as condições como irregularidade na corrente d'água resultante de obstruções naturais ou artificiais, entre outros.

Estabelecer um plano de coleta de amostras é uma das etapas necessárias à identificação da qualidade das águas, e dele dependem todas as etapas subseqüentes: análises laboratoriais, interpretação de dados, elaboração de relatórios e tomada de decisões quanto à qualidade da água.

Para evitar que os custos da caracterização da água ultrapassem os benefícios que dela advêm, deve-se planejar cuidadosamente todas as etapas conforme o fluxograma apresentado na figura 4.

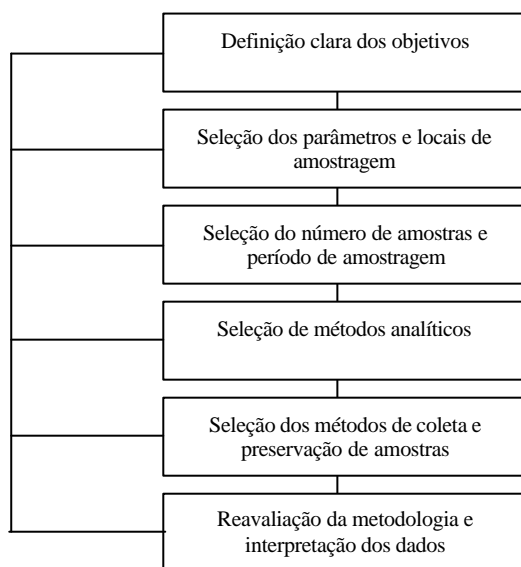


Fig. 4. Fatores a serem considerados no planejamento de programa de amostragem.
Fonte: Adaptado de CETESB, 1987.

2.1.2. Cuidados Gerais nas Amostragens

2.1.2.1. Frascos de Coleta

A escolha do tipo de frasco de coleta e armazenagem é muito importante porque pode influenciar a estabilidade e as características das amostras.

Os frascos de coleta podem ser de vidro neutro (borossilicato ou outro tipo de vidro quimicamente inerte) ou plástico (polietileno, polipropileno ou policarbonato), com tampa que propicie uma boa vedação. As tampas devem ser criteriosamente escolhidas para que não apresentem vazamentos e que não

interajam com a amostra. Para os frascos de vidro recomenda-se rolhas de vidro esmerilhado. Não se deve utilizar rolhas de borracha, sabugos, cortiças, etc. Os frascos de vidro, apesar de serem passíveis de quebra no manuseio durante o trabalho e no transporte, são mais fáceis de lavar e esterilizar por calor.

A escolha do frasco vai depender também dos parâmetros de interesse, pois, existem algumas interações entre o material de composição do frasco e a amostra, que podem alterar o analito a ser quantificado. No caso dos frascos de vidro, pode ocorrer a transferência de boro, sódio e sílica do frasco para a água, pode haver a adsorção pelo vidro dos metais presentes na amostra e ainda haver a reação do vidro com o fluoreto da amostra. No caso dos frascos de plástico, a amostra pode ser contaminada pelas substâncias orgânicas do frasco e vice-versa.

Recomenda-se a utilização de frascos de boca larga para minimizar as chances de contaminação acidental e facilitar a sua limpeza e secagem.

As garrafas de plástico de água mineral podem ser utilizadas para a coleta desde que sejam devidamente limpas. Não se deve utilizar as garrafas de água mineral fluoretadas, iodadas e gaseificadas, nem reaproveitar frascos usados anteriormente com outros produtos que não a água mineral. Sempre que possível, solicitar os frascos ao laboratório, em virtude de uma lavagem criteriosa dos mesmos. A seguir, a tabela 2 apresenta as comparações entre os frascos de vidro e plástico.

Tabela 2. Comparações entre os frascos de vidro e plástico.

Aspecto	Frasco de vidro	Frasco de plástico
Limpeza	Fácil de limpar e esterilizar por calor.	A remoção de componentes adsorventes é mais difícil e a esterilização é feita por técnicas mais complexas.
Resistência física	Suscetível à quebra durante sua manipulação e transporte.	Bastante resistente.
Peso	Quando o plano de amostragem envolve um grande número de amostras, o peso do material coletado pode dificultar e encarecer o transporte.	Mais leve, facilita o transporte de um grande número de amostras.
Custo	Alto.	Baixo.
Interações entre o material e a amostra	Inerte a quase todos os constituintes, exceto à forte alcalinidade. Não pode ser utilizado quando se necessita analisar boro, sílica e sódio. Pode ocorrer reação do vidro com o fluoreto da amostra.	Inerte a quase todos os elementos, exceto a pesticidas, óleos e graxas. A amostra pode ser contaminada pelas substâncias orgânicas do frasco.

Fonte: Adaptado de Carvalho, 1995.

2.1.2.2. Limpeza dos Frascos

A limpeza dos frascos é necessária para que não haja contaminação das amostras por substâncias que estejam aderidas às suas paredes.

O procedimento ideal de limpeza é a utilização de ácido clorídrico ou ácido nítrico. Os frascos e as tampas devem ser lavados e escovados internamente com detergente neutro, enxaguados com bastante água de torneira e colocados de molho em solução de ácido clorídrico 10%v/v ou solução de ácido nítrico 10% v/v por, no mínimo, 24 horas. Em seguida enxaguados pelo menos cinco vezes com água ultra pura e secos naturalmente em posição invertida deixando a água escoar.

Os frascos descartáveis estéreis, geralmente feitos em polipropileno, podem ser utilizados quando o custo de limpeza for considerado alto.

Uma alternativa é lavar com detergente e água quente, enxaguar com água quente, água destilada ou do próprio manancial, e colocar para secar. A lavagem dos frascos destinados à coleta de água para determinação de fósforo total ou fosfato não deve ser feita com detergente que contenha fósforo em sua composição.

2.1.2.3. Quantidade de Amostra

O volume de amostra vai depender dos parâmetros a serem analisados. Deve-se prever também a necessidade de se fazer a repetição da análise em laboratório. De modo geral de 1 a 1,5 litros de amostra são o suficiente para a realização da maioria das determinações.

2.1.2.4. Identificação das Amostras

Os frascos de coleta devem ser devidamente identificados através de etiquetas protegidas com um plástico, para evitar que molhem e percam as informações escritas nelas. As etiquetas devem estar firmemente presas ao frasco. A identificação também pode ser feita diretamente sobre o frasco com tinta insolúvel em água.

Os dados que devem constar na etiqueta são: localização e procedência da água, data e hora de coleta, e nome do responsável pela coleta. A figura 5 a seguir mostra um modelo de etiqueta de identificação.

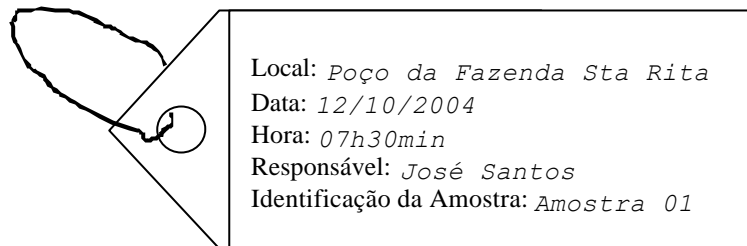


Fig. 5. Modelo de etiqueta de identificação de frascos para coleta de água.

Aconselha-se registrar todas as informações de campo em uma caderneta ou fichas de campo. Pode-se fazer uma ficha de coleta por amostra, ou por conjunto de amostras de mesmas características. A ficha deve conter as seguintes informações (adaptado de ABNT, 1987):

- identificação do ponto de amostragem e sua localização (estado, município, localidade, e, se possível, georreferenciar);
- data e hora da coleta;
- data e hora do recebimento da amostra pelo laboratório;
- tipo de amostra (efluente industrial, água de rio, potável, poço e outros);
- condições climáticas nas últimas 48 horas (principalmente chuva e temperatura);
- indicação dos parâmetros analisados em campo e resultados (pH, temperatura da amostra, temperatura do ar, cloro, leitura de vazão, leitura de nível e outros);
- indicação dos parâmetros a serem analisados em laboratório;
- tipo de preservação da amostra utilizado;
- espaço para eventuais observações anormais relacionadas à amostragem;
- nome do responsável pela coleta.

2.1.3. Procedimentos de Coleta

Os procedimentos de amostragem a serem adotados vão depender das características do corpo d'água a ser amostrado (rios, represas, oceanos, poços e outros), e da profundidade das amostras a serem obtidas. A seguir serão apresentados alguns procedimentos para coleta de água doce, sejam superficiais ou subterrâneas.

2.1.3.1. Águas superficiais (rios, córregos, represas)

Deve-se procurar selecionar pontos espacialmente representativos do corpo d'água a ser analisado, assim como das entradas de poluentes que se pretende detectar. De acordo com ABNT (1987), recomenda-se evitar a coleta de amostras em áreas estagnadas ou em locais muito próximos às margens.

O procedimento de coleta é bem simples e a dificuldade vai variar com a acessibilidade do local de coleta. Pode ser feito manualmente ou com o auxílio de equipamento.

- **Coleta Manual:** Remove-se a tampa do frasco com todos os cuidados de assepsia. Deve-se evitar apoiar a tampa do frasco em qualquer superfície de modo a evitar a sua contaminação. Desta forma, o responsável pela coleta deve segurar a tampa enquanto procede a amostragem. Em seguida, o frasco é mergulhado na água, enchido e esvaziado por três vezes seguidas. Na quarta vez ele é mergulhado com a boca para baixo, a cerca de 15 a 30 centímetros abaixo da superfície da água para evitar a entrada de contaminantes superficiais, e sua boca direcionada no sentido contrário à corrente e ligeiramente voltado para cima, de modo a permitir a saída das bolhas de ar durante a entrada da água no frasco (figura 6). Se a água for estática, deverá ser criada uma corrente superficial, através da movimentação do frasco na direção horizontal, sempre para frente. Deve-se encher o frasco até a borda, sem deixar espaço vazio (bolha de ar). Em seguida ele é fechado e identificado para ser encaminhado ao laboratório. Na amostragem de águas muito poluídas ou contaminadas, deve-se evitar que a pessoa que está coletando a amostra entre em contato direto com a mesma (DACACH, 1979).

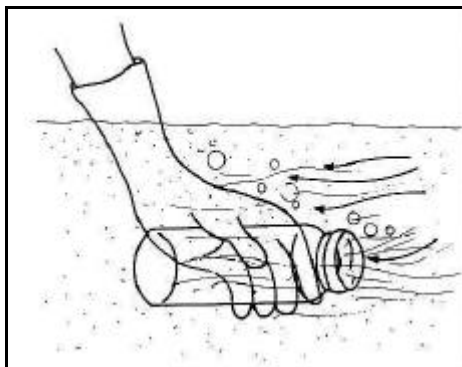


Fig. 6. Coleta manual (águas superficiais).

Fonte: ABNT, 1987.

- **Coleta com Auxílio de Equipamentos:** Caso a localização do ponto de amostragem impossibilite a coleta diretamente no local, é necessária a utilização de dispositivos adequados para essa finalidade, devendo a mesma ser efetuada a partir de pontes, barrancos e outros locais de acesso.
- **Amostragem em Profundidade:** Alguns equipamentos e acessórios são necessários para coleta de amostras em profundidade em um corpo d'água, dentre eles estão o amostrador de Zobell J-Z (figura 7a), o amostrador Niskin (figura 7b), o amostrador de Kremmerer (figura 7c) e o amostrador Van Dorn (figura 7d). Estes últimos são utilizados principalmente para coleta de amostras estratificadas, em corpos d'água poluídos.

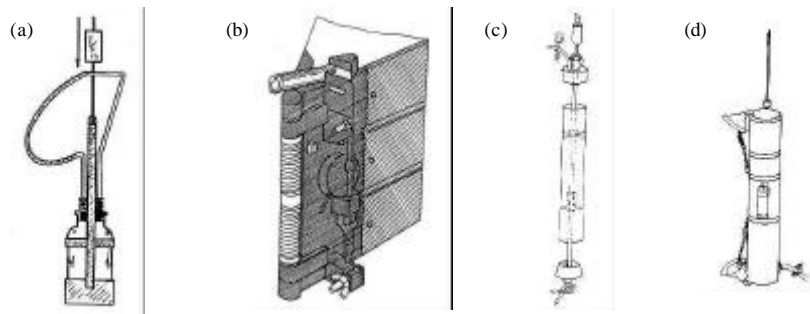


Fig. 7. (a) amostrador de Zobell J-Z , (b) amostrador Niskin, (c) amostrador de Kremmerer, (d) amostrador Van Dorn.
Fonte: ABNT, 1987; Souza & Derísio, 1977.

- **Amostragem de Sistemas de Distribuição de Água para Consumo Humano:** Antes de iniciar a coleta, recomenda-se verificar se o ponto recebe água diretamente do sistema de distribuição e não de caixas, reservatórios ou cisternas. A torneira não deverá conter aeradores ou filtros, nem apresentar vazamentos de água. Inicialmente, deve-se abrir a torneira e deixar a água escoar por 2 a 3 minutos, ou o suficiente para garantir que a água que se encontrava estagnada na tubulação tenha saído. Caso seja necessário, utilizar uma solução de hipoclorito para eliminar qualquer tipo de contaminação externa e removê-lo completamente antes da coleta. Depois a torneira é aberta a meia sucção (fluxo pequeno e sem respingos) por 2 minutos. A tampa do frasco é removida e ele é segurado verticalmente, próximo à torneira e enchido e esvaziado por três vezes seguidas. Na quarta vez ele é enchido com a água, imediatamente fechado e encaminhado sob refrigeração até o laboratório (Duda & Salviano, 2004). Recomenda-se ainda tomar todos os cuidados de assepsia, evitando contaminação da amostra pelos dedos, luvas ou outro material (DACACH, 1979).

2.1.3.2. Águas subterrâneas (poços rasos e poços profundos)

No caso de amostragem de águas subterrâneas, alguns cuidados específicos também devem ser tomados sendo os principais apresentados a seguir:

- Deve-se medir o nível estático do poço e a profundidade da água do poço com equipamento adequado (trena de aço ou equipamento eletrônico);
- Deve-se detectar a existência de camadas imicíveis (manômetro, sonda acústica e outros);
- Deve-se fazer o esgotamento do poço, pois a água parada pode não ser representativa da qualidade da água do local. Para tal, dependendo das características do poço, adota-se metodologias diferenciadas (CETESB, 1998). Quando o equipamento de bombeamento tiver que ser reutilizado, há necessidade de descontaminá-lo, assim como equipamentos de amostragem, devendo ser este material inerte;
- As técnicas utilizadas para a coleta das amostras devem levar em conta os parâmetros a serem determinados (CETESB, 1998);
- O plano de amostragem deverá especificar a ordem em que as amostras devem ser coletadas para não haver contaminação das mesmas, considerando ainda a sua susceptibilidade à volatilização;
- Para alguns parâmetros instáveis, recomenda-se que a análise seja realizada *in situ*, como pH, potencial redox, cloro, sulfeto, oxigênio dissolvido, alcalinidade, temperatura e quando possível também a condutividade específica, apesar de ser mais estável.

Ao se fazer a coleta, alguns cuidados básicos devem ser tomados, a saber: amostras coletadas não devem incluir partículas grandes, detritos, folhas ou outro tipo de material acidental; para evitar o risco de contaminação, deve-se fazer todas as determinações de campo em alíquotas de amostras separadas das que serão enviadas ao laboratório. Recomenda-se a quem fizer a amostragem, que mantenha as mãos limpas ou use luvas plásticas do tipo cirúrgica ou não coloridas, além de não fumarem durante a coleta das amostras; após a coleta e preservação da amostras, evitar colocá-las expostas à luz solar. As amostras que necessitam de refrigeração, devem ser acondicionadas em caixas de isopor com gelo, com exceção de alguns parâmetros, como Oxigênio Dissolvido (OD), cujas amostras não devem ser mantidas sob refrigeração.

2.2. Armazenamento, acondicionamento e preservação das amostras

Existe um equilíbrio dinâmico entre as espécies químicas e biológicas presentes nas águas naturais. Quando uma quantidade dessa água é acondicionada em um frasco, ela estará sujeita a mudanças de temperatura e pressão que tendem a romper esse equilíbrio natural. Portanto, não existe uma preservação total da amostra, o que se busca são formas de retardar as alterações químicas e biológicas, minimizar o efeito de adsorção e a volatilização dos constituintes da amostra.

Dentre os efeitos de alterações químicas estão a precipitação de metais na forma de hidróxidos ou formação de complexos e mudança de estado de oxidação. Dentre os efeitos das alterações biológicas estão a alteração da valência de elementos ou radicais por ação biológica e conversão dos constituintes solúveis em matéria orgânica ligada à estrutura celular.

O melhor procedimento é executar as análises imediatamente após a coleta. Se não for possível, aconselha-se preservar e proteger as amostras coletadas, transportando-as imediatamente após a coleta. Os tipos de preservação existentes são a adição química, o congelamento e a refrigeração sendo descritos a seguir conforme CETESB (1987):

- **Adição Química:** é o método mais conveniente. Consiste em adicionar o preservante prévia ou imediatamente após a coleta da amostra, provocando assim a estabilização dos constituintes de interesse por períodos mais longos de tempo. Contudo esse procedimento não é viável para preservar amostras destinadas a todos os tipos de análise devido à natureza de alguns testes e também pela composição química da amostra. Por exemplo, não se pode adicionar ácido nítrico quando o objetivo é analisar nitrato.
- **Congelamento:** serve para aumentar o intervalo de tempo entre a coleta e a análise, sem comprometer a análise. Não se pode adotar essa técnica como uma forma de preservação geral, pois nem sempre ela será benéfica à manutenção de todos os constituintes da amostra. Por exemplo, o congelamento da água e seu retorno à temperatura ambiente podem alterar os componentes dos resíduos sólidos filtráveis e não filtráveis da amostra.
- **Refrigeração:** constitui numa técnica comum em trabalhos de campo, é utilizada para preservação de vários parâmetros. Embora não mantenha completa integridade para todos os parâmetros, interfere de modo insignificante na

maioria das determinações laboratoriais. É recomendado que se mantenha as amostras à uma temperatura próxima de 4°C.

A tabela 3 relaciona os principais parâmetros de análise e cuidados específicos requeridos por cada um deles.

2.3. Transporte

Depois de coletada, a amostra deverá ser transportada até o laboratório de forma que sua integridade e preservação estejam garantidas, e em tempo hábil para que sua análise ocorra dentro do prazo de validade da preservação.

- São recomendados os seguintes procedimentos para o transporte das amostras, segundo ABNT (1987):
- Colocar os frascos em recipientes, podendo ser caixa de isopor ou caixa térmica, de modo que fiquem firmes durante o transporte;
- Nos casos em que se usar gelo para preservação, ter o cuidado para que os frascos não fiquem imersos na água formada pela sua fusão, ao final do transporte;
- Cobrir a caixa de modo que sua tampa exerça uma leve pressão sobre a tampa dos frascos, impedindo que se destaquem durante o transporte, e prender firmemente a tampa da caixa;
- Evitar colocar frascos de uma mesma amostra em caixas diferentes;
- Afixar na caixa que contém as amostras a identificação da sua procedência e destino, a data do envio e outros dados relevantes;
- Preservar a integridade dos frascos por meio das indicações "PARA CIMA" e "FRÁGIL", escritas de modo legível.

Tabela 3. Preservação de amostras de água.

Parâmetros	Tipo de Frasco	Volume mínimo (mL)	Preservação	Prazo para análise	Observações
Alcalinidade	P, V	200 mL	Refrigerar a 4°C	24 horas	Lavar o frasco com ácido nítrico 1:1, em seguida enxaguar com água destilada.
Ânions (brometo, cloreto, fluoreto, fosfato, nitrato, nitrito, sulfato)	P, V	100 mL	Refrigerar a 4°C	24 horas	
Alumínio, arsênio, antimônio, bário, berílio, cádmio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, estrôncio, ferro, lítio, manganês, molibdênio, níquel, potássio, selênio, vanádio e zinco	P, V	100 mL	Adicionar ácido nítrico concentrado até pH < 2	6 meses	Lavar o frasco com ácido nítrico 1:1, em seguida enxaguar com água destilada.
Boro	P	100 mL	Não há recomendação	28 dias	Idem
Dureza	P, V	100 mL	Adicionar ácido nítrico concentrado até pH < 2	6 meses	
Sódio, Silício	P	100 mL	Idem	Idem	
Condutividade	P, V	500 mL	Refrigerar a 4°C	28 dias	Lavar o frasco com ácido nítrico 1:1, em seguida enxaguar com água destilada.
Fósforo Total	V	1000 mL	Idem	7 dias	Não utilizar detergente na lavagem do frasco
Oxigênio Dissolvido	V	300 mL	Analisar imediatamente	2 horas	Sempre que possível analisar imediatamente.
pH	P, V	200 mL	Analisar imediatamente		
Sólidos	P, V	-	Refrigerar a 4°C	7 dias	Conservar em local escuro e sob refrigeração quando não analisar no mesmo dia
Temperatura	P, V	-	Analisar imediatamente	24 horas	
Turbidez	P, V	500 mL	Analisar no mesmo dia		

Legenda: P=Plástico, V= Vidro.

Adaptado de APHA (1995).

3. Métodos de Análise de Água Realizados na Embrapa Solos

Os métodos de análise de água utilizados na Embrapa Solos baseiam-se nos métodos de FEEMA e APHA (FEEMA, 1978 e APHA, 1995).

3.1. Temperatura

A temperatura é um parâmetro físico de importância na qualidade das águas. Sua variação está relacionada à transferência de calor por condução, convecção e radiação entre a água, a atmosfera e o solo, provocando alterações no ambiente aquático, como o aumento da taxa das reações químicas e biológicas, além da diminuição da solubilidade dos gases.

3.1.1. Princípio

As medidas de temperatura devem ser tomadas utilizando um termômetro de mercúrio ou um termistor em graus Celsius.

O método é aplicável a amostras de água doce e salgada, despejos industriais e esgotos sanitários. A medida deve ser feita no local de amostragem. A sensibilidade do método é de 0,1 graus Celsius.

3.1.2. Equipamento

3.1.2.1. Termômetro Comum de Mercúrio

O termômetro deve possuir uma faixa de 0° a 100°C e graduação de 0,1° C. Para uso em campo, o termômetro deve ser protegido por uma armação, metálica ou de madeira, para evitar quebras. Em águas profundas como lagoas, rios e mares, pode-se usar um termômetro acoplado no interior do equipamento de coleta.

3.1.2.2. Termistor

Este dispositivo geralmente encontra-se acoplado a um salinômetro, a um condutivímetro e a um medidor de oxigênio, ou a um medidor de profundidade.

3.1.3. Procedimento

3.1.3.1. Termômetro Comum de Mercúrio

Mergulhar o termômetro na água até a profundidade desejada e fazer a leitura após equilíbrio térmico. A leitura deve ser feita antes da retirada do termômetro da água.

3.1.3.2. Termistor

Mergulhar o eletrodo de temperatura até a profundidade desejada e verificar a leitura diretamente no painel do equipamento.

3.2. Resíduos: Totais (RT), Totais Fixos (RTF) e Totais Voláteis (RTV) (Método Gravimétrico)

O material sólido presente nas águas, corresponde a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura preestabelecida, durante um tempo fixado. De uma forma geral, estas operações definem a distribuição das diversas frações de sólidos presentes na água, com relação ao tamanho (sólidos totais, em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se em uma informação preliminar importante.

3.2.1. Princípio

Baseia-se no aumento de peso na cápsula contendo a amostra, em relação ao peso da cápsula vazia. Após secagem e ignição, estes pesos representam os teores de resíduo total e resíduo total fixo, respectivamente. Por diferença se tem o valor do resíduo total volátil. Este método é adequado para análise de amostras de água contendo até 20000 mg L⁻¹ de resíduo e aplicável a amostras de água de abastecimento público, águas de superfície e subterrâneas, despejos industriais e esgotos domésticos, tratados ou não.

3.2.2. Equipamentos

- Balança analítica;
- Dessecador;
- Estufa;
- Mufla;
- Banho-maria;
- Cápsula de porcelana;
- Proveta de 250 mL.

3.2.3 .Procedimento

Tomar uma cápsula de porcelana, colocar na mufla a 180°C por 30 minutos. Esfriar um pouco ao ar livre e depois colocar no dessecador por 40 minutos. Pesar, obtendo P₁ (mg);

Tomar 250 mL da amostra, bem homogeneizada, colocar na cápsula e levar à secura em banho-maria;

Transferir a cápsula para a estufa 105°C ou 180°C. Deixá-la 12 horas ou até adquirir peso constante. Esfriar no dessecador. Pesar, obtendo P₂ (mg);

Tomar a cápsula com o resíduo obtido e levar à mufla (550°C), por uma hora;

Retirar a cápsula, deixar esfriar parcialmente ao ar livre e depois colocar no dessecador até esfriar completamente (40 minutos). Pesar, obtendo P₃ (mg).

3.2.4. Interferências

Os resíduos secos a 103°C – 105°C retêm a água de cristalização e a mecanicamente ocluída. Os resíduos secos a 180°C perdem quase a totalidade da água de oclusão, permanecendo contudo alguma água de cristalização, principalmente na presença de sulfatos. Qualquer que seja a escolha da temperatura de secagem do resíduo, no resultado final a mesma deve vir claramente indicada. Os resíduos total, fixo e volátil são determinados levando a amostra à ignição (temperatura de 550°C);

Excluir da amostra os sólidos flutuantes ou aglomerados submersos de materiais não homogêneos, claramente diferenciáveis do líquido;

Dispersar qualquer óleo visível e graxa com um liquidificador, antes da tomada de amostra para análise.

3.2.5. Cálculos

3.2.5.1. Resíduo Total

$$RT \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = [(P_2 - P_1)/\text{Vol. amostra}] * 1000$$

Obs.: Indicar a temperatura de secagem do resíduo.

3.2.5.2. Resíduo Total Fixo a 550°C

$$\text{RTF (mg L}^{-1}\text{)} = [(P_3 - P_1)/\text{Vol. amostra}] * 1000$$

3.2.5.3. Resíduo Total Volátil a 550°C

$$\text{RTV (mg L}^{-1}\text{)} = [(P_2 - P_3)/\text{Vol. amostra}] * 1000$$

ou

$$\text{RTV} = \text{RT} - \text{RTF.}$$

3.3. Resíduos Filtráveis: Totais (RFT), Fixos (RFF), Voláteis (RFV) (Método Gravimétrico)

Os resíduos filtráveis estão relacionados ao material dissolvido na água. Os resíduos fixos filtráveis estão diretamente relacionados à condutividade elétrica, pois representam a concentração de sais dissolvidos na água. Já os resíduos filtráveis voláteis representam a matéria orgânica dissolvida na água e apresentam uma relação direta com a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

3.3.1. Princípio

Os aumentos de peso verificados na cápsula contendo o filtrado da amostra, em relação à cápsula vazia, após a secagem e ignição, representam os teores do resíduo filtrável total e os de resíduo filtrável fixo, respectivamente. Por diferença, se tem o valor do resíduo filtrável volátil. A temperatura de secagem para determinação do RFT pode ser a 103°C – 105 °C ou 180°C. a temperatura utilizada para a secagem do resíduo deve ser indicada com o resultado final. Os RFF e RFV são determinados levando a amostra à ignição a uma temperatura de 550°C. Este método é adequado para amostras contendo até 20000 mg L⁻¹ de resíduo e se aplica a amostras de água de abastecimento público, águas de superfície e subterrâneas, despejos industriais e esgotos sanitários, tratados ou não.

3.3.2. Equipamento

- Balança analítica;
- Bomba de vácuo;
- Estufa;
- Mufra;
- Dessecador;

- Cápsulas de porcelana;
- Papel de filtro de fibra de vidro (GF/C) Whatman ou equivalente;
- Proveta graduada;
- Kitazato;
- Conjunto de filtração Millipore ou equivalente.

3.3.3. Procedimento

Preparar uma cápsula de porcelana levando à mufla a 550°C durante 30 minutos. Esfriar parcialmente ao ar livre e colocar no dessecador até resfriamento total (40 minutos). Pesá-la obtendo P_1 mg;

Filtrar um volume adequado (geralmente 250 mL) da amostra através do conjunto de filtração Millipore e papel de filtro GF/C ou equivalente e transferir quantitativamente o filtrado para a cápsula de porcelana previamente tratada. Levar à secagem em banho-maria;

Transferir a cápsula com o resíduo para a estufa a 103°C – 105°C ou a 180°C. Deixar por 12 horas ou até atingir peso constante. Esfriar no dessecador. Pesá-la, obtendo P_2 mg.

Tomar a cápsula de porcelana contendo o resíduo e levar à mufla a 550°C, durante 1 hora. Esfriar parcialmente ao ar livre e deixar em seguida no dessecador até resfriamento total. Pesá-la, obtendo P_3 mg.

3.3.4. Interferências

Águas altamente mineralizadas, com teor considerável de cálcio, magnésio e/ou sulfato, apresentam um resíduo higroscópico, requerendo tempo maior de secagem, dessecação adequada e pesagem rápida.

Águas com teores elevados de bicarbonatos requerem uma secagem mais prolongada a 180°C, de modo a assegurar a completa conversão dos bicarbonatos a carbonatos.

3.3.5. Cálculos

3.3.5.1. Resíduo Filtrável Total

$$\text{RFT mg L}^{-1} = [(P_2 - P_1) / \text{volume amostra}] * 1000$$

Obs.: Indicar a temperatura de secagem do resíduo.

3.3.5.2. Resíduo Filtrável Fixo

$$\text{RFF mg L}^{-1} = [(P_3 - P_1) / \text{volume amostra}] * 1000$$

3.3.5.3. Resíduo Filtrável Volátil

$$\text{RFV mg L}^{-1} = [(P_2 - P_3) / \text{volume amostra}] * 1000$$

ou

$$\text{RFV} = \text{RFT} - \text{RFF}$$

3.4. Resíduos Não Filtráveis: Totais (RNFT), Fixos (RNFF) e Voláteis (RNFV) (Método Gravimétrico)

As partículas coloidais em suspensão na água, assim como as partículas sedimentáveis caracterizam os resíduos não filtráveis totais. Microrganismos, vegetais em decomposição, gorduras, proteínas, entre outros, formam os resíduos não filtráveis voláteis. Este material, também chamado de sólidos em suspensão voláteis, apresenta uma relação direta com a Demanda Química de Oxigênio (DQO) da água. Já os resíduos não filtráveis fixos são compostos de argilas, hidróxidos metálicos e outros.

3.4.1. Princípio

O aumento de peso verificado no cadinho de Gooch ou no papel de filtro de fibra de vidro, contendo o resíduo contido após a filtração da amostra, em relação ao cadinho vazio ou ao papel de filtro vazio, levado à secura a 103°C – 105°C, representa o teor de RNFT. Do mesmo modo, se a temperatura de ignição for a 550°C, o aumento de peso representa o teor de RNFF. Por diferença se tem o valor do RNFV. Este método é adequado para análise de água contendo até 20000 mg L⁻¹ de resíduo e se destina a amostras de água de abastecimento público, águas de superfície e subterrâneas, despejos industriais e esgotos sanitários, tratados ou não.

3.4.2. Equipamento

- Balança analítica;
- Bomba de vácuo;

- Estufa;
- Mufla;
- Dessecador;
- Cápsulas de porcelana;
- Papel de filtro GF/C Whatman ou equivalente;
- Proveta graduada;
- Kitazato;
- Conjunto de filtração Millipore ou equivalente;
- Cadinho de Gooch.

3.4.3. Reagentes

Suspensão de fibra de asbesto

Pesar 10 g de asbesto fibra média, previamente lavado com ácido, e completar o volume a 1 litro com água deionizada.

3.4.4. Procedimento

Colocar o papel de filtro GF/C ou um disco de papel GF/C no fundo do cadinho de Gooch, ou então, preparar um cadinho de Gooch com uma camada fina e uniforme de suspensão de asbesto. Com a bomba de vácuo ligada, lavar o filtro com três sucessivos volumes de 20 ml de água destilada. Remover toda água com aplicação de vácuo.

Remover o papel de fibra de vidro do aparelho de filtração ou o cadinho de Gooch preparado com a fibra de vidro ou com a suspensão de asbesto do frasco kitazato e levar à mufla a 550°C por 30 minutos. Deixar esfriar um pouco ao ar livre e colocar no dessecador até esfriamento total. Pesar, obtendo P_1 mg;

Montar o aparelho de filtração e iniciar a sucção com o vácuo. Agitar vigorosamente a amostra, tomar 100 mL em uma proveta graduada e filtrar. Se a quantidade de matéria orgânica em suspensão for pequena, tomar uma alíquota maior;

Remover cuidadosamente o papel de fibra de vidro com o resíduo retido do aparelho de filtração ou o cadinho de Gooch do frasco kitazato;

Levar o filtro com o resíduo á estufa a 105°C –110°C, durante 12 horas, ou até peso constante. Deixar esfriar em dessecador e pesar, obtendo P_2 (mg);

Tomar o papel de fibra de vidro ou o cadinho de Gooch com o resíduo seco e levar á mufla a 550°C por uma hora. Esfriar parcialmente ao ar livre e deixar em seguida no dessecador até resfriamento total, pesar obtendo P_3 (mg).

3.4.5. Interferências

Será necessário um tempo maior de secagem quando houver grande quantidade de matéria em suspensão no filtro, devido á retenção de maior quantidade de água. Folhas, galhos, peixes e outros devem ser excluídos da amostra.

3.4.6. Cálculos

3.4.6.1. Resíduo Não Filtrável Total

$$\text{RNFT mg L}^{-1} = [(P_2 - P_1) / \text{volume amostra}] * 1000$$

3.4.6.2. Resíduo Não Filtrável Fixo

$$\text{RNFF mg L}^{-1} = [(P_3 - P_1) / \text{volume amostra}] * 1000$$

3.4.6.3. Resíduo Não Filtrável Volátil

$$\text{RNFV mg L}^{-1} = [(P_2 - P_3) / \text{Volume amostra}] * 1000$$

ou,

$$\text{RNFV} = \text{RNFT} - \text{RNFF}$$

3.5. Dureza Total

Cátions di e trivalentes, principalmente os de cálcio e magnésio, conferem dureza à água, causando problemas em função da baixa solubilidade de seus sais. A dureza é um parâmetro importante no controle de águas em processos industriais que envolvem aquecimento a altas temperaturas e no controle de água para uso doméstico. Rios com alta dureza apresentam o leito repleto de CaCO_3 , na forma de escamas e presença de poucos animais.

3.5.1. Princípio

Método titulométrico, onde o EDTA, ou seu sal disódico Na_2EDTA , adicionado à amostra, contendo dureza, combina-se com os íons divalentes, por exemplo Ca^{+2} e Mg^{+2} , para formar complexos estáveis [MEDTA], na presença do indicador negro de eriocromo T. Este indicador, de cor azul, quando adicionado a amostra, combina-se

com quantidade equivalente de íons Ca^{+2} e Mg^{+2} , formando um complexo vermelho-vinho, pouco estável. O pH da reação deve ser $10 \pm 0,1$. Efetuando-se a titulação da amostra, os íons livres causadores da dureza, reagem com o EDTA formando um complexo estável vermelho, até que não existam mais íons livres. A partir deste ponto o complexo instável (M^{+2} negro de eriocromo T) rompe-se e o EDTA combina-se com os íons M^{+2} , até então ligados, deixando aparecer a cor azul do indicador livre. Este é o ponto final da titulação. Este método aplica a águas poluídas ou não e a despejos industriais.

3.5.2. Equipamento

Buretas automáticas de 5 a 10 mL de capacidade e graduação em 0,01 mL.

3.5.3. Reagentes

3.5.3.1. Água Destilada

Toda água usada para o preparo de soluções e lavagem do material deve estar isenta de dureza.

3.5.3.2. Solução Tampão (pH = $10 \pm 0,1$)

Dissolver 16,9 g de cloreto de amônio (NH_4Cl) em 143 mL de hidróxido de amônio concentrado (NH_4OH), adicionar 1,17 g do sal disódico do ácido etilenodiamina tetra-acético, di-hidratado ($\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e 780 mg de sulfato de magnésio hepta-hidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ou 644 mg de cloreto de magnésio hexa-hidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dissolvidos em 50 mL de água destilada. Diluir com água destilada para 250 mL. Abandonar a solução quando um ou dois mL não dão à amostra pH $10 \pm 0,1$ no final da titulação.

3.5.3.3. Indicador Negro de Eriocromo T

Misturar 0,5 g de negro de eriocromo com 100 g de cloreto de sódio (mistura seca).

3.5.3.4. Solução padrão de EDTA (0,01 M)

Pesar 3,723 g do sal disódico do EDTA, dissolver em água destilada e completar o volume a 1000 mL (1 mL = 1 mg de CaCO_3). Normalizar esta solução com solução padrão de carbonato de cálcio.

3.5.3.5. Solução Padrão de Carbonato de Sódio

Pesar 1,00 g de carbonato de cálcio anidro (CaCO_3) em erlenmeyer de 500 mL, juntar cuidadosamente solução diluída (1 + 1) de ácido clorídrico (HCl) até dissolver todo o CaCO_3 . Adicionar 200 mL de água destilada, levar à ebulição para

eliminação de todo o CO_2 presente, esfriar, juntar gotas de vermelho de metila e solução 3N de hidróxido de amônio ou solução diluída de ácido clorídrico (1 + 1) até a cor amarelo-laranja aparecer na solução. Transferir quantitativamente para um balão volumétrico de 1 litro e completar com água destilada o volume exato (1mL = 1mg CaCO_3).

3.5.3.6. Normalização da Solução de EDTA

Colocar 25 mL da solução padrão de carbonato de cálcio em erlenmeyer contendo 50 mL de água destilada, juntar 1 mL da solução tampão e 0,2 g do indicador. Titular com a solução normalizada de Na_2EDTA . Agitar até a cor mudar de vermelho-vinho para azul-arroxeadado. A titulação não deve levar mais de cinco minutos medidos a partir da adição da solução tampão. O volume gasto da solução padrão de Na_2EDTA deve ser igual ao volume de solução padrão de cálcio.

3.5.4. Procedimento

3.5.4.1. Pré-tratamento

O pré-tratamento não é necessário para águas não poluídas. Despejos industriais e águas poluídas são pré-tratados conforme o procedimento para interferentes.

3.5.5. Titulação

3.5.5.1. Amostras com teor de dureza normal

Selecionar um volume de amostra, que gaste na titulação menos de 15 mL de titulante (Na_2EDTA). A titulação não deve levar mais de cinco minutos medidos a partir da adição da solução tampão.

Diluir 25 mL da amostra com 50 mL de água destilada, em erlenmeyer. Adicionar 1 a 2 mL de solução tampão e aproximadamente 0,2 g de indicador. Titular com a solução titulante ($\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) até virada do indicador, do vermelho para o azul. Anotar o volume usado do titulante.

3.5.5.2. Amostras com teor de dureza baixo

Águas com dureza menor que 5 mg L^{-1} requerem volume maior para titulação. Tomar amostras de 100 em 100 mL, adicionar, proporcionalmente, maiores quantidades da solução tampão e do indicador e titular vagarosamente com solução padrão do titulante ($\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) até virada do indicador. Anotar o volume de titulante usado.

3.5.5.3. Branco

Repetir o procedimento do item anterior usando água destilada no lugar da amostra.

3.5.6. Interferências

O alumínio, o cobalto, o cobre e o níquel descoram o indicador prejudicando a visão do ponto final da titulação. Essa interferência é minimizada pela adição de inibidores à amostra antes da titulação. São inibidores o cianeto de sódio (NaCN) e o sulfeto de sódio ($\text{Na}_2\text{S}\cdot\text{H}_2\text{O}$).

A matéria orgânica sob a forma coloidal ou em suspensão também interfere na determinação do ponto final da titulação, mascarando-o. Essa interferência é eliminada pela evaporação da amostra em banho-maria e queima a 550°C em mufla. O resíduo desta queima é dissolvido em solução normal de ácido clorídrico (HCl) e neutralizado a $\text{pH}=7$ com solução normal de hidróxido de sódio (NaOH). O volume inicial da amostra é retomado e a dureza determinada.

3.5.7. Cálculos

O resultado da dureza total é dado em mg de CaCO_3 e deve ser acompanhado do nome do método adotado.

$$\text{Dureza (EDTA) como CaCO}_3 = \{[(A - B) \cdot C] \cdot 1000\} / \text{mL de amostra}$$

onde:

A = mL do titulante gasto para a amostra;

B = mL do titulante gasto para o branco;

C = mg CaCO_3 equivalente a 1,00 mL do titulante.

3.6. Dureza de Cálcio

3.6.1. Equipamento

Pipeta 50 mL;

Erlenmeyer 250 mL;

Pipeta 2 mL

Bureta 25 mL.

3.6.2. Reagentes

Solução de EDTA 0,1 M;

Indicador Murexida;

Solução de NaOH 0,5 N.

3.6.3. Procedimento

Transferir 50 ml da amostra para um erlenmeyer de 250 ml. Adicionar 2 ml da solução de hidróxido de sódio 0,5 N. Agitar e titular com solução de EDTA 0,1 M, usando indicador murexida. A coloração vermelha deverá passar a púrpura.

3.6.4. Cálculos

$$\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3 = (V * f * 1000) / A$$

onde:

V = volume em mL da solução de EDTA 0,01 M gasto na titulação;

f = fator da solução de EDTA;

A = volume em mL da amostra.

3.7. Dureza de Magnésio

3.7.1. Cálculos

$$\text{mg L}^{-1} \text{MgCO}_3 = (DT - \text{DCa}) * 0,84$$

onde:

DT = Dureza Total e

DCa = Dureza de Cálcio.

3.8. Alcalinidade

Em águas naturais a alcalinidade é devida principalmente a carbonatos e bicarbonatos. Os íons hidróxidos, e em menor grau, os íons silicatos, boratos, fosfatos e amônio, também contribuem para a alcalinidade da água. Em águas contaminadas e em estado anaeróbico, pode haver a formação de ácidos voláteis, produção de mau cheiro, que se transformam em CO_2 e CH_4 . A degradação da matéria orgânica sempre implica na formação de gás carbônico, tanto por via aeróbica quanto por anaeróbica, formando carbonatos e conseqüentemente alcalinidade, elevando o pH. Existe uma relação entre os ácidos voláteis e a alcalinidade onde, se há a formação de alcalinidade equilibrada o pH fica neutro, se não há formação suficiente de alcalinidade o pH fica ácido.

3.8.1. Princípio

Baseia-se na determinação dos componentes da água que elevam o pH para um valor acima de 4,6. A medida é feita titulando-se a amostra com uma solução padronizada de ácido sulfúrico 0,02N nos pontos sucessivos de equivalência do

bicarbonato e do ácido carbônico. O pH do ponto de equivalência da alcalinidade total depende da quantidade de CO_2 total da amostra. De uma forma geral, o pH varia de 4,2 a 5,4. Observe a tabela 4 que relaciona o pH do ponto de equivalência com a alcalinidade total.

Tabela 4. Relação do ponto de equivalência e alcalinidade total.

Ponto de Equivalência pH	Alcalinidade Total $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$
5,1	30
4,8	150
4,5	500

Para a determinação de diferentes somas de alcalinidade (alcalinidade devido a hidróxido, a carbonatos e a bicarbonatos), empregam-se geralmente dois indicadores, fenolftaleína (ponto de equivalência = 8,3) e indicador misto (ponto de equivalência = 4,6). A amostra não deve ser filtrada, diluída ou concentrada. Este método é aplicável a todas as faixas de concentração, sendo que alíquotas apropriadas devem ser tomadas para evitar gasto superior a 50 mL de ácido sulfúrico 0,02N. Pode ser utilizado para amostras de despejo industrial, despejo sanitário e água doce.

3.8.2. Equipamento

- Pipeta volumétrica de 50 mL;
- Erlenmeyer de 250 mL;
- Bureta 25 mL.

3.8.3. Reagentes

3.8.3.1. Solução alcoólica de fenolftaleína 0,5%

Dissolver 5 g de fenolftaleína em 500 mL de álcool etílico a 95% ou álcool isopropílico. Adicionar 500 mL de água destilada, e gotear uma solução de hidróxido de sódio 0,02N até o aparecimento de uma leve coloração rósea.

3.8.3.2. Indicador Misto (verde bromocresol + vermelho de metila)

Dissolver 200 mg de vermelho de metila e 100 mg de verde bromocresol em 100 mL de álcool etílico 95% ou álcool isopropílico.

3.8.3.3. Água destilada isenta de CO_2

Ferver água destilada por 15 minutos e esfriar.

3.8.3.4. Solução Padrão de Na_2CO_3 0,020N

Pesar exatamente 1,060 g de Na_2CO_3 anidro, seco a 140°C , e diluir em balão volumétrico de 1 litro com água destilada isenta de CO_2 .

3.8.3.5. Solução de Ácido Sulfúrico 0,02N

Preparar uma solução estoque, aproximadamente 0,1N pela diluição de 3 ml de H_2SO_4 concentrado em litro de água isenta de CO_2 . Diluir 200 ml da solução estoque 0,1N para 1 litro com água destilada isenta de CO_2 . Padronizar contra uma solução de Na_2CO_3 0,02N.

3.8.3.6. Solução de Tiosulfato de sódio 0,1N

Dissolver 25 g de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) em 1 litro de água deionizada.

3.8.4. Procedimento

3.8.4.1. Pré-Tratamento da Amostra

Se a amostra for clorada, remover o cloro residual pela adição de 0,05 mL (1 gota) da solução de tiosulfato de sódio 0,1N.

3.8.4.2. Titulação da Amostra

Encher a bureta com a solução de ácido sulfúrico 0,02N;

Adicionar duas gotas do indicador fenolftaleína e agitar. Se houver alcalinidade na fenolftaleína, aparecerá uma coloração rósea indicando que o pH está de 8,3;

Descorar pela adição de solução de ácido sulfúrico 0,02N, gota a gota. Anotar o volume em mililitros gasto (A_1 mL);

Gotejar duas gotas do indicador misto;

Prosseguir na titulação com o ácido sulfúrico 0,02N até perceber que a cor azul tornou-se salmão. Anotar o volume em mililitros gasto (desde o início da titulação) (A_2 mL).

3.8.5. Interferências

O cloro residual livre causa interferência na viragem do indicador. Elimina-se quantitativamente o cloro presente, adicionando-se à amostra solução de tiosulfato de sódio.

Águas turvas ou coradas interferem na visualização do ponto de viragem.

Em amostras supersaturadas de CaCO_3 pode ocorrer precipitação alterando o resultado final.

3.8.6. Cálculos

3.8.6.1. Alcalinidade à Fenolftaleína

$$\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3 = (A_1 \text{ mL} * 0,02 * 50000) / \text{mL da amostra}$$

Se o volume da amostra for igual a 50 mL, então:

$$\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3 = A_1 \text{ mL} * 20$$

3.8.6.2. Alcalinidade Total

$$\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3 = (A_2 \text{ mL} * 0,02 * 50000) / \text{mL da amostra}$$

Se o volume da amostra for igual a 50 ml, então:

$$\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3 = A_2 \text{ mL} * 20$$

3.8.6.3. Cálculo das Relações entre as Alcalinidades

Através dos resultados da alcalinidade à fenolftaleína e da alcalinidade total, podemos classificar as formas principais de alcalinidade presentes na maioria das águas em três: alcalinidade devido aos carbonatos, devido aos bicarbonatos e devido aos hidróxidos. Esta classificação pressupõe a incompatibilidade da alcalinidade de hidróxidos e bicarbonato na mesma amostra e também assume a ausência de outros ácidos inorgânicos fracos ou de composição orgânica.

Os cálculos são feitos em base estequiométrica de modo que os resultados não expressam a concentração iônica, no sentido extrito. Existe alcalinidade de carbonato quando a alcalinidade à fenolftaleína for maior que zero e menor que a alcalinidade total. Existe alcalinidade de hidróxido quando a alcalinidade à fenolftaleína for maior que a metade da alcalinidade total. Existe alcalinidade de bicarbonato quando a alcalinidade à fenolftaleína for menor que a metade da alcalinidade total. As conversões matemáticas dos resultados constam na tabela 5 a seguir:

Tabela 5. Conversões matemáticas dos resultados de alcalinidade.

Resultado da titulação	Alcalinidade de hidróxidos	Alcalinidade de carbonatos	Alcalinidade de bicarbonatos
	mg L ⁻¹ CaCO ₃		
F = 0	0	0	T
F < 1/2T	0	2F	T-2F
F = 1/2T	0	2F	0
F > 1/2T	2F-T	2(F-T)	0
F = T	T	0	0

Legenda: T = Alcalinidade Total, F = Alcalinidade à Fenolftaleína.

3.9. Determinação de ânions (F⁻¹; Cl⁻¹; NO₂⁻¹; Br⁻¹; NO₃⁻¹; SO₄⁻² e PO₄⁻³) por cromatografia iônica

A cromatografia de íons (CI) é uma técnica utilizada na determinação de cátions e ânions. Este método permite a determinação sequencial rápida de ânions, ou seja, determinação de um conjunto de ânions numa única análise. Sua aplicação mais comum é na determinação de fluoreto, cloreto, brometo, nitrito, nitrato, fosfato e sulfato em amostras de água (potável, residuárias, de irrigação, de superfície e subterrânea).

3.9.1. Princípio

A cromatografia de íons aplica os princípios de troca iônica e detecção condutimétrica. Neste sistema, a amostra de água é injetada numa corrente de um eluente líquido e passada através de colunas constituídas por resinas de troca iônica, onde se dá a separação dos ânions. Os íons separados são identificados através dos tempos de retenção na coluna. A cromatografia de íons elimina a necessidade de utilização de reagentes tóxicos e distingue os haletos (F⁻¹, Br⁻¹, Cl⁻¹) e os óxidos (SO₄⁻², NO₃⁻¹, NO₂⁻¹, PO₄⁻³).

2.9.2. Equipamento

Cromatógrafo de íons da DIONEX modelo DX-120, com detetor condutimétrico (Figura 8).

3.9.3. Condições de Operação

Colunas: IonPac AS 14 Analytical Column (4x250mm) P/N 46124

IonPac AG 14 Guard Column (4x50mm) P/N 46134;



Fig. 8. Cromatógrafo de Íons DIONEX, modelo DX-120.

Eluente: 1,5mM Bicarbonato de Sódio / 3,5mM Carbonato de Sódio;

Fluxo: 1,2mL/min;

Tempo de Corrida: < 12min;

Volume e Injeção: 1,0mL, ficando retido no *loop* de injeção exatamente 50mL;

Sistema de detecção: Condutímetro com supressora química, ASRS-ULTRA (4 mm), 50mA de corrente;

Estabilização da linha de base: ~ 16µS;

Calibração: realizada com base em diluições de padrão multielementar de ânions, como exemplificado na tabela 6. Considera-se o eixo x como sendo a área do pico de condutividade do ânion e o eixo y a sua concentração relativa em mg L⁻¹;

Gerenciamento do processo analítico: através do software PeakNet v.6.0.

Tabela 6. Diluições do padrão DIONEX para calibração do equipamento.

Ânions	Padrão DIONEX	P1	P2	P3	P4	P5
F ⁻	20	0,2	0,4	0,6	0,8	2,0
Cl ⁻	30	0,3	0,6	0,9	1,2	3,0
NO ₂ ⁻	100	1,0	2,0	3,0	4,0	10,0
Br ⁻	100	1,0	2,0	3,0	4,0	10,0
NO ₃ ⁻	100	1,0	2,0	3,0	4,0	10,0
SO ₄ ²⁻	150	1,5	3,0	4,5	6,0	15,0
PO ₄ ³⁻	150	1,5	3,0	4,5	6,0	15,0

3.9.4. Procedimento Analítico

- Filtrar aproximadamente 10 mL de amostra, utilizando filtro malha 0,45mm, preferencialmente em policarbonato ou PVDF, para evitar contaminações;
- Coletar 1mL do filtrado com uma seringa;
- Ligar o Cromatógrafo de Íons, ligar o computador e acionar o *software* gerenciador PEAKNet 6.0;
- Injetar a amostra no equipamento para análise;
- Iniciar a seqüência de análise.

3.9.5. Interferências

Substâncias que tenham um tempo de retenção coincidente com o do ânion a ser determinado podem interferir na análise. Por exemplo, concentrações relativamente altas de acetato afetam a determinação de fluoreto ou uma alta concentração de algum ânion também interfere na resolução dos outros. Em muitos casos, com uma simples diluição da amostra, elimina-se algumas dessas interferências.

3.9.6. Cálculo

$$C = A * I * D$$

onde:

C = Concentração do ânion em mg L⁻¹;

A = Área integrada do pico de condutividade relativa ao ânion analisado;

I = Inclinação da curva de calibração;

D = Fator de diluição.

3.10. Análise elementar por espectrometria de emissão por plasma (ICP)

Este método é aplicado à determinação de metais e de alguns semi-metais. Apresenta como vantagem a determinação simultânea dos elementos ou em seqüência rápida, dependendo do tipo de instrumental empregado.

3.10.1. Princípio

A técnica baseia-se no princípio de que as energias de emissão são específicas para cada elemento. O plasma é criado quando uma corrente de argônio passa através de um campo magnético de radiofrequência, sendo ionizada. A amostra, em fase líquida, é nebulizada na corrente de argônio e carregada para o plasma, onde os elementos sofrem excitação térmica. Os elementos excitados emitem fótons que são detectados por um ou mais tubos fotomultiplicadores, dependendo do tipo de instrumento. A tabela 7 a seguir mostra os elementos analisados pelo equipamento, assim como seus respectivos comprimentos de onda.

3.10.2. Equipamento

Espectrômetro de Emissão por Plasma (ICP-OES), marca Perkin Elmer, modelo OPTIMA 3000 (Figura 9) ;

Nebulizador Ultrassônico, marca CETAC, modelo U-5000AT; (figura 10)

Amostrador Automático, marca Perkin Elmer, modelo AS 90.

Tabela 7. Elementos analisados pelo equipamento e respectivos comprimentos de onda.

Elemento	Comprimento de onda (nm)	Altura de janela (mm)	Elemento	Comprimento de onda (nm)	Altura de janela (mm)
Al	308,215	9	Mg	279,079	9
As	193,696	9	Mn	257,610	9
B	249,773	8	Mo	202,030	9
Ba	233,527	9	Na	589,592	5
Be	313,107	9	Ni	232,003	9
Bi	223,061	9	P	214,912	8
Ca	317,933	9	Pb	220,030	9
Cd	214,438	9	Sb	206,833	9
Co	228,616	9	Se	196,026	9
Cr	205,560	9	Si	251,611	9
Cu	324,754	9	Sr	421,552	9
Fe	238,204	9	Ti	336,121	9
K	766,491	4	V	292,402	9
Li	670,781	9	Zn	213,856	9

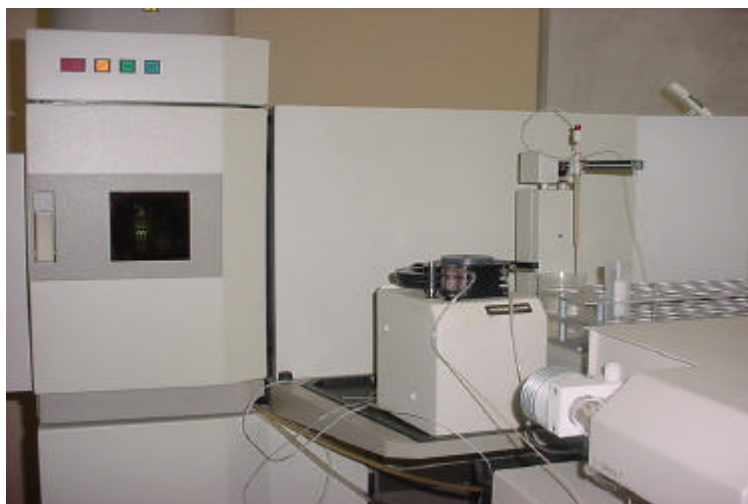


Fig. 9. ICP-OES Perkin Elmer, modelo OPTIMA 3000.



Fig. 10. Nebulizador Ultrassônico CETAC, modelo U-5000AT+.

3.10.3. Condições de Operação

- Fluxo de argônio no plasma: 15L/min;
- Fluxo de argônio auxiliar: 0,8L/min;
- Fluxo de argônio no nebulizador: 0,7L/min;
- Vazão da amostra: 2,0 mL/min;
- Número de repetições por amostra: 3;
- Forma de integração: área do pico;
- Potência: 1500 watts.

3.10.4. Padrões Analíticos

Solução Padrão IV multi-elementar 23 elementos para ICP, CertiPUR, MERCK;

Solução Padrão 21 elementos para ICP, Perkin Elmer (N9300281);

Solução Padrão de Fósforo 1000 mg/L, Padrão de Espectroscopia Atômica Perkin Elmer (N9300139);

Solução Padrão de Molibdênio 1000 mg/L, Padrão de Espectroscopia Atômica Perkin Elmer (N9300134).

3.10.5. Procedimento Analítico

- Filtrar aproximadamente 10mL de amostra com papel de filtro;
- Ligar o espectrômetro, o nebulizador ultrassônico, o amostrador automático e o computador;
- Acionar o software gerenciador ICP WinLab 1.47;
- Construir uma curva de calibração para os elementos de interesse;
- Posicionar a amostra no amostrador automático;
- Iniciar a determinação multi-elementar.

3.10.6. Interferências

Podem ocorrer:

- interferências espectrais, que ocorrem por sobreposição das linhas de comprimento de onda próximos as linhas dos elementos analisados. Isto pode ser contornado escolhendo-se outro comprimento de onda para se fazer a determinação, e
- efeito de Matriz, que é causado por variações sensíveis de concentração salina ou ácida, o que pode alterar a eficiência de nebulização e, portanto, a exatidão e a sensibilidade da análise.

3.11. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH representa a atividade dos íons hidrônios livres na água, resultante inicialmente da dissociação da própria molécula da água e, posteriormente, acrescida pelo hidrogênio proveniente de outras fontes naturais ou antrópicas. Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental. Está diretamente relacionado à acidez e à alcalinidade de uma determinada amostra.

3.11.1. Princípio

Para a medida do pH o método eletrométrico é o mais recomendado, por ser mais preciso. Embora o eletrodo de gás hidrogênio seja reconhecido como padrão primário, o eletrodo de vidro em combinação com o eletrodo de calomelano saturado é geralmente mais utilizado. O método é aplicável para amostras de água de abastecimento público, esgotos sanitários e despejos industriais.

3.11.2. Equipamento

Potenciômetro com eletrodo combinado ou Sonda portátil multi-sensor HORIBA U-10 ou equivalente.

3.11.3. Procedimento Analítico

A calibração e a medição das amostras devem ser efetuadas de acordo com as instruções do fabricante. Normalmente os seguintes procedimentos são adotados:

3.11.3.1. Calibração do Aparelho

- Ligar o aparelho e aguardar a estabilização do mesmo (mínimo de 30 minutos);
- Medir e ajustar a temperatura das soluções tampão (pH = 7 e 4) para que se situe na faixa entre 20 e 25°C, ou temperatura ambiente;
- Caso o aparelho não compense automaticamente a temperatura ajustar o aparelho à temperatura ambiente;
- Introduzir o eletrodo lavado com água destilada e seco com papel fino, na solução tampão de pH = 7. Aguardar alguns segundos para o eletrodo atingir o equilíbrio de temperatura. O medidor é ajustado para registrar esse pH;
- Remover o eletrodo desse tampão, lavar com água destilada e secar. Repetir o procedimento para o tampão de pH = 4. O registro automático desse pH indicará a calibração do aparelho. Caso contrário, repetir esse procedimento até conseguir esse registro;
- Lavar novamente o eletrodo com água destilada. Secar e manter o mesmo em solução de KCl 3M até a leitura da amostra.

3.11.3.2. Determinação do pH

- Colocar 50 mL da amostra em um becker de 100 ml, deixando que a mesma atinja a temperatura ambiente;
- Introduzir o eletrodo lavado e seco na amostra. Aguardar alguns segundos para a estabilização e efetuar a leitura do valor do pH;
- Retirar o eletrodo da amostra e repetir o procedimento anterior, após lavá-lo e enxugá-lo, para as demais amostras.

3.11.4. Interferências

Turbidez, cor, materiais coloidais, cloro livre, oxidantes, redutores ou alto conteúdo de sais, não interferem na análise. Porém, óleos e graxas podem interferir, causando resposta lenta. A influência da temperatura da amostra no potencial do eletrodo é compensada no próprio aparelho.

Em pH superior a 10, ocorre o "erro alcalino", que pode ser corrigido, consultando uma tabela ou curva fornecida pelo fabricante do eletrodo ou utilizando um eletrodo chamado de "baixo erro alcalino".

3.12. Condutividade Elétrica

Um sistema aquoso, contendo íons, apresenta como uma de suas principais propriedades a condutividade elétrica, ou seja, a capacidade de conduzir corrente elétrica. A concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, a mobilidade, a valência e as concentrações reais e relativas de cada íon e também a temperatura são os principais fatores que influenciam a variação de condutividade de um sistema aquoso. A condutividade é um parâmetro muito empregado no monitoramento da qualidade das águas residuárias, por que pode ser relacionada com o teor de sólidos dissolvidos. Em laboratório, é utilizada como critério para a verificação da pureza da água destilada.

3.12.1. Princípio

O método empregado para a determinação da condutividade é a leitura em condutivímetro, que compreende uma ponte de Wheaststone e uma Cella de Condutividade para medir a resistência da amostra. Existem instrumentos calibrados para fornecer a condutância específica diretamente. Os condutivímetros têm a capacidade de medida de condutividade $1\mu\text{S}/\text{cm}$ com erro de 1%.

3.12.2. Reagentes

3.12.1. Solução Padrão

A solução padrão de condutividade pode ser adquirida pronta, ou preparada conforme procedimento a seguir.

3.12.2.2. Solução padrão de Cloreto de Potássio (KCl) 0,0100M

Dissolver 0,7456g de KCl anidro p.a., seco a 105°C por duas horas, em água destilada, e completar o volume até 1000mL. Esta solução apresenta condutância de $1.413\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C .

3.12.2. Procedimento Analítico

A calibração e a medição das amostras devem ser efetuadas de acordo com as instruções do fabricante. Normalmente os seguintes procedimentos são adotados:

3.12.3. Calibração do Aparelho

- Ligar o aparelho (condutivímetro) e aguardar a estabilização do mesmo (mínimo de 30 minutos);
- Medir e ajustar a temperatura da solução padrão, para que se situe na faixa entre 20 e 25°C, ou temperatura ambiente;
- Caso o aparelho não compense automaticamente a temperatura, ajustar o aparelho à temperatura ambiente;
- Introduzir o eletrodo lavado com água destilada e seco com papel fino na solução padrão $1.413\mu\text{S}/\text{cm}$ e aguardar alguns segundos para o eletrodo atingir o equilíbrio de temperatura. O medidor é ajustado para registrar essa condutividade;
- Lavar o eletrodo, enxugar e introduzir na amostra em análise.

3.12.4. Determinação da Condutividade Elétrica

- Transferir 80 mL da amostra para um becker de 100 mL deixando que a amostra atinja a temperatura ambiente;
- Introduzir o eletrodo limpo e seco na referida amostra;
- Escolher a escala adequada e esperar estabilizar;
- Retirar o eletrodo da amostra, lavar e repetir o procedimento para as demais amostras.

3.12.5. Interferências

O método é praticamente isento de interferentes.

3.13. Medição em campo de pH, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e condutividade elétrica

O monitoramento da qualidade das águas exige em algumas situações que a determinação de alguns parâmetros seja realizada *in situ*, empregando dispositivos que forneçam automaticamente os resultados das análises.

O pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental. Está diretamente relacionado à acidez e à alcalinidade de uma determinada amostra, além de influenciar em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas.

A turbidez da água é causada pela presença de materiais em suspensão como argila, sílica, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida e organismos microscópicos. Os métodos usualmente empregados para medir turbidez em água incluem medidas de luz dispersa e medidas de transmissão de luz.

O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros que determinam a qualidade da água. Sua concentração está diretamente relacionada à pressão atmosférica e inversamente à temperatura.

A temperatura está relacionada à transferência de calor por condução, convecção e radiação entre a água, a atmosfera e o solo, provocando alterações no ambiente aquático, como o aumento da taxa das reações químicas e biológicas e a diminuição da solubilidade dos gases.

A condutividade elétrica representa a capacidade de um sistema aquoso conduzir corrente elétrica e está relacionada com o teor de sólidos dissolvidos.

3.13.1. Princípio

O método baseia-se na imersão direta na água, em campo, de um sensor multi-sonda, para a determinação de alguns parâmetros, sendo os mais comuns: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura. O princípio e as especificações técnicas para a determinação de cada parâmetro encontram-se na tabela 8. Este método pode ser utilizado para amostras de despejo industrial, despejo sanitário, e águas superficiais (rios e lagos), águas subterrâneas, águas de uso na agricultura e águas salinas.

Tabela 8. Princípio e especificações técnicas para a determinação de parâmetros de qualidade de água em campo com sonda multi-sensor.

Especificações	pH	Condutividade	Turbidez	Oxigênio dissolvido	Temperatura
Princípio	Eletrodo de vidro	Eletrodo	Espalhamento e transmissão da luz	Célula de membrana galvânica	Termistor
Faixa	0 - 14	0 - 100 mS cm ⁻¹	0 - 800 NTU	0 - 19,9 mg L ⁻¹	0 - 50°C
Sensibilidade	0,1 pH	0-1: 0.01 mS cm ⁻¹ 1-10: 0.1 mS cm ⁻¹ 10-100: 1.0 mS cm ⁻¹	10 NTU	0,1 mg L ⁻¹	1°C

3.13.2. Equipamento

Sonda multi-sensor, controlador da qualidade de águas, HORIBA U-10 WATER QUALITY CHECKER (figura 9) ou com especificações similares.



Fig. 11. Painel de uma sonda multi-sensor para análises de alguns parâmetros de qualidade de água *in situ*.

3.13.3. Procedimento Analítico

• Calibração

Transferir a solução padrão para um becker, imergir o sensor e proceder a calibração de cada parâmetro. Verificar a execução dos procedimentos de calibração, geralmente descritos no manual do instrumento.

• Determinação dos Parâmetros

Inserir a sonda multi-sensor diretamente no corpo d'água até a profundidade desejada e efetuar a leitura no aparelho.

Antes de começar as medidas em um próximo ponto do mesmo corpo d'água, deve-se rinsar a cabeça da sonda, onde ficam os eletrodos, com água destilada ou deionizada ou, opcionalmente, com a própria água do açude naquele ponto.

3.13.4. Observações

Deve-se verificar a integridade física dos eletrodos e sensores de medição periodicamente.

A "cabeça" da sonda, onde ficam encaixados os eletrodos de medição, deve ficar imersa em solução condicionante específica ou em água deionizada para manter as membranas dos eletrodos hidratadas. No entanto, este procedimento não exclui a necessidade de calibração periódica da sonda com soluções padrões para cada parâmetro ou solução de calibração única como descrito no manual do instrumento.

Deve-se ter cuidado para não encostar a "cabeça" da sonda no sedimento de fundo. Este erro pode ser evitado através da determinação prévia da profundidade do perfil amostrado. Caso ocorra, a sonda deve ser lavada com a própria água do corpo d'água amostrado antes da próxima medição;

Em caso de não-reprodutividade ou discrepância dos dados obtidos resultantes do mau funcionamento dos eletrodos, estes devem ser substituídos. Em caso de não ser detectada causa aparente, a sonda deve ser enviada à assistência técnica.

4. Critérios, Padrões e Índices de Qualidade da Água

Sendo a água um recurso de múltiplos usos é compreensível que seja exigido dela características qualitativas diferentes para os fins a que se destina. Segundo Branco (1991), a definição de qualidade da água deve levar em conta o uso que se pretende fazer da mesma, com o termo qualidade não mais empregado com o significado de característica ou propriedade da substância em questão, mas usado com o sentido de mérito, grau ou valor. E ainda, o estabelecimento de formas de acompanhamento das características qualitativas da água, que permitam avaliar os níveis de poluição e as alterações que um corpo hídrico está sujeito, é essencial ao gerenciamento da qualidade da água.

Até o final do século passado, a água era caracterizada qualitativamente apenas por adjetivos, sem que valores específicos de controle fossem a ela associados. Com a grande preocupação de se controlar as doenças de veiculação hídrica, marco do início deste século, a busca de critérios e padrões de qualidade das águas, de cunho numérico e/ou descritivo, foi fortemente impulsionada.

Atualmente a caracterização e monitoramento da qualidade da água são realizados por meio da análise de parâmetros. O *parâmetro* é um valor qualquer de uma variável independente, referente a elemento ou atributo, que configura situação qualitativa e/ou quantitativa de determinada propriedade de corpos físicos a caracterizar. Os parâmetros podem servir como indicadores para estabelecer a situação de determinado corpo d'água quanto a uma certa propriedade (FEEMA, 1979).

No entanto, diante da preocupação ambiental crescente, foram estabelecidos *critérios*, que são requisitos de julgamento referentes a qualidade e/ou quantidade baseados sempre que possível em determinações científicas, que devem ser identificadas e são passíveis de controle. Com os critérios e os parâmetros de análises de qualidade de água, os organismos responsáveis normatizaram os *padrões* de qualidade da água que são valores-limites, estabelecidos por lei, para que se possa regulamentar e controlar os níveis de qualidade. Visam manter a qualidade do curso d'água ou definir uma meta a ser atingida, e ainda, ser a base para definir os níveis de tratamento a serem adotados na bacia, de modo que os efluentes lançados não alterem os requisitos de qualidade do corpo receptor, de forma a comprometer seu uso preponderante.

Na esfera federal, foi a Portaria MINTER n° GM 0013 de 15/01/76, que inicialmente regulamentou a classificação dos corpos d'água superficiais, com os respectivos padrões de qualidade e os padrões de emissão para efluentes.

Em 1986, a Portaria GM 0013 foi substituída pela Resolução n° 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelece nova classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do Território Nacional. São definidas oito classes para as águas doces, segundo os usos preponderantes a que elas se destinam, a saber:

a) Águas Doces

- Classe Especial, destinadas ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- Classe 1, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e de frutas cultivadas rente ao solo e consumidas cruas, e à aquicultura de espécies destinadas à alimentação humana;
- Classe 2, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e de plantas frutíferas e à aquicultura;
- Classe 3, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras e à dessedentação de animais;
- Classe 4, destinadas à navegação, à harmonia paisagística e aos usos menos exigentes.

b) Águas Salinas

- Classe 5, destinadas à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas e à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana;

- Classe 6, destinadas à navegação comercial; à harmonia paisagística e à recreação de contato secundário;

c) Águas Salobras

- Classe 7, destinadas à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas e à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana;
- Classe 8, destinadas à navegação comercial, à harmonia paisagística e à recreação de contato secundário.

O fato de um trecho de rio estar enquadrado em determinada classe não significa, necessariamente, que esse seja o nível de qualidade que apresenta, mas sim aquele a ser alcançado e/ou mantido ao longo do tempo.

Para cada uma das classes acima descritas, a Resolução CONAMA n° 20 estabelece limites e/ou condições de qualidade a serem respeitados, sendo mais restritivos quanto mais nobre for o uso pretendido. Quanto à esta Resolução, os limites dos principais parâmetros de qualidade da água encontram-se na tabela P, em anexo. É importante destacar que, mais recentemente, há uma proposta de atualização desta Resolução, cujo processo está sendo avaliado pela Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente.

Cabe ainda ressaltar que, embora exista no Brasil uma legislação que estabeleça os critérios e padrões de qualidade da água de acordo com o uso preponderante, infelizmente, grande parte da população a desconhece e os instrumentos que a fazem vigorar não são ainda eficientemente aplicados. Desta forma, a mesma população pode estar sofrendo sérias conseqüências à saúde, devido à contaminação da água destinada aos usos nobres como abastecimento, irrigação ou criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.

Especificamente no que se refere aos padrões e critérios utilizados para água de irrigação e criação animal, várias tabelas serão apresentadas também em anexo, cujas citações encontram-se no capítulo 1. No entanto, ressalta-se mais uma vez que para estes usos da água não ocorre um cumprimento rígido dos padrões e critérios estabelecidos por lei, pois estes são desconhecidos por muitos dos produtores, além de que a água em alguns casos possui muito baixa qualidade, o que

não permite ao produtor rural atender às exigências da lei, dispondo, na maioria das vezes, de poucos recursos para a sua melhoria.

No que se refere à potabilidade, que não é o escopo deste manual, em 2000 a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) publicou a Resolução nº 54/2000, aprovando o Regulamento Técnico referente aos Padrões de Identidade e Qualidade para Águas Minerais Naturais e Águas Naturais, substituindo a antiga Resolução nº 25/76 da Comissão Nacional de Normas e Padrões Alimentícios. No entanto, os padrões de potabilidade vigentes no país, são os estabelecidos pela Portaria 1.469/2000 do Ministério da Saúde (tabela Q, em anexo).

Ainda a respeito da avaliação da qualidade da água, segundo Sperling (1998), a mesma deve ser feita de forma integrada, considerando o conjunto de informações obtidas. Os diversos parâmetros constituem em instrumentos de avaliação, podendo ser agrupados de forma a contemplar as características mais relevantes da qualidade da água. Neste sentido e para facilitar a divulgação e entendimento dos resultados de qualidade da água pela população, os *índices de qualidade da água* têm sido utilizados. Porém, o índice, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica.

Os índices de qualidade de água foram desenvolvidos pela *National Sanitation Foundation Institution*. No Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) foi o órgão de monitoramento da qualidade da água pioneiro na utilização destes índices, aplicando de 1975 a 2002 o Índice de Qualidade da Água (IQA) com vistas a servir de informação básica de qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental das bacias hidrográficas. Mais recentemente, outros órgãos responsáveis pelo monitoramento da qualidade da água em diversos Estados têm adotado também índices similares.

Os parâmetros de qualidade de água que fazem parte deste índice refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. É importante também salientar que este índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas.

Devido ao aumento acelerado da poluição, principalmente, nas áreas urbanas, tornou-se necessário o desenvolvimento de índices mais específicos. No caso da CETESB, esta passou a utilizar índices de acordo com o uso que se faz da água: índice de qualidade de água bruta para fins de abastecimento público (IAP); índice de qualidade de água para a proteção da vida aquática (IVA) e índice para águas destinadas à banho (Classificação da Praia).

O IAP será o produto da ponderação dos resultados atuais do IQA (Índice de Qualidade de Águas) e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), que é composto pelo grupo de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água, bem como de substâncias tóxicas, incluindo metais, além de resultados do teste de Ames (Genotoxicidade) e do Potencial de Formação de Trihalometanos (THMPF).

Já o IVA leva em consideração a presença e concentração de contaminantes químicos tóxicos, seu efeito sobre os organismos aquáticos (toxicidade) e dois dos parâmetros considerados essenciais para a biota (pH e oxigênio dissolvido), parâmetros esses agrupados nos índices: Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA), bem como o Índice do Estado Trófico (IET) de Carlson (1974) modificado por Toledo *et al.* (1983). Desta forma, o IVA fornece informações não só sobre a qualidade da água em termos ecotoxicológicos, como também sobre o seu grau de trofia.

Em estudos visando avaliar a qualidade da água em microbacias, sob diferentes usos, estes índices têm sido aplicados utilizando-se técnicas de estatística multivariada (Carvalho *et al.*, 2000 e Toledo & Nicolella, 2002). Os índices baseados em técnicas estatísticas favorecem a determinação dos indicadores mais característicos do corpo d'água em estudo, embora não permitam generalizações para outros corpos d'água.

5. Referências Bibliográficas

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington, DC, 1995. 1134 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898 - Preservação e técnicas da amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores: procedimento. Rio de Janeiro, 1987. 34 p.

AUSTRALIAN WATER RESOURCES COUNCIL. **Quality aspects of farm water supplies**. Canberra: Department of National Development, 1969. 45p.

AZEVEDO, L. G. T. ; BALTAR, A. M. Nota técnica sobre a atuação do banco mundial no gerenciamento de recursos hídricos no Brasil. In: MUÑOZ, H. R (org.) **Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafios da lei de águas de 1997**. 2 ed. Brasília: Secretaria dos Recursos Hídricos, 2000. Pág. 58.

AYERS, R. S. Quality of water for irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, n. 103, p. 135-54, 1977.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 29).

BISWAS, A.K. Effective monitoring of lake waters. In: HASHIMOTO, M.; BARRET, B.F.D. (Ed.). **Guidelines on lake management, V.2: Socio-Economic Aspects of Lake Reservoir Management**. Otsu, Japan: International Lake Environment Committee and United Nations Environmental Program, 1991. p.83-96.

BRANCO, S. M. A Água e o homem. In.: Hidrobiologia ambiental. São Paulo. EDUSP/ABRH, 1991. pt I, p.3-25.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S. GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2 p. 149-62, 1979.

CARLSON, R. E. **A trophic state index for lakes**. Mineapolis: Limnological Research Center. University of Minnesota, 1974. 17 p. (Contribution n. 141)

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n. 5, p. 618-622, 2000.

CARVALHO, F. **Curso básico de meio ambiente – CENPES**: apostila. Rio de Janeiro: CENPES/ DIQUIM/ SEQUIN, 1995. 1 v.

CETESB. **Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas** – Norma CETESB. São Paulo, 1988. 32p.

CETESB. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo, 1987. 150 p.

CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo** . São Paulo, 2001. 73 p.

CHRISTIANSEN, J. E.; OLSN, E. C.; WILLARDSON, L. S. Irrigation water quality evaluation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division** , New York, v. 103, p. 155-169. 1977.

COIMBRA, R.M. Monitoramento da qualidade da água. In: PORTO, R. L. L. (org.) **Hidrologia ambiental**. São Paulo: USP/ABRH, 1991. v.3., p.392-411. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos)

DACACH, N.G. **Sistemas urbanos de água**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 490 p. ilustr.

DUDA, G. P.; SALVIANO, A. M. **Procedimento para coleta de amostras de água**. Disponível em: www.esam.br. Acesso em : 10 out. 2004.

ESTADOS UNIDOS. SALINITY LABORATORY STAFF. **Salinity management in agriculture**. Washington: USDA, 1991. 1 v.

FEEMA. **Manual de métodos de análises físicas e químicas da água**. Rio de Janeiro: Dicont, 1978, 2v.

FEEMA. **Manual do meio ambiente: Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP – Manual de Procedimentos, normas, legislação.** Rio de Janeiro: Esplanada, 1979. 305 p.

FREEZE, R. ALLAN; CHERRY, JOHN A. **Groundwater.** New Jersey: Prentice Hall, 1979.

GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N.C.; BATISTA, N. A. F.; SANTOS, J. G. P. Comparação dos métodos na recuperação de solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n.2, p. 173-178, 1995.

HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada.** Campina Grande: UFPB, 1997. p.137-165.

NAKAYAMA, F. S. Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. In: IRRIGATION ASSOCIATION CONFERENCE, 21-24 Feb. 1982. **Proceedings...** Portland, Oregon, 1982.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Nutrients and toxic substances in water for livestock and poultry.** Washington DC, 1974. 93p.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Water quality criteria.** Washington Dc, United States Environmental Protection Agency, 1972. 552p.

NOVO, E. M. L. M.; BRAGA, C. Z. F. **Segundo relatório do projeto sensoriamento remoto de sistemas aquáticos.** São José dos Campos, 1995. 103 p. Convênio CRHEA/USP-INPE/MCT

OSTER, J. D.; RHOADES, J. D. Various indices for evaluating the effective salinity and sodicity of irrigation waters. In: INTERNATIONAL SALINITY CONFERENCE, 16-20 Aug. 1979, **Proceedings...** Lubbock, Texas. p. 1-14.

PARTENIANI, J. E. S.; PINTO, J. M. **Qualidade da água.** In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M. (Ed.) **Irrigação.** Piracicaba: FUNEP, 2001. 195-253. (Série engenharia Agrícola, 1).

PRATT, P. F. **Quality criteria for trace elements in irrigation waters**. California: California Agricultural Experiment Station, 1972. 46p.

RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sódicos**. México: Ed. Limusa, 1954. 172p.

SMITH, D.G.; McBRIDE, G.B. New Zealand's national water quality monitoring networks - design and first year's operation. **Water Resources Bulletin**, Minneapolis, MN, v.26, n.5, p.767-775. 1990.

SOUZA, H. B.; DERÍSIO, J C. **Guia técnico de coleta de amostras**, São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1977. 257p.

SPERLING, E. von. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA – UFMG, 3 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996, 243p.

SPERLING, E. von. Qualidade da água em atividades de mineração. In: Dias, L. E.; MELLO, J. W. V. de. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 95-105.

TOLEDO, A.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, 1983, Camboriú. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES / CNPq, 1984. p. 1-34.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. (2002). Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.59, n.1, p.181-186, 2002.

TOMS, R.G. Management of river water quality. In: WHITTON, B. A. **River ecology**. London: Blackell Scientific Publications, 1975. p.538-564.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTE OF CONSULTANTS. **Guidelines for interpretation of water quality for agriculture**. Davis, University of California, 1974. 13p.

Anexo

Tabela A. Influência da qualidade da água no surgimento de problemas de obstrução nos sistemas de irrigação localizada .

Problemas	Unidades	Grau e Restrição de Uso		
		Nenhuma	Ligeira a Moderada	Severa
Físicos				
Sólidos em suspensão	mg/L	< 50	50 – 100	> 100
Químicos				
pH		< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos Solúveis	mg/L	< 500	500 – .000	> 2.000
Manganês	mg/L	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro ²	mg/L	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ácido Sulfúrico	mg/L	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Biológicos				
Populações Bacterianas	N ^o Máx./mL	< 10.000	10.000 – 50.000	> 50.000

Fonte: Nakayama (1982).

¹Enquanto nessas concentrações se espera que não ocorram obstruções nos sistemas de irrigação localizada, as toxicidades pelo Mn podem apresentar-se em concentrações menores.

²As concentrações de Fe maiores que 5 mg/L podem provocar desequilíbrio de nutrição em certas culturas.

Tabela B. Diretrizes para se interpretar a qualidade da água para irrigação.

Problema Potencial	Unidades	Grau de Restrição para Uso		
		Nenhuma	Ligeira e Moderada	Severa
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para a cultura)				
CEa	dS/m	< 0,7	0,7 - 0,3	> 3,0
ou SDT	Mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltração (avaliada usando-se CEa e RAS, conjuntamente) ²				
RAS = 0 - 3	e	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
CEa =				
= 3 - 6	e	CEa = > 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
= 6 - 12	e	CEa = > 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
= 12 - 20	e	CEa = > 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
= 20 - 40	e	CEa = > 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidade de Íons Específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na) ³				
Irrigação por superfície	meq/L	< 3	3 - 9	> 9
Irrigação por aspersão	meq/L	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)³				
Irrigação por superfície	meq/L	< 4	4,0 - 10	> 10
Irrigação por aspersão	meq/L	< 3	> 3	
Boro (B)⁴	meq/L	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Oligoelementos (ver tabela XX)				
Outros (afetam culturas sensíveis)				
Nitrogênio (NO ₃ -N) ⁵	meq/L	< 5,0	5,0 - 3,0	> 3,0
Bicarbonato (HCO ₃)	meq/L	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
(apenas aspersão convencional)				
pH			Faixa Normal: 6,5 - 8,4	

Fonte: University of California Committee of Consultants (1974).

¹CEa significa Condutividade Elétrica da água; medida da salinidade, expressa em deciSiemens por metro (dS/m) a 25°C ou em milimhos/cm (mmhos/cm). Ambas as medidas são equivalentes. SDT significa total de sais em solução, expressa em miligrama por litro (mg/L).

²RAS significa Relação de Adsorção de Sódio, algumas vezes representada como RNa. Para determinado valor da RAS, a velocidade de infiltração aumenta a medida em que aumenta a salinidade. Avalia-se o problema potencial de infiltração através da RAS e da CEa.

³A maioria das culturas arbóreas e plantas lenhosas é sensível ao sódio e ao cloreto; no caso de irrigação por superfície, usam-se os valores indicados. Para a maioria das culturas anuais, que não são sensíveis, usam-se tabelas de tolerância das culturas à salinidade. No caso de aspersão convencional e umidade relativa baixa (< 30%) o sódio e o cloreto podem ser absorvidos pelas folhas das culturas sensíveis.

⁴Para tolerância ao boro, consultar a tabela de tolerância ao Boro.

⁵NO₃ - N, significa nitrogênio em forma de nitrato expresso em termos de nitrogênio elementar (no caso de análises de águas residuais devem ser incluídos NH₄ - N e N - orgânico).

Tabela C. Análises de laboratório necessárias para se avaliar a água de irrigação.

Parâmetros	Símbolo	Unidade ¹	Valores Normais em Água de Irrigação
SALINIDADE			
Conteúdo de Sais			
Condutividade Elétrica ou Sais Dissolvidos Totais	CEa SDT	dS/m mg/L	0 – 3 0 – 2000
Cátions e Ânions			
Cálcio	Ca ⁺⁺	meq/L	0 – 20
Magnésio	Mg ⁺⁺	meq/L	0 – 5
Sódio	Na ⁺	meq/L	0 – 40
Carbonatos	CO ₃ ⁻⁻	meq/L	0 – 0,1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/L	0 – 10
Cloreto	Cl ⁻	meq/L	0 – 30
Sulfatos	SO ₄ ⁻⁻	meq/L	0 – 20
NUTRIENTES²			
Nitrato-Nitrogênio	NO ₃ ⁻ -N	mg/L	0 – 10
Amônio-Nitrogênio	NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0 – 5
Fosfato-Fósforo	PO ₄ ⁻ -P	mg/L	0 – 2
Potássio	K ⁺	mg/L	0 – 2
VÁRIOS			
Boro	B	mg/L	0 – 2
Acidez ou Alcalinidade	pH		6 – 8,5
Relação de Adsorção de Sódio	RAS	(mmol/L) ^{1/2}	0 – 15

¹dS/m = deciSiemens/metro em unidades SI (1mmho/cm = 1 dS/m)

mg/L = miligramas/Litros = partes por milhão (ppm).

meq/L = miliequivalentes/Litro (meq/L = mg/L: peso equivalente). Em unidades SI, 1 meq/L = milimol/Litro corrigido segundo a carga eletrônica.

²NO₃⁻ - N significa que o laboratório deverá determinar NO₃⁻ e expressá-lo em termos de equivalente químico de N. Da mesma forma, para NH₄⁺ - N o laboratório determinará o NH₄⁺, mas o expressará, em termos de equivalentes químicos de N elementar. O nitrogênio total disponível para as plantas será a soma de equivalentes de nitrogênio. O mesmo método deverá ser utilizado para se expressar o fósforo

³RAS é calculada a partir de Na, Ca e Mg e meq/L.

Tabela D. Parâmetros para o cálculo de pHc da água de irrigação.

$(Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+)$ meq/L	$(nK - nKc)$	$(Ca^{++} + Mg^{++})$ meq/L	$n(Ca^{++} + Mg^{++})$	$(CO_3^{--} e HCO_3^-)$ meq/L	nAlc
0,5	2,11	0,05	4,60	0,05	4,30
0,7	2,12	0,10	4,30	0,10	4,00
0,9	2,13	0,15	4,12	0,15	3,82
1,2	2,14	0,20	4,00	0,20	3,70
1,6	2,15	0,25	3,90	0,25	3,60
1,9	2,16	0,32	3,80	0,31	3,51
2,4	2,17	0,39	3,70	0,40	3,40
2,8	2,18	0,50	3,60	0,50	3,30
3,3	2,19	0,63	3,50	0,63	3,20
3,9	2,20	0,79	3,40	0,79	3,10
4,5	2,21	1,00	3,30	0,99	3,00
5,1	2,22	1,25	3,20	1,25	2,90
5,8	2,23	1,58	3,10	1,57	2,80
6,6	2,24	1,98	3,00	1,98	2,70
7,4	2,25	2,49	2,90	2,49	2,60
8,3	2,26	3,14	2,80	3,13	2,50
9,2	2,27	3,90	2,70	4,00	2,40
11	2,28	4,97	2,60	5,00	2,30
13	2,30	6,30	2,50	6,30	2,20
15	2,32	7,90	2,40	7,90	2,10
18	2,34	10,00	2,30	9,90	2,00
22	2,36	12,50	2,20	12,50	1,90
25	2,38	15,80	2,10	15,70	1,80
29	2,40	19,80	2,00	19,80	1,70
34	2,42				
39	2,44				
45	2,46				
51	2,48				
59	2,50				
67	2,52				
76	2,54				

Fonte: Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos.

Tabela E. Informações para interpretação da qualidade da água para irrigação.

Problemas	Qualidade da Água		
	Sem Problemas	Acumulando Problemas	Grandes Problemas
Permeabilidade RAS _{ai}	< 6	6 – 9	> 9
Toxidade (Absorção pelas raízes) RAS _{ai}	< 3	3 – 9	> 9

Fonte: Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos.

Tabela F. Informações para interpretação da qualidade da água para irrigação, quanto a presença de sais.

Sólidos Totais Solúveis micromhons/cm	Sólidos Solúveis ppm	Sódio %	Cloretos meq/L	Sulfatos meq/L	Classe de Água
< 250	< 175	< 20	< 4	< 4	Excelente
250 - 750	175 - 525	20 - 40	4 - 7	4 - 7	Boa
750 - 2000	525 - 1400	40 - 60	7 - 12	7 - 12	Permissível
2000 - 3000	1400 - 2100	60 - 80	12 - 20	12 - 20	Duvidosa
> 3000	> 2100	> 80	> 20	> 20	Imprópria

Fonte: Schofield, 1936.

Tabela G. Classificação da água quanto a dureza, segundo

Classificação	mg/L de CaCO ₃
Água mole	< 50
Dureza moderada	50 - 150
Água dura	150 - 300
Água muito dura	> 300

Fonte: Sperling, 1996.

Tabela H. Níveis de eutrofização em função do fósforo total.

Grau de eutrofização	Concentração de P total (mg/L)
Não eutrófico	< 0,01 e 0,02
Estágio intermediário	0,02 - 0,05
Eutrófico	> 0,05

Fonte: Sperling, 1996.

Tabela I. Concentrações máximas de oligoelementos recomendáveis para a irrigação.

Elemento	Concentração ¹ (mg/L)	Observações
Al (Alumínio)	5,00	Pode tornar improdutivos solos ácidos (pH < 5,5), porém em solos com pH > 7 o Al precipita e elimina a toxicidade
As (Arsênio)	0,10	O nível tóxico varia bastante nas plantas, desde 12 mg/L para o capim-sudão, até menos de 0,05 mg/L para o arroz
Be (Berílio)	0,10	O nível tóxico para as plantas varia amplamente, desde 5 mg/L para a couve, até 0,05 mg/L para os feijões
Cd (Cádmio)	0,01	Tóxico para os feijões, beterraba e nabo, em concentrações tão baixas como 0,1 mg/L em soluções nutritivas; recomendam-se limites baixos devido à sua acumulação potencial em solos e plantas; perigoso para seres humanos
Co (Cobalto)	0,05	Tóxico para os tomateiros a 0,1 mg/L em soluções nutritivas. Torna-se inativo em solos neutros e alcalinos.
Cr (Cromo)	0,10	Geralmente não é conhecido como elemento essencial. Valores baixos recomendados por falta de conhecimento sobre sua toxicidade nas plantas
Cu (Cobre)	0,20	Entre 0,1 e 1,0 mg/L é tóxico para as plantas em soluções nutritivas
F (Flúor)	1,00	Inativado pelos solos neutros e alcalinos
Fe (Ferro)	5,00	Não é tóxico em solos com boa aeração, porém contribui para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio. A aspersão pode causar a formação de depósitos na folhas
Li (Lítio)	2,50	Tolerado por muitas culturas até 5,0 mg/L, móvel no solo. Tóxico para citros em concentração < 0,075 mg/L. Atua de forma similar ao boro
Mn (Manganês)	0,20	No geral, tóxico só em solos ácidos desde alguns décimos até uns poucos mg/L
Mo (Molibdênio)	0,01	Em concentrações normais não é tóxico para as plantas, porém pode sê-lo para o gado alimentado com pastos cultivados em solos com alto teor de molibdênio disponível
Ni (Níquel)	0,20	Entre 0,5 e 1,0 mg/L tóxico para certas plantas; sua toxicidade é reduzida em pH neutro ou alcalino
Pb (Chumbo)	5,00	Em altas concentrações, pode inibir o crescimento celular
Se (Selênio)	0,02	Tóxico para plantas em concentrações tão baixas como 0,025 mg/L; também tóxico para o gado alimentado com pastos cultivados em solos com níveis relativamente altos de selênio. Um elemento essencial para animais, porém em concentrações muito baixa
Sn (Estanho)	-	
Ti (Titânio)	-	Excluído pelas plantas; tolerância específica desconhecida
W (Tungstênio)	-	
V (Vanádio)	0,10	Tóxico para muitas plantas a níveis relativamente baixos
Zn (Zinco)	2,00	Tóxico para muitas plantas em concentrações bastante variadas. Sua toxicidade é reduzida em pH > 6 em solos de textura fina

Fonte: National Academy of Science (1972) e Pratt (1972).

¹Estas concentrações máximas se baseiam numa aplicação de água de 10.000 m³/ha/ano. Se a lâmina de irrigação excede este limite, as concentrações máximas devem ser corrigidas; para lâminas inferiores não precisa corrigi-las. Os valores dados são para o consumo contínuo de água num mesmo lugar.

Tabela J. Critérios de qualidade de água para irrigação de hortaliças e frutas.

Parâmetro	Valor	Unidade	Observação
Materiais flutuantes	Visualmente ausentes	-	-
Óleos e graxas	Visualmente ausentes	-	-
Substâncias que comuniquem gosto ou odor	Visualmente ausentes	-	-
Corantes artificiais	Visualmente ausentes	-	-
Coliformes totais	5000/100ml	NMP ou contagem direta	Valor 80%
Coliformes fecais	1000/100ml	NMP ou contagem direta	Valor 80%
OD	5	mg/l	Valor Mínimo
DBO ₅ à 20° C	5	mg/l	Valor Máximo
pH	4,5 – 9,0	-	Faixa
Substâncias potencialmente prejudiciais (consultar a lista de n. 5)	-	-	-
<u>Alumínio</u>	5,0	mg/l	Valor Máximo
<u>Amônia</u>	0,5	mg/l	Valor Máximo
Arsênio	0,1	mg/l	Valor Máximo
Bário	1,0	mg/l	Valor Máximo
Berílio	0,1	mg/l	Valor Máximo
<u>Boro</u>	0,75	mg/l	Valor Máximo
Cádmio	0,01	mg/l	Valor Máximo
Chumbo	0,1	mg/l	Valor Máximo
Cianeto	0,2	mg/l	Valor Máximo
Cobalto	0,2	mg/l	Valor Máximo
Cobre	1,0	mg/l	Valor Máximo
Cromo	0,05	mg/l	Valor Máximo
Estanho	2,0	mg/l	Valor Máximo
Fenóis	0,001	mg/l	Valor Máximo
<u>Ferro</u>	5,0	mg/l	Valor Máximo
Flúor	1,4	mg/l	Valor Máximo
Lítio	2,5	mg/l	Valor Máximo
Manganês	0,2	mg/l	Valor Máximo
<u>Mercurio</u>	0,002	mg/l	Valor Máximo
<u>Molibdênio</u>	0,01	mg/l	Valor Máximo
Níquel	0,5	mg/l	Valor Máximo
Nitrato (N)	10,0	mg/l	Valor Máximo
Nitrito (N)	1,0	mg/l	Valor Máximo
<u>Selênio</u>	0,01	mg/l	Valor Máximo
<u>Zinco</u>	5,0	mg/l	Valor Máximo
Salinidade	1000 ou 1,5	mho/cm à 25° C	Valor Máximo
Cloreto	425	mg/l	Valor Máximo
<u>Sulfato</u>	575	mg/l	Valor Máximo
CSR	2,5	meq/l	Valor Máximo
RAS	8	meq/l	Podendo ser tolerado até 18

Fonte: FEEMA, 1979.

Tabela K. Critérios de qualidade de água para irrigação de culturas arbustivas, cerealíferas e forrageiras.

Parâmetro	Valor	Unidade	Observação
Materiais flutuantes	Visualmente ausentes	-	-
Óleos e graxas	Visualmente ausentes	-	-
Substâncias que comuniquem gosto ou odor	Visualmente ausentes	-	-
Corantes artificiais	Visualmente ausentes	-	-
pH	4,5 – 9,0	-	Faixa
Substâncias potencialmente prejudiciais (consultar a lista de n. 5)	-	-	-
Alumínio	5,0	mg/l	Valor Máximo
Amônia	0,5	mg/l	Valor Máximo
<u>Arsênio</u>	0,1	mg/l	Valor Máximo
<u>Bário</u>	1,0	mg/l	Valor Máximo
Berílio	0,1	mg/l	Valor Máximo
Boro	0,75	mg/l	Valor Máximo
Cádmio	0,01	mg/l	Valor Máximo
Chumbo	0,1	mg/l	Valor Máximo
<u>Cianeto</u>	0,2	mg/l	Valor Máximo
Cobalto	0,2	mg/l	Valor Máximo
Cobre	1,0	mg/l	Valor Máximo
Cromo	0,05	mg/l	Valor Máximo
<u>Estanho</u>	2,0	mg/l	Valor Máximo
Fenóis	0,001	mg/l	Valor Máximo
Ferro	5,0	mg/l	Valor Máximo
Flúor	1,4	mg/l	Valor Máximo
Lítio	2,5	mg/l	Valor Máximo
<u>Manganês</u>	0,2	mg/l	Valor Máximo
<u>Mercurio</u>	0,002	mg/l	Valor Máximo
Molibdênio	0,01	mg/l	Valor Máximo
Níquel	0,5	mg/l	Valor Máximo
Nitrato (N)	10,0	mg/l	Valor Máximo
Nitrito (N)	1,0	mg/l	Valor Máximo
<u>Selênio</u>	0,01	mg/l	Valor Máximo
Zinco	5,0	mg/l	Valor Máximo
Salinidade	1000 ou 1,5	mho/cm à 25° C	Valor Máximo
Cloreto	425	mg/l	Valor Máximo
<u>Sulfato</u>	575	mg/l	Valor Máximo
<u>CSR</u>	2,5	meq/l	Valor Máximo
RAS	8	meq/l	Podendo ser tolerado até 18

Fonte: FEEMA, 1979.

Tabela L. Elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstrução nos sistemas de irrigação localizada.

Físicos (sólidos em suspensão)	Químicos (Precipitação)	Biológicos (Bactérias e Algas)
1. Areia	1. Carbonatos de Ca e Mg	1. Filamentos
2. Silte	2. Sulfato de Ca	2. Lodo
3. Argila	3. Metais pesados: óxidos, hidróxidos, carbonatos, silicatos e sulfetos.	3. Depósitos microbianos (a) Fosfatos (b) Enxofre (c) Manganês
4. Matéria Orgânica	4. Fertilizantes	4. Bactéria
	(a) Ferro	5. Organismos aquáticos
	(b) Amônia líquida	(a) Ovos de caracóis
	(c) Fé, Cu, Zn e Mn	(b) Larvas

Fonte: Bucks *et al.* (1979).

Tabela M. Influência da qualidade da água no surgimento de problemas de obstrução nos sistemas de irrigação localizada.

Problemas	Unidades	Grau e Restrição de Uso		
		Nenhuma	Ligeira a Moderada	Severa
Físicos				
Sólidos em suspensão	mg/L	< 50	50 – 100	> 100
Químicos				
pH		< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos Solúveis	mg/L	< 500	500 – .000	> 2.000
Manganês ¹	mg/L	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro ²	mg/L	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ácido Sulfúrico	mg/L	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Biológicos				
	N ^o			
Populações Bacterianas	Máx./mL	< 10.000	10.000 – 50.000	> 50.000

Fonte: Nakayama (1982).

¹Enquanto nessas concentrações se espera que não ocorram obstruções nos sistemas de irrigação localizada, as toxicidades pelo Mn podem apresentar-se em concentrações menores .

²As concentrações de Fe maiores que 5 mg/L podem provocar desequilíbrio de nutrição em certas culturas.

Tabela N. Níveis de magnésio sugeridos nas águas, para gados e aves.

Aves e Gados	Concentração de Magnésio
	(mg/L)
Aves confinadas ¹	< 250
Suínos ¹	< 250
Eqüinos	250
Vacas lactantes	250
Ovelhas e cordeiros	250
Bovinos de corte	400
Ovinos adultos alimentados com feno	500

Fonte: Australian Water Resources Council (1969).

¹ A tolerância das aves e suínos ao Mg são desconhecidas, porém se estima que seja inferior a 250 mg/L.

Tabela O. Guia de qualidade de água para gados e aves.

Salinidade da Água (dS/m)	Classe	Observações
< 1,5	Excelente	Adequada para todas as classes de gado e aves confinadas
1,5 – 5,0	Muito satisfatória	Adequada par todas as classes de gado e aves confinadas. Provoca diarreia temporária em gado não acostumado e excrementos aquosos nas aves
	Satisfatória para o gado	Pode produzir diarreia temporária ou não ter aceitabilidade por animais não acostumados a ela
5,0 – 8,0		
	Não apta para as aves	Provoca freqüentemente excrementos aquosos, aumentando a mortalidade e redução de crescimento, especialmente em perus
	De uso limitado para o gado	Adequada com razoável segurança para bovinos de leite, de corte, ovinos, suínos e eqüinos. Evitar o seu uso para fêmeas prenhas e em lactação
8,0 – 11,0		
	Não apta para as aves	Não adequadas para as aves domésticas
	De uso limitado	Não adequada para aves e provavelmente para suínos. Grande risco para vacas lactantes ou prenhas, ovinos e eqüinos. Evitar seu uso, embora os ruminantes, cavalos, suínos e aves mais velhos, possam subsistir em certas condições
11,0 – 16,0		
> 16,0	Não recomendável	Risco muito grande

Fonte: National Academy of Science (1974).

Tabela P. Níveis de substâncias tóxicas nas águas para o gado.

Elemento/Íon	Limite Máximo (mg/L)
Alumínio (Al)	5,00
Arsênio (As) ¹	0,20
Berílio (Be)	0,10
Boro (B)	5,00
Cádmio (Cd)	0,05
Chumbo (Pb) ²	0,10
Cobalto (Co)	1,00
Cobre (Cu)	0,50
Cromo (Cr)	1,00
Ferro (Fe)	Não necessita
Flúor (F)	2,00
Manganês (Mn) ³	0,05
Mercurio (Hg)	0,01
Nitrato + Nitrito (NO ₃ ⁻ - N + NO ₂ ⁻ - N)	100,00
Nitritos (NO ₂ ⁻ - N)	10,00
Selênio (Se)	0,05
Vanádio (V)	0,10
Zinco (Zn)	24,00

Fonte: National Academy of Science (1974).

¹ Não existem dados suficientes para o gado. Os valores indicados correspondem à fauna marinha.

² O chumbo é acumulativo e os problemas podem começar com 0,05 mg/L.

³ Não existem suficientes dados para o gado. Os valores indicados são para os seres humanos.

Tabela Q. Critérios de qualidade de água para dessedentação e criação de animais.

Parâmetro	Valor	Unidade	Observação
Materiais flutuantes	Visualmente ausentes	-	-
Óleos e graxas	Visualmente ausentes	-	-
Substâncias que comuniquem gosto ou odor	Visualmente ausentes	-	-
Corantes artificiais	Visualmente ausentes	-	-
Coliformes totais	20000/100ml	NMP ou contagem direta	Valor Máximo
Coliformes fecais	4000/100ml	NMP ou contagem direta	Valor Máximo
OD	4	mg/l	Valor Máximo
DBO ₅ à 20° C	10	mg/l	Valor Máximo
Substâncias potencialmente prejudiciais (consultar a lista de n. 5)	-	-	-
Alumínio	5,0	mg/l	Valor Máximo
Amônia	0,5	mg/l	Valor Máximo
<u>Arsênio</u>	0,1	mg/l	Valor Máximo
Bário	1,0	mg/l	Valor Máximo
Boro	5,0	mg/l	Valor Máximo
Cádmio	0,01	mg/l	Valor Máximo
<u>Chumbo</u>	0,1	mg/l	Valor Máximo
Cianeto	0,02	mg/l	Valor Máximo
Cobalto	1,0	mg/l	Valor Máximo
Cobre	1,0	mg/l	Valor Máximo
Cromo	0,05	mg/l	Valor Máximo
Estanho	2,0	mg/l	Valor Máximo
Fenol	0,001	mg/l	Valor Máximo
Flúor	1,4	mg/l	Valor Máximo
<u>Mercurio</u>	0,002	mg/l	Valor Máximo
<u>Nitrato (N)</u>	10	mg/l	Valor Máximo
<u>Nitrito (N)</u>	1,0	mg/l	Valor Máximo
Selênio	0,01	mg/l	Valor Máximo
Vanádio	0,1	mg/l	Valor Máximo
<u>Zinco</u>	5,0	mg/l	Valor Máximo
Substâncias tensio-ativas que reagem ao azul de metileno	0,5	mg/l	Valor Máximo
<u>Aldrin</u>	0,001	mg/l	Valor Máximo
<u>Clordano</u>	0,003	mg/l	Valor Máximo
DDT	0,05	mg/l	Valor Máximo
Dieldrin	0,001	mg/l	Valor Máximo
<u>Endrin</u>	0,0005	mg/l	Valor Máximo
<u>Heptacloro</u>	0,0001	mg/l	Valor Máximo
Epóxido de Heptacloro	0,0001	mg/l	Valor Máximo
Lindano	0,005	mg/l	Valor Máximo
Metoxicloro	1,0	mg/l	Valor Máximo
<u>Toxafeno</u>	0,005	mg/l	Valor Máximo
2, 4, 5 - D	0,02	mg/l	Valor Máximo
2, 4, 5 - TP	0,03	mg/l	Valor Máximo
2, 4, 5 - T	0,002	mg/l	Valor Máximo

Fonte: FEEMA (1979).

Tabela R. Compilação de Padrões Ambientais – Resolução CONAMA 20/86.

Parâmetros	Unidade	Classes							
		1	2	3	4	5	6	7	8
pH	-	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	5,0-9,0
OD	mg/1O ²	= 6	= 5	= 4	= 2	= 6	= 4	= 5	= 3
DBO	mg/1O ²	= 3	= 5	= 10	-	= 5	= 10	= 5	-
Turbidez	UNT	= 40	= 100	= 100	-	-	-	-	-
Cor	Pt/L	Natural	= 75	= 75	-	-	-	-	-
Alumínio	mg/L Al	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-
Amônia Não Ionizável	mg/L NH ₃	0,02	0,02	-	-	0,4	-	0,4	-
Arsênio	mg/L AS	0,05	0,05	0,05	-	0,05	-	0,05	-
Bário	mg/L Ba	1,0	1,0	1,0	-	1,0	-	-	-
Berílio	mg/L Be	0,1	0,1	0,1	-	1,5	-	-	-
Boro	mg/L B	0,75	0,75	0,75	-	5,0	-	-	-
Benzeno	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Cádmio	mg/L Cd	0,001	0,001	0,01	-	0,005	-	0,005	-
Cianetos	mg/L CN	0,01	0,01	0,2	-	0,005	-	0,005	-
Chumbo	mg/L Pb	0,03	0,03	0,05	-	0,01	-	0,01	-
Cloretos	mg/L Cl	250	250	250	-	-	-	-	-
Cloro Residual	mg/L Cl ₂	0,01	0,01	-	-	0,01	-	-	-
Cobalto	mg/L Co	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-
Cobre	mg/L Cu	0,02	0,02	0,5	-	0,05	-	0,05	-
Cromo Hexavalente	mg/L Cr	0,05	0,05	0,05	-	0,05	-	0,05	-
Cromo Trivalente	mg/L Cr	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	-
1,1Dicloroetano	mg/L	0,0003	0,0003	0,0003	-	-	-	-	-
1,2Dicloroetano	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Estanho	mg/L Sn	2,0	2,0	2,0	-	2,0	-	-	-
Índice Fenol	mg/L	0,001	0,001	0,3	1,0	0,001	-	0,001	-
Ferro Solúvel	mg/L Fe	0,3	0,3	5,0	-	-	-	-	-
Fluoretos	mg/L F	1,4	1,4	1,4	-	1,4	-	1,4	-
Fosfato Total	mg/L P	0,025	0,025	0,025	-	-	-	-	-
Lítio	mg/L Li	2,5	2,5	2,5	-	-	-	-	-
Manganês	mg/L Mn	0,1	0,1	0,5	-	0,1	-	-	-
Mercurio	mg/L Hg	0,0002	0,0002	0,002	-	0,0001	-	0,0001	-
Níquel	mg/L Ni	0,025	0,025	0,025	-	0,1	-	0,1	-
Nitrato	mg/L N	10	10	10	-	10	-	-	-
Nitrito	mg/L N	1,0	1,0	1,0	-	1,0	-	-	-
Prata	mg/L Ag	0,01	0,01	0,05	-	0,005	-	-	-
Pentaclorofenol	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Selênio	mg/L Se	0,01	0,01	0,01	-	0,01	-	-	-
STD	mg/L	500	500	500	-	-	-	-	-
Surfactantes	mg/L LAS	0,5	0,5	0,5	-	0,5	-	-	-
Sulfatos	mg/L SO ₄	250	250	250	-	-	-	-	-
Sulfetos	mg/L S	0,002	0,002	0,03	-	0,002	-	0,002	-
Tetracloroetano	mg/L	0,01	0,01	0,001	-	-	-	-	-
Tricloroeto Carbono	mg/L	0,03	0,03	0,03	-	-	-	-	-
Tetracloroetano	mg/L	0,003	0,003	0,003	-	-	-	-	-
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
Urânio Total	mg/L U	0,02	0,02	0,02	-	0,5	-	-	-
Vanádio	mg/L V	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-
Zinco	mg/L Zn	0,18	0,18	5,0	-	0,17	-	0,17	-
Aldrin	mg/L	0,01	0,01	0,03	-	0,003	-	0,003	-
Clordano	mg/L	0,04	0,04	0,3	-	0,004	-	0,004	-
DDT	mg/L	0,002	0,002	1,0	-	0,001	-	0,001	-
Dieldrin	mg/L	0,005	0,005	0,03	-	0,003	-	0,003	-
Endrin	mg/L	0,004	0,004	0,2	-	0,004	-	0,004	-
Endosulfan	mg/L	0,056	0,056	150	-	0,034	-	0,034	-
Epóxidoheptacloro	mg/L	0,01	0,01	0,1	-	0,001	-	0,001	-
Heptacloro	mg/L	0,01	0,01	0,1	-	0,001	-	0,001	-
Lindano	mg/L	0,2	0,2	3,0	-	0,03	-	0,03	-
Metoxicloro	mg/L	0,3	0,3	30	-	0,004	-	0,004	-
Dodecacrilononacl	mg/L	0,001	0,001	0,001	-	0,001	-	0,001	-
PCB's	mg/L	0,001	0,001	0,001	-	-	-	-	-
Toxafeno	mg/L	0,01	0,01	5,0	-	0,005	-	0,005	-
Demeton	mg/L	0,1	0,1	14,0	-	0,1	-	0,1	-
Gusaton	mg/L	0,005	0,005	0,005	-	0,01	-	0,01	-
Malation	mg/L	0,1	0,1	100	-	0,1	-	0,1	-
Paration	mg/L	0,04	0,04	35	-	0,04	-	0,04	-
Org.Fosforados	mg/L	10	10	10	-	10	-	10	-
2,4D	ng/L	4,0	4,0	20	-	10	-	10	-
2,4,5 – TP	mg/L	10	10	10	-	10	-	10	-

Fonte: Padrões de Qualidade Ambiental no Brasil.

Tabela S. Padrão de Aceitação para Consumo Humano.

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido - VMP
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH ⁽¹⁾	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não Objetável ⁽²⁾
Gosto	-	Não Objetável ⁽²⁾
Sódio	mg/L	200
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/l	0,17
Turbidez	UT ⁽³⁾	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3
Radioatividade alfa global	Bq/L	0,1 ⁽⁴⁾
Radioatividade beta global	Bq/L	1,0 ⁽⁴⁾
COMPOSTOS ORGÂNICOS		
Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido - VMP
Acrilamida	mg/L	0,5
Benzeno	mg/L	5
Benzo[a] pireno	mg/L	0,7
Cloreto de Vanila	mg/L	5
1,2 Dicloroetano	mg/L	10
1,1 Dicloroetano	mg/L	30
Diclorometano	mg/L	20
Estireno	mg/L	20
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	2
Tetracloroetano	mg/L	40
Triclorobenzenos	mg/L	20
<i>Tricloroetano</i>	mg/L	70

AGROTÓXICOS		
Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido - VMP
Alaclor	mg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	mg/L	0,03
Atrazina	mg/L	2
Bentazona	mg/L	300
Clordano (isômeros)	mg/L	0,2
2,4 D	mg/L	30
DDT (isômeros)	mg/L	2
Endossulfan	mg/L	20
Endrin	mg/L	0,6
Glifosato	mg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxico	mg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	mg/L	1
Lindano (ã-BHC)	mg/L	2
Metolacloro	mg/L	10
Metoxicloro	mg/L	20
Molinato	mg/L	6
Pendimetalina	mg/L	20
Pentaclorofenol	mg/L	9
Permitrina	mg/L	20
Propanil	mg/L	20
Simazina	mg/L	2
Trifluralina	mg/L	20
CIANOTOXINAS		
Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido - VMP
Microcistinas ⁽³⁾	mg/l	1,0
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECCÃO		
Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido - VMP
Bromato	mg/l	0,025
Clorito	mg/l	0,2
Cloro livre	mg/l	5
Monocloramina	mg/l	3
2,4,6 Triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos Total	mg/l	0,1

Fonte: Adaptada de Portaria 1.469/2000 do Ministério da Saúde.