

JORGE ANTÔNIO BARROS DE MACÊDO

UFV	BTB: TITULO	BBT	RG000512170
	CLASSIFICACAO	T 664.07 / M141s	
TITULO Sistema especialista para controle e trata			
			
102594		BBT	

SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE  
ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

BIBLIOTECA CENTRAL - UFV -
102.594
20.10.94

Tese Apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como Parte das Exigências do Curso de Ciências e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do Título de "Magister Scientiae".

T  
664.07  
M141s  
1995  
et. 1

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
FEVEREIRO DE 1995

DOAÇÃO

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

T

M141s  
1995

Macêdo, Jorge Antônio Barros de, 1954-  
Sistema especialista para controle e tratamento de água na indústria de alimentos/ Jorge Antônio Barros de Macêdo. - Viçosa : UFV, 1995.  
93p. : il.

Orientador: Nélcio José de Andrade.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

1. Água na indústria de alimentos - Controle de qualidade. 2. Água na indústria de alimentos - Tratamento. 3. Alimentos - Indústria - Aplicação de computadores. 4. Alimentos - Indústria - Sistemas especialistas. 5. Inteligência artificial. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD. 18. ed. 664.07

CDD. 19. ed. 664.07

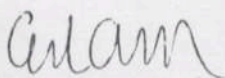


JORGE ANTÔNIO BARROS DE MACÊDO

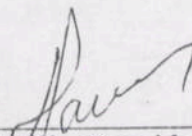
SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE  
ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Ciências  
e Tecnologia de Alimentos, para  
obtenção do Título de "Magister  
Scientiae".

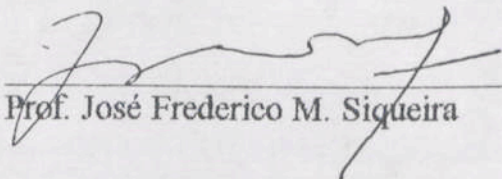
APROVADA: 22 de Julho de 1994



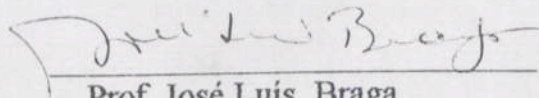
Prof. Carlos A. Barbosa da Silva  
(Conselheiro)



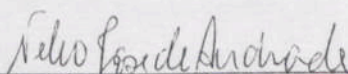
Prof. Emilio Gomide Loures  
(Conselheiro)



Prof. José Frederico M. Siqueira



Prof. José Luís Braga



Prof. Nélcio José de Andrade  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa, em particular ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, e a todos os seus professores, a coordenação do Curso, coordenada pelo Professor José Benício Paes Chaves, pela infraestrutura oferecida, pelo apoio técnico e na procura de soluções para os problemas.

A minha esposa e filha, Isabel e Anna Leticia.

Ao meu orientador Prof. Nélcio.

Ao professor Emílio Grande Leiva, pelo apoio e por ter sido o primeiro a me aceitar na equipe do Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aos conselheiros, professores Carlos Ademar S. Silva e Cláudio Pereira Jordão, pelo apoio.

Aos professores Amélio Maranduba e Antônio Sebastião Medeiros, do Departamento de Química da Universidade Federal de Juiz de Fora, pelo apoio e pela ajuda para que eu pudesse evoluir profissionalmente, fazendo um curso de pós-graduação.

Aos professores Emanuel de Castro Antunes Felício, Nelson Soares da Oliveira, Sécrida Sozzi Miguel Lemos, do Departamento de Química da Universidade Federal de Juiz de Fora, por terem participado do processo de validação do curso.

Ao professor Agostinho Paulo Diniz Lemos, chefe do Departamento de Química da Universidade Federal de Juiz de Fora, pelo apoio e pela atenção.



## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, em particular ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, e a todos os seus professores, à coordenação do Curso, conduzida pelo Professor José Benício Paes Chaves, pelo convívio, e por estar sempre aberto ao diálogo e na procura de soluções para os problemas.

Ao professor Emilio Gomide Loures, pelo apoio e por ter sido o primeiro a me incentivar na escolha do Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aos conselheiros, professores Carlos Arthur B. Silva e Cláudio Pereira Jordão, pelo apoio.

Aos professores Aurélio Maranduba e Antônio Salustiano Machado, do Departamento de Química da Universidade Federal de Juiz de Fora, pelo incentivo e pela ajuda para que eu pudesse evoluir profissionalmente, fazendo um curso de pós-graduação.

Aos professores Emanuel de Castro Antunes Felício, Newton Gomes de Oliveira Soraida Sozzi Miguel Lamim, do Departamento de Química da Universidade Federal de Juiz de Fora, por terem participado do processo de validação do ACQUA-SIST.

Ao professor Agenor Paulo Binato Lamin, Chefe do Departamento de Química da Universidade Federal de Juiz de Fora, pelo apoio e pela amizade.

Ao Professor João Evangelista de Paula Reis, pela amizade e pelo apoio.

Aos engenheiros Marcelo e Jadir, das firmas Abatedouro PIF-PAF, em Visconde do Rio Branco MG e para MAROCA e RUSSO (COTOCHÉS), em Rio Casca, pela contribuição no processo de validação do Sistema Especialista.

A Direção do Instituto Estadual de Educação, na presença da Professora Yolanda Ormundo Stherling, pelo apoio irrestrito.

Ao Professor Nélcio José de Andrade, que foi mais que um "orientador", foi um "amigo"; pois certamente, sem o seu apoio e sua amizade, não seria possível realizar este trabalho em tão curto espaço de tempo.



## CONTÉUDO

### BIOGRAFIA

JORGE ANTÔNIO BARROS DE MACÊDO, filho de Antônio de Padua Macêdo e Iêda Barros de Macêdo, nasceu em 30 de agosto de 1954, em Juiz de Fora, Minas Gerais.

Em julho de 1978, graduou-se em Licenciatura de Química pela Universidade Federal de Juiz de Fora e, em dezembro de 1985, terminou o Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG.

Em março de 1993, iniciou o curso de Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

2.2. Potabilização da Água ..... 4

2.3. Água para Indústria de Alimentos ..... 5

2.3.1. Água para Geração de Vapor ..... 11

2.3.2. Sistema de Resfriamento ..... 12

2.3.3. Água para Processamento ..... 15

2.4. Sistemas Especialistas ..... 12

3. NUTRIÇÃO ..... 13

3.1. Análise de Composição ..... 16

3.3. Qualificação do Especialista	17
3.4. Desenvolvimento do Protótipo	18
3.4. Teste, Expansão e Revisão do Sistema Especialista	18
3.5. Distribuição do Sistema	19
3.6. Validação do Sistema	19
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	22
4.1. Descrição do Sistema	22
4.2. AQUA-SIST: Fundamentos para Elaboração do Sistema	33
4.2.1. Condições de Potabilidade dos Mananciais e Prescrição de Tratamento para Obtenção de Água Potável	33
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
EXTRATO	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Introdução	3
2.2. Potabilização da Água	4
2.3. Água para Indústria de Alimentos	8
2.3.1. Água para Geração de Vapor	11
2.3.2. Sistema de Resfriamento	12
2.3.3. Água para Processamento	12
2.4. Sistemas Especialistas	12
3. METODOLOGIA	15
3.1. Aquisição do Conhecimento	16



3.2. Codificação do Conhecimento .....	18
3.3. Desenvolvimento do Protótipo .....	18
3.4. Teste, Expansão e Revisão do Sistema Especialista .....	18
3.5. Distribuição do Sistema .....	19
3.6. Validação do Sistema .....	19
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	22
4.1. Descrição do Sistema .....	22
4.2. ACQUA-SIST: Fundamentos para Elaboração do Sistema .....	33
4.2.1. Condições de Potabilidade dos Mananciais e Prescrição de Tratamento para Obtenção de Água Potável .....	33
4.2.1.1. Seleção e Parâmetros Microbiológicos, Físico-químicos e Estéticos ou Organolépticos .....	33
4.2.1.2. Parâmetros Seleccionados: Significado e Tratamento para Potabilização da Água .....	40
4.2.2. Bases de Conhecimento para Tratamento de Água para Aplicações na Indústria de Alimentos .....	45
4.2.2.1. Água para Geração de Vapor .....	45
4.2.2.2. Água para Resfriamento .....	49
4.2.2.3. Água para Higienização .....	52
4.2.3. Legislação Brasileira sobre Potabilização de Mananciais e Potabilidade de Água .....	55
4.3. Demonstração de Funcionamento do ACQUA-SIST .....	55
4.4. Validação de Sistema Especialista .....	63
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	65
6. RECOMENDAÇÕES .....	68
7. BIBLIOGRAFIA .....	69

8. APÊNDICE .....	75
APÊNDICE A .....	76
APÊNDICE B .....	84
APÊNDICE C .....	93

## LISTA DE QUADROS

	Página
1. Critério de Validação do ACQUA-SIST .....	21
2. Informações Quantitativas dos Modelos Organizacionais 1 e 2 .....	29
3. Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Obtenção de Água Potável .....	30
4. Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Legislação sobre Água .....	31
5. Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Obtenção de Água para a Indústria de Alimentos .....	32
6. Parâmetros Microbiológicos, Físico-químicos e Ecológicos ou Organolépticos para Elaboração do Sistema Especialista .....	33
7. Formas de Valores para Classificação de Municipal – CEPESB .....	38
8. Estratégias para Controle de Água em Caldeiras em Função da Pressão de Trabalho .....	46
9. Resultado do Processo de Validação do ACQUA-SIST .....	64



## LISTA DE QUADROS

	Página
1. Critério de Validação do ACQUA-SIST .....	21
2. Informações Quantitativas dos Módulos Gerenciadores 1 e 2 .....	29
3. Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Obtenção de Água Potável .....	30
4. Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Legislação sobre Água .....	31
5. Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Obtenção de Água para a Indústria de Alimentos .....	32
6. Parâmetros Microbiológico, Físico-químicos e Estéticos ou Organolépticos para Elaboração do Sistema Especialista .....	35
7. Escala de Valores para Classificação de Manancial - CETESB .....	38
8. Parâmetros para Controle de Água em Caldeiras em Função da Pressão de Trabalho .....	46
9. Resultado do Processo de Validação do ACQUA-SIST .....	64

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Estrutura Básica de um Sistema Especialista .....	16
2. Interligação das Bases de Conhecimento na Formação do ACQUA-SIST .....	24
3. Módulos Gerenciadores e Bases de Conhecimento para a Indústria de Alimentos .....	25
4. Exemplo de um Texto Informativo Utilizado pelo ACQUA-SIST .....	27
5. Exemplos de Regras Utilizadas no ACQUA-SIST .....	28



## EXTRATO

MACÊDO, Jorge Antônio Barros, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Dezembro de 1994. **Sistema Especialista para Controle e Tratamento de Água na Indústria de Alimentos**. Professor Orientador: Nélcio José de Andrade. Conselheiros: Carlos Arthur Barbosa da Silva, Emílio Gomide Loures e Cláudio Pereira Jordão.

[A indústria de alimentos necessita de água que esteja dentro dos padrões de potabilidade e de certas características físico-químicas e microbiológicas para atender às diversas aplicações dentro da linha de processamento.] Na maioria das vezes, há necessidade de dispor do conhecimento de profissionais especializados para obter água que atenda suas finalidades. No entanto, o mercado de trabalho é carente de profissionais com este perfil, e muitas vezes, as indústrias de alimentos contratam firmas especializadas, o que custa caro, onerando o tratamento de água.

Para minimizar o problema e facilitar a transferência do conhecimento desta área, foi elaborado um programa denominado "Sistema para Controle e Tratamento de Água na Indústria de Alimentos". O ACQUA-SIST é um sistema especialista que permite a consulta e emissão de laudos técnicos para condições de potabilização de mananciais e também para aplicações específicas dentro da indústria de alimentos, tais como a avaliação da qualidade da água para geração de vapor em caldeiras de baixa, média e alta pressões; e para água de

resfriamento de latas após a esterilização comercial, de equipamentos de processos e de sistemas refrigeração, e para a higienização de paredes, pisos, superfícies de alimentos, tubulações e equipamentos. Pode ainda efetuar consultas sobre a legislação vigente no que se refere às condições de potabilização de mananciais e padrões de potabilidade de água, fundamentadas na Resolução nº 20, de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e na Portaria nº 36, de 1990, do Ministério da Saúde.

O ACQUA-SIST foi desenvolvido em um microcomputador compatível com o padrão IBM-PC 80x86, utilizando-se o ambiente de programação LEVEL 5, sendo constituído de 217 laudos técnicos ou informativos e 908 regras, ocupando uma memória de 1,17 megabytes. A interação do sistema especialista com o usuário é efetuada por meio de textos informativos usados em todo o sistema para conduzir com mais objetividade a consulta ou mesmo colocar restrições ao usuário. Na emissão de laudos técnicos ou informativos, constam o nome do usuário, local e data da consulta e um sumário dos valores dos parâmetros informados.

O sistema foi submetido a um processo de validação externa, submetendo-se seis cenários, de 217 que constituem o ACQUA-SIST, à avaliação de nove especialistas. Verificou-se uma grande concordância entre o que propõe o sistema e os pareceres dos especialistas. Por isso, o ACQUA-SIST pode ser utilizado com sucesso em todas as indústrias que utilizem da água para geração de vapor, bem como resfriamento e higienização, permite ainda a sua aplicação nas estações de tratamento de água para abastecimento público, o que possibilita grandes perspectivas na sua aplicação.



## 1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento indispensável à vida na terra. É usada nas mais diversas atividades humanas, sendo ainda, um alimento por excelência. Atende aos processos fisiológicos do organismo humano, às necessidades do asseio corporal e do meio, e supre a agropecuária e aos mais diversos tipos de indústrias.

O controle de água nos sistemas de abastecimento das cidades tem o objetivo de evitar as diversas doenças de origem hídrica, como febre tifóide, desinterias, hepatite infecciosa, entre outras. A água utilizada na indústria de alimentos deve apresentar-se dentro de certas especificações quanto à qualidade físico-química e microbiológica, para evitar alterações dos produtos elaborados e a deterioração de máquinas e equipamentos. Assim, contribui para a obtenção de produtos, que além de boas qualidades sensoriais e organolépticas, tenham boas condições higiênico-sanitárias, não vindo a oferecer quaisquer riscos à saúde do consumidor.

A qualidade da água na indústria de alimentos deve ser garantida do mesmo modo que uma matéria prima ou ingrediente (PORETTI, 1990). Um programa de garantia de qualidade deve cobrir a fonte, o tratamento, a distribuição e armazenagem dentro

da fábrica. Logo, o controle e tratamento da água na indústria de alimentos é de importância fundamental. Uma inspeção regular deve ser feita, submetendo-se a padrões internos e legais.

Atualmente pode-se dispor do auxílio da informática para o tratamento e controle da água, quando se observa a cada dia a exigência de mais qualidade deste ingrediente fundamental.

Para isso, o uso de sistemas especialistas, uma das áreas da inteligência artificial, pode ser uma alternativa viável. Estes programas de computador são desenvolvidos procurando-se reproduzir o processo por meio do qual especialistas humanos analisam e solucionam problemas em áreas específicas.

Assim, o usuário não especializado pode consultar o sistema para obter informações e respostas sobre problemas específicos. Isto é possível por meio de uma interação entre o usuário e o computador.

É desejável a existência no mercado de um sistema especialista para assessoramento de profissionais da indústria de alimentos e órgãos governamentais que atuam no controle e tratamento de água, onde existe pequena disponibilidade desse conhecimento específico.

Assim, desenvolveu-se o programa ACQUA-SIST. Esse software fornece informações sobre a legislação brasileira vigente para condições de potabilização de mananciais e padrões de potabilidade, sugere tratamentos convencionais para obtenção de água potável e específicos para água usada em geração de vapor, sistemas de refrigeração, higienização e uso geral na indústria de alimentos.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Introdução

A água tem sido vital ao homem e à natureza desde o começo dos tempos. O ciclo básico por meio do qual a água evapora, condensa, cai como chuva e corre ao longo da superfície da terra e governa toda a vida animal e vegetal.

Cerca de 70% da superfície terrestre é coberta pela água. Do volume total de água na terra, 96,8% encontra-se nos mares e 3,2% na forma de água doce. O suprimento de água doce encontra-se assim distribuído: 68,85% na forma de gelo e neve; 30,64% em água subterrânea com mais de 3 m de profundidade; 0,380% em lagos, rios e lagoas; 0,076% em água do solo, a menos de 3 m; 0,043% na atmosfera; 0,003% em plantas e animais e 0,001% em hidratos (GALETI, 1983). Por isso, o uso racional da água deve ser uma preocupação constante.

A água e suas impurezas são fatores de preocupação em seu tratamento. A análise completa de uma água natural indicaria a presença de mais de cinquenta constituintes nela dissolvidos ou em suspensão. Esses constituintes são sólidos ionizados, gases e

compostos orgânicos dissolvidos, matéria em suspensão, incluindo microrganismos e matéria coloidal, entre outros. Uma vez que toda substância é capaz de se dissolver em maiores ou menores proporções na água, independentemente de sua origem, ela contém pelo menos traços de substâncias estranhas. Mesmo quando proveniente de precipitação pluviométrica, onde é considerada pura, a água contém sólidos dissolvidos, absorve gases e diversas substâncias em suspensão da atmosfera. Quando atinge o solo, uma parte torna-se saturada de dióxido de carbono resultante de vegetais em decomposição, presentes no solo, e dissolve formações minerais (ANDRADE e MARTYN, 1982; DREW, 1979; KATSUYAMA e STRACHAN, 1980 ; SANTOS FILHO, 1985).

A importância da água em abastecimento público tem crescido com as populações e os conhecimentos científicos. As comunidades que se formaram com o aumento populacional contribuíram para a degradação das águas, provocando grande número de doenças de origem hídrica (PEREIRA, 1979). Ocorreram muitos surtos de moléstias que provocaram a morte de milhões de pessoas. O desenvolvimento das ciências físicas, químicas e biológicas contribuíram decisivamente para obtenção de métodos de controle e tratamento das águas, diminuindo a incidência de doenças.

## 2.2. Potabilização da água

Dependendo da origem, a água para abastecimento público pode passar por processos de sedimentação simples ou com agentes coagulantes, filtração e desinfecção, dentre outros (RICHTER e AZEVEDO NETO, 1991)

A sedimentação simples é um fenômeno pelo qual as partículas em suspensão na água, geralmente conferindo-lhe turbidez, tendem a depositar sob a ação da gravidade. A velocidade de sedimentação das partículas é proporcional ao seu peso, tamanho, viscosidade



e temperatura do líquido. Por exemplo, na água em repouso, partículas com diâmetro igual a um milímetro e massa específica de  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , à temperatura de  $10^\circ\text{C}$ , demoram apenas 10 segundos para se depositar. Já uma partícula de  $0,0001 \text{ mm}$ , nas mesmas condições, levaria cerca de dois anos (DACACH, 1975).

A sedimentação simples não remove a cor da água, que é causada principalmente por substâncias dissolvidas ou em estado coloidal. No entanto, quando se adiciona à água bruta substâncias químicas especiais, para o processo de decantação com agentes coagulantes, as substâncias responsáveis pela cor, bem como parte das bactérias, vírus e outras impurezas, se depositam no fundo do decantador. O uso dos coagulantes promove uma deposição muito mais rápida das substâncias em suspensão. O processo completa-se em três etapas: mistura rápida, floculação e decantação.

O sulfato de alumínio hidratado,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  também chamado "alúmen", é o mais usado para a coagulação nos suprimentos públicos de água, devido à excelente formação de flocos, em valores de pH entre de 5,5 a 8. Sua pureza é verificada de acordo com o teor de óxido de alumínio, que é geralmente em torno de 17%. Para que o sulfato de alumínio possa reagir para formar um precipitado, é necessário que a água a ser tratada contenha alguma alcalinidade, natural ou adicionada. O sulfato de alumínio comercial é um sólido cristalino disponível sob as formas de pedra, grânulos ou pó (ABES, 1988).

Nas águas com sabor e odor, tem sido aconselhado que se misture, ao sulfato de alumínio, carvão ativado na proporção de 2 a 4%. Esta mistura recebe a denominação de sulfato de alumínio ativado.

Um outro coagulante eficiente é o sulfato ferroso,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , denominado de caparrosa verde, pois se apresenta como cristais verdes prontamente solúveis na água. O colóide que se forma é o hidróxido férrico,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , cuja faixa de pH para melhor coagulação está entre 8,5 a 11. A solução de sulfato ferroso é mais corrosiva que a de

sulfato de alumínio e o seu uso sempre exige a presença de cal (óxido de cálcio). Existem ainda outros coagulantes como: i) o sulfato fêrrico,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , também chamado "Ferri-floc ou Ferrisol", normalmente usado para remover o manganês em valores de pH acima de 9; ii) o cloreto fêrrico,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , que tem características semelhantes às do sulfato fêrrico, sendo inviabilizado pelo custo; e iii) o aluminato de sódio,  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ , que é muito utilizado no tratamento de águas para caldeiras, e cujo uso é considerado vantajoso porque não há necessidade de adicionar alcalinidade.

No processo de sedimentação podem participar também os auxiliares da coagulação. Dentre eles, inclui-se, como principal auxiliar, a cal virgem ou óxido de cálcio,  $\text{CaO}$ , que reagindo com a água se transforma em  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , hidróxido de cálcio, que irá no tratamento da água aumentar o pH e adicionar alcalinidade, tornando mais eficiente a coagulação. O óxido de cálcio é encontrado na forma de um pó branco e amorfo.

O carbonato de sódio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , também chamado de barrilha ou soda-ash, é de fácil manuseio e recomendado como auxiliar de coagulação para tratamento em pequenas instalações para fins industriais ou piscinas.

O hidróxido de sódio,  $\text{NaOH}$ , também conhecido como soda cáustica, é utilizado de maneira semelhante à da barrilha. Produz alcalinidade sem aumentar a dureza, mas seu preço dificulta seu uso.

O ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ou ácido clorídrico, cujo nome comercial é ácido muriático ( $\text{HCl}$ ), é raramente usado em tratamento da água, exceto para reduzir o pH em águas que apresentam cor, ou em piscinas, a fim de possibilitar a floculação de águas com alcalinidade elevada.

A sílica ativada, quando utilizada com o sulfato de alumínio ou sulfato ferroso, devido a sua elevada carga negativa, promove a formação de flocos maiores, mais densos e



resistentes, o que aumenta a eficiência da floculação. No entanto, não pode ser utilizada em águas usadas em caldeiras, por provocarem incrustações de difícil remoção.

Até a introdução dos materiais sintéticos como coadjuvantes de floculação, os chamados polímeros polieletrólitos, a sílica ativada não possuía nenhum competidor sério em clarificação de água. Além de serem nitidamente superiores à sílica ativada, estes polímeros têm a vantagem de serem mais econômicos e eficientes.

Os polieletrólitos são originários de proteínas e polissacarídeos de natureza sintética. Podem ser classificados como catiônicos, aniônicos e não-iônicos, conforme o tipo de carga da cadeia polimérica.

No Brasil, em razão das características de nossas águas e sólidos em suspensão, só os aniônicos e não-iônicos encontram aplicação eficiente. A vantagem principal que os polieletrólitos oferecem é o tamanho dos flocos, proporcionando maior velocidade de sedimentação. Todos os polieletrólitos têm um limite máximo de dosagem, após o qual, além de antieconômicos, eles se tornam dispersantes.

Efetuada após a filtração, a desinfecção tem por finalidade destruir microrganismos patogênicos presentes na água: bactérias, protozoários, vírus e vermes. Deve-se, no entanto, notar a diferença entre a desinfecção e esterilização. Esterilizar significa a destruição de todos os organismos, patogênicos ou não, enquanto que a desinfecção é a destruição de parte ou todo um grupo de organismos patogênicos. Os vírus da hepatite e da poliomielite, por exemplo, parecem não serem completamente destruídos ou inativados pelas técnicas usuais de desinfecção com o cloro (BATALHA e PARLATORE, 1977).

A desinfecção é necessária, porque não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos pelos processos físico-químicos, usualmente utilizados no tratamento de água.

Na desinfecção das águas de abastecimento público, são utilizados, pela ordem: cloro, ozônio. No Brasil, os principais desinfetantes utilizados em águas de abastecimento são os compostos clorados.

A eficiência da desinfecção depende de vários fatores (DYCHDALA, 1977). Assim, influem: o tipo, concentração e tempo de contato do desinfetante, as espécies e as resistências dos microrganismos e aspectos físicos da água como pH, cor e turbidez, dentre outros.

### 2.3. Água para Indústrias de Alimentos

As substâncias comunicam às águas uma série de propriedades que determinam sua aplicabilidade na indústria de alimentos. Assim, um controle de qualidade da água em seus aspectos físicos, químicos e microbiológicos, visando também um tratamento correto, é fundamental para racionalizar seu uso nas indústrias de alimentos (PORETTI, 1990, TAMPLIN, 1980).

Observando-se as necessidades da indústria, verifica-se que a água apresenta uma ampla utilização, por exemplo, limpeza e sanitização de equipamentos, limpeza de produtos, das matérias primas, preparo de xaropes e salmouras, transporte e classificação de diversos produtos, resfriamento, produção de vapor entre outros (ANDRADE e MARTYN, 1982).

As impurezas da água podem originar sérios problemas operacionais na indústria de alimentos e provocar a formação de depósitos e incrustações em várias superfícies, diversos tipos de corrosão de metais, espumas em geradores de vapor, lodo microbiológico, deterioração da madeira de sistemas de refrigeração, entre outros (DREW, 1979).

O uso de água de qualidade microbiológica insatisfatória nas indústrias de alimentos pode originar alterações microbianas nos produtos elaborados, além de



possibilitar a presença de patógenos, colocando em risco a saúde do consumidor. Água de qualidade microbiológica inadequada pode inviabilizar a obtenção de produtos que atendam aos padrões microbianos exigidos pela legislação em vigor (WEI et alii, 1985).

As análises físicas medem e indicam características geralmente perceptíveis pelos sentidos. Geralmente, são características de ordem estética, mas que em algumas situações são prejudiciais às diversas operações durante o processamento nas indústrias de alimentos. As características de ordem físicas incluem cor, turbidez, odor e sabor.

A cor indica a presença de substâncias de natureza orgânica, tais como taninos, ácido húmico e produtos de decomposição da lignina. Também, tons fêrricos e humatos fêrricos produzem cor de alta intensidade. Estas águas mancham materiais, afetam processos industriais e podem complicar a etapa de coagulação química do tratamento convencional de água. Quando usados para alimentação de caldeiras, a matéria orgânica presente, que produz cor, tende a carbonizar provocando incrustações nos tubos de aço carbono (ANDRADE e MARTYN, 1982).

A turbidez refere-se a matéria suspensa de qualquer natureza presente na água. Por exemplo, lama e areia são indesejáveis na água utilizada nas indústrias alimentos. A lama é comum em águas superficiais enquanto a areia é proveniente de poços artesianos mal construídos. A presença de areia é indesejável, independentemente de sua utilização: em limpeza e sanificação de equipamentos, em caldeiras, em sistemas de refrigeração ou processamento de alimentos. Em águas de superfícies, a turbidez pode atingir a 2.000 mg/l, expressas como  $\text{SiO}_2$ , enquanto que nas indústrias de alimentos esse valor não deve ser superior a 5 mg/l (ANDRADE e MARTYN, 1982).

Os sabores e odores podem resultar das combinações de diversos fatores, como as presenças de ácido sulfídrico, metano, dióxido de carbono, matérias orgânicas e substâncias

minerais. Independente da origem, sabores e odores na água são indesejáveis nas indústrias de alimentos.

As características químicas da água são resultantes da presença de substâncias dissolvidas, em geral avaliáveis somente por meios analíticos, mas de grande importância sob os aspectos de processamento, de higiene e de economia nas indústrias (SANTOS FILHO, 1985). Incluem análises químicas dos teores de sais de cálcio e magnésio, responsáveis pela dureza, acidez e alcalinidade, cloretos, ferro, manganês, pH, entre outros (ADAD, 1982; AMERICAN... , 1975; BATALHA e PARLATORE, 1977; CETESB, 1988).

Água de má qualidade microbiológica pode trazer sérios transtornos às indústrias de alimentos, com relação aos produtos que colocam a disposição do consumidor. Torna-se difícil a produção de alimentos dentro dos padrões microbiológicos exigidos pela legislação. Diminuem a vida útil desses alimentos, o que frequentemente é motivo de perdas comerciais pela devolução de produtos deteriorados. O aspecto de saúde pública não pode ser esquecido; torna-se, também, mais difícil a manutenção da qualidade higiênico sanitária dos produtos alimentícios, aumentando-se os riscos de veiculação de microrganismos patogênicos aos consumidores. Além disso, a água de má qualidade microbiológica pode ocasionar processos corrosivos e formação de lodo e limo em sistemas de refrigeração.

As águas industriais podem veicular várias espécies de bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Serratia*, *Chromobacterium*, *Flavobacterium*, entre outras representantes do grupo denominado de psicrotróficas. Como as bactérias desse grupo se desenvolvem sob refrigeração, é necessário que as indústrias de alimentos controlem a presença de psicrotróficas na água que utilizam. Se presentes, esses microrganismos poderão alterar produtos, principalmente aqueles refrigerados.



Nas águas industriais, também, podem ser encontradas espécies de bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Clostridium* e de outras espécies esporuladas originárias basicamente do solo e que são patogênicas ou alteradoras de alimentos.

A água pode veicular a *Escherichia coli*, indicadora de contaminação fecal e que apresenta estirpes patogênicas; salmonelas, *Shigella*, *Vibrio*, patogênicos ao homem; *Clostridium perfringens*, causador de doença de origem alimentar; *Clostridium butyricum*, responsável pelo estufamento tardio do queijo; *Enterobacter aerogenes*, produtor de gás a partir de lactose, causando problema às indústrias de alimentos, incluindo o estufamento precoce de queijos e uma série de outras bactérias patogênicas ou alteradoras de alimentos.

Portanto, é imprescindível que a água usada nas indústrias de alimentos recebam tratamento correto, para mantê-la dentro de padrões microbiológicos adequados. Assim, a água industrial deve receber um tratamento de desinfecção para exterminar microrganismos indesejáveis.

Em função de suas aplicações, a água utilizada nas indústrias de alimentos recebe tratamentos específicos, além daqueles efetuados no tratamento convencional para água potável. Assim, merece atenção especial a água usada na geração de vapor, nos sistemas de refrigeração e no processamento industrial, dentre outras aplicações.

### 2.3.1. Água para Geração de Vapor

Para geração de vapor, o tipo de tratamento a ser usado depende fundamentalmente da pressão de trabalho da caldeira e da qualidade química da água. Nas indústrias de alimentos, onde se usam, normalmente, caldeiras de baixa e média pressão devem ser

controlados o pH, os níveis de dureza, de alcalinidade, de cloretos, sólidos totais, de fosfatos e agentes complexantes (DREW, 1979; SANTOS FILHO, 1985).

### **2.3.2. Sistemas de Resfriamento**

Para sistemas de resfriamento, em função da qualidade da água, é possível a ocorrência de incrustações ou depósitos que podem originar processos de corrosão e crescimento bacteriano em sistemas de refrigeração (DREW, 1979). Controle da corrosão e controle microbiológico são indispensáveis à manutenção da integridade do sistema de resfriamento.

### **2.3.3. Água para Processamento**

A qualidade química da água de processamento define o tipo de detergente usado no procedimento de higienização e, dependendo do pH, a água pode ser corrosiva a equipamentos e utensílios. Além disso, a qualidade microbiológica da água de processamento é fundamental na obtenção de produtos alimentícios de boa qualidade.

## **2.4. Sistemas Especialistas**

O uso de softwares aplicáveis às mais diversas áreas do conhecimento humano tem se ampliado nos últimos anos. É a informática cada vez mais presente no dia a dia do homem, das empresas e indústrias. São programas computacionais para análises estatísticas, sistemas gerenciadores de bancos de dados, sistema de otimização de uso de recursos, entre outros.



Dentro da informática, a inteligência artificial é uma das áreas que tem sido avaliada e utilizada para o desenvolvimento de softwares, particularmente na elaboração dos chamados sistemas especialistas. Existem atualmente sistemas especialistas aplicáveis à diagnósticos médicos, transações comerciais e bancárias, à solução de problemas na agricultura, na área acadêmica e educacional. (SPROESSER, 1991; HARMON e KING, 1985; HAYES-ROTH et alii, 1983; WATERMAN, 1986).

Os sistemas especialistas têm sido também usados na resolução de problemas de diversos setores na indústria de alimentos. Alguns exemplos podem ser mencionados. Um sistema propõe nomes de alimentos e desenhos de rótulos baseados na legislação vigente (GESLAIN-LANÉELLE et alii, 1989). Um outro diagnostica defeito em pães (FEAR et alii, 1989). Aspectos de engenharia são abordados pelo sistema especialista denominado BIOEXPERT, desenvolvido para diagnóstico e tratamento de água residuária (LAPOINTE et alii, 1989). Este último sistema envolve conhecimento sobre componentes como bombas, válvulas, eletrodos de pH, tanque e reatores, funcionamento e comportamento industrial. Na indústria de laticínios, um sistema denominado SEAF é usado na padronização de diversos tipos de queijos, permitindo a comparação entre uma amostra e um padrão. O SEAF se fundamenta em análises como pH, proteínas e lipídeos, entre outros (RUSSO et alii, 1989). Na Universidade Federal de Viçosa, foram desenvolvidos o SISTSAN que preconiza procedimentos de higienização para diversas situações na indústria de laticínios e o SISTQUAL para controle da qualidade físico-química de leite pasteurizado, a partir de dados laboratoriais. (SPROESSER et alii, 1991).

Todos estes sistemas são programas de computador que procuram reproduzir o processo por meio do qual especialistas empregam conhecimentos para analisar e solucionar problemas em áreas específicas. A experiência e o conhecimento do especialista são codificados em um formato que se convencionou chamar de "regras", do tipo "Se

<premissas> então <conclusões>", que expressa relação de causa entre <premissas> e <conclusões>. Isto permite que não-especialistas possam consultar o sistema para obter respostas para o problema específico. O usuário apenas interage com o computador e através de sucessivos questionamentos obtém as informações necessárias para resolução do problema (SILVA, 1990; SILVA et alii, 1990).

Sabe-se que a água a ser utilizada na indústria de alimentos, além de ser potável, deve-se apresentar com características físico-químicas e microbiológicas bem definidas. Assim, para obtenção de água adequada às diversas aplicações, é necessário o acompanhamento de técnicos com conhecimento especializado. As indústrias de alimentos, assim como as próprias estações de tratamento de água municipais não dispõem do conhecimento deste profissional especializado com informações sobre biologia, microbiologia, química, física, engenharia, operações unitárias, processamento de alimentos, entre outros. Para resolver esta situação, na maioria das vezes, é necessário a contratação de firmas especializadas, o que custa caro, onerando o tratamento da água.

Portanto, é de interesse, com excelentes perspectivas de aplicação, o desenvolvimento de um sistema especialista para controle e tratamento de água de uso na indústria de alimentos.



Segundo SILVA (1990), três componentes básicos constituem a estrutura de um sistema especialista, representados esquematicamente na Figura 1.



### 3. METODOLOGIA

Diferente dos programas convencionais, os sistemas especialistas podem resolver problemas que exigem julgamento do mesmo tipo que as pessoas se utilizam em seus trabalhos rotineiros. Assim, a maioria dos sistemas especialistas introduz questões; explica seu raciocínio, se for perguntado; e justifica suas conclusões. Além disto, fazem-no, normalmente, em linguagem que o usuário pode entender facilmente e permitem que o usuário selecione questões, sendo que a maioria pode funcionar até quando o usuário fornece dados incompletos ou incertos. [Os sistemas especialistas diferem dos programas convencionais em sua organização. Os programas de computador organizam o conhecimento em dois níveis: dados e programas. Os sistemas especialistas organizam o conhecimento em três níveis: fatos, regras e inferência] (FERNANDES, 1994).

[A inferência é a responsável pelo controle de quando e onde aplicar uma determinada regra quando o sistema está sendo utilizado, enquanto a regra é o conhecimento específico na solução de um questionamento e o fato é um conhecimento declarativo] (ROBINSON e FRANK, 1987).

Segundo SILVA (1990), três componentes básicos constituem a estrutura de um sistema especialista, representados esquematicamente na Figura 1.

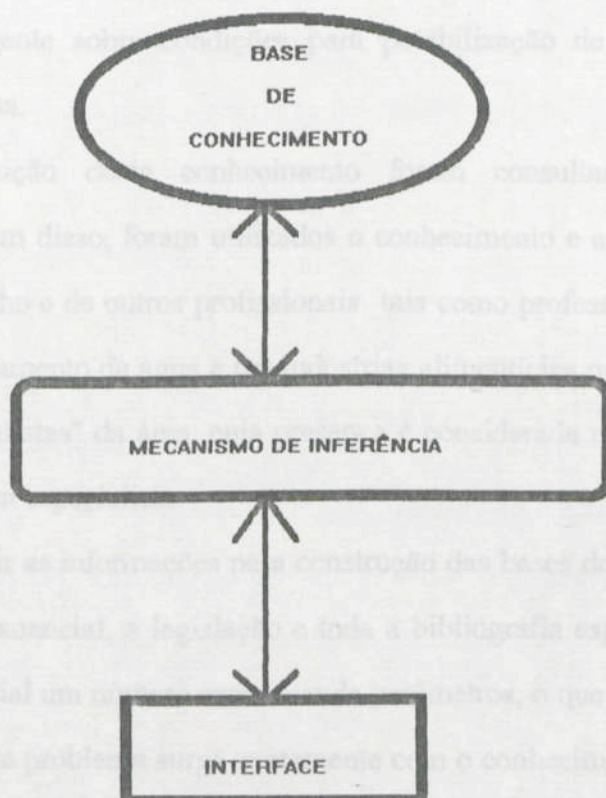


FIGURA 1 - Estrutura Básica de um Sistema Especialista.

### 3.1. Aquisição do Conhecimento

O desenvolvimento do ACQUA-SIST iniciou-se por uma fase de obtenção de informações. Entre outros, foi necessário a aquisição de conhecimentos sobre:



- i) tratamento convencional para potabilização de água, bem como controle das etapas de sedimentação simples, sedimentação com agentes coagulantes, filtração e desinfecção.
- ii) tratamento e controle de água para uso em sistemas de resfriamentos, em geração de vapor, em sistemas de higienização e uso geral nas indústrias de alimentos.
- iii) legislação vigente sobre condições para potabilização de mananciais e padrão de potabilidade de água.

Para aquisição deste conhecimento foram consultados livros e periódicos especializados. Além disso, foram utilizados o conhecimento e a experiência dos membros da equipe de trabalho e de outros profissionais tais como professores e técnicos que atuam em estações de tratamento de água e em indústrias alimentícias ou empresas especializadas, que são os "especialistas" da área, cuja presença é considerada um requisito básico para se construir um sistema especialista.

Para adquirir as informações para construção das bases de conhecimento, relativas à potabilização de manancial, a legislação e toda a bibliografia específica, preconiza para o controle do manancial um número excessivo de parâmetros, o que iria inviabilizar o sistema, e a solução para este problema surge exatamente com o conhecimento do "especialista", que utilizando-se da sua experiência prática e do seu conhecimento, consegue uma qualificação de um manancial com cinco parâmetros ( coliformes totais, pH, turbidez, cloretos, nitratos).

Em relação ao tratamento e controle da água para indústria de alimentos, a procura de informações se baseou na bibliografia específica e nos especialistas que constituem o grupo de trabalho, pois os parâmetros já estão bem definidos e existe uma concordância entre o que preconiza a bibliografia e os especialistas da área.

3 O Diário Oficial da União foi a fonte bibliográfica utilizada para construir as bases de conhecimento relativas à legislação.

### 3.2. Codificação do Conhecimento

Após a fase de aquisição de conhecimento, ele foi codificado usando a linguagem do pacote "LEVEL 5". Essa linguagem permite a descrição de conhecimento de regras na forma de "IF <premissas> THEN <conclusões>", segundo o formato padrão de Sistemas de Produção (BARKER, 1988; HARMON e KING, 1988).

### 3.3. Desenvolvimento do Protótipo

Uma vez estruturada as bases de conhecimento, foi desenvolvido um protótipo do ACQUA-SIST. Este desenvolvimento consistiu em planejar as formas de interface do sistema com o usuário e de apresentação de resultados das consultas. Esta etapa incluiu a construção de um "menu" com perguntas e com alternativas de respostas e, também, laudos técnicos, em linguagem corrente, bem acessíveis ao entendimento da consulta.

### 3.4. Teste, Expansão e Revisão do Sistema Especialista

Nesta etapa, o protótipo foi avaliado em sua estrutura e em sua base de conhecimento. Para isso, foi submetido à avaliação de especialistas: professores de tratamento de água, de processamento de alimentos, técnicos de estações de tratamento de água, entre outros usuários potenciais, para correção de eventuais falhas, ajustamento ou aperfeiçoamento do sistema.

Esta fase se prolongou até se obter uma versão do sistema de consultas e laudos técnicos confiáveis.



### 3.5. Distribuição do Sistema

A distribuição do sistema especialista será feita através de um acordo entre o Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA)/UFV e os profissionais que atuam no tratamento e controle de qualidade de água em indústria de alimentos e órgãos governamentais.

### 3.6. Validação do Sistema

A validação de sistemas especialistas, é um processo que pode ser complexo e demorado, o que é explicado pela escassez de literatura específica (FERNANDES, 1994).

Considerou-se que a validação de um sistema computadorizado é uma comparação entre o mundo real e o sistema, além de ser uma etapa de fundamental importância (GILCHRIST, 1984).

O processo de validação de um sistema pode ser classificado em validação interna, onde as regras que constituem a base de conhecimento são devidamente avaliadas, por um grupo multidisciplinar, mas no caso do ACQUA-SIST, isto se torna extremamente difícil, devido ao grande número de regras que constituem a base de conhecimento; ou validação externa, onde se avalia as conclusões ou laudos técnicos finais gerados pelo sistema. (HIURNE et alii, 1990).

Segundo FERNANDES (1994), não há uma metodologia específica para se realizar tal validação. Baseando-se em um padrão pré-estabelecido, avalia-se o desenvolvimento do sistema comparando-se os laudos técnicos finais emitidos pelo ACQUA-SIST, com as opiniões de especialistas na área, sobre cenários previamente escolhidos.

Foram selecionados seis cenários do ACQUA-SIST para serem submetidos ao processo de validação. Três deles, relativos à avaliação das condições de potabilização de mananciais, foram enviados para professores do Departamento de Química da Universidade Federal de Juiz de Fora e a técnico da Fundação Nacional da Saúde (FNS) do Ministério da Saúde (MS), em Belo Horizonte. Outros três cenários referem-se à indústria de alimentos: um para tratamento de água para caldeiras foi enviado para a Prefeitura do Campus da UFV; para o abatedouro PIF-PAF, em Visconde do Rio Branco (MG) e para a empresa MAROCA e RUSSO (COTOCHÉS), em Rio Casca (MG).

Um outro, relativo a tratamento de água para sistema de refrigeração e, ainda, um terceiro sobre água para procedimento de higienização foram submetidos a dois professores especialistas na área do DTA/UFV.

Foi adotado o critério baseado na percentagem de coincidência de cada resposta, de acordo com o Quadro 1, e o total obtido dividido pelo número de informações avaliadas, o que fornece a média aritmética de coincidência dos laudos técnicos dos especialistas com os pareceres fornecidos pelo sistema.





## 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. Descrição do sistema

O ACQUA-SIST é composto por várias bases de conhecimento interligadas. É gerenciado por dois módulos, codificados por G1 e G2, conforme ilustrados nas Figuras 2 e 3. O módulo G1 é o responsável pelo início da consulta, pelo acesso à base de conhecimentos relativa à obtenção de água potável, pela consulta à Resolução (BRASIL, 1986) e à Portaria (BRASIL, 1990) que legislam sobre as condições de potabilização de mananciais e sobre padrões de potabilidade de água, respectivamente, e, ainda, permite a interação com o módulo denominado G2, que será discutido adiante.

As várias bases que constituem o ACQUA-SIST foram criadas para distribuição do conhecimento, que torna o sistema mais ágil e soluciona problema de memória ocupada pela base quando se fazia a sua compilação.

Em relação à obtenção de água potável, o módulo G1 já obtém informações do usuário acerca da qualidade microbiológica da água e da existência ou não de parâmetros físico-químicos. Quatro outras bases são responsáveis pela coleta de informações adicionais



sobre o manancial a ser potabilizado e o fornecimento de laudos técnicos para potabilização da água. Em duas delas, o usuário deve ter informações sobre parâmetros físico-químicos e microbiológicos para emissão de laudos técnicos. Numa terceira, há necessidade de informações apenas sobre parâmetros físico-químicos. A quarta prescreve laudos informativos sobre tratamento da água, já que o usuário não precisa possuir nenhum conhecimento sobre os parâmetros acima mencionados.

Sobre aspectos de legislação, o módulo G1 oferece duas opções ao usuário: potabilização de um manancial ou padrões de potabilidade de água. No que se refere à potabilização, o ACQUA-SIST apresenta as opções de se obter informações sobre classificação da água de acordo com a finalidade, sobre águas doces, salinas e salobras em território nacional, além de condições de balneabilidade e as disposições gerais da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA (BRASIL, 1986). Logo após a coleta de dados, o módulo G1 dá acesso a quatro outras bases, que irão emitir informações sobre esta legislação.

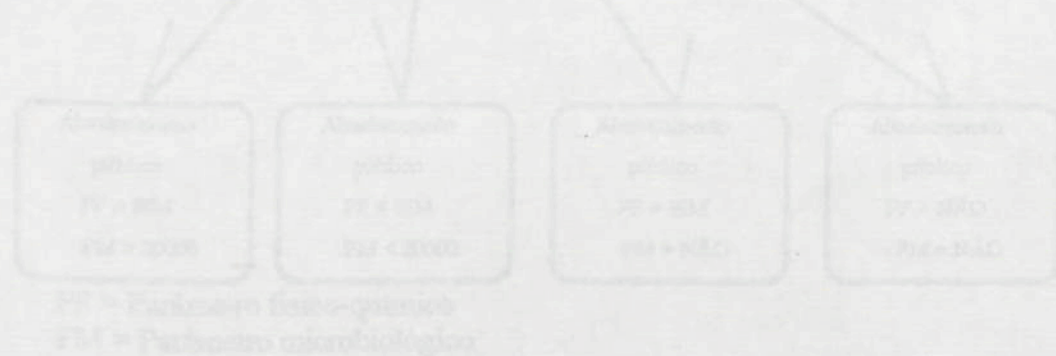


FIGURA 2 - Investigação das Bases de Conteúdo e de Parâmetros do ACQUA-SIST.

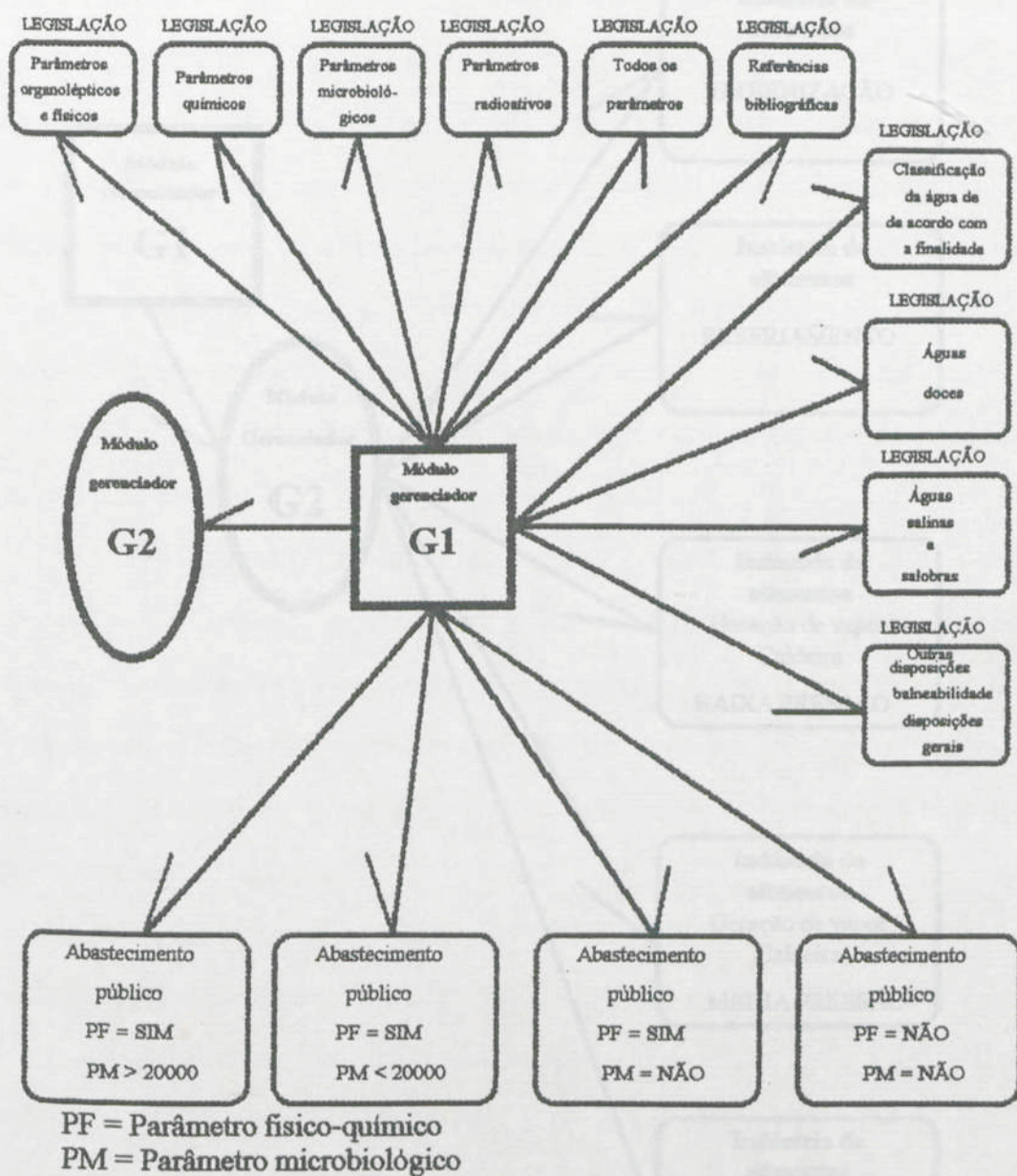


FIGURA 2 - Interligação das Bases de Conhecimento na Formação do ACQUA-SIST.



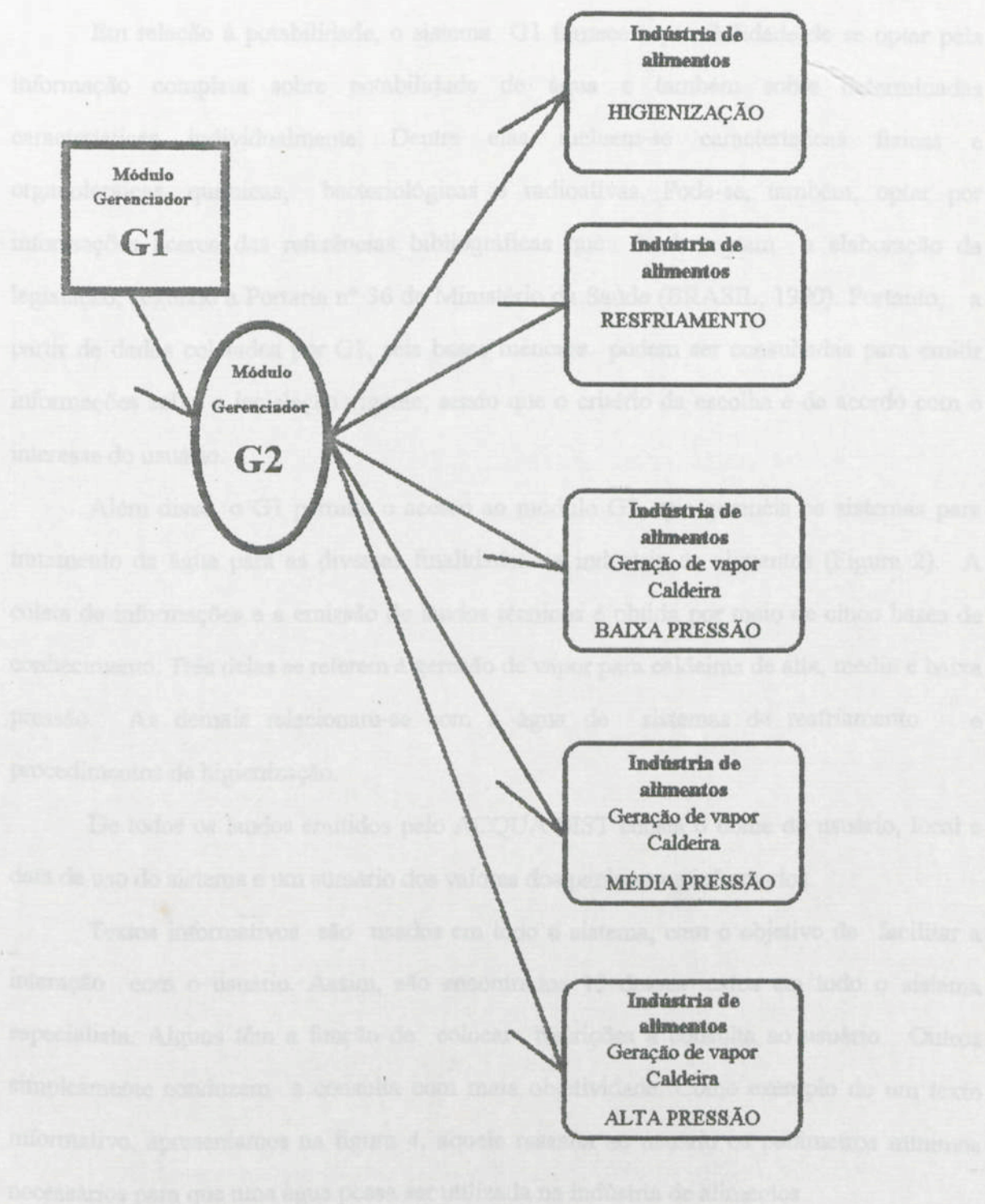


FIGURA 3 - Módulos Gerenciadores e Bases de Conhecimento para a Indústria de Alimentos.

Em relação à potabilidade, o sistema G1 fornece a possibilidade de se optar pela informação completa sobre potabilidade de água e também sobre determinadas características individualmente. Dentre elas incluem-se características físicas e organolépticas, químicas, bacteriológicas e radioativas. Pode-se, também, optar por informações acerca das referências bibliográficas que fundamentam a elaboração da legislação, segundo a Portaria nº 36 do Ministério da Saúde (BRASIL, 1990). Portanto, a partir de dados coletados por G1, seis bases menores podem ser consultadas para emitir informações sobre a legislação vigente, sendo que o critério da escolha é de acordo com o interesse do usuário.

Além disso, o G1 permite o acesso ao módulo G2, que gerencia os sistemas para tratamento da água para as diversas finalidades na indústria de alimentos (Figura 2). A coleta de informações e a emissão de laudos técnicos é obtida por meio de cinco bases de conhecimento. Três delas se referem à geração de vapor para caldeiras de alta, média e baixa pressão. As demais relacionam-se com a água de sistemas de resfriamento e procedimentos de higienização.

De todos os laudos emitidos pelo ACQUA-SIST consta o nome do usuário, local e data de uso do sistema e um sumário dos valores dos parâmetros informados.

Textos informativos são usados em todo o sistema, com o objetivo de facilitar a interação com o usuário. Assim, são encontrados 15 desses textos em todo o sistema especialista. Alguns têm a função de colocar restrições à consulta ao usuário. Outros simplesmente conduzem a consulta com mais objetividade. Como exemplo de um texto informativo, apresentamos na figura 4, aquele ressalta ao usuário os parâmetros mínimos necessários para que uma água possa ser utilizada na indústria de alimentos.



A ÁGUA UTILIZADA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR-SE DENTRO DE PADRÕES DE POTABILIDADE, DE ACORDO COM A PORTARIA Nº 36, DE 19/01/90, DO MINISTÉRIO DA SAÚDE. ASSIM APÓS O TRATAMENTO CONVENCIONAL A ÁGUA DEVE ATENDER À PADRÕES FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS, DENTRO DOS QUAIS SE INCLUEM OS ABAIXO RELACIONADOS.

EM CASOS DE DÚVIDAS, CONSULTE O  
SISTEMA ESPECIALISTA PARA ÁGUAS  
COM FINALIDADE DE ABASTECIMENTO  
PÚBLICO.

pH	: 6,5-8,5
TURBIDEZ	: <5 PPM
CLORETOS	: <250 PPM
SÓLIDOS TOTAIS	: <1000 PPM
CLORO RESIDUAL	: 0,2-1 PPM
COLIFORMES TOTAIS	: AUSENTE/100 ML
SABOR	: NÃO OBJETÁVEL
ODOR	: NÃO OBJETÁVEL

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

FIGURA 4 - Exemplo de um Texto Informativo Utilizado pelo ACQUA-SIST.

Conforme já mencionado, os módulos gerenciadores e as bases de conhecimentos foram codificadas através do uso do programa LEVEL 5 (Information Builder Inc.). As informações quantitativas de cada módulo e da base de conhecimento, em termos de número de regras, número de laudos emitidos e memória RAM utilizada está apresentada nos Quadros 2 a 5.

Na Figura 5 está representado exemplos de regras utilizadas pelo ACQUA-SIST, na base de conhecimento referente a potabilização de manancial, quando o usuário possui conhecimentos acerca dos parâmetros físico-químicos.

RULE 8

IF A1

AND FQ IS pH DA ÁGUA

AND pH is entre 4,6 A 6,4

THEN A8

RULE 9

IF A8

AND TURBIDEZ IS MENOR OU IGUAL A 5 PPM

AND CLORETOS IS MENOR OU IGUAL A 250 PPM

AND NITRATOS IS MENOR OU IGUAL A 10 PPM

THEN A9

RULE 10

IF A8

AND TURBIDEZ IS MAIOR QUE 5 PPM

AND CLORETOS IS MENOR OU IGUAL A 250 PPM

AND NITRATOS IS MENOR OU IGUAL A 10 PPM

THEN A10

FIGURA 5 - Exemplos de Regras Utilizadas no ACQUA-SIST.



No Apêndice C, existem exemplos de regras que constituem algumas das bases de conhecimento do ACQUA-SIST.

QUADRO 2 - Informações Quantitativas dos Módulos Gerenciadores 1 e 2

Módulo	Número de regras	Número de laudos	Memória utilizada (Kbytes)
Gerenciador "G1"	53	-	13184
Gerenciador "G2"	18	-	6784

PF = Parâmetros Físico-químicos

PM = Parâmetros Microbiológicos: Coliformes totais/100 ml

QUADRO 3 - Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Obtenção de Água Potável

Base de conhecimento	Número de regras	Número de Laudos	Memória utilizada (Kbytes)
Abastecimento Público PF = sim PM > 20000	144	24	92544
Abastecimento Público PF = sim PM < 20000	144	24	89600
Abastecimento Público PF = sim PM = não	144	24	95232
Abastecimento Público PF = não PM = não	171	32	107392

PF = Parâmetros Físico-químicos

PM = Parâmetros Microbiológicos: Coliformes totais/100 ml



QUADRO 4 - Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Legislação sobre Água

Base de conhecimento	Número de regras	Número de laudos	Memória utilizada (Kbytes)
Classificação da água de acordo com a finalidade	1	1	7808
Águas doces	1	1	15488
Águas salinas e salobras	1	1	12672
Outras disposições, Balneabilidade e Disposições gerais	1	1	19072
Parâmetros organolépticos e físicos	1	1	5760
Parâmetros químicos	1	1	13440
Parâmetros microbiológicos	1	1	8064
Parâmetros radioativos	1	1	3328
Todos os parâmetros	1	1	32512
Referências bibliográficas	1	1	4224

QUADRO 5 - Informações Quantitativas das Bases de Conhecimento para Obtenção de Água para a Indústria de Alimentos.

Base de conhecimento	Número de regras	Número de laudos	Memória utilizada (Kbytes)
Higienização	24	10	32768
Refrigeração	25	21	50432
Geração de vapor Caldeira de Baixa Pressão	25	24	125312
Geração de vapor Caldeira de Média Pressão	25	24	126080
Geração de vapor Caldeira de Alta Pressão	25	24	78720

A divisão do ACQUA-SIST em várias bases de conhecimento é justificada por questões operacionais relacionadas ao gerenciamento de memória, nas fases de compilação e execução do sistema. As estruturas das bases de conhecimento, para legislação sobre água, são constituídas por uma única regra, cuja função é solicitar o local e a data da utilização do sistema, bem como o nome do usuário, e encaminhar o sistema para a legislação pesquisada pelo usuário, e ainda permitir que tal consulta seja impressa.

O recurso de hipertexto, utilizado, por exemplo, no SISTSAN - Consultor de Procedimentos de Higienização para Indústrias de Laticínios (SPROESSER et alii, 1991), permite que palavras-chave sejam evidenciadas para o usuário durante a consulta. Cada



palavra-chave dá acesso a um texto explicativo, que, por sua vez, pode conter outras palavras-chave. Dessa forma, um encadeamento dinâmico de informações é oferecido ao usuário, facilitando sobremaneira o processo de consulta ao sistema especialista.

Por outro lado, como o Level 5 não dispõe do recurso de hipertexto, tornou-se necessário um maior número de informações contidas nos diversos laudos produzidos pelo sistema. Isto contribui para que o tamanho dos arquivos do sistema se tornasse relativamente grandes, em termos de ocupação de espaço em disco e utilização de memória.

O ACQUA-SIST pode ser executado em qualquer computador compatível com o padrão IBM-PC XT, que disponha de pelo menos um drive, 640K de memória RAM e aproximadamente 2 megabytes de espaço disponível em um disco rígido.

## **4. 2. ACQUA -SIST : Fundamentos para Elaboração do Sistema**

### **4.2.1. Condições de Potabilidade dos Mananciais e Prescrição de Tratamento para Obtenção de Água Potável**

#### **4.2.1.1. Seleção e Parâmetros Microbiológicos, Físico-químicos e Estéticos ou Organolépticos**

O Quadro 6 mostra os parâmetros microbiológicos, físico-químicos e estéticos ou organolépticos, em que se fundamentou a elaboração do sistema para avaliar condições de potabilidade dos mananciais e prescrever tratamento para obtenção de água potável. Para que o usuário tenha acesso à consulta, é necessário inicialmente indicar ao sistema se tem informações da contagem de coliformes totais por 100 ml da amostra, da faixa de valores do pH, da turbidez e das concentrações de cloretos e nitratos. Se afirmativo, o laudo

emitido apresenta um bom nível de confiabilidade. Prevê-se, ainda, o caso de não se ter informações sobre coliformes totais mas de parâmetros físico-químicos. Nesse caso, o laudo técnico apresenta um nível intermediário de confiabilidade. Se negativo, ou seja, não se dispõe de nenhum dos parâmetros mencionados, emite-se apenas um parecer orientador e informativo.

	<p>&lt; 4,5</p> <p>entre 4,6 e 6,4</p> <p>entre 6,5 e 8,5</p> <p>entre 8,6 e 9,4</p> <p>&gt; 9,4</p>
Turbidez	<p>Até 5 mg de SiO<sub>2</sub>/l</p> <p>entre 5 e 100 mg SiO<sub>2</sub>/l</p>
Clorofa	<p>Até 250 mg de Cl/l</p> <p>Acima de 250 mg de Cl/l</p>
Nitrato	<p>Até 10 mg/l</p> <p>Acima de 10 mg/l</p>
Redox	<p>Ausência</p> <p>Presença</p>
Olor	<p>Ausência</p> <p>Presença</p>
Cor	<p>Ausência</p> <p>Presença</p>
Espuma	<p>Ausência</p> <p>Presença</p>

NMP = Número mais provável por 100 ml amostra



QUADRO 6 - Parâmetros Microbiológico, Físico-químicos e Estéticos ou Organolépticos para Elaboração do Sistema Especialista

Parâmetro	Índices
Coliformes totais	Até 20000 NMP/100 ml >20000 NMP/100 ml
pH	< 4,6 entre 4,6 e 6,4 entre 6,4 e 8,5 entre 8,6 e 9,4 > 9,4
Turbidez	Até 5 mg de SiO <sub>2</sub> /l entre 5 e 100 mg SiO <sub>2</sub> /l
Cloretos	até 250 mg de Cl/l Acima de 250 mg de Cl/l
Nitratos	Até 10 mg/l Acima de 10 mg/l
Sabor	Ausência Presença
Odor	Ausência Presença
Cor	Ausência Presença
Espuma	Ausência Presença

NMP = Número mais provável por 100 ml amostra

Naturalmente, pode-se argumentar que o número de parâmetros considerados na avaliação do manancial é baixo. Sem dúvida, a sugestão para um tratamento adequado da água deve considerar um grande número de análises, conforme a Resolução nº 20, do CONAMA. Nessa resolução, encontra-se, dentre outras, a divisão da qualidade da água dos mananciais em nove classes de acordo com sua finalidade em função dos padrões físico-químicos, organolépticos, microbiológicos e radioativos. Uma delas é considerada Classe Especial, pertencente a mananciais que apresentam uma melhor qualidade de água. As demais são classificadas de 1 até 8. Assim, alguns índices indicados no Quadro 6 se referem à classe 3, que ainda pode ser potabilizável mediante técnicas recomendadas para o tratamento convencional (BRASIL, 1986).

No últimos 15 anos, mais de 2000 tipos de contaminantes químicos foram relacionados como encontrados na água, sendo cerca de 740 deles identificados na água considerada potabilizada para consumo (PORETTI, 1990). Muitos são de origem orgânica, alguns apresentam atividade farmacológica e outros, ainda, podem ser potencialmente carcinogênicos e mutagênicos. Certos elementos inorgânicos são necessários ao metabolismo humano, como sódio e potássio. Outros são claramente tóxicos, a exemplo do mercúrio e chumbo.

A Organização Mundial da Saúde propõe linhas gerais mas não determina as análises a serem efetuadas na avaliação da qualidade de água. Cerca de 90 parâmetros têm sido considerados no monitoramento da água (PORETTI, 1990). No entanto, na prática, a análise desse número excessivo de parâmetros torna-se inviável, devido a custo levado, ausência de equipamentos apropriados ou a inexistência de técnicas analíticas confiáveis. A alternativa, na maioria das vezes, é optar por análises que sejam prioritárias, baseadas em análises de risco.



Em relação ao ACQUA-SIST, a seleção dos parâmetros para indicar condições de potabilização do manancial foi a etapa mais difícil. Atender a todas as exigências da Resolução nº 20 do CONAMA, por meio de perguntas efetuadas ao usuário era impraticável. Essa legislação propõe a análise de 70 parâmetros, que por estarem inter-relacionados, levaram a um número excessivamente grande de combinações, sendo impossível sua absorção pelo sistema especialista em construção.

Assim, na tentativa de uma seleção que fosse bem criteriosa, consideram-se alguns grupos principais de parâmetros (PORETTI, 1990; RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991). Dentre eles, incluem-se os aspectos microbiológicos, organolépticos e estéticos, riscos à saúde humana, indicadores de poluição, possibilidade de corrosão de metais, e formação de incrustações em superfícies.

Em relação à microbiologia, por exemplo, pode-se determinar o número de coliformes totais, fecais, a presença de *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, dentre outros. A ocorrência de cor, sabor, odor e espuma são indicadores organolépticos ou estéticos presentes na água. Indicam riscos à saúde humana, metais pesados, resíduos de pesticidas, solventes orgânicos, nitratos, nitritos, entre outros. A determinação de amônia, nitrato, cloretos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO5), demanda química de oxigênio (DQO) são análises indicadoras do nível de contaminação de um manancial. Dependendo dos níveis e da finalidade de uso, cloretos, oxigênio dissolvido, cobre, sulfatos e bicarbonatos presentes na água podem ser corrosivos a várias superfícies.

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) sugere a classificação das condições de potabilização de um manancial de acordo com uma pontuação, numa escala de zero a 100 (PORTO et alii, 1991). Essa pontuação é conhecida como IQA, que significa Índice de Qualidade da Água. O IQA considera nove parâmetros analisados, cada um recebendo uma nota e um peso na

determinação da pontuação final, obtendo-se uma média ponderada que representa uma nota global para a qualidade da água. As análises a serem efetuadas incluem temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, pH, número mais provável de coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduos ou sólidos totais. Assim, obtém-se a seguinte escala de valores para classificação do manancial em relação às condições de potabilização (Quadro 7).

QUADRO 7 - Escala de Valores para Classificação de Manancial - CETESB

Condição de Potabilidade	Valor
Água imprópria	0 a 19
Água imprópria para tratamento convencional	20 a 36
Água aceitável	37 a 51
Água boa	52 a 79
Água ótima	80 a 100

A FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro) não apresenta nenhum índice semelhante ao da CETESB, mas sugere parâmetros para avaliar se um manancial é potabilizável por meio de tratamento convencional, de acordo com sua Norma Técnica 307 (ABES, 1988). Esta Fundação recomenda como parâmetros microbiológicos, máximos de 20000 e 4000 coliformes totais e fecais por 100 ml de amostra, respectivamente, determinados por NMP ou contagem em



placas; pH entre 5,0 e 9,0 e DBO5 à 20° C de 10 mg/l. Também, sugere a ausência de materiais flutuantes, óleos e graxas, corantes artificiais não removíveis por tratamento convencional, e substâncias que comuniquem gosto e odor à água. Além disso, lista uma série de substâncias prejudiciais, onde se inclui, por exemplo o nitrato, em valor máximo de 10 mg/l.

Em Minas Gerais, iniciou-se em 1993 um levantamento da qualidade de água que tem como um dos objetivos a determinação de parâmetros para avaliar condições de potabilização de mananciais (CAMPOS e BAZZOLI, 1993). Esse trabalho está sendo feito a partir de informações da Unidade Regional de Controle de Qualidade da Água (URCQA)/MG, da Fundação Nacional de Saúde do Ministério da Saúde, que tem avaliado a qualidade de água de diversas regiões do estado.

Assim, a escolha dos parâmetros indicada no Quadro 6 considerou a facilidade de percepção ou da técnica analítica, o tipo e a importância da informação fornecida e a exigência da legislação. Por isso, o número mais provável de coliformes totais e os teores de nitrato e cloretos foram selecionados, respectivamente, como parâmetros microbiológico e químicos para indicar a viabilidade ou não do uso do manancial sob avaliação. Os valores de pH e a turbidez, inter-relacionados à microbiologia, foram selecionados com o objetivo de indicar o tipo de tratamento convencional a ser executado para obtenção da água potabilizada.

No entanto, admitindo-se o pequeno número de parâmetros analisados, o sistema especialista prevê uma forma de compensar essa deficiência. Assim, em todo laudo emitido quando o usuário informa que dispõe das características microbiológicas e, ou, físico-químicas acima mencionadas, o sistema assume que o manancial a ser utilizado está em conformidade com a Resolução nº 20 do CONAMA, no que se refere às exigências quanto às concentrações de substâncias potencialmente prejudiciais. Dentre essas, incluem-se



componentes orgânicos e inorgânicos que afetam a saúde, como os metais pesados, conforme Portaria nº 36/90, do Ministério da Saúde (BRASIL, 1990).

Por outro lado, em uma consulta em que o usuário não apresenta informações sobre parâmetros microbiológicos e, ou, físico-químicos, apenas fornecendo as características estéticas ou organolépticas, o sistema sugere que o manancial seja submetido a uma avaliação completa, baseada nas exigências da Resolução do CONAMA e da Portaria nº 36. Após essa observação, emite-se um parecer basicamente informativo.

Assim, o sistema se complementa em relação à legislação vigente na emissão do laudo técnico. Portanto, coloca para o usuário a existência da legislação atualizada, informa as análises e os respectivos padrões exigidos.

#### 4.2.1.2. Parâmetros Selecionados : Significado e Tratamento para Potabilização da Água

Dependendo dos resultados das análises, o número de coliformes totais por 100 ml de amostras, o valor de pH e as concentrações de cloretos e nitratos podem ser indicativos de contaminação do manancial, muitas vezes inviabilizando-o para obtenção de água potável.

No que se refere à microbiologia, de acordo com a Resolução nº 20 do CONAMA, o manancial será considerado potabilizável se o número de coliformes totais não ultrapassar a 20000 por 100 ml, pela técnica do NMP, em 20% ou mais de pelo menos cinco amostras colhidas em qualquer mês.

Quando esse índice for ultrapassado, existem fortes indícios de contaminação do manancial com esgotos. Nesse caso, deve-se identificar a fonte de contaminação e eliminá-la ou efetuar tratamentos específicos, cuja viabilidade econômica deve ser avaliada pelo



usuário. Caso não seja solucionado o problema microbiológico, o manancial será considerado inviável para obtenção de água potável.

Em relação as concentrações de cloretos e nitratos, os limites legais são de 250 mg/l, expressos em  $\text{Cl}^-$  e de 10 mg/l, expressos em N (BRASIL, 1986). Valores de concentrações de cloretos superiores a esse nível, podem ser provenientes de esgotos e, ou, de adubação com cloreto de potássio. Concentrações superiores às exigidas para nitrato podem ser originárias de esgotos, mineralização da uréia ou de adubação com salitre ( $\text{NaNO}_3$ ). Nitratos e nitritos podem causar problemas de ordem fisiológica ao consumidor: a perda da capacidade de oxigenação do sangue, devido a doença como conhecida metaglobinemia. (RICHTER e AZEVEDO NETO, 1991). Avaliada a fonte de contaminação e constatada a inviabilidade técnica ou econômica de sua eliminação, o manancial não poderá ser utilizado.

Os índices legais para esses parâmetros aqui discutidos são muito superiores aos encontrados em águas potáveis avaliadas no Estado de Minas Gerais. Relatório da URCQA/MG, do ano de 1993, mostra que as concentrações de cloretos e nitratos da água potável de 76 sistemas de tratamento convencional e 55 de poços artesianos de diversas regiões do Estado são em média 7,5 mg/l e 0,13 mg/l, respectivamente (CAMPOS e BAZZOLI, 1993). Além disso, todas as amostras analisadas encontravam-se abaixo dos limites legais. Isto permite a inviabilização com um certo nível de segurança do manancial que apresentar contaminação superior ao estabelecido pela legislação.

Na emissão dos laudos, basta o usuário informar ao ACQUA-SIST que um dos parâmetros está acima dos limites legais que será sugerida uma reavaliação do manancial, incluindo as análises de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio em cinco dias (DBO5) e demanda química de oxigênio (DQO).

No que se refere ao pH, a Resolução do CONAMA, citada anteriormente, indica valores entre 6 e 9. No entanto, para fins desse sistema especialista considerou-se que

mananciais com águas com pH abaixo de 4,6 e acima de 9,4 são impróprios para potabilização, de acordo com recomendações encontradas na literatura ( RICHTER e AZEVEDO NETO, 1991).

Valores de pH abaixo de 4,6 revela que a água está contaminada com ácidos minerais, ou ácidos orgânicos. Sabe-se que a acidez determinada pela presença de dióxido de carbono originário do equilíbrio com a atmosfera ou material vegetal em decomposição, não reduz o pH a níveis inferiores a 4,6. Portanto, essa contaminação pode ser originária de resíduos industriais, da ação oxidante de sulfobactérias ou, menos provável, da hidrólise de sais minerais de metais pesados.

Valores de pH da água acima de 9,4 caracterizam a presença do íon hidróxido. Isto evidencia a possibilidade de contaminação de resíduos industriais ou esse manancial é uma fonte de água cálcica e, ou, magnésiana.

Após a definição de que o manancial é potabilizável, os parâmetros microbiológicos, pH e turbidez são utilizados na tomada de decisão quanto às etapas do tratamento convencional a serem executadas.

Para fins de tratamento, os valores de pH foram subdivididos em três faixas: entre 4,6 e 6,4; entre 6,5 e 8,5 e entre 8,6 e 9,4. Também, considerou-se a turbidez não originária de esgotos com valores de até ou acima de 5 mg/l, expressos em mg de  $\text{SiO}_2/\text{l}$ . Nesse caso, a turbidez poderia ser causada por areia, lama, argila ou matéria orgânica em decomposição.

Quando a turbidez encontra-se abaixo de 5 mg/l, o sistema especialista preconiza, quando necessário, simplesmente a correção do pH. Assim, sugere-se a adição de solução alcalina preparada a partir de óxido de cálcio, quando o pH da água estiver abaixo da faixa exigida pela legislação, que situa-se entre 6,5 e 8,5. Por outro lado, indica-se o uso de



solução ácida preparada a partir ácido nítrico ou sulfúrico quando o pH estiver entre 8,6 e 9,4.

Mananciais apresentando turbidez acima de 100 mg/l são considerados impróprios para fins de obtenção de água potável. Se a turbidez encontra-se acima de 5 e até um valor de 100 mg/l, há necessidade de se executar as etapas de floculação, decantação e filtração. Normalmente, recomenda-se o uso de sulfato de alumínio hidratado como agente floculante e uma solução alcalina, de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , como auxiliar de floculação do processo, formando-se na reação o hidróxido de alumínio que apresenta carga elétrica positiva, capaz de adsorver as partículas com cargas elétricas negativas dos agentes causadores da turbidez.

A adição de sulfato de alumínio, por ser de caráter ácido, diminui o pH da água. Por isso, a adição de solução alcalina de óxido de cálcio, além de liberar alcalinidade para a reação de formação de hidróxido de alumínio, mantém um pH entre 6,8 e 7,0, onde ocorre uma floculação eficiente das substâncias responsáveis pela turbidez. No processo de floculação, ocorre uma mistura rápida desses agentes químicos e, em seguida, diminuindo-se a velocidade da água formam-se os flóculos, num processo que ocorre em cerca de 60 a 90 minutos. Após a formação dos flóculos, há a deposição dos mesmos nos decantadores, num tempo médio de residência próximo de 4 horas. Em seguida, a clarificação da água em níveis de turbidez abaixo de 5 mg/l, ocorre a etapa correspondente à filtração.

Após a filtração, procede-se à cloração da água para controle microbiológico. Normalmente, usa-se cloro gasoso, solução de hipoclorito de sódio, mantendo-se um residual entre 0,2 e 1 mg de cloro residual livre por litro de água, medido pelo teste da ortolidina em cinco segundos de contato.

Ao final da consulta, o sistema especialista emite um laudo técnico, avaliando as condições de potabilização e sugerindo os tratamentos de correção, se necessário.

O ACQUA-SIST também prevê situações em que o usuário não dispõe de informações acerca dos parâmetros acima mencionados. Assim, a partir de dados como cor, turbidez, odor, sabor e espuma é possível obter um parecer orientador sobre a qualidade da água do manancial e eventualmente sugerir algum tipo de tratamento.

A ocorrência de cor na água pode ter origens diversas (PORTO et alii, 1991). A cor marrom claro indica teores elevados de ferro e manganês. Não tem significado sanitário, mas pode ocasionar problemas nas etapas no tratamento convencional. As cores azuladas e pretas são causadas por substâncias de natureza orgânica, como taninos, ácido húmico, humatos e produtos da decomposição da lignina. Também plânctons e despejos industriais podem provocar cor na água.

Sabor e odor na água originam-se da decomposição da matéria orgânica, da poluição industrial e da ação biológica de microrganismos (PORTO et alii, 1991). Estas características se inter-relacionam, pois geralmente a sensação do sabor origina-se do odor. A detecção do sabor e odor, assim como sua quantificação, é bastante difícil, pois depende exclusivamente da sensibilidade do paladar e do olfato humano (RICHTER e AZEVEDO NETO, 1991). Essa sensibilidade varia muito de indivíduo para indivíduo. A legislação indica apenas que a água não deve apresentar sabor e odor objetáveis.

A ocorrência de espuma é indicativo da presença de agentes tensoativos na água, decorrentes de resíduos industriais (ABES, 1988). Por exemplo, de derivados sulfonatos de alquilbenzenos, que em níveis elevados podem apresentar toxicidade ao homem.



#### 4.2.2. Bases de Conhecimento para Tratamento de Água para Aplicações na Indústria de Alimentos

Na parte do ACQUA-SIST relativa à água para a indústria de alimentos foram elaboradas bases de conhecimento que avaliam e preconizam tratamentos de água para geração de vapor, sistema de refrigeração, procedimentos de higienização e redução da microbiota de algumas superfícies de alimentos. Esse sistema não tem o objetivo de controle e tratamento de água para preparo de alimentos para indústrias específicas.

Para a indústria de alimentos, parte-se do pressuposto de que a água já se encontra dentro dos padrões de potabilidade, de acordo com a Portaria nº 36 do MS. Isso é comunicado ao usuário do sistema especialista no início da consulta, por meio de um texto informativo. Além disso, deve apresentar certas características físico-químicas, havendo, na maioria das vezes, necessidade de tratamento específicos para adequá-la ao uso a que se destina.

##### 4.2.2.1. Água para Geração de Vapor

O Quadro 8 mostra os parâmetros usados para controle de formação de incrustações e processos de corrosão nas tubulações de aço-carbono em caldeiras evitando-se, ainda, diminuição da transferência de calor com conseqüente aumento de gasto com combustível. Se esses parâmetros não forem controlados, há uma diminuição da vida útil do equipamento e coloca em risco os operadores devido a possíveis rupturas nas tubulações das caldeiras.

QUADRO 8 - Parâmetros para Controle de Água em Caldeiras em Função da Pressão de Trabalho.

Pressão da Caldeira	Parâmetros				
	pH	Alcalinidade	Dureza	Cloretos	Oxigênio Dissolvido
Baixa pressão (até 10 Kgf/cm <sup>2</sup> )	10,5-11,5	>400	Ausência	200	-
Média pressão (até 18 Kgf/cm <sup>2</sup> )	10,5 - 11,5	>400	Ausência	50	-
Alta pressão (>18 Kgf/cm <sup>2</sup> )	10,5 -11,5	> 400	Ausência	Ausência	Ausência

- Não há limite definido

À exceção do pH, os demais parâmetros numéricos estão expressos em mg/l : alcalinidade e dureza em CaCO<sub>3</sub>, cloretos em íons Cl<sup>-</sup> e oxigênio dissolvido em O<sub>2</sub>.

Os valores recomendados no Quadro 7 ou 8 se referem a índices que devem ser mantidos e controlados na água que se encontra no interior da caldeira para a geração de vapor. Assim, a definição da técnica empregada no tratamento da água é dependente da qualidade físico-química da água de alimentação. Existem águas que apresentam uma qualidade em que somente o tratamento químico no interior na caldeira é suficiente para oferecer proteção contra incrustações e corrosão. Em outros casos, é necessário um tratamento externo para melhorar a qualidade da água antes de usá-la na geração de vapor.

A interação do usuário com o sistema especialista se inicia com as informações sobre a caldeira, se é do tipo fogotubular ou aquatubular e sobre a pressão de trabalho. Até 10 Kgf/cm<sup>2</sup> a caldeira classifica-se como de baixa pressão; entre 11 e 17 de média e acima de 18 kgf/cm<sup>2</sup> de alta pressão. Nas indústrias de alimentos, são usadas geralmente caldeiras de baixa ou média pressão.



Embora se afirme que o controle da água em caldeiras aquatubulares deva ser mais rígido em função da menor área de contato da água com a superfície, nesse sistema recomenda-se o mesmo nível de qualidade da água também para a caldeira fogotubular. Para as diferentes pressões de trabalho, indica-se valores idênticos de pH, alcalinidade e dureza, mas diferentes concentrações de cloretos e oxigênio dissolvido.

O sistema especialista, por meio de texto informativo inserido no início da consulta, parte de algumas premissas: o teor de sólidos totais deve estar abaixo de 1000 mg/l, o que sem dúvida é conseguido já que a água é potável, e considera-se que o pH já esteja previamente corrigido no interior da caldeira para valores entre 10,5 e 11,5. A correção do pH normalmente é efetuada usando-se soluções alcalinas preparadas a partir de hidróxido de sódio. Ao se corrigir o pH, simultaneamente eleva-se os níveis de alcalinidade que devem ser mantidos entre 400 e 700 mg/l, expressos em equivalente a  $\text{CaCO}_3$ .

Para propor controle e tratamento de dureza, o sistema subdivide a água em três classes, em função dos teores de sais de cálcio e magnésio, medidos pelo método complexométrico com EDTA. Para água com teores acima de 150 mg/l desses sais, classificada como dura, preconiza-se um tratamento externo inicial, para redução a níveis de 150 mg/l usando-se cal ( $\text{CaO}$ ) e soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a frio. Em seguida, reduz-se a dureza com cal e soda à quente ou por processos de troca iônica com resinas catiônicas. Nesse caso, essas resinas são polímeros constituídos de estireno com divinilbenzeno, tendo como grupo funcional o ácido sulfônico ou o sulfonato de sódio. Esse tratamento reduz a dureza a nível zero ou efetua uma redução parcial até 50 mg/l. Se parcial, o tratamento externo deve ser posteriormente complementado com um tratamento interno, reduzindo-se a dureza para zero no interior da caldeira.

No tratamento interno, substâncias químicas para correção são adicionadas simultaneamente à reposição da água de alimentação, podendo-se efetua-lo com agentes

precipitantes, complexantes ou ainda um tratamento misto. A precipitação é obtida com fosfato de sódio, apresentando o inconveniente da formação excessiva de lama no fundo da caldeira. O problema pode ser minimizado, aumentando-se as frequências das purgas para descarga da lama acumulada. A complexação é obtida usando-se polifosfatos de sódio ou as formas sódicas do EDTA (ácido etilenodiaminotetraacético). Dentre os polifosfatos, encontram-se o hexametáfosfato de sódio, conhecido comercialmente como calgon, sendo o mais utilizado ; o tetrafosfato conhecido comercialmente como quadrafôs; o tripolifosfato, e o pirofosfato de sódio. Já o tratamento usando-se EDTA é mais caro, embora apresente uma capacidade de complexação de três vezes maior que o hexametáfosfato de sódio, o mais eficiente entre os polifosfatos. O tratamento misto consiste em precipitar parte dos teores dos sais de cálcio e magnésio e complexar o restante. O tratamento escolhido deve reduzir a nível zero a dureza da água no interior da caldeira.

Para águas de alimentação com teores de sais de cálcio e magnésio entre 50 e 150 mg/l, classificadas como águas moderadamente duras, recomenda-se um tratamento externo inicial, com cal e soda a quente ou por processos de troca iônica com resinas catiônicas para níveis zero ou até 50 mg/l. Se a redução for parcial, indica-se o tratamento interno, como já descrito. Para águas com dureza abaixo de 50 mg/l de dureza, classificadas como águas moles, sugere-se apenas o tratamento interno.

No que se refere à cloretos, considera-se fundamental o controle de sua concentração na água do interior das caldeiras por ser indicativo da possibilidade de incrustação e corrosão nas tubulações de aço carbono. O controle do nível de cloretos é efetivado pelas purgas, em número definido pela dureza da água. Sugere-se purgas de 4 em 4 horas para águas com dureza de até 10 mg/l; de 3 em 3 horas até 20 mg/l; de 2 em 2 horas até 30 mg/l e de 1 em 1 hora quando a dureza estiver acima de 40 mg/l. Se na água do interior da caldeira os níveis de cloretos forem acima de 200 mg/l para baixa pressão, acima



de 50 mg/l para média pressão e de 5 mg/l para caldeiras de alta pressão, deve-se avaliar a alternativa de aumentar a frequência de reposição da água de alimentação.

Em relação a oxigênio dissolvido, para caldeiras de baixa e média pressões o poder corrosivo não é preocupante. No entanto, se houver interesse, a remoção de oxigênio pode ser efetuada com agentes químicos redutores. Dentre esses agentes, incluem-se o sulfito de sódio e a hidrazina catalizada por pequena concentração de sais de cobalto. Se a caldeira é de alta pressão, exige-se um controle efetivo desse parâmetro. Nesse caso, recomenda-se a ausência de oxigênio na água.

Deve-se ressaltar que se encontram disponíveis comercialmente diversos produtos para tratamento interno de água para caldeiras. Normalmente, são utilizadas formulações para controle simultâneo dos parâmetros indicativos da qualidade da água. Os fabricantes indicam as quantidades dos produtos formulados a serem usados na água de alimentação das caldeiras. Cabe aos técnicos responsáveis pelas caldeiras avaliar a eficiência dessas formulações, por meio de análises químicas da água, dentro de um plano adequado de amostragem. Por exemplo, análises diárias dos parâmetros preconizados pelo sistema especialista.

#### 4.2.2.2. Água para Resfriamento

O usuário informa ao ACQUA-SIST se deseja parecer técnico para controle e tratamento de água para resfriamento de latas após a esterilização comercial, de equipamentos de processos ou sistema de refrigeração.

Para emissão de laudos para água de resfriamento de latas, há necessidade apenas da informação do nível de cloro residual livre (CRL). O sistema oferece ao usuário cinco

opções : abaixo de 0,2 mg de CRL/l; entre 0,2 e 1 mg/l; acima de 1 e abaixo de 5 mg/l; entre 5 e 10 e acima de 10 mg de CRL/l.

Se o usuário fornece ao sistema a indicação que a água contém abaixo de 0,2 mg/l de CRL, emite-se um laudo informando que a água não apresenta um nível de cloração dentro da exigência da Portaria nº 36, já citada. É necessário avaliar se há diminuição de cloro no sistema de distribuição: tubulações e reservatório.

Para resfriamento de latas, o ACQUA-SIST sugere concentrações entre 5 e 10 mg de CRL/l. Nessas concentrações do agente químico, diminui-se a contagem de mesófilos, a incidência de coliformes e eliminam-se patógenos. As latas, após a esterilização comercial devem rapidamente ser resfriadas à temperatura ambiente, com o objetivo de evitar a permanência prolongada em temperaturas que favoreçam o crescimento de bactérias, principalmente termófilas. Entretanto, o resfriamento provoca o vácuo interno na lata e, se houver falhas no seu fechamento, pode ocorrer entrada de água. Por isso, a água de resfriamento deve ser de boa qualidade bacteriológica para evitar possíveis recontaminações do produto.

Se a água de resfriamento apresenta níveis entre 0,2 e 1 mg/l de CRL, o laudo informa que embora atenda os padrões de potabilidade (Portaria nº 36), deve-se aumentar o teor de cloro para concentrações entre 5 e 10 mg/l.

Quando a água contém acima de 1 e abaixo de 5 mg/l de CRL, o sistema especialista sugere a correção para os níveis recomendados. Se acima de 10 mg/l de CRL, sugere-se a observação da ocorrência de processos corrosivos nas latas. Se houver esta constatação, deve-se diminuir os teores de cloro.

Para água de resfriamento de equipamentos de processos, como tachos à vácuo e tanques de parede dupla que contêm alimentos a serem resfriados, após o fornecimento de informações ao sistema pelo usuário, é emitido um laudo considerando-se se a água é mole



ou dura e se a concentração de cloro encontra-se numa das faixas já mencionadas para a água de resfriamento de latas.

Quando a água apresenta dureza abaixo de 50 mg/l, espera-se que não haja a formação de incrustações minerais. No entanto, o sistema especialista recomenda que se avalie a existência desses inconvenientes. Se houver necessidade, procede-se a remoção das incrustações, usando-se solução a 1% de ácidos nítrico ou fosfórico. Se a água contém acima de 50 mg/l, deve-se considerar a possibilidade de formação de depósitos pela água, sendo desejável um acompanhamento mais rigoroso e tomar as medidas para controle e remoção dessas incrustações.

Por outro lado, sugere-se aumentar os níveis de cloro se as concentrações na água de resfriamento estiverem abaixo de 0,2 mg/l, entre 0,2 e 1, acima de 1 e abaixo de 5,0. Nesse caso, recomendam-se concentrações entre 5 e 10 mg/l de CRL com o objetivo de evitar a formação de limosidades de origem microbiana nas superfícies. Quando a concentração estiver acima de 10 mg/l, o sistema sugere sua diminuição, principalmente se for constatada a ocorrência de corrosão.

Nos sistemas de refrigeração o ACQUA-SIST considera dois tipos de água. Uma delas é a água utilizada na torre de resfriamento ou no condensador evaporativo que troca calor e condensa a amônia. A outra é a água gelada, na faixa de 1 a 2° C, utilizada como meio de resfriamento nos pasteurizadores, resfriadores e em outros processos na indústria de alimentos. Essa água pode provocar limosidade, "of-flavor" nas superfícies que entram em contato com alimentos. No caso de acidentes em tubulações e equipamentos de processos, a água por meio de vazamento pode também entrar em contato com alimentos. Por isso, deve-se manter uma boa qualidade microbiológica da mesma.

O sistema especialista, nesse caso, sugere o controle e tratamento da água da torre ou do condensador evaporativo no que se refere à cloração e à dureza. Recomenda-se a

manutenção do cloro em níveis entre 0,2 e 1 mg/l de CRL. Se constatado o desenvolvimento de algas sugere-se um tratamento de choque com 25 mg/l de sulfato de cobre aplicados semanalmente e a manutenção de um residual de 1 mg/l. Para eliminar fungos, indica-se um tratamento 30 mg/l com amônia quaternária.

Além disso, se a água contém acima de 50 mg/l de dureza preconiza-se o uso de polifosfatos para complexar e diminuir os teores de sais de cálcio e magnésio, evitando-se a formação de incrustações e processos corrosivos.

Para a água gelada, o sistema especialista recomenda um controle microbiológico, mantendo-se o nível de cloro na faixa entre 0,2 e 1 mg/l de CRL, medidos pelo teste da ortotolidina em 5 segundos de contato.

#### 4.2.2.3. Água para higienização

No programa ACQUA-SIST foi considerada a qualidade de água para algumas situações de higienização na indústria de alimentos. A higienização consiste de duas etapas bem definidas: a remoção de resíduos e a redução da carga microbiana das superfícies (ANDRADE, 1993a; GIESE, 1991; HOBBS e GILBERT, 1986). A remoção de resíduos orgânicos e/ou minerais é geralmente obtida usando-se agentes químicos, dentre os quais se incluem alcalinos, ácidos e tensoativos (MARRIOT, 1989). A redução de microrganismos é efetuada, usando-se sanificantes, como os compostos clorados, iodados e amônia quaternária, dentre outros (BANWART, 1989; ANDRADE, 1993b; CLIVER e MARTH, 1990; SOMMERS, 1951). A água é o veículo para dissolução dos agentes no procedimento de higienização. Por isso, deve-se considerar alguns parâmetros de qualidade para se obter um nível de higiene eficiente.



Para equipamentos e tubulações, o usuário deve informar ao ACQUA-SIST, a concentração de sais de cálcio e magnésio e o nível de cloro residual. A água dura pode contribuir para a formação de incrustações minerais, que originam processos corrosivos e diminuem o fluxo de alimentos nas tubulações e em equipamentos como pasteurizadores e concentradores. Além disso, essas incrustações são constituídas de proteínas, gorduras, carboidratos e minerais dos alimentos, dos produtos de higienização e da água, podendo-se tornar pontos de contaminação microbiológica.

Nesse caso, o controle de qualidade da água é efetuado por meio da formulação do detergente a ser utilizado. Assim, recomenda-se que os detergentes alcalinos apresentem um percentual de agentes complexantes em suas formulações. Dentre esses agentes, incluem-se os polifosfatos, sais sódicos do EDTA e gluconato de sódio. Deve-se avaliar os aspectos técnicos e econômicos na escolha dessas formulações. Além disso, deve constar do procedimento de higienização uma etapa em que se utiliza formulações ácidas. A frequência (diária, semanal, ou quinzenal) será definida em função dos níveis de dureza e da constatação da ocorrência de incrustações.

Em relação ao controle de microrganismos, que deve manter uma contagem de 2 aeróbios mesófilos por  $\text{cm}^2$  (FAVERO et alii, 1984), o sistema recomenda níveis de 100 mg/l de CRT, medidos pela técnica iodométrica e preparada com hipoclorito de sódio e, ou, uma cloramina orgânica, como o dicloroisocianurato de sódio. Para redução de microrganismos, outros sanificantes podem ser usados: 300 mg/l de ácido peracético, 15 mg/l de iodóforo, e água a temperatura de 90° C ou ainda vapor.

Para pisos, paredes, ambientes e lavagem de matéria prima, o sistema solicita do usuário apenas informações sobre o nível de cloro residual livre na água. No que se refere a pisos e paredes, o sistema sugere uma solução clorada em concentração de 200 mg/l de CRL. Normalmente, a aplicação é efetuada usando-se processo "spray" a baixa pressão,

após remoção dos resíduos das superfícies com detergentes apropriados. Para remoção de gordura, proteínas e carboidratos recomenda-se formulações alcalinas com tensoativos. Para remoção de minerais, sugere-se a aplicação de ácidos nítrico ou fosfórico.

Além disso, quando constatada a presença de fungos nas paredes, pisos e tetos sugere-se uma alternância entre o cloro e amônia quaternária ou outros sanificantes adequados.

Os ambientes devem manter uma contagem de 30 aeróbios mesófilos por  $\text{cm}^2$  por semana, quando se usa técnica da sedimentação simples (FAVERO et alii, 1984). Na tentativa de manter esse nível microbiológico, indica-se a utilização de uma solução de 200 mg/l de CRL, aplicada pelo processo de nebulização. Se necessário, pode-se alternar o cloro com outros sanificantes apropriados.

A redução da microbiota das superfícies de matérias primas alimentares contribui para a qualidade o produto elaborado. O nível de cloração recomendado nesse caso é muito variável e depende do tipo de alimento. O ACQUA-SIST preconiza a utilização de 5 a 7 mg/l de CRL, considerado um nível aceitável para lavagem da maioria das superfícies de alimentos.

No entanto, encontra-se na literatura relatos de outros usos de cloro, como na redução da carga microbiana das superfícies de matérias primas alimentares. Como exemplo cita-se a redução da carga microbiana em camarões e da superfícies de saladas, com o uso de 200 mg/l de CRT (PYLE e KOBURGER, 1984; LEITÃO et alii, 1981). Em superfícies de frangos indica-se a imersão em soluções de 20 mg/l de CRT (KRAFT et alii, 1982). E na redução da microbiota das superfícies de ovos, obtêm-se com a aplicação da solução clorada com 100 mg/l de CRT (LEITÃO, 1986).



#### 4.2.3. Legislação Brasileira sobre Potabilização de Mananciais e Potabilidade de Água

No que refere a legislação, o ACQUA-SIST permite ao usuário o acesso à Portaria nº. 36, que legisla sobre Normas e Padrão de Potabilidade da Água destinada ao consumo humano e à Resolução nº 20 que estabelece parâmetros indicadores específicos para avaliação das condições de potabilização de mananciais.

De uma forma didática, com base na Portaria nº 36, o sistema fornece informações sobre parâmetros organolépticos e físicos, químicos, microbiológicos, radioativos e referências bibliográficas em que se fundamentou a elaboração da legislação.

A resolução nº 20 permite a consulta sobre classificação da água de acordo com a finalidade; águas doces; salinas e salobras; outras disposições da Resolução, balneabilidade e disposições gerais.

#### 4.3. Demonstração de Funcionamento do ACQUA-SIST

Para ilustrar o funcionamento do sistema, foi criada uma situação rotineira, do controle de qualidade de águas para a indústria de alimentos. Esta chamada situação rotineira é denominada "cenário", que representa aquilo que o usuário irá encontrar na utilização do ACQUA-SIST.

A seguir iremos apresentar um cenário sobre a água utilizada na higienização de equipamentos de uma indústria de alimentos.

Ao iniciar a consulta ao ACQUA-SIST, o usuário irá encontrar um texto informativo que ressalta a necessidade de um controle da qualidade da água utilizada tanto no abastecimento público como na indústria de alimentos.

A seguir, o sistema permite ao usuário consultar as legislações vigentes a respeito das condições de potabilização de manancial ou dos padrões de água potável. Caso não haja interesse na legislação, o sistema solicita ao usuário qual a destinação da água, se para abastecimento público ou para indústria de alimentos. Neste cenário, o usuário irá utilizar o sistema para uma consulta sobre uma água utilizada na higienização de equipamentos da indústria de alimentos.

**ACQUA-SIST:** SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A ÁGUA USADA NO ABASTECIMENTO PÚBLICO OU NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR CERTAS ESPECIFICAÇÕES QUANTO A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA. É NECESSÁRIO, PORTANTO, UM CONTROLE E TRATAMENTO ADEQUADOS, EVITANDO-SE A VEICULAÇÃO DE DOENÇAS E A ALTERAÇÃO DE ALIMENTOS.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

**ACQUA-SIST:** VOCÊ DESEJA INFORMAÇÕES SOBRE A LEGISLAÇÃO ?

**USUÁRIO:** SIM

⇒ NÃO

**ACQUA-SIST:** VOCÊ DESEJA INFORMAÇÕES SOBRE ÁGUA DESTINADA A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS OU ABASTECIMENTO PÚBLICO?

**USUÁRIO:** ⇒ INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

ABASTECIMENTO PÚBLICO



**ACQUA-SIST:** A ÁGUA UTILIZADA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR-SE DENTRO DE PADRÕES DE POTABILIDADE, DE ACORDO COM A PORTARIA Nº 36, DE 19/01/90, DO MINISTÉRIO DA SAÚDE. ASSIM APÓS O TRATAMENTO CONVENCIONAL A ÁGUA DEVE ATENDER À PADRÕES FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS, DENTRO DOS QUAIS SE INCLUEM OS ABAIXO RELACIONADOS.

EM CASOS DE DÚVIDAS, CONSULTE O SISTEMA ESPECIALISTA PARA ÁGUAS COM FINALIDADE DE ABASTECIMENTO PÚBLICO.

pH	: 6,5-8,5
TURBIDEZ	: <5 PPM
CLORETOS	: <250 PPM
SÓLIDOS TOTAIS	: <1000 PPM
CLORO RESIDUAL	: 0,2-1 PPM
COLIFORMES TOTAIS	: AUSENTE/100 ML
SABOR	: NÃO OBJETÁVEL
ODOR	: NÃO OBJETÁVEL

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: INDIQUE O USO DA ÁGUA DENTRO DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.

USUÁRIO: GERAÇÃO DE VAPOR  
SISTEMA DE RESFRIAMENTO  
⇒ HIGIENIZAÇÃO

ACQUA-SIST: A ÁGUA UTILIZADA NOS PROCEDIMENTOS DE HIGIENIZAÇÃO, NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE

No momento que se fornece ao sistema a finalidade da água dentro da indústria de alimentos, o ACQUA-SIST solicitará local, data e nome do usuário, com a finalidade de registrar estes dados no laudo final, bem como as informações sobre as condições da água utilizada.

RECOMENDÁVEL A COLEÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS PARA DETERMINADOS TIPOS DE USO NOS PROCESSOS DE HIGIENIZAÇÃO.

ACQUA-SIST: A SEGUIR SERÁ SOLICITADO SEU NOME, LOCAL E DATA PARA REGISTRO NA EMISSÃO DO LAUDO TÉCNICO FINAL.

ACQUA-SIST: POR FAVOR, INDIQUE O LOCAL DE SUA INDÚSTRIA.

USUÁRIO: PTSC

ACQUA-SIST: POR FAVOR, INDIQUE O SEU NOME PARA EMISSÃO DE LAUDO TÉCNICO FINAL.

USUÁRIO: José da Silva

AMBIENTES

LAVAGEM DE MATÉRIA PRIMA



**ACQUA-SIST:** POR FAVOR, INDIQUE LOCAL E DATA DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA.

**USUÁRIO:** Bias Fortes, 15 de julho de 1994

**ACQUA-SIST:** A ÁGUA UTILIZADA NOS PROCEDIMENTOS DE HIGIENIZAÇÃO, NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR ESPECIFICAÇÕES QUE A CARACTERIZAM COMO POTÁVEL, DE ACORDO COM A PORTARIA 36, DE 19/01/90, DO MINISTÉRIO DA SAÚDE. NO ENTANTO, É RECOMENDÁVEL A CORREÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS PARA DETERMINADOS TIPOS DE USO NOS PROCESSOS DE HIGIENIZAÇÃO.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

**ACQUA-SIST:** POR FAVOR, INDIQUE O QUE VOCÊ DESEJA HIGIENIZAR EM SUA INDÚSTRIA.

**USUÁRIO:** PISOS  
TUBULAÇÕES  
⇒ EQUIPAMENTOS  
PAREDES  
AMBIENTES  
LAVAGEM DE MATÉRIA PRIMA

ACQUA-SIST: INDIQUE A DUREZA TOTAL DA ÁGUA PARA USO NO  
PROCEDIMENTO DE HIGIENIZAÇÃO, EXPRESSA EM mg/l de  
 $\text{CaCO}_3$ .

USUÁRIO:  $\Rightarrow$  MAIOR QUE 50 PPM

MENOR QUE 50 PPM

ACQUA-SIST: INFORME A CONCENTRAÇÃO DE CLORO RESIDUAL LIVRE  
(CRL), PARA USO NO PROCEDIMENTO DE HIGIENIZAÇÃO,  
EXPRESSO EM mg/l de  $\text{Cl}_2$ .

USUÁRIO:  $\Rightarrow$  ENTRE 0,2 A 1 PPM

MENOR QUE 0,2 PPM

ACQUA-SIST: SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE  
ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

JORGE ANTÔNIO BARROS DE MACÊDO  
NÉLIO JOSÉ DE ANDRADE  
UFV-DTA-1994

LOCAL E DATA: **Bias Fortes, 22 de Julho de 1994**

NOME DO USUÁRIO: **José da Silva**

UTILIDADE DA ÁGUA: **INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

**- HIGIENIZAÇÃO -**



## PARÂMETROS:

DUREZA : Maior que 50 ppm

CLORO RESIDUAL : Entre 0,2 a 1 ppm

A higienização consiste de duas etapas básicas e bem definidas: a remoção de resíduos e a redução da carga microbiana das superfícies. A remoção de resíduos orgânicos e, ou, minerais na maioria das vezes é obtida usando-se agentes químicos, dentre os quais se incluem alcalinos, ácidos e tensoativos. A redução de microrganismos é efetuada usando-se sanificantes, como os compostos clorados, iodados e amônia quaternária, dentre outros.

A água é o veículo para a dissolução dos agentes no procedimento de higienização, por isso deve-se considerar alguns parâmetros de qualidades para se obter um nível de higiene eficiente.

De acordo com as informações fornecidas, constata-se que a água sob avaliação apresenta dureza acima de 50 mg/l e uma concentração de cloro residual livre dentro das especificações que a caracterizam como potável.

Para remoção de resíduos, a água com elevados teores de sais de cálcio pode contribuir para a formação de incrustações minerais, que originam processos corrosivos e diminuem o fluxo de alimentos nas tubulações e em equipamentos como pasteurizadores e concentradores. Além disso, essas incrustações são constituídas de proteínas, gordura, carboidratos e minerais dos alimentos, dos produtos de higienização e da água, podendo-se tornarem pontos de contaminação microbiológica.

Nesse caso, o controle de qualidade da água é efetuada por meio da formulação do detergente a ser utilizado. Assim, recomenda-se que os detergentes alcalinos apresentem um percentual de agentes complexantes em suas formulações. Dentre esses agentes, incluem-se os polifosfatos, sal sódico do EDTA e o gluconato de sódio.

Deve-se avaliar os aspectos técnicos e econômicos na escolha dessas formulações. Além disso, deve constar do procedimento de higienização uma etapa em que se utiliza formulações ácidas. A frequência (diária, semanal, quinzenal, etc.) será definida em função dos níveis de dureza e da constatação da ocorrência de incrustações.

A água apresenta-se com um nível de cloração dentro da exigência da Portaria nº 36, de 19/01/90, do Ministério da Saúde. Em relação à redução de microrganismos, esse valor deve ser aumentado para a concentração de 100 mg/l de cloro residual livre, avaliada pela técnica iodométrica e preparada com hipoclorito de sódio ou uma cloramina orgânica, por exemplo, o dicloroisocianurato de sódio.

Deve-se ressaltar que para a redução de microrganismos, outros sanificantes podem ser usados: 300 mg/l de ácido peracético, 15 mg/l de iodóforo, água à temperatura de 90° C ou ainda vapor.

O laudo técnico ressalta as etapas que constituem o processo de higienização, bem como a importância da água dentro deste processo. Além de esclarecer sobre as condições da água utilizada, esclarece que nos dias de hoje, é de grande importância a aquisição de produtos que sejam técnica e economicamente viáveis para cada situação, apresentando sugestões quanto aos componentes para os produtos detergentes e sanificantes.

Nos Apêndices A e B, serão apresentados mais dois cenários representativos de situações referentes a controle da potabilização de mananciais e da água utilizada na geração de vapor.



#### 4.4. Validação de Sistema Especialista

Dos seis cenários do ACQUA-SIST para serem submetidos ao processo de validação. Três deles relativos à avaliação da condições de potabilização de mananciais que foram enviados para professores do Departamento de Química da Universidade Federal de Juiz de Fora e técnico da Fundação Nacional da Saúde (FNS) do Ministério da Saúde (MS), em Belo Horizonte, e cuja percentagem de concordância com o ACQUA-SIST, foi de 100%. Outros três cenários referentes à indústria de alimentos: um para tratamento de água para caldeiras foi enviado para a Prefeitura do Campus da UFV; para o abatedouro PIF-PAF, em Visconde do Rio Branco (MG) e para MAROCA e RUSSO (COTOCHÊS), em Rio Casca (MG), houve 90% de coincidência entre os laudos preconizados pelo especialista e pelo sistema.

O cenário relativo ao tratamento de água para sistema de refrigeração e o terceiro sobre água para procedimento de higienização submetidos a dois professores especialistas na área do DTA/UFV, havendo 95% e 90% de coincidência entre os laudos comparados, respectivamente.

QUADRO 9 - Resultado do Processo de Validação do ACQUA-SIST

Experts (nº)	Cenários	Informação avaliada	Percentagem de acerto
3	Abastecimento público (3)	Laudo técnico final	100
5	Indústria de alimentos(3)		
	Geração de vapor(1)	Laudo técnico final	90
	Sistema de resfriamento(1)	Laudo técnico final	95
	Higienização(1)	Laudo técnico final	90



## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

A água utilizada na indústria de alimentos, além de ser potável, deve apresentar características físico-químicas e microbiológicas bem definidas. Assim, para obtenção de água adequada às diversas aplicações é necessário o acompanhamento de técnicos com conhecimento especializado. As indústrias de alimentos geralmente não dispõem do conhecimento deste profissional especializado com informações sobre biologia, microbiologia, química, física, engenharia, operações unitárias, processamento de alimentos, entre outros. Para resolver esta situação, na maioria das vezes, é necessário a contratação de firmas especializadas, o que custa caro, onerando o tratamento da água.

Para minimizar o problema e facilitar a transferência do conhecimento desta área, foi elaborado o ACQUA-SIST - "Sistema para Controle de Qualidade de Água na Indústria de Alimentos". É um sistema especialista gerenciado por dois módulos (G1 e G2), que permite a consulta e emissão de laudos técnicos, de condições de potabilização do manancial, e aplicações específicas dentro da indústria de alimentos, como água para geração de vapor, refrigeração e higienização. Pode ainda efetuar consultas sobre a legislação vigente no que se refere às condições de potabilização do manancial e padrões de potabilidade de água.

O módulo gerenciador G1 é o responsável por iniciar a consulta ao sistema, por acessar a base de conhecimento relativa à Resolução sobre condições de potabilização de mananciais, e pela consulta à Portaria que legisla sobre padrões de potabilidade de água, permite ainda o acesso ao módulo gerenciador G2.

O módulo gerenciador G2 dá acesso às bases de conhecimento relativas às diversas aplicações da água dentro da indústria de alimentos, permitindo consulta e emissão de laudos sobre a água utilizada para as seguintes finalidades: i) geração de vapor, para caldeiras de baixa, média e alta pressão, baseando-se nas análises do pH, dureza, alcalinidade, cloretos e teor de oxigênio dissolvido; ii) resfriamento de latas, após a esterilização comercial fundamentada no teor de cloro residual total (CRT) na água e resfriamento de equipamentos de processo e de sistema de refrigeração onde além do teor de cloro considera as concentrações de cálcio e magnésio (dureza) existentes na água; iii) higienização de paredes, pisos e superfícies de alimentos, onde considera o teor de CRT e higienização de tubulações e equipamentos, fundamentado no teor de CRT e na dureza da água utilizada.

O ACQUA-SIST foi desenvolvido em um microcomputador compatível com o padrão IBM-PC XT, tendo utilizado o ambiente de programação LEVEL 5, sendo constituído de 217 laudos e 908 regras, ocupando uma memória de 1,17 megabytes. A interação do sistema especialista com o usuário é efetuada por meio de textos informativos usados em todo o sistema para conduzir com mais objetividade à consulta ou mesmo colocar restrições ao usuário. Dos laudos técnicos ou informativos do ACQUA-SIST, constam o nome do usuário, local e data da consulta e um sumário dos valores dos parâmetros informados.

O sistema foi avaliado por um processo de validação externa, onde seis cenários, escolhidos aleatoriamente, do total de 217, foram distribuídos a especialista em água para abastecimento público, para geração de vapor, para resfriamento e higienização. Cada um



dos especialistas emitiu um parecer técnico sobre a situação que estava sendo representada através do cenário. As opiniões dos especialistas foram comparadas com os laudos técnicos ou informativos emitidos pelo ACQUA-SIST, sendo constatada a existência de uma concordância muito grande entre o que o sistema preconiza e as posições técnicas dos especialistas consultados.

O ACQUA-SIST, além de permitir acesso a um nível de conhecimento técnico numa área onde há escassez de recursos humanos, reduz de maneira sensível o tempo de procura de soluções dos problemas de rotina no controle da qualidade de água. Portanto, o ACQUA-SIST apresenta excelente perspectiva de aplicação no controle e tratamento de água na indústria de alimentos.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Sugere-se o desenvolvimento de softwares para controle de qualidade de água em indústrias específicas. Dentre elas, podem-se incluir as indústrias de cervejarias, laticínios, de carnes, de panificação, entre outras.

Recomenda-se que futuros sistemas especialistas sejam construídos em ambiente de programação que possuam o recurso do hipertexto, e que possam ser utilizados em ambiente Windows, para melhorar a qualidade gráfica e visual do sistema.

Programas aplicáveis na resolução de outros problemas relacionados ao controle de qualidade e processamento na indústria de alimentos, provavelmente deverão ser desenvolvidos à medida que os profissionais avaliarem e conscientizarem-se da importância do uso da inteligência artificial, sendo que sistemas como o ACQUA-SIST podem ser utilizados em qualquer indústria que necessite de uma água de qualidade, além de permitir nas estações de tratamento de água um maior acompanhamento do manancial, com respostas rápidas e com alto nível técnico.



BARNER, D. Chemical analysis of water. 2nd. Level 3. Columbia, Ohio, Merrill Publishing Company, 1966. 83p.

BATALHA, S. L. E. PALLATONE, A. C. Controle da qualidade da água para consumo humano. São Paulo, CETESB, 1977. 198p.

BRASIL. Lei, de 1966, de 20, de 11 de janeiro de 1966. Classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Brasília, 22 jul 1966, p.1135-1136.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Lei, de 1990, de 29 de maio de 1990. Normas e padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Ministério de Saúde. Diário Oficial da União. Brasília, 23 de jun de 1990, p. 1651-1654.

ADAD, J. M. T. Controle químico de qualidade. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982. 204p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA. Standard methods for the examination of Water and Wastewater, 14. ed., Washington, D.C., 1975. 1224p.

ANDRADE, N. J. Higienização na indústria de alimentos. Viçosa, MG, UFV, Imp. Univ., 1993a. 38p.

ANDRADE, N. J. Use of *Bacillus subtilis* spores to evaluate the efficiency of sodium hypochlorite at different concentration and pH values. R. Microbiol., 24(1):26-31, 1993b.

ANDRADE, N.J. & MARTYN, M. E. L. A Água na Indústria de Alimentos. Viçosa, MG, UFV, Imp.Univ., 1982. 38p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL - ABES. Preservação de recursos hídricos. Rio de Janeiro, 1988. 222p.

BANWART, G. J. The control of microorganisms. In: BANWART, G. J. (ed.) Basic food microbiology. New York, Van Nostrand Reinhold, 1989. Cap. 10. p. 332-346.

- BARKER, D. Developing business expert system with Level 5. Columbus, Ohio, Merryl Publishing Company, 1988. 83p.
- BATALHA, B. L. & PARLATORE, A. C. Controle da qualidade da água para consumo humano. São Paulo, CETESB, 1977. 198p.
- BRASIL. Leis, decretos, etc... Resolução nº 20, de 18 de janeiro de 1986, Classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Brasília, 30 jul.1986. p.11356-11361.
- BRASIL. Leis, decretos, etc... Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, Normas e padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano, Ministério da Saúde. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de jan. de 1990. p. 1651-1654.
- CAMPOS, A. C. & BAZZOLI, N. Atividades realizadas na unidade regional de controle da qualidade de água (URCQA). Belo Horizonte, Fundação Nacional de Saúde, 1993.
- CLIVER, D.O. & MARTH, E. H. Preservation, sanitation, and microbiological specification for foods. In: CLIVER, D. O.ed. Foodborne diseases. San Diego, Academic Press, 1990. Cap. 3. p.46-63.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB, Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo, 1988. 149p.
- DACACH, N. G. Sistemas urbanos de água. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1975. 389p.
- DREW PRODUTOS QUÍMICOS. Princípios de tratamento de água industrial. São Paulo, Impres, 1979. 331p.
- DYCHDALA, G. R. - Chlorine an chlorine compounds. In: BLOCH, S. S.,ed. Disinfection, sterilization and preservation. 2.ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 1977. cap. 10. p. 167-195.
- FAVERO, M.S.; GABIS, D.A.; VESLEY, D. Environmental monitoring procedures In: American Public Health Association - APHA. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. Washington, D.C., 1984. cap.3. p.47-81.



- FEAR, T.; YOUNG, L. S. & COLLINS, T. H. An Expert system for bread fault diagnosis. Cereal Foods World, 3 (34): 279-280, 1989.
- FERNANDES, E. N. Sistema especialista para planejamento e desenho de sistemas agroflorestais em duas macroregiões do estado de Minas Gerais. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1994. 82p. (Tese M.S.)
- GALETTI, P. A. Água - guia do técnico agropecuário. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1983. 135p.
- GESLAIN-LANÉELLE, C. M. A.; SOYEUX, A. P.; FEINBERG, M. H. Expert system for food labeling. Food Technol., 98-103, 1989.
- GIESE, J. H. Sanitation: the key to safety and public health. Food Technol., 45 (12):74-80, 1991.
- GILCHRIST, W. Statistical modelling. Chichester: John Wiley and Sons, 1984. 38p.
- HARMON, P. & KING, D. Expert systems - artificial intelligence in business. New York, John Wiley & Sons, 1985. 283p.
- HARMON, P. & KING, D. Sistemas especialistas. Rio de Janeiro, Editora Campos Ltda, 1988. 304p.
- HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D.; LENAT, D. An overview of experts systems. In: HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D.; LENAT, D. (eds). Building expert systems. London, Addison-Wesley, 1983. 444p.
- HOBBS, B. C. & GILBERT, R. J. Higiene y toxicologia de los alimentos. 2.ed. Zaragoza, Editorial Acribia, 1986. 441p.
- HIURNE, R.B.; DYKUIZEN, A. A.; VAN BEEK, P. Computerized Analysis of individual Sow Herd Performance - III. Validation of computer system CHESS. J. Agric. Eco, 1990 (no prelo).
- KATSUYAMA, A.M. & STRACHAN, J. P. - Principles of food processing sanitation. Washington D.C., National Food Processors Institute - NFPA, 1980. 301p.

- KRAFT, A. A. ; REDDY, K. V.; HASIAK, R. J.; LIND, K. D.; GALLOWAY, D. E. Microbiological quality of vacuum packaged poultry with or without chlorine treatment. J. Food Sci., 47: 380 - 385, 1982.
- LAPORTE, J.; MARCOS, B.; VEILLETTE, M.; LAFLAMME, G. BIOEXPERT- An Expert System for Wastewater Treatment Process Diagnosis. Computers Chem.Engng, 6 (13), 619-630, 1989.
- LAKE, D. E.; LESNIEWSKY, R. S.; ANDERSON, J. E. ; GRAVE, R. R.; BREMSER, J. F. Enumeration and isolation of mesophilic anaerobic sporeformers from cannery post processing equipment. J. Food Protec., 48(9): 794-798, 1985.
- LEITÃO, M. F. F.; MONTEIRO FILHO, E.; DELAZARI, I.; ANGELUCCI, E. Eficiência de desinfetantes na redução da contaminação bacteriana da alface (*Lactuca sativa* L.) Bol. ITAL, Campinas, 18(2):201-226, 1981.
- LEITÃO, M. F. F., Microbiologia e controle higiênico-sanitário na produção de massas alimentícias. Bol. ITAL, 23 (3): 293-310, 1986.
- MARRIOT, N. G. Cleaning compounds. In: MARRIOT, N. G. e.d. Principles of food sanitation. New York, Avi Publishing Company, 1989. Cap.5. p. 65-68.
- PEREIRA, J.F. Saneamento de águas. Juiz de Fora, MG, UFJF, 1979. 60p.
- PORETTI, M., Quality control of water as raw material in the food industry. Food Control, 1(3):79-83, 1990.
- PORTO, R. L.L.; BRANCO, S.M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, M.R.; EIGER, S.; LUCA, S.J.; NOGUEIRA, V.P.Q.; PORTO, M.F.A. - Hidrologia ambiental, São Paulo, Universidade de São Paulo, 1991, 415p..
- PYLE, M. L. & KORBURGER, J. A. Increased sensitization of shrimp microflora to hypochlorite following a sodium bisulfite dip. J. Food Protec., 47(5): 375-377, 1984.
- RICHTER & AZEVEDO NETO. Tratamento de água. São Paulo, Edgard Blucher, 1991. 332p.



- ROBINSON, V.B. & FRANK, A.U. Expert systems for efficient geographic information systems. Phot. Eng. Rem. Sensing, 53 (10): 1435-41, 1987.
- RUSSO, C.; LANZA, C. M.; TOMASELLI, F. Uso dei sistemi esperti nel controllo della qualità dei formaggi tipici siciliani. Ind. Alim., 28, 1989.
- SANTOS FILHO, D. F. S. Tecnologia de tratamento de água. São Paulo, Nobel, 1985. 251p.
- SILVA, C. A. B. Sistemas especialistas para economistas rurais: potencial e relevância. R. Econ. Sociol. Rural, 28(2):155- 174, 1990.
- SILVA, C. A. B.; ANDRADE, N. J.; SPROESSER, R. L. Aplicação de técnicas de inteligência artificial na indústria de laticínios: um protótipo de sistema especialista para recomendação de procedimento de limpeza e sanificação. R. Inst. Cândido Tostes, 45 (262-272): 10-13, 1990.
- SOMMERS, I. I. Studies on in plant-chlorination. Food Technol., 5:46-51, 1951.
- SPROESSER, R. L. Utilização de técnicas de inteligência artificial no planejamento da produção e controle de qualidade na indústria de laticínios. Viçosa, MG, UFV 1991. 107p. (Tese de MS).
- SPROESSER, R.L.; ANDRADE, N. J.; SILVA, C.A.B. SISTSAN - A inteligência artificial aplicada aos procedimentos de higienização na indústria de laticínios. Hig. Alim., 5 (18) : 36-38, 1991.
- TAMPLIN, T.C. - CIP Technology, detergents and sanitizers. In: JOWITT, R. ed. Hygienic design and operation of food plant. Westport, AVI Publishing Company, 1980. Cap. 11, p.183-224.
- WATERMAN, D. A guide to expert systems. Reading, Addison- Wesley Publishing, 1986. 417p.
- WEI, C.; COOK, D. L.; KIRK, J. R. - Use of chlorine compounds in the food industry. Food Technol., 39(1):107-105, 1985.

## APÊNDICE A

### CONSULTA SOBRE POTABILIZAÇÃO DE MANANCIAL

Quando o usuário inicia a consulta, o ACQUA-SIST coloca um texto informativo que esclarece a importância de um controle da qualidade da água destinada ao abastecimento público e a indústria de alimentos.

Em seguida o ACQUA-SIST permite ao usuário, pesquisar e imprimir as legislações vigentes à respeito das condições de potabilização de manancial ou dos padrões de água potável.

## APÊNDICE

A seguir o sistema solicita ao usuário a indicação da água, se para abastecimento público ou para indústria de alimentos. Neste cenário, o usuário irá utilizar o sistema para uma consulta sobre um manancial para obtenção de água destinada ao abastecimento público.

### ACQUA-SIST - SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A ÁGUA USADA NO ABASTECIMENTO PÚBLICO OU NA  
INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR CERTAS  
ESPECIFICAÇÕES QUANTO A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA  
E MICROBIOLÓGICA. É NECESSÁRIO, PORTANTO, UM  
CONTROLE E TRATAMENTO ADEQUADOS, EVITANDO-SE A  
VEICULAÇÃO DE DOENÇAS E A ALTERAÇÃO DE ALIMENTOS.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR



## APÊNDICE A

### CONSULTA SOBRE POTABILIZAÇÃO DE MANANCIAL

Quando o usuário inicia a consulta, o ACQUA-SIST coloca um texto informativo que esclarece a importância de um controle da qualidade da água destinada ao abastecimento público e a indústria de alimentos.

Em seguida o ACQUA-SIST permite ao usuário, pesquisar e imprimir as legislações vigentes à respeito das condições de potabilização de manancial ou dos padrões de água potável.

A seguir o sistema solicita ao usuário a destinação da água, se para abastecimento público ou para indústria de alimentos. Neste cenário, o usuário irá utilizar o sistema para uma consulta sobre um manancial para obtenção de água destinada ao abastecimento público.

ACQUA-SIST: SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE  
ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A ÁGUA USADA NO ABASTECIMENTO PÚBLICO OU NA  
INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR CERTAS  
ESPECIFICAÇÕES QUANTO A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA  
E MICROBIOLÓGICA. É NECESSÁRIO, PORTANTO, UM  
CONTROLE E TRATAMENTO ADEQUADOS, EVITANDO-SE A  
VEICULAÇÃO DE DOENÇAS E A ALTERAÇÃO DE ALIMENTOS.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: VOCÊ DESEJA INFORMAÇÕES SOBRE A LEGISLAÇÃO ?

USUÁRIO: SIM  
⇒ NÃO

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: VOCÊ DESEJA INFORMAÇÕES SOBRE ÁGUA DESTINADA A  
INDÚSTRIA DE ALIMENTOS OU ABASTECIMENTO PÚBLICO?

USUÁRIO: INDÚSTRIA DE ALIMENTOS  
⇒ ABASTECIMENTO PÚBLICO

USUÁRIO: ⇒ SIM

NÃO

ACQUA-SIST: INDIQUE A ORIGEM DA ÁGUA A SER TRATADA.

USUÁRIO: POÇO ARTEZIANO

ACQUA-SIST: ⇒ ÁGUAS SUPERFICIAIS: RIOS, RIACHOS, LAGOS, AÇUDES,  
OUTRAS.

POÇO

MINA

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: A OPÇÃO "SIM" EM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS FÍSICO-  
QUÍMICOS, SIGNIFICA QUE VOCÊ DISPÕE DE INFORMAÇÕES  
USUÁRIO: SOBRE AS SEGUINTE ANÁLISES: pH, TURBIDEZ, CLORETOS E  
NITRATOS.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR



ACQUA-SIST: A OPÇÃO "SIM" EM RELAÇÃO A MICROBIOLOGIA, SIGNIFICA QUE VOCÊ DISPÕE DE INFORMAÇÕES ACERCA DO NÚMERO MAIS PROVÁVEL DE COLIFORMES TOTAIS POR 100 ML DE ÁGUA.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: HÁ INFORMAÇÕES SOBRE OS PARÂMETROS FISICO-QUÍMICOS DA ÁGUA A SER TRATADA ?

USUÁRIO: ⇒ SIM

NÃO

ACQUA-SIST: A INTERLIGAÇÃO DOS PARÂMETROS FISICO-QUÍMICOS PERMITE A ESCOLHA DE QUALQUER UM DELES, PARA QUE A CONSULTA AO SISTEMA SE INICIE.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: VOCÊ DISPÕE DE INFORMAÇÕES ACERCA DO NÚMERO DE COLIFORMES TOTAIS POR 100 ML DA ÁGUA A SER TRATADA ?

USUÁRIO: ⇒ SIM

NÃO

USUÁRIO: João de Faria, 12 de julho de 1994

ACQUA-SIST: INDIQUE O NÚMERO DE COLIFORMES TOTAIS POR 100 ML DE  
ÁGUA A SER TRATADA.

USUÁRIO: MAIOR QUE 20000 NMP POR 100 ml

USUÁRIO: ⇒ MENOR QUE 20000 NMP POR 100 ml

A seguir o sistema solicita ao usuário o local, a data e o seu nome, e inicia a consulta sobre os parâmetros físicos-químicos da água em questão, para que finalmente o ACQUA-SIST possa emitir um laudo técnico.

ACQUA-SIST: A SEGUIR SERÁ SOLICITADO SEU NOME, LOCAL E DATA  
PARA REGISTRO NA EMISSÃO DO LAUDO TÉCNICO FINAL.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: POR FAVOR, INDIQUE O SEU NOME PARA EMISSÃO DE  
LAUDO TÉCNICO FINAL.

USUÁRIO: Josué da Silva

ACQUA-SIST: POR FAVOR, INDIQUE LOCAL E DATA DE UTILIZAÇÃO DO  
SISTEMA ESPECIALISTA.

USUÁRIO: Juiz de Fora, 15 de julho de 1994



**ACQUA-SIST:** SELECIONE UM DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS  
**USUÁRIO:** ABAIXO DISCRIMINADOS PARA QUE A CONSULTA AO  
 SISTEMA TENHA PROSSEGUIMENTO.

**USUÁRIO:** ⇒ pH DA ÁGUA  
 TURBIDEZ DA ÁGUA  
 CLORETOS DA ÁGUA

**USUÁRIO:** NITRATOS DA ÁGUA  
 MAIOR QUE 10 PPM

**ACQUA-SIST:** INDIQUE A FAIXA DE VALORES DE pH DA ÁGUA A  
 SER TRATADA.

**USUÁRIO:** MENOR QUE 4,6

⇒ ENTRE 4,6 A 6,4

ENTRE 6,5 A 8,5

ENTRE 8,6 A 9,4

MAIOR QUE 9,4

**ACQUA-SIST:** INDIQUE A TURBIDEZ, EXPRESSA EM mg de  $\text{SiO}_2/\text{l}$ , DA ÁGUA  
 A SER TRATADA.

**USUÁRIO:** MENOR OU IGUAL A 5 PPM

⇒ MAIOR QUE 5 PPM

**LOCAL E DATA:** Jure de Pira, 15 de julho de 1994

**NOME DO USUÁRIO:** Jure de Pira

**UTILIDADE DA ÁGUA:** ABASTECIMENTO PÚBLICO

ACQUA-SIST: INDIQUE O TEOR DE CLORETOS, EXPRESSO EM mg de Cl<sup>-</sup>/l.

USUÁRIO: ⇒ MENOR OU IGUAL A 250 PPM

MAIOR QUE 250 PPM

ACQUA-SIST: INDIQUE O TEOR DE NITRATOS, EXPRESSO EM mg de N/l.

USUÁRIO: ⇒ MENOR OU IGUAL A 10 PPM

MAIOR QUE 10 PPM

No momento que o usuário fornece ao sistema o último parâmetro necessário para caracterizar o manancial, no caso deste cenário foi o teor de nitratos, o ACQUA-SIST irá apresentar um laudo técnico, onde além das informações sobre as condições de potabilidade do manancial, será apresentado o local, a data, o nome do usuário e os parâmetros que caracterizam o manancial.

ACQUA-SIST: SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE  
ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

JORGE ANTÔNIO BARROS DE MACÊDO  
NÉLIO JOSÉ DE ANDRADE  
UFV-DTA-1994

LOCAL E DATA: Juiz de Fora, 15 de julho de 1994

NOME DO USUÁRIO: Josué da Silva

UTILIDADE DA ÁGUA: ABASTECIMENTO PÚBLICO



**PARÂMETROS:**

pH : Entre 4,6 a 6,4  
TURBIDEZ : Maior que 5 ppm  
CLORETOS : Menor ou igual a 250 ppm  
NITRATOS : Menor ou igual a 10 ppm  
COLIFORMES TOTAIS : Menor que 20000 NMP/100 ml

Este parecer técnico assume que o manancial a ser utilizado está em conformidade com a resolução nº. 20, de 18 de Junho de 1986 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), do Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, no que se refere às exigências quanto às concentrações de substâncias potencialmente prejudiciais. Dentre esses incluem-se, componentes orgânicos e inorgânicos que afetam a saúde ou qualidade organoléptica, segundo Portaria nº. 36, de 19 de Janeiro de 1990, do Ministério da Saúde.

De acordo com as informações, constata-se que a contagem de coliformes totais encontra-se de acordo com as exigências da resolução No. 20 do CONAMA. O manancial será considerado não potabilizável se o número de coliformes ultrapassar a 2000 por 100 ml em 20% ou mais de pelo menos cinco amostras mensais, colhidas em qualquer mês.

Confirmada a ausência de problema microbiológico, de cloretos e nitratos, e a turbidez sendo provocada pela presença de argila ou lodo, indica-se o tratamento de sedimentação utilizando-se solução de sulfato de alumínio e corrigindo-se o pH para a faixa de 6,5 a 8,5. Esta correção pode ser efetuada, adicionando-se à água uma solução alcalina, preparada a partir do óxido de cálcio, até atingir o pH desejado, seguida de filtração.

Além disso é necessário efetuar-se a cloração da água, usando-se cloro gás, solução de hipoclorito de cálcio ou hipoclorito de sódio. Deve-se manter um residual entre 0,5 a 1,0 ppm de cloro livre, medido pelo teste da ortotolidina em cinco segundos

de contato ou outro teste equivalente, para garantir a quantidade microbiológica da água

## APÊNDICE B

O laudo técnico emitido pelo ACQUA-SIST, para condições de potabilização será sempre fundamentado na Resolução nº 20 do Conama e na Portaria nº 36 do Ministério da Saúde. Quando o manancial não é inviabilizado por um dos parâmetros apresentados, além dos tratamentos convencionais o sistema sempre sugere uma cloração e controle do teor de cloro residual da água como forma de manter a qualidade microbiológica da mesma.

A seguir o sistema permite ao usuário, consultar a legislação vigente a respeito das condições de potabilização de manancial ou dos padrões de água potável. Caso não haja interesse na legislação o sistema solicita ao usuário qual a destinação da água, se para abastecimento público ou para indústria de alimentos. Neste cenário, o usuário irá utilizar o sistema para uma consulta sobre uma água utilizada na geração de vapor.

## ACQUA-SIST: SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A ÁGUA USADA NO ABASTECIMENTO PÚBLICO OU NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR CERTAS ESPECIFICAÇÕES QUANTO A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA. É NECESSÁRIO, PORTANTO, UM CONTROLE E TRATAMENTO ADEQUADOS, EVITANDO-SE A VEICULAÇÃO DE DOENÇAS E A ALTERAÇÃO DE ALIMENTOS.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR



## APÊNDICE B

### EXEMPLO DE CONSULTA SOBRE ÁGUA PARA GERAÇÃO DE VAPOR

Ao iniciar a consulta ao ACQUA-SIST, o usuário irá encontrar um texto informativo que ressalta a necessidade de um controle da qualidade da água utilizada tanto no abastecimento público como na indústria de alimentos.

A seguir o sistema permite ao usuário, consultar as legislações vigentes à respeito das condições de potabilização de manancial ou dos padrões de água potável. Caso não haja interesse na legislação o sistema solicita ao usuário qual a destinação da água, se para abastecimento público ou para indústria de alimentos. Neste cenário, o usuário irá utilizar o sistema para uma consulta sobre uma água utilizada na geração de vapor.

ACQUA-SIST: SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE  
ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A ÁGUA USADA NO ABASTECIMENTO PÚBLICO OU NA  
INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR CERTAS  
ESPECIFICAÇÕES QUANTO A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA  
E MICROBIOLÓGICA. É NECESSÁRIO, PORTANTO, UM  
CONTROLE E TRATAMENTO ADEQUADOS, EVITANDO-SE A  
VEICULAÇÃO DE DOENÇAS E A ALTERAÇÃO DE ALIMENTOS.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: A ÁGUA UTILIZADA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE

ACQUA-SIST: VOCÊ DESEJA INFORMAÇÕES SOBRE A LEGISLAÇÃO ?

USUÁRIO: SIM

⇒ NÃO

ACQUA-SIST: VOCÊ DESEJA INFORMAÇÕES SOBRE ÁGUA DESTINADA A  
INDÚSTRIA DE ALIMENTOS OU ABASTECIMENTO PÚBLICO?

USUÁRIO: ⇒ INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

ABASTECIMENTO PÚBLICO

COM FINALIDADE DE ABASTECIMENTO

PÚBLICO

pH : 6,5-8,5

TURBIDEZ : < 5 PPM

CLORETO : < 50 PPM

SÓLIDOS TOTAIS : < 1000 PPM

CLORO RESIDUAL : 0,2-1 PPM

COLIFORMES TOTAIS : AUSENTE/100 ML

SABOR : NÃO OBJETAVEL

ODOR : NÃO OBJETAVEL

TECLE ENTER PARA CONTINUAR



**ACQUA-SIST:** A ÁGUA UTILIZADA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS DEVE APRESENTAR-SE DENTRO DE PADRÕES DE POTABILIDADE, DE ACORDO COM A PORTARIA Nº 36, DE 19/01/90, DO MINISTÉRIO DA SAÚDE. ASSIM APÓS O TRATAMENTO CONVENCIONAL A ÁGUA DEVE ATENDER À PADRÕES FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS, DENTRO DOS QUAIS SE INCLUEM OS ABAIXO RELACIONADOS.

**ACQUA-SIST:** CONSIDERA-SE, NESTE CASO QUE A ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA EM CASOS DE DÚVIDAS, CONSULTE O SISTEMA ESPECIALISTA PARA ÁGUAS COM FINALIDADE DE ABASTECIMENTO PÚBLICO.

pH : 6,5-8,5

TURBIDEZ : <5 PPM

CLORETOS : <250 PPM

SÓLIDOS TOTAIS : <1000 PPM

CLORO RESIDUAL : 0,2-1 PPM

COLIFORMES TOTAIS : AUSENTE/100 ML

SABOR : NÃO OBJETÁVEL

ODOR : NÃO OBJETÁVEL

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: INDIQUE O USO DA ÁGUA DENTRO DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.

USUÁRIO:       ⇒ GERAÇÃO DE VAPOR  
                  SISTEMA DE RESFRIAMENTO  
                  ⇒ HIGIENIZAÇÃO

ACQUA-SIST: CONSIDERA-SE, NESSE CASO QUE A ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA JÁ RECEBEU UM TRATAMENTO CONVENCIONAL, ADEQUADO, ONDE O TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS ESTÁ ABAIXO DE 1000 mg/l. O SISTEMA ESPECIALISTA CONSIDERA TAMBÉM QUE JÁ FOI EFETUADA A CORREÇÃO DO pH PARA A FAIXA ENTRE 10,5 A 11,5.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: INFORME O TIPO DE CALDEIRA USADA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.

USUÁRIO:       ⇒ AQUATUBULAR

USUÁRIO:       FOGOTUBULAR



ACQUA-SIST: INFORME A PRESSÃO DE TRABALHO DA CALDEIRA, EM KGF/CM<sup>2</sup>.

USUÁRIO:     ⇒ ATÉ 10 KGF POR CM<sup>2</sup>  
                  DE 11 KGF POR CM<sup>2</sup> A 18 KGF POR CM<sup>2</sup>  
                  MAIOR QUE 18 KGF POR CM<sup>2</sup>

No momento que se fornece ao sistema a finalidade da água dentro da indústria de alimentos, o ACQUA-SIST solicitará local, data e nome do usuário, com a finalidade de registrar estes dados no laudo final, bem como as informações sobre as condições da água utilizada.

ACQUA-SIST: A SEGUIR SERÁ SOLICITADO SEU NOME, LOCAL E DATA PARA REGISTRO NA EMISSÃO DO LAUDO TÉCNICO FINAL.

TECLE ENTER PARA CONTINUAR

ACQUA-SIST: POR FAVOR, INDIQUE O SEU NOME PARA EMISSÃO DE LAUDO TÉCNICO FINAL.

USUÁRIO:     **José Maria**

ACQUA-SIST: POR FAVOR, INDIQUE LOCAL E DATA DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA.

USUÁRIO:     **Bias Fortes, 15 de julho de 1994**

**ACQUA-SIST:** INDIQUE A DUREZA TOTAL DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA, EXPRESSA EM mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ .

**USUÁRIO:**  $\Rightarrow$  MENOR QUE 50 PPM

ENTRE 50 E 150 PPM

MAIOR QUE 150 PPM

**ACQUA-SIST:** INDIQUE A ALCALINIDADE DA ÁGUA NO INTERIOR DA CALDEIRA, EXPRESSA EM mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$ .

**USUÁRIO:** MAIOR QUE 400 PPM

$\Rightarrow$  MENOR OU IGUAL A 400 PPM

**ACQUA-SIST:** INDIQUE O TEOR DE CLORETOS DA ÁGUA DO INTERIOR DA CALDEIRA, EXPRESSA EM mg de  $\text{NaCl}/\text{l}$ .

**USUÁRIO:**  $\Rightarrow$  MAIOR QUE 200 PPM

MENOR OU IGUAL A 200 PPM

**ACQUA-SIST:** INDIQUE A CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA, EXPRESSO EM mg de  $\text{O}_2/\text{l}$ .

**USUÁRIO:**  $\Rightarrow$  MAIOR QUE 1 PPM

MENOR OU IGUAL A 1 PPM



## ACQUA-SIST: SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE E TRATAMENTO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

JORGE ANTÔNIO BARROS DE MACÊDO  
NÉLIO JOSÉ DE ANDRADE  
UFV-DTA-1994

LOCAL E DATA: **Bias Fortes, 15 de julho de 1994**

NOME DO USUÁRIO: **José Maria**

UTILIDADE DA ÁGUA: **INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

**- GERAÇÃO DE VAPOR -**

### PARÂMETROS:

PRESSÃO : **Baixa**

DUREZA : **Menor que 50 ppm**

ALCALINIDADE : **Menor que 400 ppm**

CLORETOS : **Maior que 200 ppm**

OXIGÊNIO : **Maior que 1 ppm**

O tratamento da água de alimentação de caldeiras para evitar a formação de incrustações fundamenta-se no controle do pH e dos teores de dureza, alcalinidade, cloretos e oxigênio dissolvido.

Tais incrustações diminuem a transferência de calor tornando a produção de vapor mais cara e originam processos corrosivos, diminuindo a vida útil do equipamento e colocando em risco a vida dos operadores, devido a possíveis rupturas das tubulações de aço-carbono.

Conforme já assumido anteriormente, considera-se que a água já tenha recebido um tratamento para correção de pH, elevando-o para níveis entre 10,5 e 11,5. Esta correção geralmente é efetuada usando-se solução alcalina, preparada a partir do hidróxido de sódio.

Um teor de dureza abaixo de 50 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  classifica a água de alimentação na categoria de água mole. Nesse caso, é possível sugerir um tratamento interno, onde as substâncias químicas para correção são adicionadas simultaneamente à reposição da água de alimentação. O tratamento pode ser efetuado, usando-se agentes precipitantes, complexantes ou ainda um tratamento misto. A precipitação dos sais de cálcio e magnésio é obtida com fosfato trissódico, apresentando o inconveniente da formação de lama no fundo da caldeira. Este problema pode ser minimizado, aumentando-se a frequência das purgas para descarga da lama acumulada. A complexação é obtida usando-se polifosfatos de sódio ou EDTA (Ácido etilenodiaminotetraacético). Dentre os polifosfatos, encontram-se hexametáfosfato, conhecido comercialmente como calgon, sendo o mais utilizado, o tetrafosfato, conhecido comercialmente como quadrafós, o tripolifosfato e pirofosfato de sódio. Já o tratamento usando-se EDTA é muito caro, embora apresente uma capacidade de complexação cerca de três vezes maior que o hexametáfosfato, o mais eficiente entre os polifosfatos. O tratamento misto consiste em precipitar parte dos teores de sais de cálcio e magnésio e complexar o restante. O tratamento escolhido deve reduzir a nível zero a dureza da água no interior da caldeira.

O nível de alcalinidade está abaixo do recomendado para controle de processos corrosivos nas tubulações da caldeira. É necessário aumentar o teor de alcalinidade até valores acima de 400 mg/l expressos em  $\text{CaCO}_3$ , usando-se solução alcalina preparada a partir de hidróxido de sódio.

O nível de cloretos elevados, acima de 200 mg/l de NaCl na água de alimentação é indicativo da possibilidade de formação de incrustações, sendo um parâmetro que deve ser controlado. As purgas efetuadas para descarga da lama acumulada no fundo da caldeira, também, promovem uma desconcentração do nível de cloretos. Assim, um controle efetivo na periodicidade das purgas é importante para minimizar a formação



de incrustações nas tubulações de aço-carbono das caldeiras. A recomendação do número de purgas é proporcional à dureza da água de alimentação. Até 10 mg/l de dureza, sugere-se purgas de 4 em 4 horas; até 20 mg/l de 3 em 3 horas; até 30 mg/l de 2 em 2 horas e acima de 30 mg/l as purgas devem ser efetuadas de 1 em 1 hora. Em níveis mais elevados de cloretos, como neste caso, deve-se avaliar a alternativa de aumentar a frequência de reposição da água de alimentação.

Para caldeiras de baixa pressão, não há necessidade do controle de oxigênio dissolvido. No entanto, se houver interesse, a remoção do oxigênio pode ser efetuada pela desaeração mecânica ou por agentes químicos redutores. Dentre os agentes químicos usados, incluem-se o sulfito de sódio e a hidrazina catalizada por pequena concentração de sais de cobalto.

O laudo técnico além de oferecer ao usuário o local, data e seu nome, bem como os parâmetros que caracterizam a água, esclarece qual a função do tratamento de águas para caldeiras e em quais parâmetros se baseia este tratamento, ainda indica a classificação da água em questão, em função da concentração dos íons de cálcio e magnésio, bem como as formas de tratamento para redução do teor destes íons ao nível zero.

Esclarece a forma de ajuste dos outros parâmetros, bem como a sua importância nas águas utilizadas em caldeiras.

## APÊNDICE C

Regras utilizadas no ACQUA-SIST na base de conhecimento referente à caldeira de baixa pressão:

### RULE 9

IF A1

AND DUREZA IS MENOR QUE 50 PPM

AND ALCALINIDADE IS MAIOR QUE 400 PPM

AND CLORETOS IS MAIOR QUE 200 PPM

AND OXIGÊNIO IS MAIOR QUE 1 PPM

AND DISPLAY LAUDO FINAL 9

AND CHAIN JORGE.KNB

### RULE 10

IF A1

AND DUREZA IS MENOR QUE 50 PPM

AND ALCALINIDADE IS MAIOR QUE 400 PPM

AND CLORETOS IS MENOR QUE 200 PPM

AND OXIGÊNIO IS MENOR QUE 1 PPM

AND DISPLAY LAUDO FINAL 10

AND CHAIN JORGE.KNB

Regras utilizadas no módulo gerenciador G1:

### RULE 21

IF FINALIDADE IS SIM

THEN A21

### RULE 22

IF FINALIDADE IS NÃO

THEN A22

### RULE 1

IF A22

AND FINALIDADE DA ÁGUA IS ABASTECIMENTO PÚBLICO

THEN A1



**RULE 2****IF A22****AND FINALIDADE DA ÁGUA IS INDÚSTRIA DE ALIMENTOS****THEN A2****RULE 3****IF A1****AND ORIGEM DA ÁGUA IS POÇO ARTEZIANO****OR ORIGEM DA ÁGUA IS ÁGUAS SUPERFICIAIS: RIOS, RIACHOS,****LAGOS, AÇUDES, OUTRAS****OR ORIGEM DA ÁGUA IS POÇO****OR ORIGEM DA ÁGUA IS MINA****THEN A3****AND DISPLAY PFQ****AND DISPLAY MP**