

INSTITUTO DE QUÍMICA

Universidade de São Paulo

16915

21055.91

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE QUÍMICA

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS INDICATIVOS DE
SALINIZAÇÃO EM RESERVATÓRIOS HÍDRICOS DO
SUDOESTE DA BAHIA**

JOSÉ SOARES DOS SANTOS

Dissertação Mestrado

Química Analítica

Prof. Dr. SÉRGIO MASSARO

Orientador

SÃO PAULO

1996

Dedalo
2384748

Assunto
406.0380.5
4.06.0360.2

“Avaliação de Parâmetros Indicativos de Salinização em
Reservatórios Hídricos do Sudoeste da Bahia”

JOSE SOARES DOS SANTOS

Dissertação de Mestrado submetida ao Instituto de Química da
Universidade de São Paulo como parte dos requisitos necessários à obtenção
do grau de Mestre em Ciências - Área: Química Analítica.

Aprovado por:

Prof. Dr. SERGIO MASSARO
IQ - USP
(Orientador e Presidente)

Prof. Dr. JORGE CESAR MASINI
IQ - USP

Profa. Dra. MARIA JOSEFA SANTOS YABE
UEL

SÃO PAULO
28 DE FEVEREIRO DE 1997

dedico este trabalho

***A Lúcia e Ariette,
companheiras e componentes essenciais da minha singela
família, que fortificaram a minha alma nos momentos mais
difíceis durante a realização deste trabalho***

e também

***Aos amigos da espiritualidade,
companheiros de todos os momentos que
sutilmente contribuíram na realização deste trabalho***

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Sergio Massaro meu orientador, pela dedicação, orientação, estímulo e amizade, durante a realização deste trabalho.

Aos colegas do Bloco 2 Superior do Instituto de Química: Simone, Milton, Patrícia, Cristiane, Horácio e Lúcia Helena.

Ao pessoal do Laboratório de Eletroquímica: Professores Lúcio, Gutz e Claudemir, e colegas, William, Renato e Carol.

À Professora Dra. Elizabeth de Oliveira, pela disponibilidade do laboratório de Espectrometria de Emissão Atômica, sem isso não seria possível a realização deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Ciências Naturais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, especialmente a Professora Roseane que substituiu-me durante o meu afastamento para realizar este trabalho

À CAPES, pelo suporte financeiro.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

1.1. Introdução.....	1
----------------------	---

CAPÍTULO 2

2.0. Aspectos Gerais Sobre a Evapoconcentração de Espécies Químicas Dissolvidas em Reservatórios Hídricos.....	4
2.1. Fatores Naturais que Favorecem a Salinização.....	5
2.1.1. Tipo de Solo.....	5
2.1.2. Contexto Geológico.....	7
2.1.3. Clima.....	8
2.2. Principais Espécies Químicas Dissolvidas nas águas Superficiais e Suas Características.....	10
2.2.1. Sódio.....	10
2.2.2. Potássio.....	11
2.2.3. Cálcio.....	12
2.2.4. Magnésio.....	13
2.2.5. Cloro.....	13
2.2.6. Carbono (CO ₂ e Derivados).....	14
2.3. Adsorção e Troca Iônica.....	16
2.4. Amostragem.....	18
2.5. Determinação dos Elementos Principais em Águas Naturais po ICP-AES...19	19

CAPÍTULO 3

3.0. Metodologia.....	21
3.1. Represas em Estudo.....	21

3.1.1. Represas Estudadas.....	21
3.1.2. Represas Catalogadas.....	21
3.1.3. Características das Represas em Estudo.....	25
3.1.4. Características das Represas Catalogadas.....	27
3.2.1. Coletas.....	33
3.2.2. Pontos de Coleta.....	36
3.2.3. Hidrometeorologia da Região no Período da Coleta.....	37
3.3. Materiais e Equipamentos.....	39
3.3.1. Materiais.....	39
3.3.2. Reagentes.....	39
3.3.3. Equipamentos.....	39
3.3.4. Instrumentação.....	40

CAPÍTULO 4

4.0. Resultados e Discussões.....	41
4.1. Amostragem de 03 de dezembro de 1995.....	41
4.2. Amostragem de 15 de Janeiro de 1996.....	47
4.3. Amostragem de 31 de Março de 1996.....	50
4.4. Amostragem de 10 de Julho de 1996.....	54
4.5. Catalogação Crítica do Processo de Salinização nos demais Reservatórios.....	59

CAPÍTULO 5

5.0. Conclusões.....	65
----------------------	----

APÊNDICES

Referências Bibliográficas.....	66
---------------------------------	----

RESUMO

Os recursos hídricos, em seu estado natural, possuem peculiaridades que nem sempre a nível regional permitem seu uso imediato pela sociedade. Sua variabilidade quantitativa, exige a intervenção do homem, para a transformação desses recursos, de modo a satisfazerem as suas demandas.

A transformação dos recursos hídricos na zona semi-árida da região do Sudoeste do Estado da Bahia se faz através dos açudes, equipamentos hidráulicos que permitem a regularização das vazões de um curso d'água, garantindo deste modo a disponibilidade durante o período de estiagem. Muitas dessas obras são realizadas sem um planejamento adequado causando assim, o desperdício e a degradação da qualidade da água, em virtude do aumento da concentração de espécies químicas dissolvidas. Este fenômeno é conhecido por salinização.

A proposta deste trabalho é quantificar alguns parâmetros indicativos do processo de salinização. Para isto foram escolhidos dois reservatórios artificiais (açudes) na região de Vitória da Conquista, no Sudoeste do Estado da Bahia, construídos sobre cursos de água de vertente oceânica e cujos fluxos são muito variáveis conforme a estação do ano: o Anajé, construído no final dos anos 80, visando perenizar o Rio Gavião, não apresenta até agora sinais de salinização, e o Tremedal construído na década de 1960, situado ao sul do anteriormente citado, apresentando atualmente evidentes sinais de salinização.

Foram realizadas determinações por ICP-AES de Na, K, Ca e Mg em amostras da água coletada nos reservatórios e seus afluentes, sendo constatado que as águas à montante das duas represas possuem características semelhantes, porém as concentrações do Na, K e Mg na represa Tremedal são aproximadamente o dobro do que em Anajé, confirmando assim o avanço do processo de salinização em Tremedal.

Foi estudado também, o processo de salinização nas represas Comocoxico, Morrinhos, Divino, Pedras, Angico e Água Fria, visando avaliar a dinâmica temporal da salinização

ABSTRACT

The peculiar properties of natural water resources prevent their promptly continuous use by the community prior to a judicious managing in the native resource conditions. The seasonal only availability of natural water in certain regions demands engineering administration to control water flow and then guarantee an uninterrupted water-supply for the community usage.

The management of the water resources at semi-desert zone at Southeast Bahia is carried out by construction of dams to impound water and raise its level giving rise to a stable water-supply system downstream even during the drought season. Most of these dams are built without any careful plan and being thereupon responsible for the waste and deterioration of water quality owing to an increasing salt concentration.

This work aims to evaluate quantitatively some important parameters of the salt accumulation process in order to compare different conceiving dams. Two dams were chosen for this study. One of them, the Anagé dam, was built in the late 80s in Vitória da Conquista County, located at Southeast of Bahia State, in a seasonal ocean stream riverbed, aiming to transform the Gavião River in a permanent river. This dam did not present any evidence of salt accumulation. The other one, named Tremedal, built in the 60s at the south of the same region presents high evidence of salt accumulation.

Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy was used to evaluate the concentration levels of Na, K, Ca and Mg in water samples from inside and upstream of the dams. Even though there is no significant difference in the concentration of these species upstream for both dams, the inside concentration in the Tremedal dam is closely two hundred percent higher than in the Anagé. This results confirm the increasing salt accumulation process in that dam.

The salt accumulation process in another dams (Comocoxico, Morrinhos, Divino, Pedras, Angico and Água Fria) was also studied just to figure out the dynamic of this process.

1.1 INTRODUÇÃO

A água doce representa apenas 3% do total da água existente num determinado momento, na superfície do planeta. Os restantes 97% encontram-se nos oceanos e mares salgados. A maior parte da água doce, aproximadamente 2,3% dos 3% existentes, está congelada nas calotas polares e geleiras, ou em lençóis subterrâneos muito profundos. A evaporação e a precipitação reciclam um volume considerável de água anualmente, mas apenas uma parte desse total cai sobre os continentes. Na verdade, apenas 0,5% do volume total de água do planeta encontra-se imediatamente disponível para o homem ^[1,6].

O Nordeste brasileiro dispõe de recursos d'água irregularmente distribuídos no tempo e no espaço em decorrência de fatores meteorológicos e geomorfológicos desfavoráveis. Desta forma são necessárias medidas especiais de uso e disciplinamento de suas potencialidades.

Os recursos hídricos, em seu estado natural, possuem peculiaridades que a nível regional não permitem seu uso imediato pela sociedade. Sua variabilidade, quantitativa e qualitativa, exige a intervenção do homem, para transformação desses recursos, de modo a satisfazerem as demandas.

A transformação dos recursos hídricos se faz através de equipamentos hidráulicos a exemplo de açudes que permitem a regularização das vazões de um curso d'água, garantindo a disponibilidade de uma determinada vazão perene mínima durante um período de estiagem.

Nos cursos de água da região em estudo, Sudoeste do Estado da Bahia, tem sido praticado ao longo dos tempos a açudagem, que são pequenos, médios e grandes represamentos para estocar os recursos hídricos da época chuvosa (novembro - abril), propiciando seu aproveitamento na época seca (junho - outubro). Muitas vezes sem um planejamento global adequado, tais represamentos causam, o desperdício e a degradação da qualidade da água, em virtude do aumento da concentração de espécies químicas dissolvidas. Este fenômeno, conhecido por salinização, é provocado pela evaporação favorecida através da diminuição do escoamento, aliado à formação de grandes espelhos d'água.

Os pequenos sistemas de acumulação, utilizados inicialmente apenas para suprimento de água limitados, deram hoje lugar a imensos, complexos e sofisticados empreendimentos com objetivos e finalidades tão diversas como a geração de energia, a irrigação em grande escala, o lazer, a piscicultura, o abastecimento de água de centros urbanos de porte, controle de cheias, perenização de rios e outras.

Esses empreendimentos são, seguramente, uma das formas mais visíveis da interferência do engenho humano nas condições naturais, na busca de satisfação de suas necessidades básicas. Infelizmente, essa interferência tem trazido consigo alguns impactos ambientais negativos e, em alguns casos em proporções desfavoráveis aos benefícios colhidos.

A salinização das águas de um número significativo de represas da região em estudo, tem se constituído em elementos de desperdícios e deterioração dos recursos.

A Bacia do Rio de Contas, com área^[2] de 55.335 Km², a mais importante do Sudoeste da Bahia é quase toda formada por terrenos cristalinos, onde os recursos de água subterrâneos são escassos. O aumento da disponibilidade hídrica tem sido efetivado pela ativação dos recursos de superfície, sendo que atualmente existem mais de duas dezenas de açudes de grande e médio porte, com uma total capacidade de armazenamento disponível de mais de dois bilhões de metros cúbicos de água, da qual um volume significativo encontra-se com a qualidade deteriorada devido ao processo de salinização.

A proposta deste trabalho é avaliar parâmetros indicativos do processo de salinização destes sistemas aquáticos visando fornecer dados para subsidiar medidas controladoras da dinâmica desse processo, através de um manejo adequado dos reservatórios.

Para estudar este fenômeno foram escolhidos dois reservatórios artificiais (açudes) na Região de Vitória da Conquista, no Sudoeste do Estado da Bahia. Estes açudes, construídos sobre cursos de água da vertente oceânica e cujos fluxos são muito variáveis conforme a estação do ano: o **Anajé**, construído no final dos anos 80, visando perenizar o Rio Gavião, não apresenta até agora sinais de

salinização; o Tremedal construído na década de 1960, situado ao sul do anteriormente citado, apresenta atualmente evidentes sinais de salinização.

Foram realizadas determinações de Na, K, Ca e Mg em amostras de água coletadas nos reservatórios e seus afluentes, por Espectrometria de Emissão Atômica Acoplada com Plasma de Argônio Induzido ICP-AES. Esta técnica tem ampla aplicação na análise de metais em água, com a vantagem de detectar diversos elementos em quantidades maiores e menores, sem mudança nos parâmetros experimentais.

Como estudo complementar para identificar a tendência da salinização a longo prazo em função da demanda das águas represadas, foram catalogadas as variações das concentrações de Na, Ca e Mg das águas de dois grupos de represas construídas a partir da década de 1940. Sendo um grupo constituído de represas com demanda regular, e o outro constituído de represas com demanda irregular que foram construídas quase que exclusivamente para estocar água.

Nas represas de demanda regular, detectamos que o parâmetro que governa a variação da concentração das espécies químicas dissolvidas, não é a idade das represas como ocorrem nos reservatórios de demanda irregular, mas, o tempo de retenção hidráulica.

Sugerimos desta forma a possibilidade de recuperar as represas salinizadas, através do controle da vazão defluente, tendo em vista que as saídas dos reservatórios se fazem através das infiltrações, das retiradas de água para qualquer forma de uso e da evaporação. Das três, as duas primeiras exportam conjuntamente água e sais na concentração do momento, enquanto a evaporação retira somente a água e concentra a solução restante. Conforme as proporções das três saídas, a evolução salina poderá ser muito diferente.

2. ASPECTOS GERAIS SOBRE A EVAPOCONCENTRAÇÃO DE ESPÉCIES QUÍMICAS DISSOLVIDAS EM RESERVATÓRIOS HÍDRICOS.

As concentrações de íons inorgânicos dissolvidos em reservatórios hídricos situados em regiões de baixa ou irregular pluviosidade costumam aumentar com o decorrer do tempo.

Esse fenômeno^[4] comumente conhecido como salinização indica que nestes corpos de água há predominância dos fluxos de entrada de íons sobre os de saída. Isto pode ser entendido pelo fato de que basicamente estas espécies entram e saem dos reservatórios carregados pelos fluxos de água de montante e jusante.

Como apreciável parcela hídrica é perdida por evaporação e não por sangria destes reservatórios, ocorre o aumento da concentração de espécies solúveis na água restante,

A principal consequência deste fato é que, a médio e longo prazos, resultam problemas em sua utilização tanto para fins agrários como urbanos.^[5]

2.1 FATORES NATURAIS QUE FAVORECEM A SALINIZAÇÃO

2.1.1 Tipo solo

Os sais solúveis no solo são constituídos principalmente dos íons Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- e SO_4^{2-} e uma menor quantidade K^+ , HCO_3^- e NO_3^- . Originários dos minerais primários neles contidos e das rochas expostas na superfície, que durante o processo de intemperização química - hidrólise, hidratação, dissolução, oxidação e carbonatação - foram gradualmente liberados e solubilizados.^[7]

O HCO_3^- resulta da dissolução do CO_2 nas águas atmosféricas e de processos fermentativos da matéria orgânica em meio aquoso.

A composição química das águas meteoritas (águas de qualquer precipitação), resultam do processo de dissolução, que ocorre na atmosfera. Praticamente todos os gases atmosféricos podem ser dissolvidos nas precipitações.

O CO_2 dissolvido na chuva produz o H_2CO_3 , responsável pela agressividade ácida, e o O_2 dissolvido determina o potencial redox das águas meteóricas, constituindo assim em um agente poderoso do intemperismo superficial.

A maioria das espécies químicas dissolvidas nas águas da chuva (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+) provem da dissolução de aerossóis formados por poeiras continentais, sais oceânicos, exalações industriais e vulcânicas, levados pelos ventos a altas regiões atmosféricas. A composição química dessas águas varia rapidamente das áreas costeiras para o interior dos continentes. As espécies químicas de origem marinha (Na^+ , Cl^- e Mg^{2+}) são sucessivamente substituídas por espécies químicas de origem continental (K^+ , SO_4^{2-} , NH_4^+) dependendo da intensidade e da direção dos ventos.

A composição química das águas superficiais difere de sua composição inicial (água da chuva) devido a dissolução das espécies químicas presentes no solo durante o contato solo/água.

A proporção relativa dos componentes solúveis no solo, dependem dos minerais presentes na rocha mãe e mais especificamente de sua solubilidade. Por exemplo, a hidrólise ácida de um mineral sedimentar como o CaCO_3 transcorre mais rapidamente que nas rochas ígneas. Desta forma, as águas drenadas em regiões carbonatadas geralmente contêm muito mais substâncias dissolvidas, e são quantificadas como Sólidos Dissolvidos Totais - SDT. Essas águas são classificadas como “águas duras”, em contrapartida as águas drenadas em regiões ígneas são normalmente “águas moles”. As águas calcáreas distinguem-se pelo predomínio de Ca^{2+} e HCO_3^- sobre outras espécies químicas dissolvidas, valores elevados de SDT e baixo teor de resíduos sólidos. As águas das rochas ígneas têm um baixo teor de SDT e composição química mais variada^[8].

A origem dos sais solúveis no solo não é apenas devido ao intemperismo local, mas também ao transporte de outras regiões. O oceano pode ser a fonte de sais num solo cuja matriz é constituída de depósitos marinhos de eras geológicas mais antigas e que com o tempo foram sendo trazidas à superfície. Porém, as fontes mais comuns de sais do solo são as águas superficiais e subterrâneas, cuja concentração depende do teor de sais no solo com o qual as águas estiverem em contato.

Os solos salinos ocorrem nas regiões áridas e semi-áridas onde a deficiência de água impede uma lixiviação natural eficiente. Por isso eles são praticamente inexistentes nas zonas úmidas. Outro fator naquelas regiões é a elevada evaporação que tende a concentrar os sais na superfície^[7,10 e 47].

A drenagem pobre do solo é outra causa importante do mesmo problema, devido à baixa permeabilidade do solo, ocorrendo a presença de um lençol elevado.

2.1.2 Contexto Geológico

O solos, do ponto de vista geológico são constituídos de embasamento cristalino e bacias sedimentares. Estas bacias são compostas de rochas permeáveis, solos frequentemente profundos, favorecendo o armazenamento da água em lençóis profundos de grande extensão, tornando os rios perenes.

O embasamento cristalino é constituído de rochas ígneas e metamórficas de idade pré-cambriana, impermeáveis, com solos pouco profundos, de pouca infiltração, baixa capacidade de armazenamento de água e predominância dos processos de escoamento. Em consequência, a rede hidrográfica é densa, mas os rios são de regime temporário, com enchentes bruscas e escoamento rápido. Não existem lençóis subterrâneos expressivos no cristalino. As águas subterrâneas limitam-se a lençóis localizados nas zonas de fraturas e fissuras do substrato, que oferecem condições locais de boa permeabilidade.

Apesar dessas águas fissurais serem protegidas da evaporação direta pela profundidade em que se encontram, a aridez do clima é o fator determinante de

concentrações salinas elevadas. As águas acumuladas na superfície, concentram por evaporação, e pelo processo de infiltração os sais alimentam as águas profundas. Uma prova deste mecanismo é que as águas profundas são altamente concentradas em cloretos, e como o cloro é ausente das rochas cristalinas, provavelmente é trazido pelas águas das chuvas.^[3,15]

Nas regiões sedimentares, o mesmo não acontece pois a rede hidrográfica exporta uma parte dos sais dissolvidos até o mar.

2.1.3 Clima

O gradiente de pressão formado entre o equador e os polos, pelo maior aquecimento da atmosfera no equador, conduz a uma circulação em altitude no sentido dos polos, de ar relativamente quente, e na superfície de um ar relativamente frio, em direção ao equador.

O movimento de rotação da terra divide esta célula de circulação em tres menores, criando uma nova região de ar descendente, próxima a latitude 30°, onde predomina o bom tempo, e outra região de ar ascendente pela convergência de duas correntes de ar, uma vinda do Polo (**P**) e a outra vinda dos Trópicos (**T**). Que é um dos principais fenômenos para a formação de chuva em toda Terra.^[9]

Quando uma massa de ar **P** encontra com uma massa de ar **T** determina a formação na superfície de uma frente fria.

Uma frente fria é uma zona de convergência, que força o ar mais quente a subir, formando núvens e, frequentemente, precipitações.

A forma mais comum na atmosfera para provocar a condensação é pelo resfriamento. O resfriamento normalmente se dá por descompressão adiabática do ar, quando existem correntes ascendentes que levam o ar úmido para níveis mais elevados onde a pressão atmosférica é menor. A ascensão do ar pode se dar de tres formas principais:

Convecção. Neste processo a nuvem que se forma é do tipo cumuliforme ou convectiva, sua presença demonstra instabilidade atmosférica. As chuvas são fortes e do tipo de pancadas muitas vezes com trovões.

Convergência. Neste processo as nuvens podem ser tanto do tipo cumuliformes como do tipo estratiforme. É o caso que se observa normalmente numa frente.

Orográfico. Ocorre quando o ar úmido é forçado a subir a grandes altitudes, desviando de sua rota original pela barreira formada por montanhas ou serras. O ar pode também ser forçado a subir quando passa do oceano para a costa sem a presença de uma barreira montanhosa. Quando a terra está muito mais fria que o mar (no inverno ou à noite).^[7, 48]

As regiões que são dominadas pela circulação de massas de ar descendentes da alta toposfera, normalmente são regiões de maior aridez, em vista da alta estabilidade e baixa umidade relativa desta massa de ar. O Sertão Nordestino Brasileiro é um exemplo típico deste fenômeno.

Nestas regiões a salinização é favorecida pelo predomínio de ventos com baixa umidade aliado a uma intensa insolação. Condições ideais para provocar altos índices evaporimétricos, chegando a valores da ordem de 2500mm/ano, o que torna as perdas de água por evaporação um fator importante na concentração das espécies químicas dissolvidas.

Outro fator relevante nos processos de salificação do solo e salinização das águas nessas regiões é a baixa e irregular pluviosidade. A quase permanente deficiência hídrica dificulta a diluição, a dissolução e a lixiviação das espécies químicas concentradas por evaporação.

2.1.4 ESQUEMA DE UM PLUVIÔMETRO

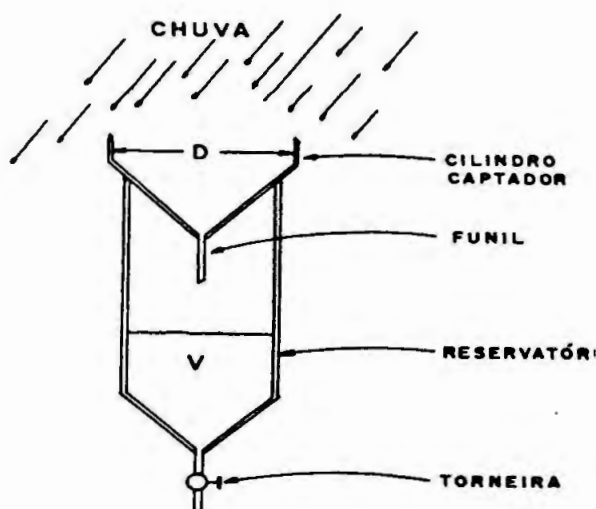


Figura 2.1. pluviômetro^[10]

O funil que liga o cilindro ao reservatório tem a finalidade de impedir a perda por evaporação da água coletada. Pela torneira, coleta-se a água e mede-se o volume V da água da chuva.

O valor de 1mm de chuva corresponde a 1L/m^2 , ao espalharmos 1 litro de água sobre uma superfície plana de 1m^2 , teremos uma lâmina d'água de 1mm de altura.

Se uma dada chuva foi de 25mm, pode-se dizer que cada m^2 de solo recebeu 25 litros de água.^[10]

As condições topográficas e climáticas da Terra variam amplamente. Estes fatores, junto com outros, causam uma grande variação na quantidade e na distribuição de chuvas. A precipitação média anual, varia de menos de 50mm nas regiões áridas até mais de 2500mm nas regiões úmidas.^[11]

2.2 PRINCIPAIS ESPÉCIES QUÍMICAS DISSOLVIDAS NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUAS CARACTERÍSTICAS

2.2.1 SÓDIO

É um elemento importante na composição das rochas ígneas, com uma concentração de $2,81 \times 10^4$ mg/Kg. É um dos principais elementos dos feldspatos

sódicos e feldspatóides. Encontrado em menor quantidade nos minerais glaucofanos.^[13]

O intemperismo das rochas magmáticas e silicatos, em geral libera sódio. O enriquecimento do Na nas águas naturais é uma consequência da alta solubilidade dos sais de sódio e da boa mobilidade desse elemento.

A concentração do sódio nas rochas sedimentares é de $3,87 \times 10^3$ mg/Kg, nas rochas argilosas de $4,85 \times 10^3$ mg/Kg e nas rochas carbonáticas de $3,93 \times 10^2$ mg/Kg^[13]

A quantidade de sódio retido no complexo de troca iônica do solo influi significativamente em suas propriedades físicas, inclusive na permeabilidade.

A argila em estado floculado tem um efeito de agregação no solo. As águas que contém uma elevada taxa de Na^+ , causam a dispersão das partículas da argila, diminuindo a permeabilidade do solo.

Quando o solo é irrigado com águas de alto teor de sódio, além de alterar a sua permeabilidade provoca um desequilíbrio no sistema de troca iônica do Na^+ em relação ao Ca^{2+} e Mg^{2+} , provocando um efeito negativo na disponibilidade dos nutrientes. Desta forma, para ser utilizada para irrigação, a água costuma ser avaliada através da Relação de Absorção do Sódio - RAS^[14], que exprime a proporção relativa de Na^+ em relação a soma ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), evitando assim, a substituição dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} pelo Na^+ no complexo de absorção do solo.^[51]

2.2.2 POTÁSSIO

A concentração do potássio nas rochas ígneas é aproximadamente $2,57 \times 10^4$ mg/Kg.

O potássio está sendo liberado das rochas por intemperismo da mesma forma que o sódio. Como o íon K^+ é facilmente absorvido pelas argilas, explica-se as baixas concentrações relativas de potássio nas águas naturais e elevadas concentrações nas argilas.

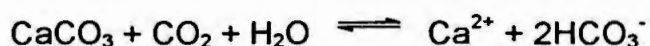
Segundo Rankana e Sahama^[44], o valor da relação $[Na^+]/[K^+]$ é de 1,09 nas rochas ígneas e de 27,84 nas águas do mar, mostrando desta forma, a grande mobilidade geoquímica do sódio comparando com o potássio.

A solubilidade dos sais de potássio é elevada em água. Porém a sua concentração nas águas naturais é baixa, devido a sua participação do processo de troca iônica.

2.2.3 CÁLCIO.

Nas águas naturais o cálcio é liberado pelo intemperismo das rochas ígneas, e também se constitui em um elemento importante dos depósitos de gipsita $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, anhidrita $CaSO_4$, dolomita $CaMg(CO_3)_2$, calcita e aragonita $CaCO_3$.

Em águas que contém um elevado teor de dióxido de carbono dissolvido, o processo de dissolução do cálcio contido nos minerais carbonatados é favorecido, conforme a equação abaixo.



Como a reação acima é reversível, nas águas em que o processo de retirada do dióxido de carbono é favorecido, ocorre o deslocamento do equilíbrio no sentido da formação de depósitos de Carbonato de cálcio, tendo em vista que o dióxido de carbono ganho através do equilíbrio com a atmosfera é insuficiente para manter o nível de cálcio dissolvido, especialmente nas águas profundas.^[16]

Em contrapartida o processo de degradação microbiana da matéria orgânica contida na água, no sedimento e no solo aumenta consideravelmente os níveis de CO_2 e HCO_3^- nas águas. Este é um fator extremamente importante nos processos químicos aquáticos e transformações geoquímicas.

Nas águas de chuva as concentrações do cálcio variam entre 0,8 a 10mg/l e provém em geral de sais ciclados por poeiras terrestres e de poluição industrial

levada pelos ventos. O cálcio é também um elemento importante no ciclo bioquímico fazendo parte de esqueletos, conchas etc.

2.2.4 MAGNÉSIO

Assim como o cálcio, o magnésio é extremamente comum em águas naturais, sendo liberado pelo intemperismo das rochas magmáticas, e também participa da composição dos depósitos de rochas dolomíticas $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.^[17]

As propriedades químicas do magnésio são bastante similares às do cálcio. Da mesma forma sua solubilidade nas águas naturais é influenciada pelo pH e pela variação da concentração do CO_2 dissolvido.

O magnésio tem uma tendência de formar complexos e pares iônicos, tais como $\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ e MgOH^+ , de relativa estabilidade em solução.

É um elemento importante na atividade biológica, participando de mecanismos enzimáticos.

2.2.5 CLORO

Aproximadamente 75% da totalidade do cloro da crosta terrestre encontra-se nos oceanos sob a forma de cloretos e somente uma pequena parte provém do intemperismo das rochas magmáticas, carbonáticas e arenitos.

Devido à alta mobilidade, o cloreto é rapidamente lixiviado das rochas ou sedimentos mais permeáveis. Constituindo em um dos elementos indicativos da salinidade em águas naturais.

Nas argilas o cloreto pode ser encontrado sob a forma de cristais de NaCl , ou dissolvido nas águas intersticiais.

Na atmosfera o Cl^- faz parte dos sais oceânicos que participam do ciclo hidrológico e dos aerossóis continentais, de maneira que em zonas costeiras as precipitações atingem teores de alguns miligramas de Cl^- por litro.

2.2.6 CARBONO (CO_2 E DERIVADOS)

No ciclo biogeoquímico do carbono, os mais diversos compostos de carbono transformam-se, principalmente por oxidação, em dióxido de carbono.

A movimentação do carbono se faz entre a atmosfera, a hidrosfera, plantas, animais, sedimentos e rochas.

Como parte integrante do ciclo do carbono na natureza, o sistema carbonato das águas naturais incluem o dióxido de carbono gasoso e dissolvido, ácido carbônico, hidrogênio carbonato e carbonato. Os equilíbrios químicos do CO_2 e seus derivados nas águas superficiais são dependentes das condições de temperatura, pressão e salinidade.^[18,46,52]

No processo de interação entre a atmosfera e um reservatório de água superficial, o dióxido de carbono da fase gasosa entra em equilíbrio com o dióxido de carbono na fase aquosa.



Após a dissolução do CO_2 ocorre a reação com a água.



A seguir o ácido carbônico sofre ionização.

BIBLIOTECA
INSTITUTO DE QUÍMICA
Universidade de São Paulo



Os equilíbrios dos sistemas foram definidos por (J. Westall e W. Stumm).^[19]



onde $[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = [\text{CO}_{2(\text{aq})}] + [\text{H}_2\text{CO}_3]$, sendo que a 25° $[\text{CO}_{2(\text{aq})}] \gg [\text{H}_2\text{CO}_3]$

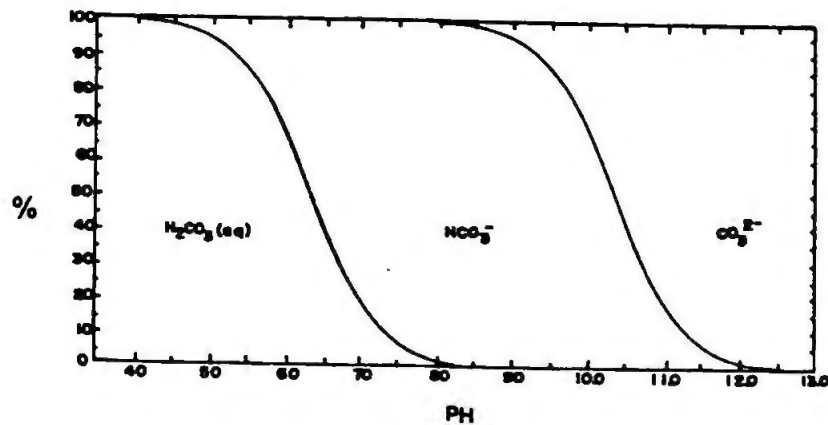
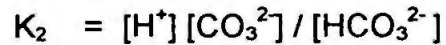


Figura 2.2 Relação entre as diversas espécies de CO_2 e o pH em águas naturais não marinhas.^[13,45]

A maior parte dos íons HCO_3^- e CO_3^{2-} , das águas naturais, encontram-se associados com os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ .

2.3 ADSORÇÃO E TROCA IÔNICA

Muitos minerais e substâncias orgânicas, em contato com a água, são capazes de atrair moléculas de H_2O ou íons em suas superfícies carregadas. Esse processo é chamado adsorção simples (devido às forças de Van der Waals). A adsorção química por outro lado é a formação de uma ligação iônica, onde o íon adsorvido é incorporado na estrutura ou nas faces (no caso das argilas) do mineral adsorvente.

Uma das características mais importantes das partículas de argila que, são partículas coloidais também conhecidas por micelas, é a apresentação da chamada dupla camada iônica formada pela partícula de argila, com carga elétrica negativa, circundada por uma camada difusa de cátions, eletricamente positivos (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} , etc.).

Os cátions adsorvidos estão em constante movimento. Todos as partículas coloidais estão em contínuo movimento (chamado browniano) devido ao seu pequeno diâmetro e ao movimento térmico das moléculas do fluido em que estão suspensas os colóides. Em consequência os cátions frequentemente chegam a se afastar bastante da micela. Com esse afastamento ocorre um aumento do potencial elétrico entre as cargas opostas. Este é conhecido como potencial Zeta(ζ). Por outro lado os cátions que se afastam da micela podem ser atraídos por outra.

Nessas condições a concentração de cátions não cai bruscamente a uma certa distância da superfície mas atinge uma distribuição equilibrada correspondendo à densidade iônica média da solução. Em consequência da atração catiônica e repulsão aniônica, a concentração de ânions na solução extraída da argila é enriquecida em comparação com a solução original adicionada

à mesma. É evidente também que duas micelas sofrem uma repulsão mútua. É essa repulsão que deve ser vencida para que as partículas se possam unir ou agregar.

A substituição dos cátions adsorvidos ocorre predominantemente na ordem: $\text{Li} > \text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Ba} > \text{Al}$ e, portanto, a maior facilidade da adsorção na micela é no sentido oposto.

O potencial zeta é a medida do potencial entre a micela e a nuvem de cátions circundantes. Com a aproximação dos cátions à micela o potencial cai e a partícula de argila tende a ficar neutra. Assim é possível vencer a repulsão entre as micelas e permitir sua agregação em partículas maiores. Por outro lado, qualquer fator que afaste os cátions da micela aumenta o potencial zeta, podendo provocar a defloculação ou dispersão.

Os dois fatores que influenciam o potencial zeta são: efeito da hidratação dos cátions e efeito de adição de eletrólito.

A hidratação dos cátions aumenta o seu raio iônico efetivo, afastando as cargas da micela, e assim aumenta o potencial zeta. A valência dos cátions também influi de tal modo que uma maior valência reduz o potencial. Por exemplo, o cálcio bivalente tem um potencial zeta da ordem de 53 mV ao passo que o sódio monovalente tem um potencial de 63mV, numa solução pura. Quanto ao eletrólito, aumentando a concentração de cátions, aumenta a repulsão entre eles e assim são forçados a se aproximarem da micela, havendo diminuição do potencial. Se houver uma concentração suficiente, o potencial pode cair a menos de 40 milivolts suficiente para provocar a floculação. Por isso é característica a deposição de sedimentos da água de um rio quando esse atinge o oceano^[7,45]

2.4 AMOSTRAGEM

Não há uma técnica padronizada para coleta de águas superficiais. Na tentativa de aumentar a confiabilidade e a representatividade da amostragem, várias técnicas têm sido desenvolvidas por instituições, que vivenciam situações distintas, tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico.

A distribuição heterogênea da qualidade, que ocorre nos corpos d'água superficiais, é determinante na escolha de uma técnica mais adequada de amostragem. São conhecidas variações espaciais das concentrações de substâncias na água nos diferentes pontos de uma seção transversal, bem como ao longo do eixo longitudinal do deslocamento. Estas variações ocorrem, principalmente, quando o sistema é heterogêneo, sendo formado por duas ou mais águas de diferentes composições, que estão no processo de mistura; mas também ocorrem quando o sistema é homogêneo e possui a distribuição heterogênea de determinadas substâncias, devido à presença de materiais não dissolvidos e a reações químicas ou biológicas em diferentes partes do sistema. Ao lado destas variações espaciais, também podem ocorrer variações temporais de forma cíclica ou de contribuições recebidos pelo corpo d'água.

Para definição da técnica mais adequada de coleta, é recomendável realizar uma investigação preliminar, a fim de avaliar o seu grau de heterogeneidade.

De forma mais difundida, a coleta de águas superficiais é feita normalmente através de simples frascos de vidro ou polietileno ou amostradores mais complexos. Em ambos os casos, deve ser evitada a coleta de amostras em áreas estagnadas ou em locais próximas à margem, e o equipamento deve ser de material tal que não afete a composição da água amostrada.

Como procedimentos de coleta Branco e outros^[1], sugere o mergulho, manual e rápido, do frasco de coleta com a boca voltada para baixo, até a profundidade desejada, de modo a evitar a introdução de contaminantes superficiais.

No estudo das espécies majoritárias (Na, K, Ca, Mg, Cl, etc) em águas superficiais, segundo Van Loon^[20], as amostras devem ser preservadas sob uma refrigeração de aproximadamente 4°C, até a efetivação da análise.

2.5 DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS PRINCIPAIS EM ÁGUAS NATURAIS POR ICP-AES

A espectrometria de emissão atômica tem se constituído em uma importante técnica analítica para determinação de metais em águas naturais.

A emissão atômica é um fenômeno na qual os átomos ou íons emitem radiações eletromagnéticas (espectro de emissão) durante as mudanças dos estados excitados, originados da absorção de energia de uma fonte apropriada.

A técnica de Espectrometria de Emissão Atômica, baseia-se na passagem da amostra em solução nebulizada por uma região de alta energia, tendo como fontes de emissão: chama, arco, centelha ou plasma, onde ocorre a excitação dos elétrons dos constituintes da amostra. Quando estes voltam ao estado fundamental, emitem a energia cujos comprimentos de onda são característicos de cada elemento e a intensidade de linha do espectro de emissão é proporcional à concentração do elemento em determinação.

A fonte responsável pela energia, no ICP - AES é o plasma de argônio. O plasma é um gás altamente ionizado, estável, quimicamente inerte e com temperatura próxima de 6000 K.

O plasma é originado pela passagem do fluxo de argônio, através de tres tubos centrados em um campo magnético e, por intermédio de uma bobina Tesla, ocorre a sua formação devido a uma faísca produzida no momento da ignição.

Quando a amostra passa pelo plasma, ocorre a dessolvatação, vaporização, atomização, excitação/ionização e emissão.^[21,22]

A grande vantagem do uso do ICP-AES na análise dos constituintes principais de águas superficiais, é a possibilidade de detectar ao mesmo tempo (Na, K, Mg, Ca, etc) em quantidades maiores e menores, sem mudanças nos parâmetros experimentais. A alta temperatura e a natureza inerte do plasma elimina qualquer interferência química, o que não acontece com as técnicas de absorção atômica. Uma outra vantagem é a facilidade que o sistema oferece para instalar programas de computador automatizando as operações do equipamento.^[25]

Uma desvantagem da técnica é na determinação de elementos em baixas concentrações, quando ocorre a interferência espectral, decorrente da superposição de linhas e/ou de emissão de radiação de fundo, quando os analitos têm que ser determinados na presença de alta concentração de elementos com espectros de emissão ricos em linhas. Outra desvantagem é a interferência física decorrente da matriz quando as propriedades físicas das soluções de trabalho e das soluções das amostras diferem significativamente, alternando as características do aerossol que chega ao plasma, a quantidade do analito na fonte de excitação, leva a erros de intensidade e, conseqüentemente de concentrações.^[24,26]

3.METODOLOGIA

Inicialmente, procurou-se fazer um estudo amplo de duas represas na região de Vitória da Conquista, no Sudoeste do Estado da Bahia, construídas sobre cursos de água da vertente oceânica. A Anajé, construída no final dos anos 80, que não apresenta sinais de salinização, e a Tremedal construída na década de 1960, situada ao sul da anterior, apresentando evidentes sinais de salinização. Na sequência foi estabelecido um calendário para as coletas, juntamente com o número de pontos de coleta, distribuídos nos reservatórios e em seus afluentes.

Para identificar a tendência da salinização em função da demanda das águas represadas, paralelamente foram catalogadas as variações das concentrações de Na, Ca e Mg das águas das represas Angico, Divino, Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria localizadas no Sudoeste do Estado da Bahia e, que juntamente com as duas anteriores, formam dois grupos de represas, sendo um grupo com água de demanda regular e outro grupo de água de demanda irregular.

3.1 REPRESAS EM ESTUDO

3.1.1 REPRESAS ESTUDADAS

As represas estudadas são: a Anajé e a Tremedal localizadas na Região Sudoeste da Bahia, como mostra a figura 3.1.

3.1.2 REPRESAS CATALOGADAS

As represas catalogadas são: Comocoxico, Divino, Morrinhos, Pedras, Angico e Agua Fria, todas também localizadas na Região do Sudoeste da Bahia, como mostra a figura 3.1

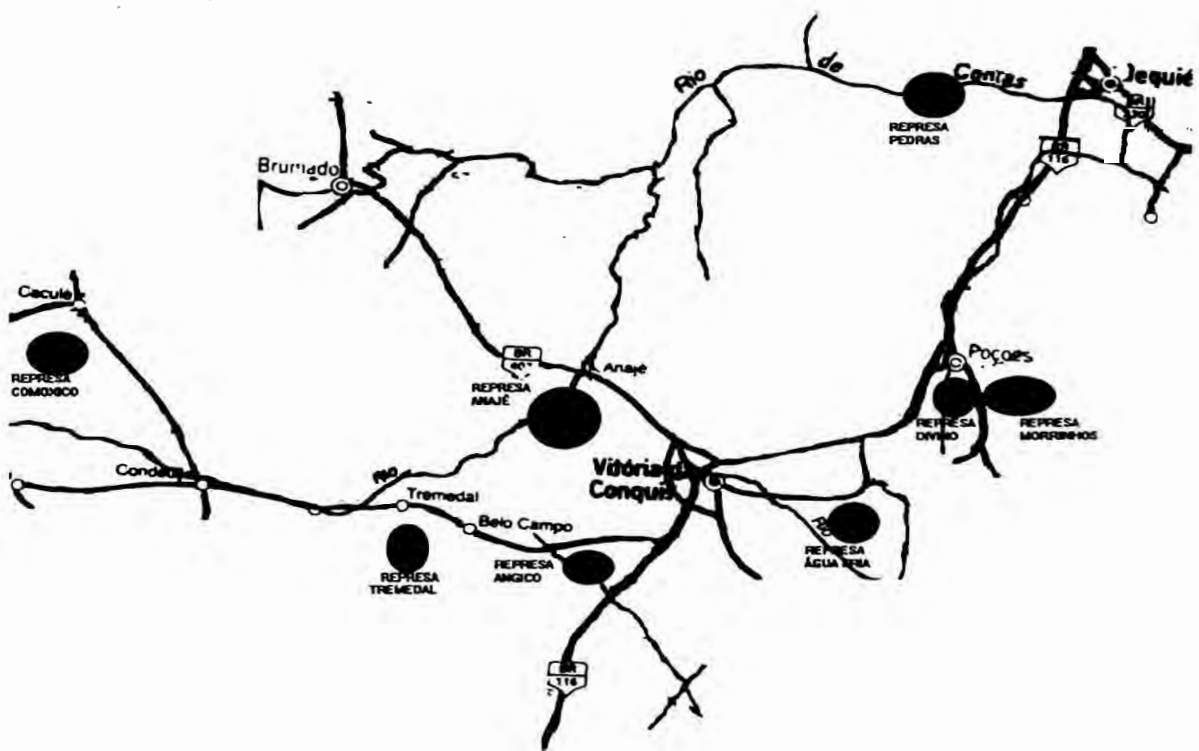


Figura 3.1 Localização das represas em estudo

As represas Anajé, Comocoxico, Divino, Morrinhos, Pedras e Tremedal estão situadas na Bacia do Rio de Contas e as represas Agua Fria e Angico na Bacia do Rio Pardo.

A Bacia do rio de Contas, com área de 55.335Km², a mais importante do Sudoeste da Bahia é quase toda formada por solos cristalinos, onde os recursos de água subterrâneos são escassos. O aumento da disponibilidade hídrica tem sido efetivada pela ativação dos recursos de superfície, sendo que atualmente existem mais de duas dezenas de represas de grande e médio porte, com uma total capacidade de armazenamento disponível de mais de dois bilhões de metros cúbicos de água. Por esta razão a maioria das represas em estudo encontram-se localizadas nesta bacia.

A chuva média anual na bacia do Rio de Contas é de 760 milímetros, apresentando um valor de máximo de 2000 milímetros na desembocadura, decrescendo gradativamente para montante, até a parte central da bacia como mostra a figura 3.2

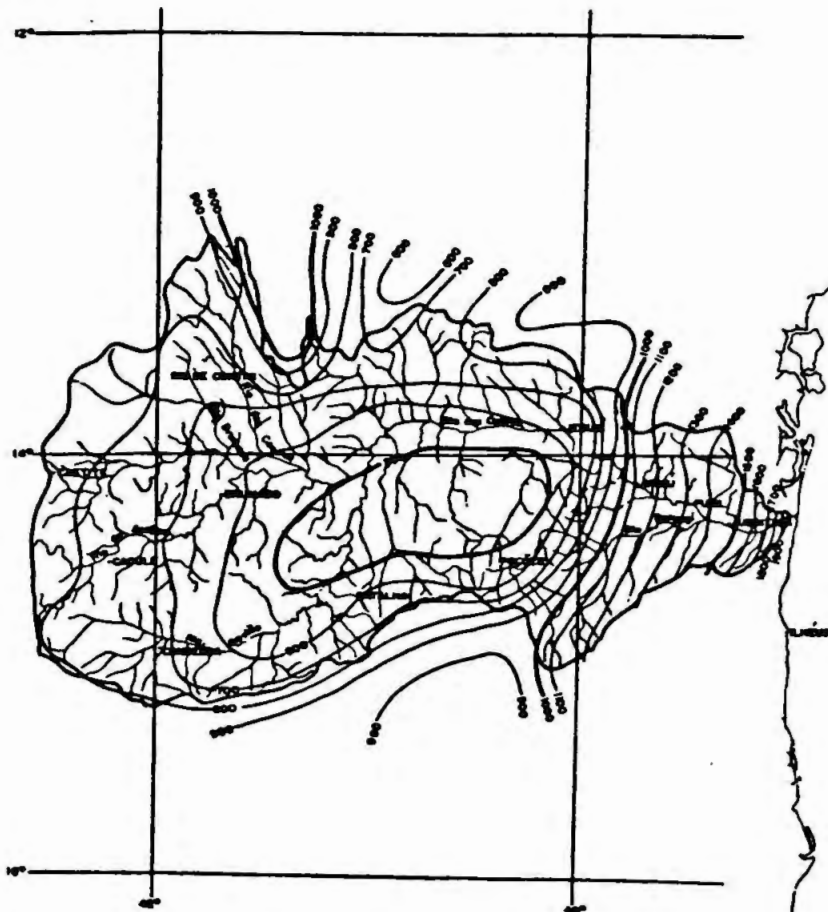


Figura 3.2 Distribuição geográfica das chuvas anuais na Bacia do Rio de Contas^[9]

No centro desta bacia existe uma depressão pluviométrica bem acentuada, chegando a um mínimo de 500mm, a medida que se aproxima dos divisores de água, aumentam as magnitudes dos totais anuais, atingindo um máximo de 1000mm nos limites a noroeste entre o Rio de Contas e o Paraguaçu. A variação da chuva média anual ao longo do fundo do vale do Rio de Contas e de seus afluentes da margem direita, região onde estão localizadas as represas Anajé, Comocoxico, Divino, Morrinhos e Tremedal, as médias de chuva anuais são um pouco menores.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DAS REPRESAS EM ESTUDO

REPRESA TREMEDAL - BACIA DO RIO DE CONTAS - SUB BACIA DO RIO RESSACA

- localização - município de Tremedal
- Ano de conclusão - 1967
- Capacidade do reservatório - 23.751.000m³
- Área drenada - 509,0Km²
- Chuva média anual - 715mm
- Utilização - abastecimento da cidade de Tremedal
- Vazão - 0,002m³/s

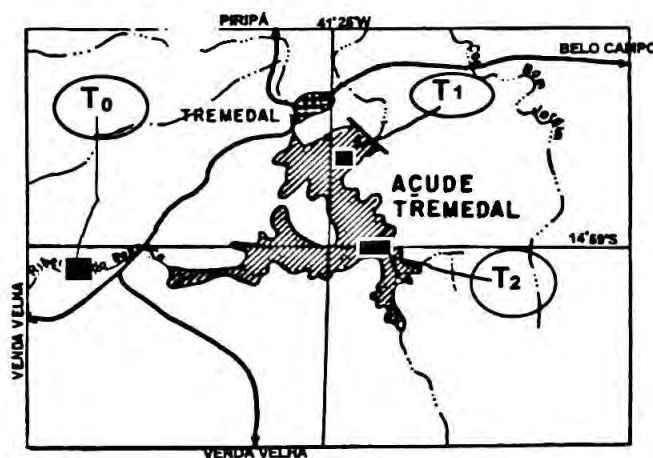


Figura 3.6 representação geográfica da represa Tremedal.^[2,31]

REPRESA ANAJÉ - BACIA DO RIO DE CONTAS

- Localização - municípios Anajé, Caraíbas e Belo Campo
- Ano de conclusão - 1987
- Capacidade do reservatório - 255.630.000m³
- Chuva média anual - 715mm
- Utilização - perenização do Rio Gavião, abastecimento das cidades de Anajé e Caraíbas

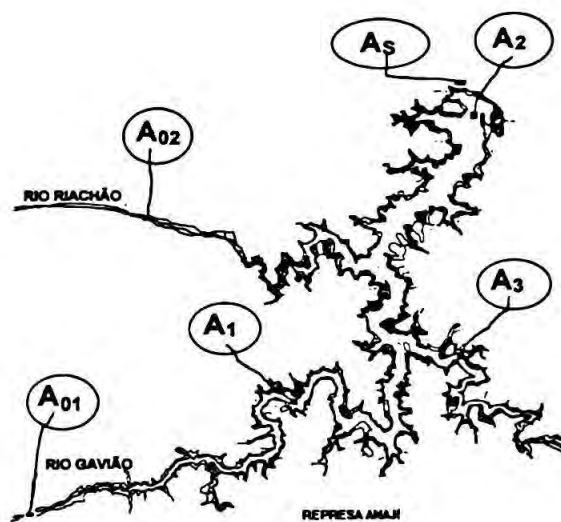


Figura 3.8. representação geográfica da represa Anajé

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DAS REPRESAS CATALOGADAS

REPRESA COMOCOXICO - BACIA DO RIO DE CONTAS

- Localização - município de Caculé
- Ano de conclusão - 1948
- Capacidade do reservatório - 1.500.000m³
- Área drenada - 591,5Km²
- Chuva média anual - 632mm
- Utilização - abastecimento da cidade de Caculé
- Vazão - 0,025m³/s

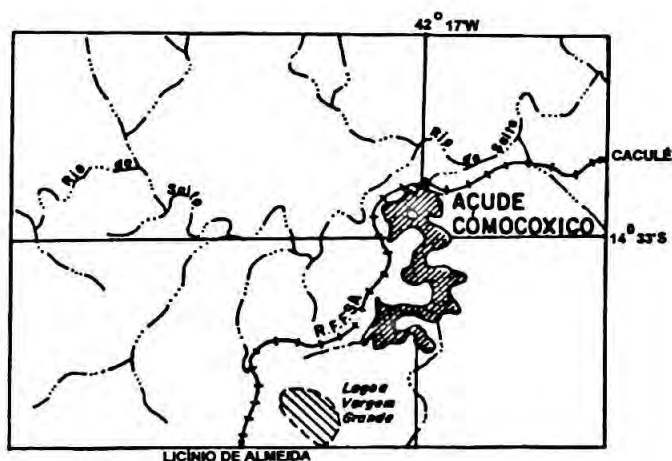


Figura 3.3 Localização Geográfica da represa comocoxico. [2,29]

REPRESA DIVINO - BACIA DO RIO DE CONTAS

- Localização - município de Poções
- Ano de Conclusão - 1957
- Capacidade do reservatório - 2.862.000m³
- Área drenada - 221,6Km²
- Chuva média anual - 501mm
- Utilização - abastecimento rural



Figura 3.4 representação geográfica da represa Divino.^[2,30]

REPRESA MORRINHOS - BACIA DO RIO DE CONTAS

- Localização - município de Poções
- Ano de conclusão - 1957
- Capacidade do reservatório - 3.110.400m³
- Área drenada - 113,8Km²
- Chuva média anual - 672mm
- Utilização - abastecimento da Cidade de Poções
- Vazão - 0,0185m³/s

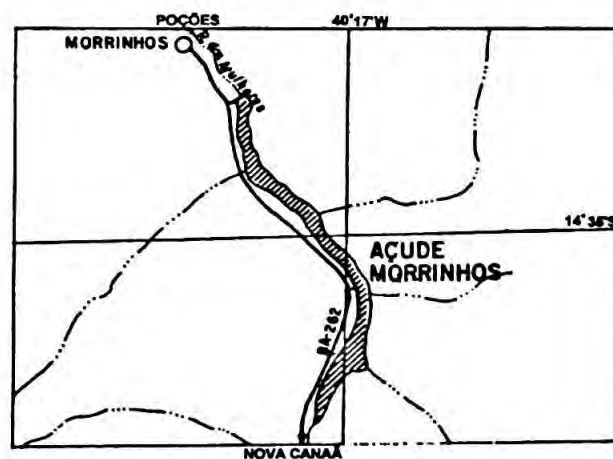


Figura 3.5 representação geográfica da represa Morrinhos. [2,30]

REPRESA PEDRAS - BACIA DO RIO DE CONTAS

- Localização - município Jequié
- Ano de conclusão - 1970
- Capacidade do reservatório - 1.690.000.000m³
- Área drenada - 31.632,3Km²
- Chuva média anual - 608mm
- Utilização - geração de 26000 KW de energia elétrica, irrigação, piscicultura e proteção de cheias
- Vazão - 10m³/s

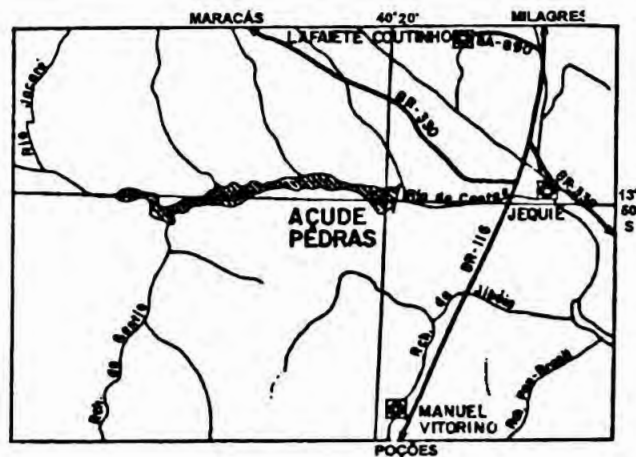


Figura 3.7 representação geográfica da represa Pedras. [2.32]

REPRESA ANGICO - BACIA DO RIO PARDO

- Localização - Município de Vitória da Conquista
- Ano de Conclusão - 1952
- Capacidade do reservatório - 100.000m³
- Área drenada - 17,0Km²
- Chuva média anual - 784mm
- Utilização - abastecimento rural

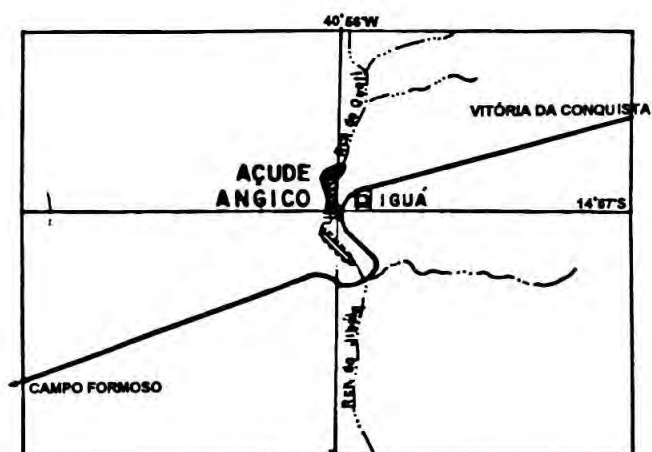


Figura 3.9 representação geográfica da represa Angico. [2,33]

REPRESA ÁGUA FRIA - BACIA DO RIO PARDO

- Localização - município de Barra do Choça
- Ano de conclusão - 1982
- Capacidade do reservatório - 300.000m³
- Área drenada - 21,5Km²
- Chuva média anual - 877mm
- Utilização - abastecimento da cidade de Vitória da Conquista
- Vazão - 0,35m³/s

BIBLIOTECA
INSTITUTO DE QUÍMICA
Universidade de São Paulo

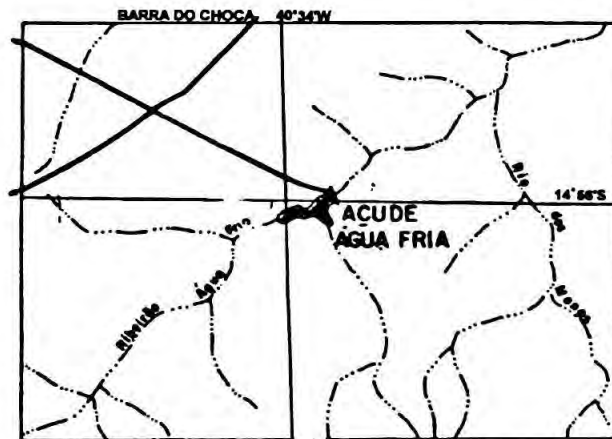


Figura.3.10. representação geográfica da represa Água Fria.^[2,33]

3.2.1 COLETAS

As coletas das amostras de água das represas Tremedal, Anajé e seus afluentes, foram realizadas em datas de acordo com a distribuição anual de chuvas da região, mostrada na figura 3.11, sendo as duas primeiras realizadas no início da estação chuvosa 03/12/95 e 15/01/96, posteriormente em 31/03/96, final do período chuvoso e finalmente em 10/07/96, no apogeu da estação seca.

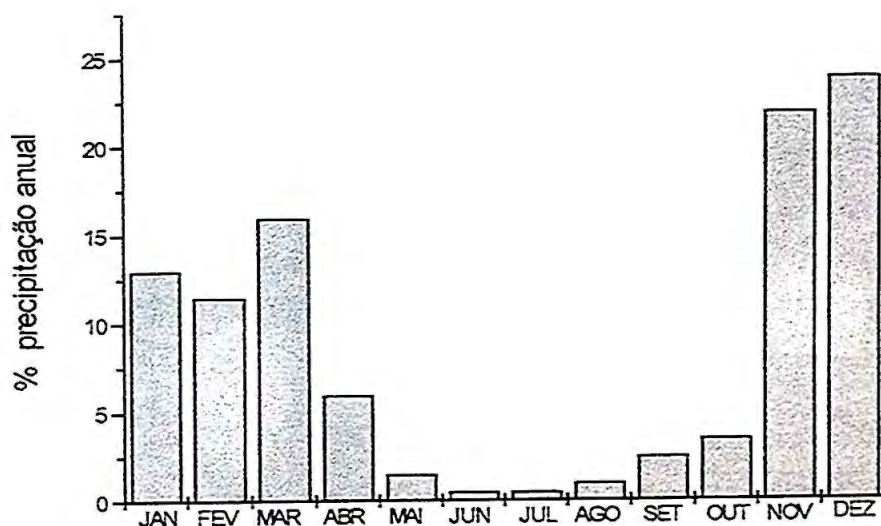


Figura 3.11 Distribuição média mensal de chuva da região em estudo no período de 40 anos^[9]

O regime de chuva influencia significativamente o nível das águas dos reservatórios. As tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 contêm a variação dos volumes de água armazenadas mensalmente nas Represas Anajé e Tremedal.

Tabela 3.1 Monitoramento mensal do volume de água armazenada na Represa Anajé nos anos de 1993 e 1994. Capacidade do reservatório 255.630.000m³.

MESES	1993		1994	
	<i>volume de água represada</i>	<i>% da capacidade</i>	<i>volume de água represada</i>	<i>% da capacidade</i>
JANEIRO	—	—	184.350.000m ³	72,11
FEVEREIRO	---	---	179.530.000m ³	70,23
MARÇO	---	---	216.110.000m ³	84,54
ABRIL	235.980.000m ³	92,71	214.210.000m ³	83,80
MAIO	226.890.000m ³	88,75	208.851.000m ³	80,23
JUNHO	215.130.000m ³	84,15	202.970.000m ³	79,40
JULHO	211.450.000m ³	82,71	198.750.000m ³	77,75
AGOSTO	203.350.000m ³	79,54	195.750.000m ³	76,57
SETEMBRO	196.390.000m ³	76,82	187.960.000m ³	73,53
OUTUBRO	186.070.000m ³	72,78	181.420.000m ³	70,97
NOVEMBRO	—	—	178.560.000m ³	69,85
DEZEMBRO	—	70,39	172.450.000m ³	67,46

Tabela 3.2 Monitoramento mensal do volume de água armazenada na Represa Anajé nos anos de 1995 e 1996

MESES	1995		1996	
	<i>volume de água represada</i>	<i>% da capacidade</i>	<i>volume de água represada</i>	<i>% da capacidade</i>
JANEIRO	—	—	248.510.000m ³	97,21
SETEMBRO	137.280.000m ³	53,80	—	—
OUTUBRO	134.260.000m ³	52,52	—	—
DEZEMBRO	238.700.000m ³	93,37	—	—

Tabela 3.3 Monitoramento mensal do volume de água armazenada na Represa Tremedal nos anos de 1993 e 1994. Capacidade do reservatório 23.751.000m³

MESES	1993		1994	
	<i>volume de água represada</i>	<i>% da capacidade</i>	<i>volume de água represada</i>	<i>% da capacidade</i>
JANEIRO	22.200.000m ³	93,46	—	—
FEVEREIRO	22.170.000m ³	93,34	—	—
MARÇO	21.540.000m ³	90,69	183.100.000m ³	77,09
ABRIL	20.910.000m ³	88,03	—	—
MAIO	20.410.000m ³	85,93	—	—
JUNHO	19.990.000m ³	84,16	—	—
JULHO	19.510.000m ³	82,14	—	—
AGOSTO	19.100.000m ³	80,41	—	—
SETEMBRO	18.700.000m ³	78,73	—	—
OUTUBRO	18.280.000m ³	76,96	—	—
NOVEMBRO	—	—	—	—
DEZEMBRO	—	—	—	—

A coleta foi realizada a uma distância de 2m da margem mergulhando frascos plásticos de água mineral previamente enxaguado com a água do recurso hídrico em estudo, até a profundidade de 50cm, de acordo com recomendações do Instituto Adolfo Lutz São Paulo.^[34] Posteriormente, as amostras foram armazenadas à baixa temperatura, até a efetivação da análise.

3.2.2 PONTOS DE COLETA

Na Represa Tremedal, como indica a figura 3.6, foram avaliados dois pontos no principal corpo d'água (T_1 e T_2) e um ponto de montante no Rio Ressaca (T_0), seu principal formador. Durante o período da realização desse trabalho, a represa ficou com sua descarga fechada devido aos baixos índices de armazenamento de água, de modo que não foi feita a avaliação à jusante. Na Represa Anajé a avaliação à montante foi feita no Rio Gavião (A_{01}) seu principal formador e no Rio Riachão (A_{02}) afluente secundário. Nesta represa foram avaliados três pontos no corpo principal (A_1 , A_2 e A_3) e um ponto do efluente a jusante da mesma (A_s), conforme indica a figura 3.8

3.2.3. METEOROLOGIA DA REGIÃO NO PERÍODO DA COLETA.

SETEMBRO/95

Ao final de setembro normalmente inicia-se o período chuvoso na Região Sudoeste do Estado da Bahia, porém na área onde estão localizados os reservatórios em estudo, as precipitações foram nulas, indicando a continuidade do déficit pluviométrico, iniciado em maio.^[36]

OUTUBRO/95

Registraram-se precipitações altas, com valores de até 127,4mm em Tremedal. Na maior parte da Região do Sudoeste da Bahia, contudo, registraram totais em torno de 40,0mm.^[36]

NOVEMBRO/95

Durante o mês de novembro registraram-se totais em torno de 100mm na maior parte da região, com exceção do setor oeste. Onde estão localizados os principais tributários da represa Anajé, as chuvas ficaram acima de 150mm. Deve-se ressaltar, que as chuvas ocorridas nos meses de outubro e novembro refletiram na recuperação do volume de água dos reservatórios em dezembro como mostra a tabela 3.2.^[36]

DEZEMBRO/95

Dezembro foi o mês mais chuvoso na Região Sudoeste da Bahia. As chuvas tiveram distribuição temporal e espacial regular, melhor que as observadas em novembro. As precipitações totais ficaram acima de 200,0mm na maior parte da região. A maioria dos reservatórios apresentou recuperação de seus volumes em relação a novembro.^[37]

JANEIRO/96

Em todo o Estado da Bahia as precipitações foram escassas, sendo que no Sudoeste do Estado foram quase nulas. A maioria dos reservatórios apresentou uma estabilidade nos seus volumes, em relação ao mês anterior.^[38]

3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

3.3.1 MATERIAIS

- garrafas plásticas de água mineral - 500mL
- balão volumétrico: 25, 50, 100, 200 e 1000mL
- pipeta volumétrica: 5, 10, 20 e 25mL
- béquer: 50, 100 e 250mL

3.3.2 REAGENTES

- solução de HNO_3 1% - Merk p.a
- solução padrão multielementar (I) - Na e K - $500\mu\text{g/mL}$ de cada elemento
- solução padrão multielementar (II) - Ca, Mg, Ti e Mo - $100\mu\text{g/mL}$ de cada elemento

3.3.3. EQUIPAMENTOS

- pHmetro micronal - B 375, calibrado com as soluções tampões: pH = 4,00 e pH = 7,00, medidos a 25°C
- Condutivímetro micronal - B 330
- Espectrômetro de emissão atômica com fonte de plasma de argônio induzido ICP-AES - Spectroflame Sequencial - Spectro.

3.3.4 INSTRUMENTAÇÃO

Para a determinação das concentrações de Na, K, Ca e Mg, foi utilizado um ICP-AES Sequencial Modula - Spectro, equipado com:

→ corretor de radiação de fundo automático e gerador de radio - frequência de 27,12MHZ.

→ Monocromador com rede de difração em montagem Poschen-Runge e faixa efetiva de comprimento de onda de 165nm a 800nm, sendo dois monocromadores: de 160nm a 466nm, para a ótica selada com nitrogênio, e de 235nm a 780nm para a segunda ótica.

→ Computador DELL 386 e impressora EPSON - CX - 400

3.3.5 CONDIÇÕES INSTRUMENTAIS

Potência	Argônio refrigerante	Argônio auxiliar	Argônio nebulizador	Introdução da amostra	Altura de observação
1,2Kw	12 L/min	1,2 L/min	1,0 L/min	1,5 mL/min	12 mm

Elementos	λ (nm)	Faixa de linearidade ($\mu\text{g/mL}$)	Limite de detecção ($\mu\text{g/L}$)
Na	588,999	0,015 - 600	15
K	766,491	0,067 - 600	67
Ca	422,673	0,017 - 120	17
Mg	285,213	0,010 - 120	10

Nas determinações de Na, K, Ca e Mg foram utilizados os padrões multielementares I e II, sendo que as concentrações desses elementos presentes nas amostras possibilitam a leitura direta, sem a necessidade de realizar diluição ou pré - concentração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da dinâmica do processo de salinização nos Reservatórios Hídricos do Sudoeste da Bahia será feita através variação da concentração de Na, K, Ca e Mg dissolvido nas águas dos reservatórios comparada à concentração destas mesmas espécies nas águas dos seus formadores.

Com o objetivo de estudar a evolução temporal do processo de salinização, serão avaliadas também as águas dos Reservatórios Comocoxico, Divino, Morrinhos, Pedras, Angico e Agua Fria, construídos em épocas diferentes.

4.1 AMOSTRAGEM DE 03 DE DEZEMBRO DE 1995

Na represa Tremedal foram avaliados três pontos conforme indica a figura 3.6, sendo dois pontos no principal corpo d' água (T_1 e T_2) e um ponto de montante no Rio Ressaca (T_0), seu principal formador. Essa represa estava com sua descarga fechada na época da coleta de modo que não foi feita avaliação à jusante. Na represa Anajé a avaliação à montante foi feita no Rio Riachão (A_{02}), afluente secundário, visto que o Rio Gavião, seu principal formador estava seco na época da coleta. Nesta represa foram avaliados dois pontos no corpo principal (A_1 e A_2) e um ponto de jusante (A_s) da mesma, como mostra a figura 3.8. Os dados obtidos da concentração média de Na, K, Ca e Mg e as medidas de pH e condutividade elétrica da represa Tremedal constam no quadro 4.1 e da represa Anajé constam no quadro 4.2.

Quadro 4.1 Concentração média \pm estimativa de desvio padrão, em 10^{-4} mol/L, pH e Medida da Condutância em mS da água da represa Tremedal coletada em 03/12/95.

Pontos	T₀		T₁		T₂	
	Afluente		Represa		Represa	
Parâmetros		<i>desvio padrão</i>		<i>desvio padrão</i>		<i>desvio padrão</i>
C.E mS	37,90	—	64,30	—	85,10	—
pH	7,80	—	8,50	—	8,50	—
Na	8,20	0,01	27,90	0,1	28,10	0,2
K	2,80	0,1	3,90	0,1	3,90	0,02
Ca	5,70	0,3	8,20	0,1	8,40	0,7
Mg	6,20	0,2	14,0	0,4	14,00	0,1

Quadro 4.2 Concentração média \pm estimativa de desvio padrão, em 10^{-4} mol/L, pH e Medida da Condutância em mS da água da represa Anajé coletada em 03/12/95

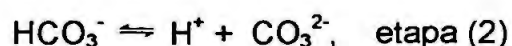
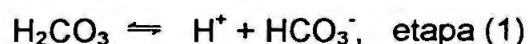
Pontos	A₀		A₁		A₂		A_s	
	Afluente		Represa		Represa		Efluente	
Parâmetros		<i>desvio padrão</i>		<i>desvio padrão</i>		<i>desvio padrão</i>		<i>desvio padrão</i>
C.E mS	36,90	—	31,60	—	42,60	—	37,60	—
pH	8,20	—	8,30	—	8,30	—	7,90	—
Na	8,80	0,17	13,90	0,17	14,60	0,05	13,00	0,20
K	2,00	0,04	1,60	0,02	1,40	0,07	1,50	0,01
Ca	5,80	0,01	5,60	0,04	5,70	0,21	5,20	0,01
Mg	6,20	0,02	6,80	0,12	7,30	0,02	6,40	0,10

Pode - se observar que as águas de montante das duas represas tem condutividades similares (37,9 e 36,9mS) e valores de pH ao redor de 8(7,8 e 8,2), além de teores muito similares de sódio ($8,0$ a $9,0 \times 10^{-4}$ mol/L), potássio ($2,0$ a $3,0 \times 10^{-4}$ mol/L), cálcio e magnésio (cada um ao redor de $6,0 \times 10^{-4}$ mol/L).

No corpo principal de ambas as represas os teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio avaliados em pontos distintos apresentaram - se concordantes, embora apreciavelmente diferentes em um e outro caso. Pode-se assim dizer, que ambos os corpos de água estão homogeneizados, mas em Tremedal a mais antiga, o processo de salinização é indicado pelo fato dos teores de sódio, potássio e magnésio serem cerca do dobro que em Anajé. Deve -se observar que em Anajé, os teores destas espécies praticamente não diferem significativamente dos respectivos teores medidos nas águas dos afluentes de montante, não havendo nítidos indícios do processo de salinização.

Com relação ao cálcio, deve-se observar que o teor desse elemento é apenas cerca de 25% maior em Tremedal do que em Anajé. Em Anajé o cálcio tem comportamento similar ao sódio, potássio e magnésio não mostrando enriquecimento em confronto com os afluentes de montante.

Pode - se esperar talvez que no pH medido de 8,5 em Tremedal ocorra algum fenômeno de retirada dos altos teores de cálcio. Tendo em vista que no processo de interação entre a atmosfera e um reservatório de água superficial, como foi descrito no item 2.2.6. o dióxido de carbono presente na atmosfera entra em equilíbrio com o dióxido de carbono na fase aquosa, e após a dissolução na água ocorrerá a reação $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$, a seguir o ácido carbônico formado dissocia-se em duas etapas.^[43]



Sabendo - se que a pressão parcial do CO₂ atmosférico é de aproximadamente P_{CO₂} = 10^{-3,5} atm. As constantes de equilíbrio dessas reações são.^[39 e 53]

$$KH = [H_2CO_3]/P_{CO_2} = 10^{-1,5}$$

$$K_1 = [H^+][HCO_3^-]/[H_2CO_3] = 10^{-6,3}$$

$$K_2 = [H^+][CO_3^{2-}]/[HCO_3^-] = 10^{-10,3}$$

Segundo [Morel and Henring, 1993]^[40], a concentração do CO₃²⁻ pode ser expressa em função do pH.

$$[CO_3^{2-}] = 10^{-6,3}/[H^+] \times 10^{-10,3}/[H^+] \times 10^{-1,5}P_{CO_2}$$

$$[CO_3^{2-}] = 10^{-21,6}[H^+]^{-2}$$

Na precipitação da calcita (CaCO₃), o íon cálcio livre, também torna-se uma função explícita do pH.

$$[Ca^{+2}][CO_3^{2-}] = K_s = 10^{-8,3}$$

portanto,

$$[Ca^{+2}]_{\text{máximo}} = 10^{+13,3}[H^+]^2$$

Sob uma pressão parcial de CO_2 na ordem de $10^{-3.5}$ atm, Morel e Hering^[40], demonstraram através do diagrama $\log C \times \text{pH}$, representado na figura 4.1, que para qualquer valor de pH há uma concentração máxima do íon Ca^{+2} correspondente que pode ser adicionada a uma solução de CaCO_3 sem que atinja a saturação da calcita.

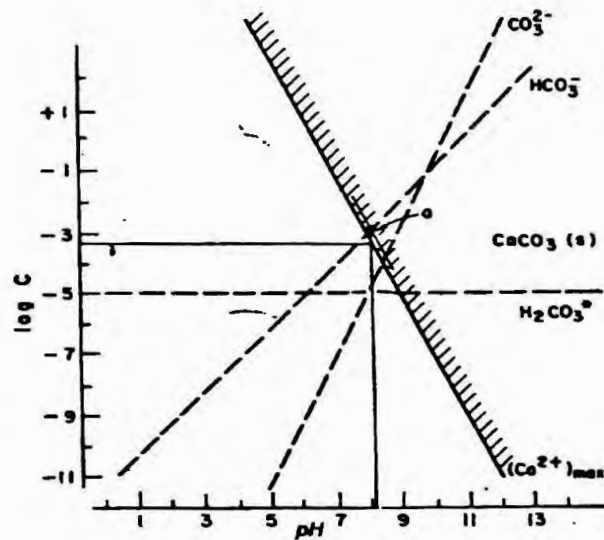


Figura 4.1 diagrama $\log C \times \text{pH}$ para os íons Ca^{+2} e CO_3^{-2} em equilíbrio com $P_{\text{CO}_2} = 10^{-3.5}$ atm e CaCO_3 .

O gráfico representa um sistema cuja concentração do cálcio e pH produz um ponto na área achurada que é supersaturada com relação a calcita (CaCO_3); no equilíbrio a concentração do cálcio livre e o pH deve representar um ponto na linha de saturação do diagrama. A solução é dada pelo ponto que satisfaz a condição $[\text{HCO}_3] = 2[\text{Ca}^{+2}]$. A composição do sistema é então obtida da interseção da linha vertical correspondente com o gráfico para cada espécie que participa do equilíbrio.

Como o ponto da linha de saturação do gráfico que representa Ca^{+2} livre é dado pela expressão $2[\text{Ca}^{+2}] = [\text{HCO}_3^-]$, temos.

$$2 \times 10^{+13,3} [\text{H}^+]^2 = 10^{-6,3} / [\text{H}^+] \times 10^{-1,5} \times 10^{-3,5}$$

$$\text{pH} = 8,3$$

$$[\text{Ca}^{+2}] = 10^{-3,3} = 5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

Significa que para o pH a partir de 8,3 a concentração máxima de cálcio livre para que não atinja a saturação é $5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, sendo que a partir desta concentração o cálcio se encontra precipitado na forma de calcita.

Na represa Tremedal, com concentrações de Ca^{+2} na ordem de 8×10^{-4} e pH em torno de 8,5. A retirada dos altos teores de cálcio livre da água, pode encontrar explicação adotando-se um modelo explicativo como o que foi acima fundamentado.

4.2. AMOSTRAGEM DE 15 DE JANEIRO DE 1996

Na represa Tremedal como na amostragem anterior, foram avaliados tres pontos, sendo dois pontos no principal corpo d'água (T_1 e T_2) e um ponto de montante no Rio Ressaca (T_0), seu principal formador. Essa represa continuava com a descarga fechada de modo que não foi feita avaliação à jusante. Na represa Anajé a avaliação à montante foi feita no Rio Gavião (A_{01}), seu principal formador. No reservatório foram avaliados três pontos (A_1 , A_2 e A_3) e um ponto a jusante (A_4). Os resultados analíticos da represa Tremedal estão representados no quadro 4.3 e da represa Anajé no quadro 4.4.

Quadro 4.3. Concentração média \pm estimativa de desvio padrão, em 10^{-4} mol/L, pH e Medida da Condutância em mS da água da represa Tremedal coletada em 15/01/96.

Pontos	T_0		T_1		T_2	
	Afluente		Represa		Represa	
Parâmetros		desvio padrão		desvio padrão		desvio padrão
C.EmS	138,80	—	63,10	—	70,70	—
pH	8,60	—	9,00	—	8,80	—
Na	54,34	0,4	30,91	0,2	28,69	0,3
K	3,85	0,1	4,06	0,4	3,78	0,5
Ca	11,64	0,3	3,87	0,7	4,64	0,1
Mg	25,34	0,4	11,41	1,1	12,00	0,4

Quadro 4.4 Concentração média \pm estimativa de desvio padrão, em 10^{-4} mol/L, pH e Medida da Condutância em mS da água da represa Anajé coletada em 15/01/96.

Ponto	A₀		A₁		A₂		A₃		A₅	
	Afluente		Represa		Represa		Represa		Efluente	
Parâmetros		Desvio Padrão		Desvio Padrão		Desvio Padrão		Desvio Padrão		Desvio Padrão
C.E.mS	41,80	—	39,80	—	38,90	—	49,70	—	33,30	—
pH	8,60	—	9,00	—	8,80	—	8,80	—	8,80	—
Na	14,85	0,2	14,79	0,1	13,86	0,1	18,58	0,2	11,50	0,2
K	1,85	0,04	1,84	0,02	1,56	0,01	1,93	0,01	1,22	0,01
Ca	4,67	0,01	3,93	0,1	4,46	0,1	4,94	0,1	3,64	0,3
Mg	7,48	0,1	6,41	0,1	5,95	0,1	7,64	0,04	4,27	0,1

Observamos que nas águas de montante das duas represas houve um aumento significativo da Condutividade Elétrica, comparada com a água coletada anteriormente, passando de 37,90 para 138,8mS em Tremedal e de 36,90 para 41,80mS em Anajé. Os teores de sódio também aumentaram, passando de $8,20 \times 10^{-4}$ para $54,34 \times 10^{-4}$ mol/L em Tremedal e de $8,8 \times 10^{-4}$ para $14,85 \times 10^{-4}$ mol/L em Anajé. Os demais parâmetros mantiveram-se com os teores similares aos da amostragem anterior, exceto o Ca e Mg em Tremedal que passou de 5,50 para $11,64 \times 10^{-4}$ mol/L e de 6,20 para $25,34 \times 10^{-5}$ mol/L respectivamente.

O aumento da concentração das espécies químicas no afluente, pode ser atribuído ao fato de haver ocorrido sangria nos pequenos reservatórios salinizados existentes em toda a área drenada, provocada pelo acúmulo dos altos índices pluviométricos ocorridos nos meses de outubro, novembro e dezembro, que juntos totalizam índices de mais de 400mm de chuva.

No corpo principal de ambas as represas as medidas da Condutividade Elétrica e os teores de Na e K não diferenciaram significativamente dos respectivos teores medidos nas águas dos reservatórios coletados em 03/12/95. Deve -se observar que o aumento da concentração dos íons nas águas a montante coletadas em 15/01/96, não conferiu em aumento significativo da concentração das espécies químicas nas águas dos reservatórios. Desta forma, pode-se assim dizer que o aumento da concentração nas águas de montante em ambas as represas, são fenômenos que ocorrem eventualmente.

Com relação ao cálcio e magnésio, observamos uma pequena diminuição de suas concentrações na represa Anajé, e uma elevada redução na concentração de ambas as espécies na represa Tremedal, sendo que o magnésio apresentou reduções em torno de 20% e o cálcio reduções de até 52%.

Pode- se esperar que no pH medido de em torno de 9,0 nas duas represas o processo de retirada dessas espécies tenha sido intensificado, considerando o estudo de equilíbrio ilustrado na figura 4.1..

A maior redução na represa Tremedal se deve provavelmente ao fato de seu reservatório apresentar taxas de concentrações próximas da saturação.

4.3. AMOSTRAGEM DE 31 DE MARÇO DE 1996

Na represa Tremedal foram avaliados dois pontos no principal corpo d'água (T_1 e T_2). Não foi feita avaliação a montante, visto que o Rio Ressaca estar seco na época da coleta. Essa represa continuava com a descarga fechada de modo que não foi feita avaliação à jusante. Na represa Anajé a avaliação a montante foi feita no Rio Gavião (A_{01}), seu principal formador. No reservatório foram avaliados dois pontos (A_1 e A_2) e um ponto a jusante (A_3). Os resultados analíticos da represa Tremedal estão representados no quadro 4.5 e da represa Anajé no quadro 4.6.

Quadro 4.5. Concentração média \pm estimativa de desvio padrão, em 10^{-4} mol/L, pH e Medida da Condutância em mS da água da represa Tremedal coletada em 31/03/96.

Pontos	T_1		T_2	
	Represa		Represa	
Parâmetros		desvio padrão		desvio padrão
C.E mS	54,35	—	55,12	—
pH	6,90	—	7,10	—
Na	20,01	0,3	23,31	0,5
K	2,91	0,01	3,74	0,3
Ca	6,48	1,1	8,26	0,1
Mg	9,10	0,3	12,82	0,8

Quadro 4.6 Concentração média \pm estimativa de desvio padrão, em 10^{-4} mol/L, pH e Medida da Condutância em mS da água da represa Anajé coletada em 31/03/96

Pontos	A₀		A₁		A₂		A_s	
	Afluente		Represa		Represa		Efluente	
Parâmetros		<i>desvio padrão</i>		<i>desvio padrão</i>		<i>desvio padrão</i>		<i>desvio padrão</i>
C.E mS	45,40	—	32,20	—	34,35	—	34,12	—
pH	7,35	—	7,40	—	7,30	—	7,40	—
Na	16,66	0,3	15,84	0,4	14,52	0,7	13,02	0,1
K	2,87	0,2	2,19	0,2	2,08	0,1	1,68	0,01
Ca	5,08	0,7	5,98	0,5	5,41	0,1	5,17	0,1
Mg	6,69	0,2	8,51	0,2	8,90	0,03	8,51	0,03

A elevada concentração da água de montante na represa Anajé se deve ao fato de ter sido coletada em um poço formado no leito do Rio Gavião e devido ao longo período de estiagem verificada no período anterior a data da coleta como indica o quadro 4.7, este corpo d'água apresentava-se quase seco.

No corpo principal de ambas as represas a Condutividade Elétrica e os teores de Na e K não diferenciaram significativamente dos respectivos teores medidos nas águas coletadas anteriormente, nas datas 03/12/95 e 15/01/96.

Quadro 4.7 Índice pluviométrico da região medido em milímetros no período entre a segunda e a terceira coleta

<i>Dia</i>	<i>Janeiro</i>	<i>Fevereiro</i>	<i>Março</i>
01	---	52	---
02	---	---	---
03	---	17	---
04	---	10	---
5 a 12	---	---	---
13	7,5	---	---
14	---	---	---
15	3	26	---
16 a 21	---	---	---
22	---	22	---
23 e 24	---	---	---
25	---	---	14
26 a 31	---	---	---

Para o cálcio e magnésio observamos um comportamento contrário ao que ocorreu na amostra coletada em 15/01/96, foi verificado um pequeno aumento na concentração dessas espécies na represa Anajé, e na represa Tremedal observou-se um estabilidade na concentração do magnésio e um aumento de aproximadamente 60% na concentração do cálcio comparado com a concentração da amostra anterior.

Pode-se esperar que no pH medido em torno de 7,0 nas águas das duas represas esteja ocorrendo o processo de solubilização dos carbonatos de cálcio e eventualmente magnésio, que precipitaram anteriormente quando se observou medidas de pH em torno de 9,0.

4.4 AMOSTRAGEM DE 10 DE JULHO DE 1996

Na represa Tremedal foram avaliados dois pontos no principal corpo d'água (T_1 e T_2), não foi feita avaliação à montante, visto que o Rio Ressaca estar seco na época da coleta. Essa represa continuava com a descarga fechada de modo que não foi feita avaliação à jusante. Na represa Anajé, também não foi feita avaliação à montante, da mesma forma que na represa Tremedal. Seus rios formadores encontravam-se secos na época da coleta. No reservatório foram avaliados dois pontos (A_1 e A_2) e um ponto efluente a jusante (A_3), os resultados analíticos da represa Tremedal estão representados no quadro 4.8 e da represa Anajé no quadro 4.9.

Quadro 4.8. Concentração média \pm estimativa de desvio padrão, em 10^{-4} mol/L, pH e Medida da Condutância em mS da água da represa Tremedal coletada em 10/07/96.

Pontos	T_1		T_2	
	Represa		Represa	
Parâmetro		desvio padrão		desvio padrão
C.E. mS	49,25	—	48,75	—
pH	8,25	—	8,25	—
Na	18,02	0,03	17,40	0,1
K	2,37	0,02	2,09	0,1
Ca	6,13	0,1	5,84	0,03
Mg	7,12	0,01	5,82	0,3

Quadro 4.9. Concentração média \pm estimativa de desvio padrão, em 10^{-4} mol/L, pH e Medida da Condutância em mS da água da represa Anajé coletada em 10/07/96.

Pontos	A₁		A₂		A_s	
	Represa		Represa		Efluente	
Parâmetros		desvio padrão		desvio padrão		desvio padrão
C.E.mS	28,80	—	29,10	—	30,05	—
pH	8,25	—	8,15	—	7,70	—
Na	10,07	0,01	9,17	0,01	14,33	0,2
K	1,29	0,04	1,11	0,01	1,71	0,01
Ca	4,44	0,1	4,61	0,1	5,54	0,03
Mg	4,32	0,02	3,88	0,03	5,55	0,2

As variações das concentrações de Na, K, Ca e Mg obtidas a partir da comparação dos resultados analíticos das amostras de águas coletadas nas quatro amostragens, 03/12/95, 15/01/96, 31/03/96 e 10/07/96 nas represas Tremedal e Anajé, mostradas nos gráficos 4.1 e 4.2., permitem deduzir que as variações das concentrações do sódio e potássio no período da realização deste trabalho foram determinados pelo fator diluição.

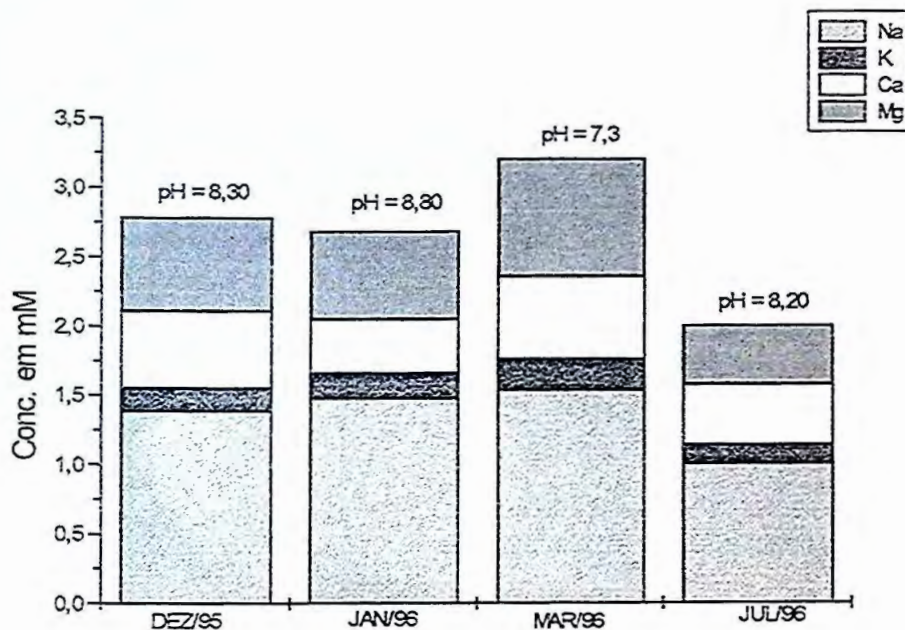


Gráfico 4.1 Concentrações de sódio, potássio, cálcio e magnésio em função do pH das águas coletadas em 03/12/95, 15/01/96, 31/03/96 e 10/07/96 na represa Tremedal.

A diluição das espécies químicas, indicada pela diminuição da concentração de sódio foi verificado a partir da amostragem de 31/03/96 na represa Tremedal conforme mostra o gráfico 4.1. Na represa Anajé com mostra o gráfico 4.2, o mesmo fenômeno aconteceu somente a partir de coleta de 10/07/96. Isso se deve ao fato da represa Tremedal ter atravessado todo o período chuvoso com sua descarga fechada e a represa Anajé como tem por finalidade perenizar o rio Gavião, sua descarga permaneceu constante durante todo o período chuvoso, vindo a diminuir somente no início da estação seca.

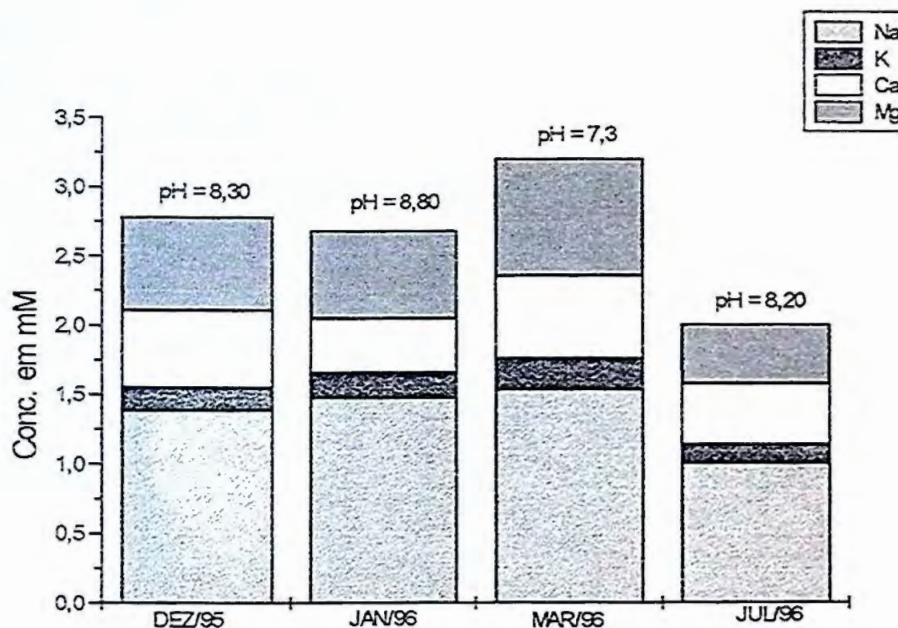


Gráfico 4.2 Concentração de sódio, potássio, cálcio e magnésio em função do pH nas águas coletadas em 03/12/95, 15/01/96, 31/03/96 e 10/07/96 na represa Anajé

Com relação às espécies cálcio e magnésio constatamos que a variação de suas concentrações nas duas represas foram governadas pela variação do pH medidos nas amostras das águas. As variações mais significativas do cálcio ocorreram na represa Tremedal, onde suas concentrações encontram-se dentro dos limites de saturação da calcita (CaCO_3).

A partir de uma análise global, fica evidente que as sucessões de estações chuvosas e secas correspondem para as águas dos reservatórios a alternância de diluição e concentração das espécies químicas. Porém é importante ressaltar que as chuvas que caem diretamente na superfície dos reservatórios, representam uma simples diluição, mas as águas que são drenadas das chuvas que ocorrem na bacia hidrográfica, antes de chegar nos reservatórios, caminham sobre a

superfície, lixiviando o terreno (solos e sedimentos), interagindo a cada instante com o material com que entra em contato. Essas interações dependem principalmente do tempo de contato e das características da solução e do material, cada um variando no espaço e no tempo. Os primeiros escoamentos da época chuvosa, são geralmente mais concentrados por dissolver as espécies químicas acumuladas nos solos durante a época seca, porém a carga solúvel de um afluente varia ao longo do conjunto: início do escoamento - enchente / depleção, esses episódios variam para cada chuva ao longo da estação chuvosa.^[41,42]

4.5 CATALOGAÇÃO CRÍTICA DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO NOS DEMAIS RESERVATÓRIOS

Para verificar a tendência da salinização em função da demanda das águas represadas, foram avaliadas as dinâmicas das concentrações do Na, Ca e Mg em dois grupos de de represas construídas a partir da década de 1940. Os reservatórios Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria apresentam uma demanda regular em sua água represada, e os reservatórios Angico, Divino, Tremedal e Anajé apresentam uma demanda irregular. Os resultados analíticos (conforme relatório do Centro de Estatística e Informações do Governo da Bahia)^[2] estão representados nos quadros 4.10 e 4.11.

Quadro 4.10 Concentração de sódio, cálcio e magnésio em mM e Medida da Condutância em mS da água das represas Angico, Divino, Tremedal e Anajé

<i>Represa</i>	<i>Angico</i>	<i>Divino</i>	<i>Tremedal</i>	<i>Anajé</i>
<i>Ano de conclusão</i>	1952	1957	1967	1986
<i>C.E. mS</i>	140	120	80	37
<i>Na</i>	6,78	6,08	2,43	1,39
<i>Ca</i>	1,20	1,40	0,8	0,55
<i>Mg</i>	2,20	1,19	1,28	0,70

Quadro 4.11 Concentração de sódio, cálcio e magnésio em mM e Medida da Condutância em mS das águas das represas Comocoxico, Morrinhos, pedras e Água Fria.

Represa	Comocoxico	Morrinhos	Pedras	Água Fria
Ano de conclusão	1948	1957	1970	1982
C.E. mS	18	24	38	10
Na	0,48	0,91	1,26	0,17
Ca	0,30	0,15	0,45	0,08
Mg	0,29	0,25	0,49	0,04

Avaliando os dados apresentados nos quadros 4.10 e 4.11, observamos que nas represas construídas sem um planejamento adequado, onde a demanda da água tornou-se insignificante em relação ao estoque, o processo de salinização está sendo favorecido como mostra o gráfico 4.3 onde, se verifica na curva que representa as represas de demanda irregular uma tendência do aumento da concentração do sódio nas águas dos reservatórios, proporcional ao tempo de represamento da água. Entretanto, no grupo de represas de demanda normal não se verifica relações entre a variação da concentração das espécies químicas com a idade das mesmas.

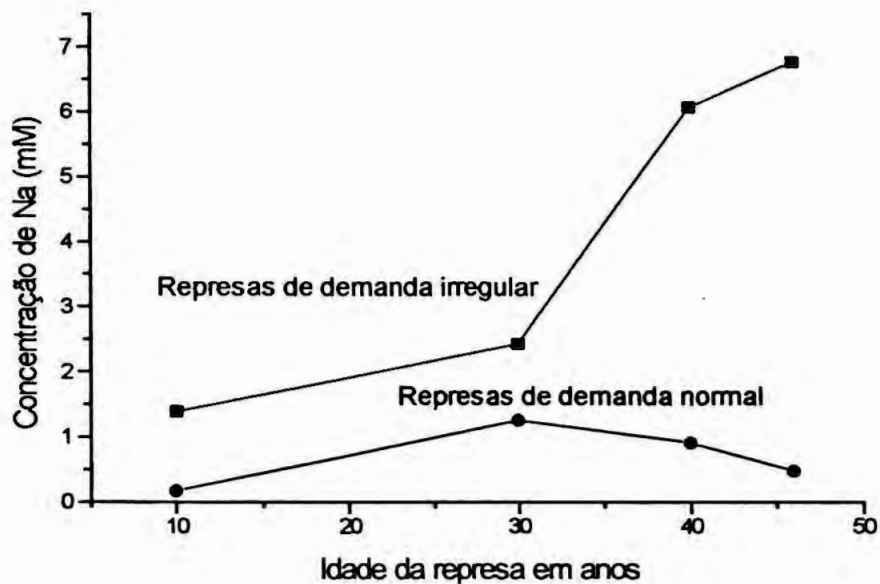


Gráfico 4.3 Variação da concentração de sódio em dois grupos de represas, construídas em diferentes épocas, sendo um grupo de demanda normal e outro grupo de demanda irregular da água represada.

O avanço do processo de salinização em represas de demanda irregular, fica evidente se compararmos os dados dos reservatórios Divino e Morrinhos, que foram construídos no mesmo ano 1957, suas localizações são próximas, conforme mostra a figura 3.1, entretanto, as águas de seus reservatórios possuem características bem diferentes. A água da represa Morrinhos por ser utilizada para abastecimento da cidade de Poções, possui uma demanda normal de seu reservatório, esta água apresenta condutividade elétrica em torno de 24,00mS e teores de Na, Ca e Mg 0,90mM, 0,15mM e 0,25mM respectivamente no entanto a represa Divino por possuir uma demanda irregular as suas águas apresentam condutividade elétrica de 120,00mS e teores de Na, Ca e Mg 6,08mM, 1,40mM e 1,19mM respectivamente. Observamos um incremento de aproximadamente seis

vezes nas medidas da condutividade elétrica e nos teores de sódio em Divino quando comparado com Morrinhos, indicando assim um drástico avanço do processo de salinização na represa Divino.

Para o cálcio e magnésio, como mostra o gráfico 4.4, observou-se uma tendência diferente do sódio nas variações de suas concentrações em relação à idade dos reservatórios.

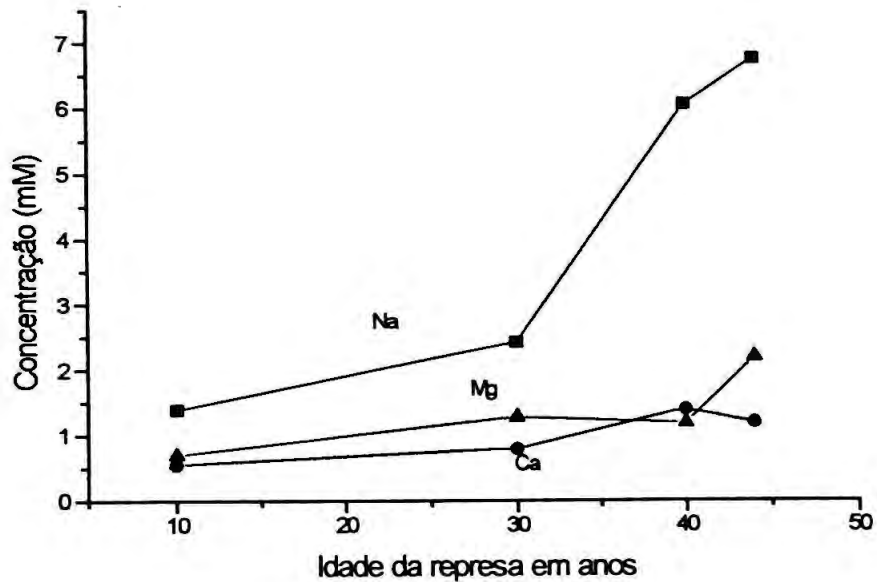


Gráfico 4.4 Variação da concentração de sódio, cálcio e magnésio em represas de demanda irregular construídas em épocas diferentes.

Os teores de cálcio e magnésio não evoluíram na mesma proporção do sódio com relação ao tempo de represamento das águas, provavelmente, devido ao mesmo fenômeno de retirada de altos teores destas espécies químicas observado na represa Tremedal. Ficando assim patente que o cálcio e o magnésio não se constituem em parâmetros ideais para a medida de salinidade em reservatórios hídricos artificiais.

O quadro 4.12 apresenta o tempo de retenção hidráulico, parâmetro importante na informação do período de residência de espécies tais como o sódio em reservatórios hídricos de demanda regular.

Quadro 4.12 Tempo de retenção hidráulica em anos das represas Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria (Demanda Regular)

Represa	Ano de Conclusão	Capacidade	vazão	Tempo de Retenção
Comocoxico	1948	1.500.000m ³	0,025m ³ /s	1,9 anos
Morrinhos	1957	3.110.400m ³	0,0185m ³ /s	5,14 anos
Pedras	1970	1.690.000.000m ³	10m ³ /s	5,36anos
Água Fria	1980	3.000.000m ³	0,35m ³ /s	0,05anos

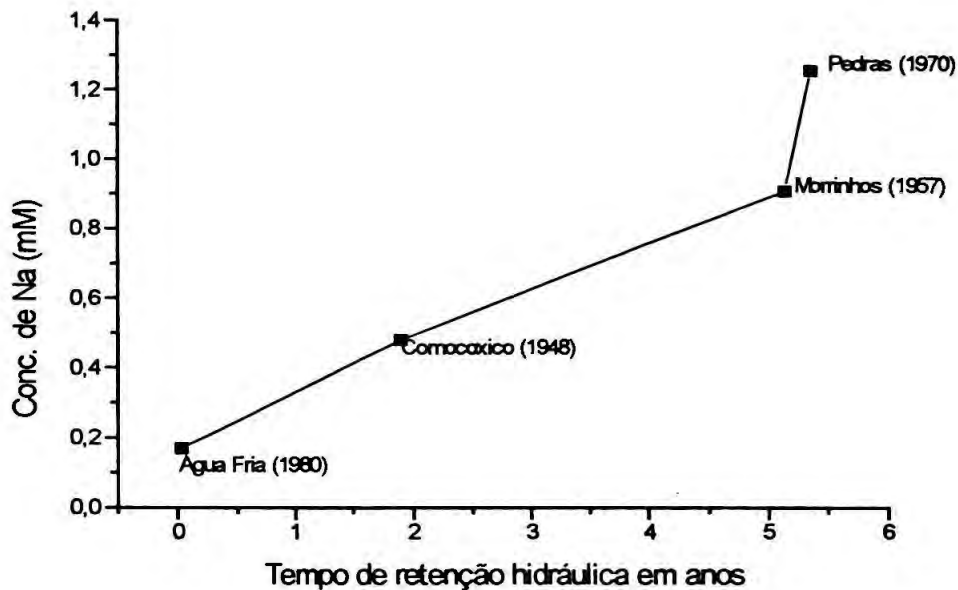


Gráfico 4.5 Variação da concentração do sódio em relação ao tempo de retenção das represas de demanda regulares.

O gráfico 4.5 mostra que nas represas de demanda regulares, o parâmetro que governa o processo de salinização, indicada neste exemplo, pelo aumento da concentração do sódio nas águas é a relação capacidade do reservatório/ vazão, pois quanto maior o valor desta relação maior será o tempo de retenção da solução no reservatório, favorecendo assim o processo de evapocentração das espécies químicas presentes.

A salinização das águas de alguns reservatórios, tem se constituído em elementos de desperdícios e deterioração dos recursos hídricos.

5.CONCLUSÕES

- As represas que são construídas somente para estocar água sem dar-lhe um uso adequado estão se constituindo em objetos de deterioração dos recursos hídricos, devido a evapoconcentração das espécies químicas dissolvidas
- Nas represas de demanda irregular a salinização, indicada pelo aumento de concentração de sódio, cresce de acordo com a idade dos reservatórios
- As relações entre sazonalidade, pH e concentração das espécies químicas, de forma geral, demonstra a influencia do valor do pH nas concentrações de Ca e Mg, nas águas dos reservatórios, principalmente quando as concentrações estão próximas dos limites de saturação
- A concentração do sódio nas águas sofre influencia, somente do fator diluição, sendo por isso adequada como um ótimo indicador do processo de salinização nos reservatórios hídricos superficiais.
- O parâmetro que governa a variação da concentração das espécies químicas dissolvidas nas águas das represas que possuem uma demanda normal de sua água, é a relação volume de água armazenada/ vazão de retirada, indicando desta forma uma possibilidade de recuperar as represas salinizadas, através do controle da vazão defluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRANCO, S. M., PORTO, R. L. L., CLEARY, R. W., COIMBRA, R. M., EIGER, S., LUCA, S. J., NOGUEIRA, V. P. Q., e PORTO, M. F. A., **Hidrologia Ambiental** São Paulo, Edusp, 1991. p165 - 208
2. **Centro de Estatística e Informações (Bahia)**. Açudes Públicos da Bahia; Disponibilidade hídrica em Resevatórios de Grande e Médio Porte, Salvador, CEI, 1984
3. AUDRY, P. e SUASSUNA, J. **A Salinidade das Águas Disponíveis para a Pequena Irrigação no Sertão Nordestina**, Recife, CNPQ, 1995.
4. SKAGERBAL, G.V., WALKER, W.R, BENNETT, R.S., AYARS, J.E. and TAYLOR, J. H. **Evaluations of Drainage for Salinity Control in Grand Valley** EPA document 660 2 - 74 - 084, agosto de 1974
5. **National Academy of Sciences - More Water for Arid Lands** - Wanshigton DC - 197
6. PHYLLIS, E. B. and JAMES, E. G. **Chemistry, an Environmental Perspective**. New Jersey, Prentice - Hall, 1994. 356p - 377.
7. CRUCIANI, D. E. **A Drenagem na Agricultura**, São Paulo, Livraria Nóbél S/A, 1980. 333p.
8. RAISWELL, R. W., BRIMBLECAMBE, P., DENT, D. L. and LISS, P.S. **Environmental Chemistry**, Barcelona, Ediciones Omega, 1983. 208p.
9. MAKSOUD, H. **Hidrologia e Possibilidades Hidroenergéticas da Bacia do Rio de contas, na Bahia**, Rio de Janeiro, IBGE, 1964. 195p.
10. REICHARDT. K. **A Água em Sistemas Agrícolas**, São Paulo, Editora Manole Ltda, 1990. 71p - 78.
11. KOVDA, V.A. - Origin and Regime of Saline Soils, **Academy of Sciences, Moscow-Leningrad**, 1947. Chapter 2
12. BABBITT, H. E., DONALD, J. J and CLEABY, J. L. **-Water Supply Engineering**, New York, 1962. 73p - 115.
13. FENZZ. N. - **Introdução À Hidrogeoquímica**, Belem, 1986. 189p.

14. ROBBINS, C. W. and MEYER. W.S. Calculating pH from EC [Electrical Conductivity] and SAR [Sodium Adsorption Ratio] Values in Salinity Models and SAR from Soil and bore Water pH and EC Data. , *J.Sail-Res*, 1990. 28(6) : 1001-1011.
15. SUASSUNA, J. A Pequena Irrigação no Nordeste: Algumas Preocupações - *Ciência Hoje.*, outubro de 1994 Vol 18 N° 104 38p - 43.
16. MANAHAN, S. E., *Environmental Chemistry*, 1991, Fifth Edition, 33p - 37.
17. BOILEY, R. A. , CLARK, H. M. , FERRIS, J. P., KRAUSE S. and STRANG, R. L., *Chemistry of the Environment* New York, 1978 383p - 384.
18. NISHIHARA. L **Determinação de Alcalinidade Total em Água do Mar**, São Paulo, Universidade de São Paulo, 1981. Tese de Mestrado.
19. WESTALL. J and STUMM. W. **The Natural Environment and the Biogeochemical Cycles. The Hydrosphere** New York, 1984. p19-48.
20. VAN LOON, J.C. **Chemical Analysis of Inorganic Constituents of Water**, Boca Raton, CRC, 1985. 247p.
21. MOORE, G. L. Introduction to Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, *Analytical Spectroscopy Library* New York, Elsevier, 1989. vol 3, 340p.
22. GENNARI, R. F. **Determinação de Metais em Material Particulado Pela Técnica de Espectrometria de Emissão Atômica de Plasma de Argônio Induzido**, São Paulo, Instituto de Química USP, 1991. Dissertação de Mestrado
23. YABE, M. J. S. **Determinação de Metais Pesados em Águas Superficiais por ICP-AES Objetivando Caracterização e Recuperação de Bacias Hidrográficas**, São Paulo, Instituto de Química USP, 1995. Tese de Doutorado
24. KORN, M. G. A. **Estudo do Comportamento de Alguns Íons Metálicos em Meio Aquoso-Orgânico em um Plasma de Argônio Induzido**. São Paulo, Instituto de Química USP, 1996. Tese de Doutorado
25. BOUMANS, P. W. J. M. **Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy**. New York, John Wiley, 1987. Part 2 Applications and Fundamentals. 486p.

26. GARBARINO, J. R. and TAYLOR, H. E. A Blington-type Nebulizer for Use in the Analysis of Natural Water Samples by Inductively Coupled Plasma Spectrometry. **App. Spectrosc**, 1980. 34: 393- 399.
27. RIVER., R. N. **Environmental Analysis**, Londres, John Wiley 1994. 220p.
28. CLIMAGUA - **Boletim de Monitoramento Hidroclimático**. Salvador, Janeiro de 1996, Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia - ano 96 nº 29..
29. **Mapa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**, Folha Caculé -SD.23-Z-B-VI, Escala 1:100.000, 1980 1ª edição.
30. **Mapa SUDENE/ Governo do Estado da Bahia**, Folha Poções - SD.24-Y-B-IV, Escala 1:100.000, 1977, 1ª edição.
31. **Mapa SUDENE/Governo do Estado da Bahia**, Folha Anajé - SD.24-Y-A-V, Escala 1:100.000, 1977, 1ª edição.
32. **Mapa Político da CEPLAB/Governo do Estado da Bahia**, Escala 1:1000.000, 1978, 1ª edição.
33. **Mapa SUDENE/Governo do Estado da Bahia**, Folha Vitória da Conquista SD.24-Y-A-VI, Escala 1:100.000, 1977, 1ª edição.
34. **Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água da Cetesb**, São Paulo, Cetesb, 1987. 150p.
35. **Climágua Boletim de Monitoramento Hidroclimático**, Salvador, 1996 Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, Nº 4 a 31.
36. **Climágua Boletim de Monitoramento Hidroclimático**, Salvador, janeiro 1996, Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, ano 1996 Nº 29.
37. **Climágua Boletim de Monitoramento Hidroclimático**, Salvador, janeiro 1996, Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, ano 1996, Nº 30.
38. **Climágua Boletim de Monitoramento Hidroclimático**, Salvador, fevereiro 1996, Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, ano 1996 Nº 31.
39. GUENTHER, W. B. **Quantitative Chemistry Measurements and Equilibria**, London, Addison Wesley, 1968. 400p.

40. MOREL, F. M. M. and HERING, J. G., **Principles and Applications of Aquatic Chemistry**, New York, John Wiley, 1993. 588p.
41. LARAQUE, A. , **Estudo e previsão da qualidade química da água dos açudes do Nordeste semi-árido Brasileiro**. Recife, SUDENE, 1989. 95P.
42. LARAQUE, A. **Comportements hydrochimiques des "Açudes" du Nordeste Bresilien Semi-áride**. Montpellier, 1991. These de Doctorat
43. GARRELS, R.M., **Solutions, Minerals and Equilibrium**, New York, Harper & Row, 1965. 450p.
44. RANKANA, K.F. and SAHAMA. C.T., **Geochemistry**, Chicago 1960. 912p.
45. MATTHESS, G., **Die Beschaffenheit des Grundwassers - Lenhrbuch der Hydrogeologie**, Berlim, 1973.
46. GONZALES, B. F. **Introduccion a la Geoquimica - The General Secretariat of the Organization of American Stattes**, washington, DC 1972.
47. GARCEZ, L.N. **Hidrologia**, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1967. 249p.
48. MANAHAN, S. E. **Fundamentals of Environmental Chemistry**, London, Lewis Publishers, 1993. 844p.
49. O' NEILL, P. **Environmental Chemistry** London, Clapman & Hall, 1993. 268p.
50. BRINCKMAN, F. E., **Environmental Inorganic Chemistry of Main Group Elements With Special Emphasis of Their Occurrence as methy e derivatives**, **Environmental Inorganic Chemistry**, Boca Raton, VCH Publishers, 1985. 195 - 238p..
51. V.S. Salinity Laboratory Staff, **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Salts**, **Agriculture Handbook n° 60**. Washigton, USDA, 1969. 160p.
52. GARRELS, R.M., MAGKENZIT., F. T. and HUNT. C, **Chemical Cycles on the Global Environment**, Los Angeles, Kaufmann, 1977
53. BERNER, E. K., and BERNER R. A. **The Global Water Cycle**, New Jessey, Prentice - Hall, 1987.
54. MORELI. I., GIMENY. E. and ESTELLER. M. V. Application of Principal Components Analysis to the Study of Salinization of the Castlon Plain (Spain), **The Science of the Total Environment**, 1996. 177, 167-171.

55. ORG., C. G., TONJI, K. K., DOHLGREN, R. A., SMITH, G. R. and QUEK, A. F., Water Quality and Trace Element Evapoconcentration in Evaporation Ponds for Agricultural Waste Water Disposal, **J. Agric. Food Chem**, 1995. 43, 1941-1947.
56. BENSON, S. M., WHITE, A. F., HOLFMAN, S., FLEXSEN, S. and ALAVI, M. Groundwater Contamination and Conservation Solute Transport Water **Resourc 2 California** 1991. 27, 1071-1084.
57. BIGGAR, J. W., ROLSTON, D. E. and NILSON, D. R. , Transport of Salts by Water. , **Calf. Agric.** 1984. 38, 10-11.
58. GRISMER, M. E., MCCULLOUGH and SONDEN, B. L., Evaporation Pond Seepage., **Calf. Agric.** 1988. 42, 4-5.
59. KELLEY, R. L. and NYE, R. L. , Historical Perspective an Salinity and Drainage Polleurs in California, **Calf. Agric.** 1984. 38, 4-6.
60. BRICKER, O. P. and GARRELS, R. M., **Mineralogic Factors in Natural Water Equilibria, in Principles and Applications of Water Chemistry**, New York, John Wiley, 1967.
61. STUMM, W and MORGAN, J. J. , **Aquatic Chemistry an Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters**. New York, Wiley & Interscience, 1979. 429p.
62. ONG, C. G., TONJI, K. K., Evaporative Concentration of Trace Elements in a Multicell Agricultural Evaporation Pond, **J. Agric. Food Chem.** 1993. 41, 1507 - 1510.
63. LEE, E. W., **Drainage Water Treatment and Disposal Options in Agricultural Salinity Assessment and Management.**, New York, American Society of Civil Engineers, 1990. p450 - 468.
64. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, New York, Apha, 1985, 16ed.