



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
(TEMA I)

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE MACAU

ANA AMBRÓSIO DE SOUSA

Eng^a Química (IST)

Msc Environmental Engineering

(University of North Carolina at Chapel Hill, USA.)

HIDROPROJECTO, Consultores de Hidráulica e Salubridade, SARL., Lisboa

RESUMO

Na presente comunicação aborda-se dum modo sucinto a problemática que levou ao projecto da Estação de Tratamento de Água de Macau.

Os aspectos mais específicos do Território de Macau foram salientados ao longo da apresentação que, para além do enquadramento da situação, desenvolve os seguintes pontos:

- estabelecimento dos consumos previsíveis e sua evolução no tempo;
- análise e caracterização de origens de água disponíveis;
- definição do esquema de tratamento em função da qualidade da água bruta e da qualidade a exigir à água tratada;
- concepção da ETA propriamente dita.

1. ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA

A Estação de Tratamento de Água de Macau integra-se no Reforço do Sistema de Abastecimento de Água ao Território de Macau, estudo que a Direcção de Serviços de Obras Públicas e Transporte considerou necessário, dado por um lado, o mau funcionamento e subdimensionamento do sistema existente e por outro lado a quase completa dependência da República Popular da China em termos de origem de água bruta.

Com efeito, o abastecimento de água ao Território, constituído por Continente e as Ilhas de Taipa e Coloane (Figura 1), tem sido feito individual e pontualmente sem qualquer tipo de planeamento ou estudo global de gestão de recursos hídricos.

Tanto a Península como as Ilhas começaram por ser abastecidas por águas subterrâneas captadas em pequenos poços e águas pluviais captadas em albufeiras ou pequenas represas.

Com a evolução dos efectivos populacionais e conseqüente aumento de necessidades de água, dada a manifesta exiguidade de disponibilidade em águas subterrâneas por um lado e as áreas envolvidas para a captação de águas pluviais por outro, tentaram-se novas origens. Assim surge em 1932 uma captação no Rio Oeste, sendo a água tratada através dum esquema convencional numa ETA^(*), na zona denominada de Ilha Verde, ainda hoje em funcionamento.

A exploração desta instalação tem-se revestido de diversos condicionalismos resultantes não só da tecnologia com que foi concebida mas também da inconstância das características da água bruta que variam com a época do ano e com a influência da maré o que significa, por vezes, elevados teores de salinidade.

A partir de 1958, com a construção da Barragem da Lapa a montante da captação, em Território chinês, a situação ainda mais se agravou.

Foi então feito um acordo com as autoridades chinesas no sentido do abastecimento ser assegurado a partir da República Popular da China, em caso de abandono da captação na Ilha Verde.

Esta situação não se veio a verificar pelo que a água proveniente do território chinês tem funcionado como reforço às necessidades actuais.

Na Ilha de Coloane foi definido um sistema em que se integravam duas barragens de recolha de águas pluviais, Ka-Ho e Hac-Sa, sendo o tratamento de água efectuado na ETA Coloane, em funcionamento desde 1982. Embora elaborada uma hipótese de tratamento individual, a ETA Coloane foi concebida com a preocupação dum futuro sistema integrado, tendo sido dimensionada para um caudal de 20 000 m³/dia, duas vezes superior às capacidades provenientes das barragens citadas.

Em resumo, feito o ponto de situação relativo ao abastecimento de água ao Território de Macau, os problemas a resolver são:

1. satisfação das necessidades populacionais à data e no horizonte de projecto considerado, através dum sistema de abastecimento integrado;
2. garantia de estabilidade nas características de qualidade da água tratada independentemente das características da água bruta.

(*) - Abreviatura para Estação de Tratamento de Água.

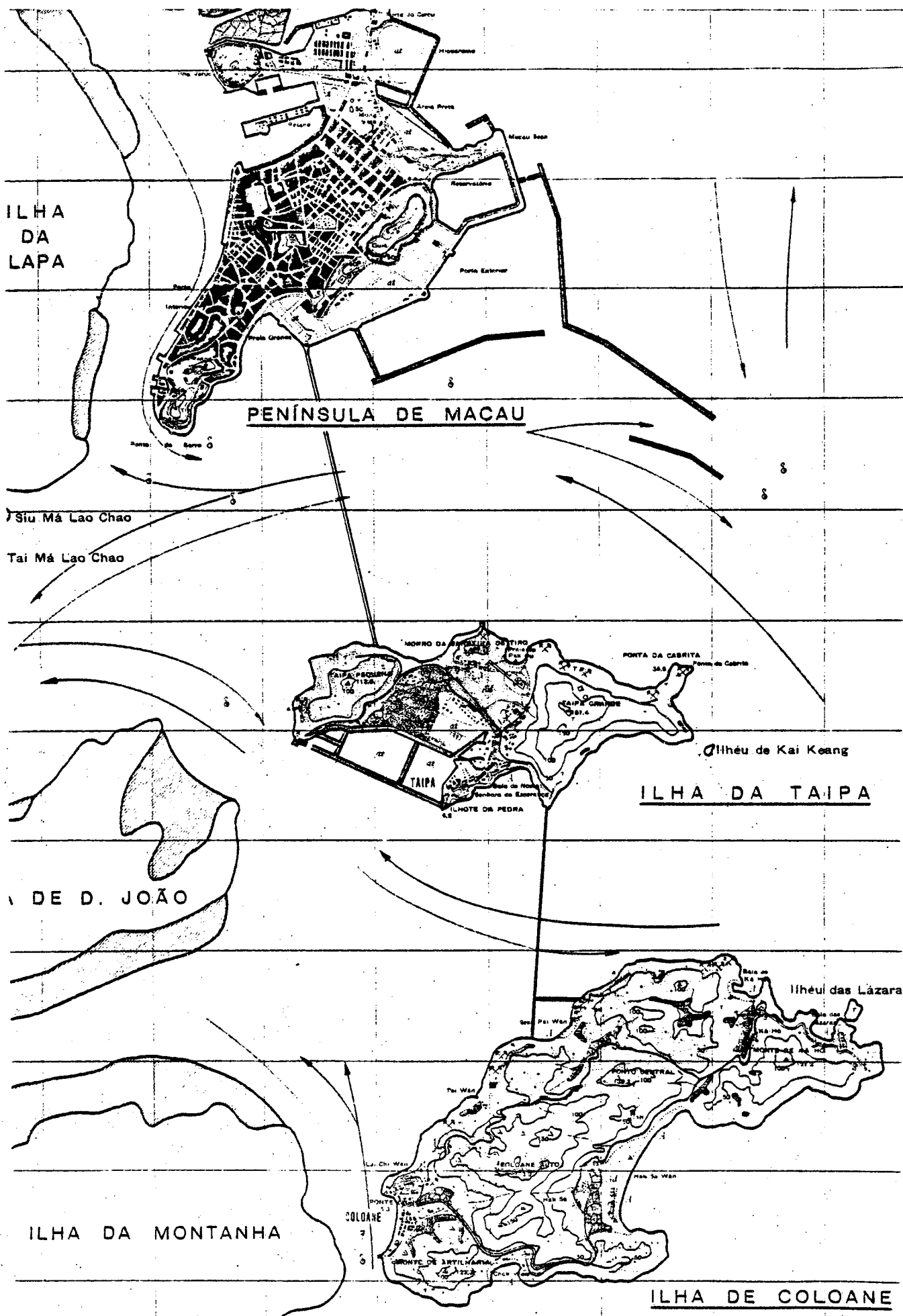


Fig. 1 - LOCALIZAÇÃO DO TERRITÓRIO DE MACAU

Foram estudadas, sob o ponto de vista técnico e económico, várias hipóteses de sistemas de abastecimento integrado, tendo em atenção as obras já existentes e susceptíveis de serem recuperadas e integradas. Foi-se então conduzido à necessidade de realização duma estação de tratamento de água, a ETA Macau de cuja concepção se salientam, no âmbito da presente comunicação, os pontos seguintes:

- a) estabelecimento dos consumos previsíveis e sua evolução no tempo;
- b) análise e caracterização de origens de água disponíveis;
- c) definição do esquema de tratamento em função da qualidade da água bruta e da qualidade a exigir à água tratada;
- d) concepção da ETA propriamente dita.

2. QUANTIDADE DE ÁGUA A TRATAR. FASES DE REALIZAÇÃO

De acordo com o crescimento populacional, previsto para a Península e Ilhas no Plano Territorial de Macau e na respectiva Revisão de Dezembro 1979 para o ano 2000 (cerca de 900 000 hab.) e com a previsão de consumos, o volume de água a tratar deverá ser de 255 000 m³/dia, considerando o caudal de água tratada para o mesmo horizonte de projecto da ETA Coloane de 20 000 m³/dia.

Embora tenha sido analisada a hipótese de mais de uma ETA, a decisão foi de uma única, localizada na Península, pelas seguintes razões fundamentais:

- beneficia-se do efeito de escala sendo o investimento total mais baixo;
- a exploração para além de ser de mais simples gestão para a entidade exploradora, é menos onerosa dado que a equipa de pessoal não é directamente proporcional à capacidade da ETA;
- no ano 2000, 60% dos consumos gerais são destinados à Península.

A evolução das necessidades até ao ano final do horizonte de Projecto permite definir duas fases de realização do empreendimento: uma 1.^a fase de 85 000 m³/dia sensivelmente até 1990 e uma 2.^a fase de 2 x 85 000 m³/dia no período seguinte.

Refere-se que os reservatórios existentes se integram no sistema geral de abastecimento, nomeadamente o reservatório do Porto Exterior, beneficiando-se do armazenamento de volume que permite, por um lado, um efeito de homogeneização da qualidade da água, e por outro, de volante determinando que, captação e adução, sejam dimensionadas para caudais menores.

3. ORIGEM E QUALIDADE DE ÁGUA A TRATAR

Da simples observação da exiguidade do Território e das características do meio circundante se conclui que não é fácil obter a auto-suficiência em termos do abastecimento de água para o Território de Macau. Da comparação entre as necessidades e as disponibilidades de origem subterrânea, optou-se por origens superficiais. Destas abandonou-se a hipótese de recolha de águas pluviais em albufeiras, dadas as enormes áreas postas em jogo incompatíveis com a dimensão do Território. Assim as alternativas possíveis são:

- 1.^o. - água importada da República Popular da China;
- 2.^o. - água proveniente do Rio Oeste.

A água proveniente da República Popular da China tem duas origens fundamentais, águas pluviais captadas em albufeira e água superficial do Rio Oeste a montante da barragem da Lapa, reunindo-se no Reservatório do Porto Exterior.

Em termos de qualidade as duas alternativas são equivalentes (a origem é sempre o Rio Oeste) excepto no respeitante à salinidade, dada a localização da Barragem da Lapa, que impede a difusão de massa de água salgada no seio da água doce, no leito do Rio Oeste para montante da mesma.

Com base numa campanha de análises da água do Rio Oeste junto da captação da Ilha Verde, levada a efeito pelos Serviços de Água e Abastecimento de Macau em 1979, fez-se uma análise estatística dos valores diários, médio, máximo e mínimo mensais de alguns parâmetros físicos e químicos.

A Figura 2 é uma execução para o caso de dureza. Pode afirmar-se que dum modo geral as características médias são muito variáveis sendo esse facto ainda mais notável quando se consideram os valores máximos ou mínimos. Resumidamente:

- a) a alcalinidade, pH, dureza e anidrido carbónico livre, revelam uma água medianamente mineralizada, não agressiva;
- b) a concentração em ferro dissolvido nunca chega a atingir o valor máximo admissível pela Organização Mundial de Saúde (OMS);
- c) a turvação, com valores que rondam os 70 mg/l de sílica (valor mesmo assim baixo para águas que se conhecem muito turvas à vista desarmada) chega a variar de 1:3;
- d) a côr, com valores variando entre 6 e 12 é um pouco elevada comparado com o máximo aconselhável pela OMS, de 5 unidades da escala Pt-Co;
- e) a oxidabilidade, a carência bioquímica de oxigénio e a concentração em oxigénio dissolvido determinam uma água com pouca matéria orgânica;
- f) a concentração em metais pesados é muito baixa, estando em qualquer caso sempre abaixo das concentrações máximas admissíveis pela OMS;
- g) a temperatura, muito variável, apresenta valores máximos nos meses de Maio a Outubro.

Especificamente, em relação à salinidade, os teores a jusante da Barragem da Lapa variam com a maré atingindo-se por vezes níveis não aceitáveis por Normas de Água Potável da OMS (Figura 3).

Em 1975/1976 foi feita, a pedido da Fiscalização de Serviços de Água de Macau, uma campanha de análises em vários locais e a diversas profundidades, no Rio Oeste na zona costeira da Ilha da Taipa. Dos resultados obtidos em termos de salinidade (Figura 3), pode-se concluir que a zona mais favorável para localização da captação é a zona Nôroeste da Ilha da Taipa (Ponta da Barra) mas apenas durante 4 a 5 meses do ano, altura em que os teores não ultrapassam os valores limites impostos pela OMS (600 mg/l em cloretos). A utilização da água fora desse período obriga a uma dessalinização.

Este facto permite afirmar que a solução mais conveniente de abastecimento geral ao Território de Macau sob o ponto de vista económico será uma solução conjugada:

DUREZA

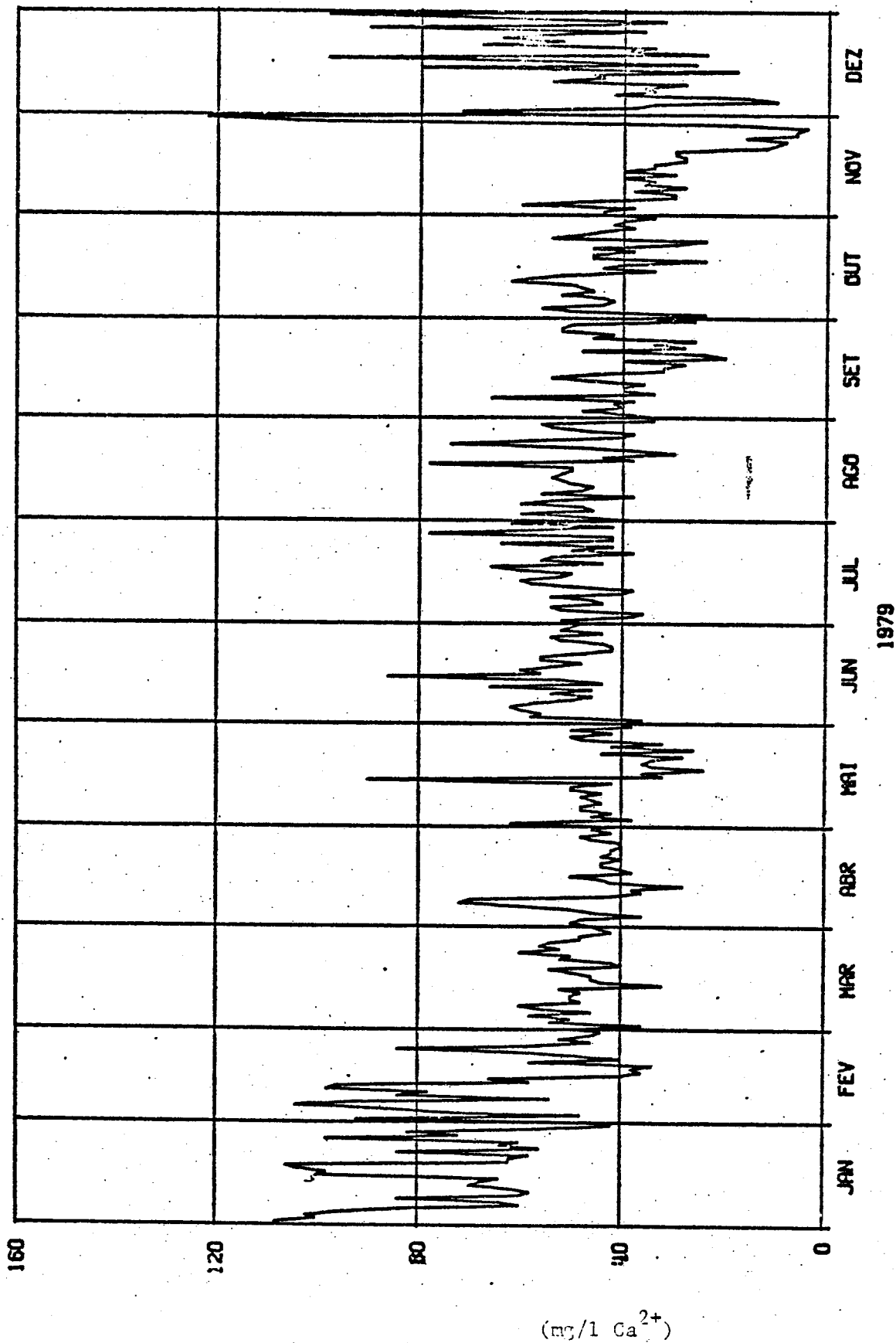


FIG. 2 - ÁGUA IMPORTADA DA REPÚBLICA POPULAR DA CHINA. DUREZA. VALORES DIÁRIOS DURANTE O ANO DE 1979

SALINIDADE

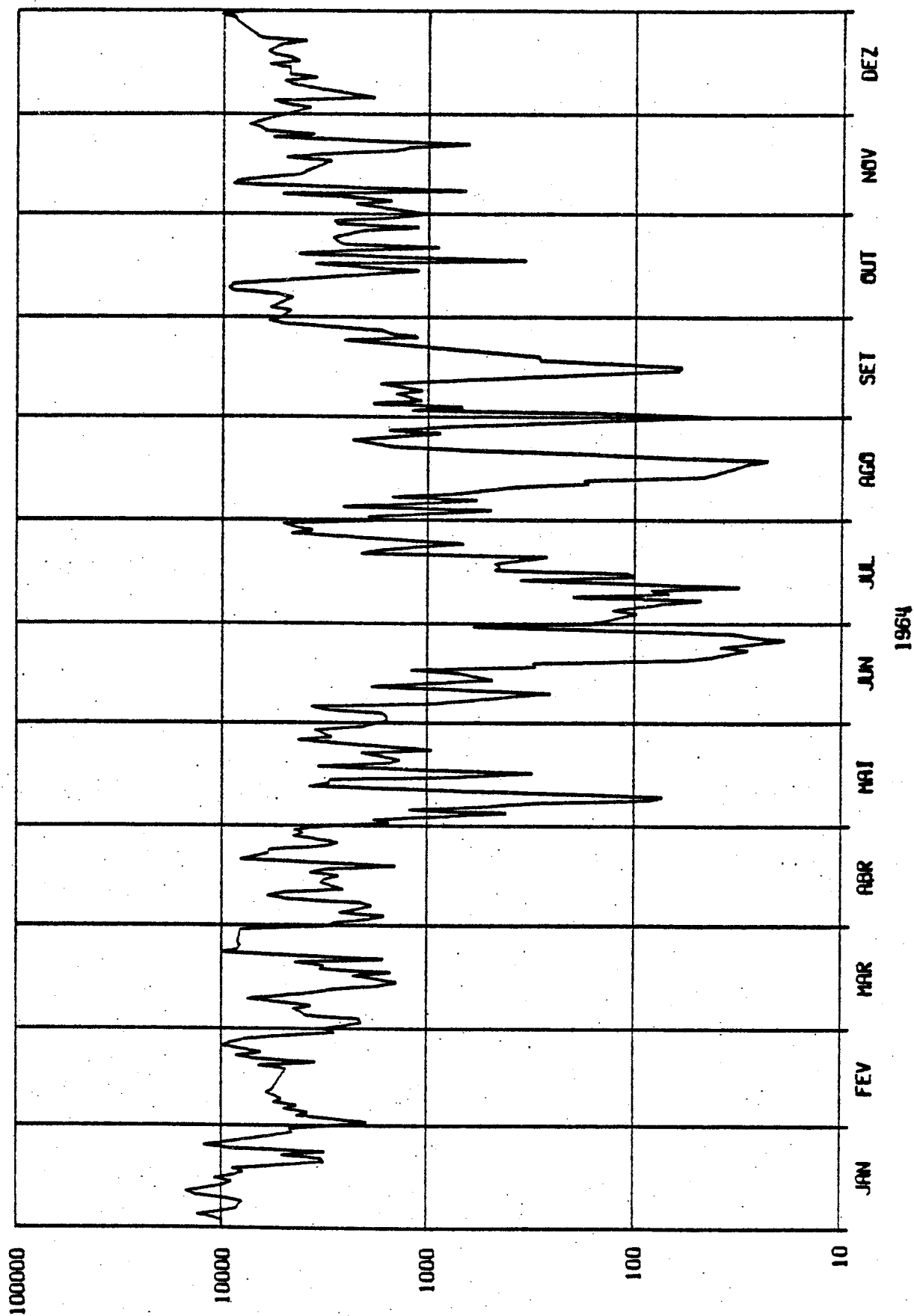


FIG. 3 - VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DE SALINIDADE (EM mg/l DE Cl⁻) DA ÁGUA CAPTADA NA PONTA DA BARRA

- água importada da República Popular da China durante os períodos de alta salinidade do Rio Oeste;
- água captada no Rio Oeste nos meses de baixa salinidade, pelo menos enquanto o preço de importação for inferior ao preço da dessalinização.

Na realidade para uma solução autónoma, as alternativas que se oferecem são:

- captação durante 4 a 5 meses do caudal necessário para fazer face às necessidades anuais, o que levaria a volumes de armazenamento muito grandes incompatíveis com a dimensão do Território e mais ainda levaria a um investimento nas obras de captação muito elevado dados os caudais em jogo;
- captação durante todo o ano, independentemente das condições de qualidade de água, havendo que prever uma instalação de dessalinização que funcionaria aproximadamente durante 7 a 8 meses anuais o que levaria a investimentos iniciais e custos de exploração muito elevados.

A primeira solução está posta fora de causa pelas razões apontadas. A segunda solução considera-se de reter como solução de recurso, mas somente quando uma das situações seguintes se verificar:

- ou a preço da água comprada à República População da China aumenta de tal modo que se torna competitivo com o preço da dessalinização;
- ou qualquer circunstância impeça a República Popular da China de fornecer todos os quantitativos de água necessários ao Território de Macau.

Exceptuando as situações referidas a solução a preconizar, como atrás foi referido, envolverá as duas origens:

- água captada no Rio Oeste nos meses de baixa salinidade;
- água importada da República Popular da China.

4. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE MACAU

4.1 - Qualidade de água tratada

As características a exigir à água tratada são as características duma água potável segundo as Normas para Água Potável da OMS.

Do sistema em estudo vão-se abastecer para além das populações (consumos domésticos) também empreendimentos turísticos e industriais.

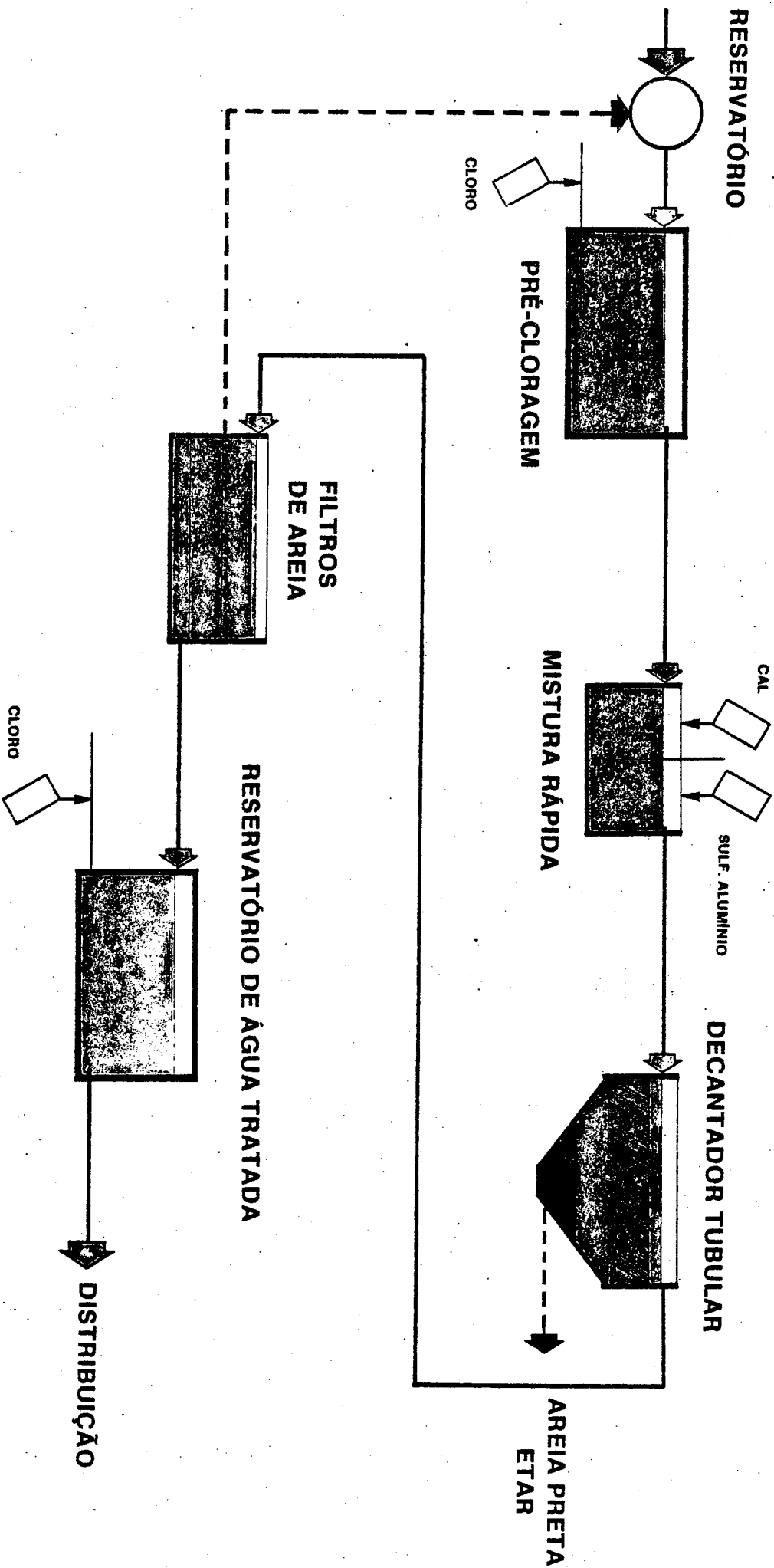
Certas indústrias, como cerveja e cimento, captam a água da rede e possuem seguidamente tratamento de afinação autónomo. Outras, como os textéis, de pequena dimensão, não possuem quaisquer tratamentos específicos. Estas indústrias, geralmente com tinturarias, e consequentemente funcionando com corantes, exigem não só valores limites de determinados parâmetros (pH, alcalinidade e concentração em cálcio) mas também e fundamentalmente constância dos mesmos.

Este facto impõe que o tratamento garanta certos limites de valores característicos de acordo com limites pré-estabelecidos, independentemente dos valores dos parâmetros da água bruta.

4.2 - Esquema de tratamento

O esquema de tratamento (Figura 4), definido com base nas características da água bruta e nas características a exigir à água tratada, é constituído pelas

MACAU - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA



seguintes operações:

- oxidação de matéria orgânica;
- correcção de pH;
- coagulação química;
- decantação;
- filtração;
- desinfecção final.

A oxidação de matéria orgânica tem como principal objectivo o estabelecimento de níveis bacteriológicos e virulógicos aceitáveis a uma água potável, melhorando os rendimentos das operações subsequentes e optimizando consumos de reagentes necessários à coagulação.

Com a coagulação química provoca-se a desestabilização da matéria coloidal e em suspensão através da formação de flocos facilitando a sua remoção na operação de decantação. Com a filtração pretende-se uma afinação em termos de remoção da matéria não dissolvida.

Finalmente a desinfecção destina-se ao estabelecimento dum residual livre do reagente oxidante para prevenir eventuais contaminações na rede de distribuições e permitir um efeito bacterioestático limitando desenvolvimento de maus gostos e diminuição de oxigénio dissolvido.

Embora sendo uma solução de recurso foi equacionada a necessidade de dessalinização, devendo a água a dessalinizar ser retirada de linha de tratamento após filtração dadas as características exigidas, nomeadamente isenção de cloro, sólidos em suspensão, matéria orgânica e turvação.

As águas residuais do processo constituídas pelas lamas de decantadores e água proveniente da lavagem dos filtros, não serão tratadas no recinto da ETA, sendo proposta uma solução de tratamento conjunta com as águas residuais domésticas na Areia Preta, solução particularmente justificadas dada a proximidade entre ambas e a possibilidade de evitar duplicações de áreas com a mesma função.

4.3 - Concepção das instalações

As instalações que constituem a Estação de Tratamento de Água de Macau, localizam-se junto ao Reservatório de Porto Exterior e foram concebidas de modo a ocupar a menor área possível.

Nesse sentido, salientam-se os seguintes pontos:

- 1º. articulação funcional entre Órgãos e Edifícios;
- 2º. optimização de comprimentos de interligação entre órgãos;
- 3º. velocidades de decantação e filtração elevadas (decantação acelerada e filtração ultra rápida);
- 4º. as cisternas, tanto de pré-cloragem como de desinfecção, desenvolvem-se por baixo dos restantes órgãos de tratamento;

5º. os Laboratórios de Física, Química, Bacteriologia e Biologia previstos no Edifício de Exploração estão concebidos de modo a não só responderem às actividades ligadas com a ETA Macau mas ainda com todo o sistema de redes e tratamento de águas residuais, com a captação, redes, reservatórios de abastecimento de água e ainda com o monitoring previsto na costa marítima do Território;

6º. centralização de comando e controlo das operações no Centro de Despacho previsto no Edifício de Exploração.

Conforme a perspectiva apresentada na Fig. 6 , a ETA desenvolve-se em dois grandes blocos o 1º. constituído pelos Órgãos de Tratamento é enquadrado pelos Edifícios dos Reagentes Pulverulentos e o Edifício do Cloro.

O Edifício dos Reagentes é constituído por três zonas diferenciadas:

- Posto de Transformação;
- Nave das Bombas;
- Armazenamento de Reagentes Pulverulentos (cal e sulfato de alumínio) e preparação das respectivas soluções.

O Edifício de Cloro destina-se ao armazenamento e dosagem do cloro.

O 2º. bloco é constituído pelo Edifício de Exploração onde se centralizam todas as funções relacionadas com a exploração da ETA Macau, e ainda com a exploração do sistema abastecimento de água, saneamento básico e recursos hídricos do Território através do Centro de Despacho.

Salientam-se ainda os Laboratórios de Física, Química, Bacteriologia e Biologia, a Oficina para manutenção do equipamento em geral e finalmente Instalações de Convívio para o pessoal.

Os órgãos de tratamento são constituídos por:

- cisternas;
- câmaras de mistura
- decantadores lamelares;
- filtros ultra-rápidos;

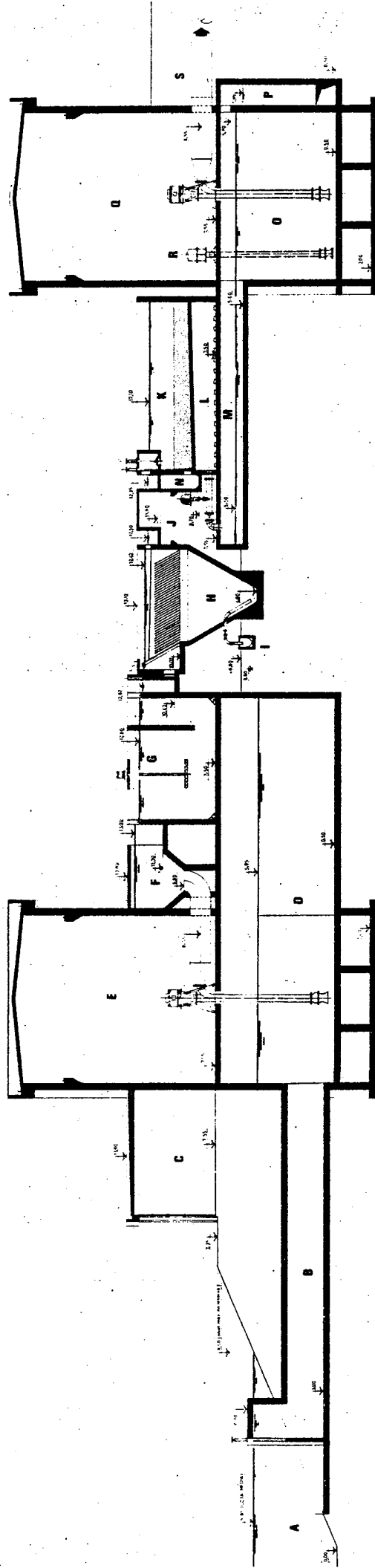
. Cisternas

São duas as cisternas destinando-se respectivamente à pré-cloragem e desinfecção final. São constituídas por 3 células, com chicanas transversais. A cisterna de pré-cloragem localiza-se abaixo do Edifício do Cloro, receberão a água bruta directamente do Reservatório de Porto Exterior.

Para a cota de exploração deste, o tempo de contacto com o cloro é de aproximadamente 45 min. para o caudal final.

A cisterna de água tratada situa-se por baixo dos filtros e recebe directamente água filtrada. O tempo de contacto com o cloro é de 30 min.

MACAU - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA



A - RESERVATÓRIO DO PORTO EXTERIOR
B - ENTRADA DE ÁGUA BRUTA
C - EDIFÍCIO DO CLORO
D - CISTERNA DE ÁGUA PRÉ-CLORADA
E - EDIFÍCIO REAGENTES
F - CÂMARA DE TRANQUILIZAÇÃO
G - CÂMARA DE MISTURA E FLOCULAÇÃO

H - DECANTADORES

I - CALEIRA DE RECOLHA DE LAMAS

J - GALERIA DOS FILTROS

K - FILTRO

L - FUNDOS DOS FILTROS

M - GALERIA DE RECOLHA DE ÁGUA TRATADA

N - GALERIA DE ÁGUA DA LAVAGEM DOS FILTROS

O - CISTERNA DE ÁGUA TRATADA

P - TROP-PLEIN
Q - EDIFÍCIO REAGENTES

R - ELEVADOR DE ÁGUA PARA LAVAGEM DOS FILTROS

S - CONDUITA ELEVATÓRIA

Fig. 5 - PERFIL HIDRÁULICO

MACAU - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

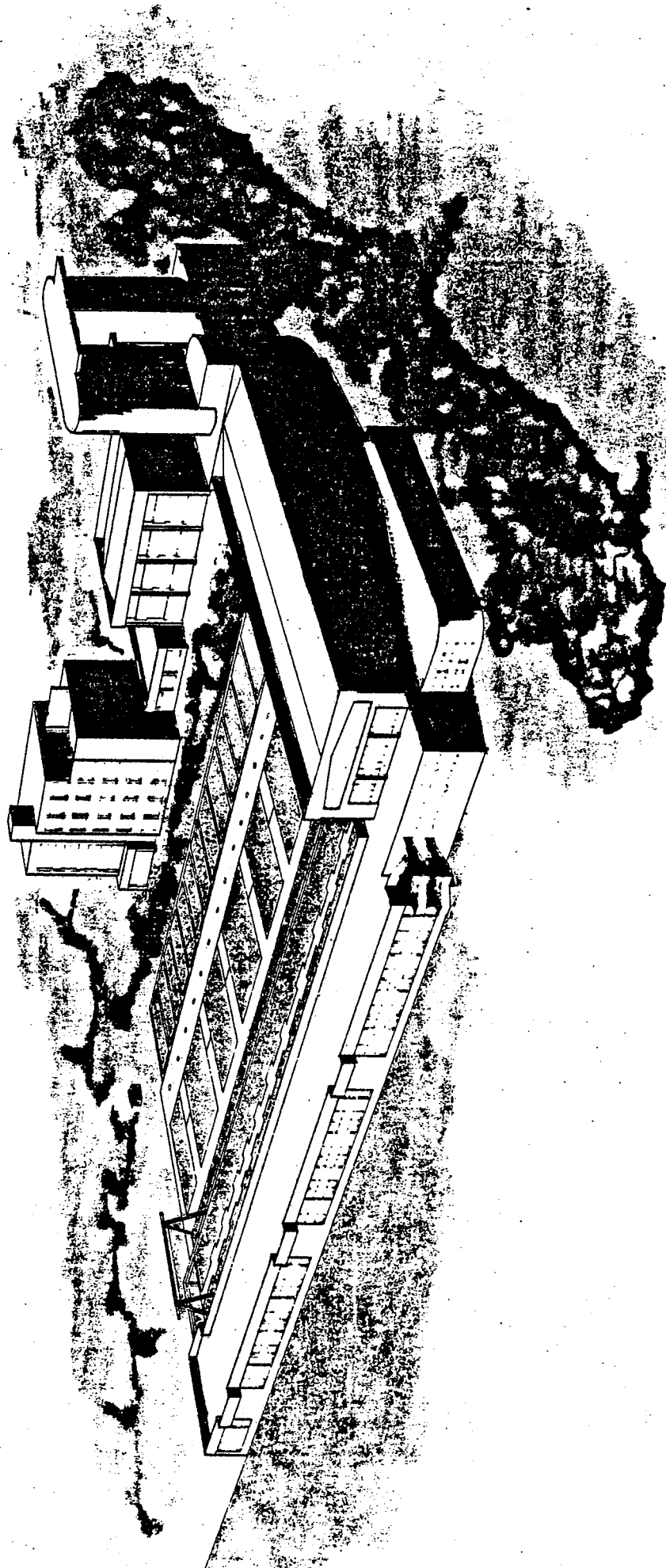


Fig. 6 - PERSPECTIVA

. Câmaras de mistura

Nas câmaras de mistura não só são adicionados os reagentes (solução de sulfato de alumínio e leite de cal na 1ª célula, como ainda se processa a coagulação (na 2ª. célula).

Assim o volume e tempo de retenção foram obtidos com base num gradiente de velocidade $G = 85 \text{ seg}^{-1}$ e no número de Camp $GT = 100\ 000$, valores aconselhados para uma boa coagulação.

A mistura dos reagentes é obtida através de agitação mecânica.

. Decantadores lamelares

A decantação lamelar é justificada para além dos bons resultados obtidos na remoção de turvação em águas de turvação elevada, por menores necessidades de área comparada com a decantação convencional.

Na verdade e em resumo, através da decantação lamelar permite-se:

- 1º. - que o escoamento se realize em regime laminar (Nº. de Reynolds 250) experimentalmente considerado como o mais indicado para obtenção de rendimentos elevados de decantação;
- 2º. - dada a criação dum número múltiplo de superfícies, baixa a carga hidráulica efectiva;
- 3º. - diminui o tempo de retenção necessário, dada a diminuição de tempo de queda vertical pela introdução das lamelas.

A decantação lamelar é assegurada pela introdução nos decantadores de modelos de lamelas inclinados a 60° ocupando 1,0 m de profundidade e localizados a 1,00 m do nível da água a decantar.

Os decantadores são em número de dois para a 1ª. fase, têm planta quadrada com uma área superficial unitária de 156 m^2 e um volume de 800 m^3 .

O escoamento é vertical de baixo para cima sendo a água decantada recolhida à superfície através de caleiras.

A velocidade ascensional para que foram dimensionados os decantadores é de 12 m/h.

A água aflui a cada decantador a uma profundidade de aproximadamente 4,0 m sendo distribuída igualmente pelas quatro células do mesmo.

O fundo de cada uma das células em forma tronco piramidal funciona como zona de acumulação de lamas.

. Filtração ultra-rápida

A operação de filtração tem como principal finalidade, como já foi referido no ponto 4.1, a redução de turvação traduzida em matéria em suspensão fina e matéria coloidal. Importante salientar que a matéria sólida retida nos filtros com dimensões que podem variar entre 2,5 μe 15,0 não implica só matéria inerte, mas também pode incluir microorganismos patogénicos. Daí a operação de filtração ser tão importante no esquema de tratamento e a sua exploração dever ser cada vez mais cuidada e aperfeiçoada.

A técnica de filtração dita "ultra-rápida", realiza-se sobre areia funcionando em condições normais com uma velocidade de filtração de 15 m/h, superior à convencional.

A bateria de filtros será constituída por 4 filtros duplos na 1ª. fase com uma área de 75 m², sendo o caudal de água a filtrar igualmente distribuído por cada filtro.

A taxa de filtração será de 15 m³/m².h passando a 17 m³/m².hora durante a lavagem de um dos filtros.

O meio filtrante com uma altura total de aproximadamente 1,00 m (filtração em profundidade) será constituído por uma camada de areia com granulometria entre 0,95 mm e 1,35 mm.

Os filtros funcionarão a nível constante (1,50 m sobre a areia) sendo o seu controlo realizado através duma válvula de regulação, na tubagem de água filtrada, variando a perda de carga até ao máximo de 3,0 m, altura em que o filtro deverá ser lavado.

A lavagem será feita em duas fases:

- 1ª. - passagem de ar (taxa de 50 m³/m².hora) simultaneamente com água em contra corrente (taxa de 15 m³/m².h) durante aproximadamente 5 min.;
- 2ª. - passagem de apenas água em contra corrente (taxa de 15 m³/m².h) durante aproximadamente 5 min.;

As taxas de água de lavagem deverão ser ajustadas com a temperatura da água bruta (cuja amplitude de variação é de 1:2) e evidentemente com o tipo de equipamento que vier a ser instalado.

O comando de operação será automático.

4.4 - Controle da Instalação

A ETA Macau será controlada e comandada num quadro central situado no Centro de Despacho no Edifício de Exploração. No entanto operações de apoio à linha de produção, como por exemplo recepção de reagentes, são comandadas apenas localmente.

Toda a informação enviada para o quadro central é obtida através de aparelhagem de medida dos parâmetros processuais ou outros, necessários ao controlo da eficiência das diferentes operações de tratamento e do funcionamento em geral da instalação.

Neste sentido as medidas a realizar são fundamentalmente as seguintes:

- caudal
 - . de água a tratar;
 - . de água consumida para lavagem dos filtros;
 - . de água para arrefecimento;
 - . de reagentes;
 - . de lamas dos decantadores;
- teores residuais de cloro na água pré-clorada e tratada;
- temperaturas, fundamentalmente da água de lavagem dos filtros para ajuste das taxas de filtração;

- perda de carga nos filtros para actuação nos sistemas de lavagem;
- período de funcionamento das várias máquinas;
- pressão de água e ar para os vários fins de acordo com a especificação dos equipamentos;
- indicação na generalidade de todos os valores dos parâmetros considerados fundamentais para o controlo do estado de funcionamento do equipamento e das operações de tratamento de acordo com as exigências específicas em cada caso.

Os resultados destas medidas serão indicadas no local e no quadro central.

Para além das medidas referidas anteriormente e no que respeita às características da água há parâmetros determinados automaticamente e outros determinados no laboratório para o que existe uma rede de tomas de água.

Toda a informação recebida no Centro de Comando é tratada e dele poderão partir ordens de comando do tipo de arranque ou paragem de unidades específicas da instalação ou ainda comando destinado a órgãos de regulação.

Por outro lado o operador será alertado no sentido de actuar se as informações aparecidas assim o determinarem.

Haverá finalmente um armazenamento de toda a informação chegada assim como de todas as ordens por ele emitidas.