

# Tratamento das aguas do abastecimento de São Paulo, preventivo da corrosão das canalisações

*Alvaro Cunha*

Chimico Chefe da Secção de Tratamento

De alguns annos para cá tem augmentado o clamor contra a corrosão das canalisações da nossa rêde de abastecimento, sendo frequente, nas substituições dos canos, encontrarem-se tuberculações e incrustações abundantes, com effeito prejudicial sobre a vasão. Isso, entretanto, não occorre de modo tão geral, e nem sempre, nos casos constatados, tem sido possivel determinar a idade do cano em serviço, sendo esta dada mais por estimativa. Nos casos que têm sido observados, em differentes sectores da cidade, abastecidos por aguas de procedencias e naturezas differentes — umas apenas chloradas e outras submettidas a clarificação com sulfato de aluminio, filtração e chloração — parece que nas primeiras, que são ricas em materias organicas de origem vegetal, corpos em suspensão, etc., as canalisações estão mais abrigadas dos inconvenientes da corrosão do que nas que são submettidas ao tratamento completo para obtenção das condições de potabilidade desejadas. Com aguas naturaes muito puras, de dureza muito baixa, tem-se observado tambem acção corrosiva accentuada. Verdade é que as impurezas em suspensão, como as que existem em quantidade em diversas das nossas aguas que não são filtradas, contribuem para augmentar os depositos nos pontos de incrustações e tambem nos pontos de pouca circulação de agua (pontos mortos).

As aguas quanto mais puras mais aptas são para agir sobre as canalisações. Certas impurezas, em condições especiaes, podem mesmo constituir uma protecção da superficie metallica das canalisações. Nesse sentido, Speller, em seu magnifico trabalho, "Corrosion, Causes and Prevention" diz: "Materia organica, emulsoides, e qualquer sedimento fino, trazidos em suspensão, são adsorvidos com um bom gráu de uniformidade sobre a superficie interna dos canos, e podem offerecer consideravel protecção. Em canos conduzindo algumas aguas do Oeste (dos E. Unidos), o auctor tem visto taes sedimentos com camadas de 1/8" de espessura. Este typo de protecção é achado muitas vezes em conductos de metal, conduzindo certas aguas naturaes que não são filtradas, como póde se deprehender do augmento da corrosão

experimentado com muitas aguas, desde que as installações de filtração têm entrado em uso mais geral. Com relação a isto Clark e Gage declaram:

“Quando aguas moles (soft waters) são purificadas por coagulantes e filtros mechanicos, ellas têm uma maior acção corrosiva sobre o ferro que antes de tal purificação, e maior que a mesma agua quando filtrada através de areia...”

Por outro lado, nas installações domiciliars, tem tambem havido obstrucções rapidas das canalisações de ferro galvanizado, si bem que, segundo estamos informados, isso sempre se verificou, mesmo antes do desenvolvimento do tratamento das aguas entre nós. Porém, dizem os que ha muitos annos se occupam do serviço de aguas, que de alguns annos para cá o phenomeno tem-se tornado mais pronunciado. De facto, varios são os factores que podem estar concorrendo para isso: o augmento da distribuição de agua mais pura e a peor qualidade do material utilizado nas canalisações, acreditamos ser os de maior influencia.

Tivemos occasião de conseguir varias amostras de tubos de ferro galvanizado que ultimamente vinham sendo utilizados pela R. A. E., para as ligações domiciliars, e por ellas observámos que havia material que era applicado nos serviços, já preparado para corrosão, com falhas na galvanização e exposição da superficie do ferro, com deficiencia da camada protectora de zinco, etc. Isso no caso do material utilizado pela R. A. E. Não sabemos o que se tem passado com relação ao material empregado pelos encanadores.

A lucta entre os exportadores, procurando produzir material de preço mais baixo, tem contribuido para piorar a sua qualidade.

Não sómente aqui se verifica esse facto com relação ás canalisações de ferro galvanizado. Nos Estados Unidos, segundo noticia recente, era observado que predios relativamente novos estavam com as suas canalisações deterioradas, quando, nas immediações, predios bem mais antigos, distribuindo a mesma agua, apresentavam as canalisações em bom estado.

Os technicos americanos attribuem o facto á peor qualidade do material que era fabricado ultimamente, em consequencia da concorrência entre os fabricantes.

Outro facto que temos observado através de amostras de tubos de ferro galvanizado, usados, que têm chegado ás nossas mãos, é que é frequente a formação de incrustações nas uniões e junto destas, em proporção tal que a redução de secção determina a substituição do cano, enquanto o resto do tubo, mais afastado das uniões, apresenta-se em bom estado.

Isso se dá em consequencia de existir ferro e zinco em contacto nas extremidades do tubo, onde este foi cortado ou rosqueado, ou onde a luva nem sempre é galvanizada, resultando a formação de um par electrico e, nessas condições, facilitando uma corrosão rapida. Ha conveniencia em se proteger todas as partes das canalisações, onde isso possa se dar, por meio de uma camada de zarcão e material betumi-

noso, chamando-se a atenção dos engenheiros responsaveis pelas construcções, para que exerçam a fiscalisação dos eucanadores na execução desses serviços.

Comtudo, no estrangeiro, principalmente nos Estados Unidos, afim de ser assegurada uma maior durabilidade das canalisações domiciliares, o ferro galvanizado vem sendo substituido por latão especial e por cobre, que, comquanto de preço mais elevado, têm uma duração muito maior, evitando assim os estragos nos edificios, decorrentes das substituições de canalisações.

Tem parecido a muita gente menos identificada com o assumpto da corrosão das canalisações, tratar-se de um phenomeno que só tem apparecido em São Paulo. A quantia gasta annualmente em serviços de agua, oleo e gaz, com as perdas por substituições de canalisações, é estimada, nos Estados Unidos, em 20.000.000 de dollars (320 mil contos).

Segundo dados mencionados por W. M. Wallace e T. A. Parks, perdem-se no mundo, annualmente, pela corrosão, 1,5 billiões de dollars, ou sejam 24 milhões de contos.

A bibliographia estrangeira sobre o assumpto é bastante vasta, vindo de longo tempo os trabalhos dos investigadores, no intuito de precisar as causas da corrosão, e de conseguir meios para evita-la ou restringil-a

No estudo do problema, tendo em vista o tratamento preventivo a ser applicado para as aguas de São Paulo, servimo-nos dos trabalhos de J. Baylis, P. L. McLaughlin e de Charles P. Hoover.

As aguas do nosso abastecimento, com um residuo total por volta de 30 p. p. m., com pH abaixo de 7 (aguas in-natura), com uma dureza quasi nulla e com alcalinidade inferior a 10 p. p. m., offerecem condições favoraveis á corrosão.

Nos Estados Unidos as aguas de alguns abastecimentos eram reconhecidas como acidas, não obstante, na grande maioria dos abastecimentos, ellas serem dadas como alcalinas de accôrdo com o ensaio usual de alcalinidade. Não havia uma explicação satisfactoria do facto de algumas aguas corroerem as canalisações mais rapidamente que outras.

Considerando esse facto, em 1920 foi feito o estudo do equilibrio de certas sustancias em solução nas aguas. Onde a agua não tinha claramente acção corrosiva sobre os canos de ferro, verificava-se que ella era saturada ou mais ou menos saturada com carbonato de calcio; e onde ella era corrosiva, não era saturada com este composto. Sómenum ou dois annos antes disso é que os chimicos começaram a considerar a concentração dos ions hydrogenio da agua e, até então, o valor desse ensaio não tinha sido demonstrado. Mais tarde foi verificado ser esse ensaio de consideravel valor na perfeita determinação do equilibrio de saturação do carbonato de calcio, e tornou-se um meio que o chimico póde usar como auxilio para verificar si a agua está no ponto desejado de equilibrio.

Foi verificado, ha cerca de dez annos passados, que não existirá praticamente ferro solúvel em agua saturada com carbonato de calcio, excepto, talvez, momentaneamente, onde uma superficie fresca de ferro

fôr exposta. Em experiencias feitas com aparas de cano de ferro (tiradas no torno, de modo a ter uma grande superficie fresca de metal) mergulhadas num frasco cheio dagua e sellado para evitar entrada de ar, não era encontrada quantidade apreciavel de ferro em solução, depois de certo periodo de contacto entre o metal e a agua, quando esta estava com carbonato de calcio.

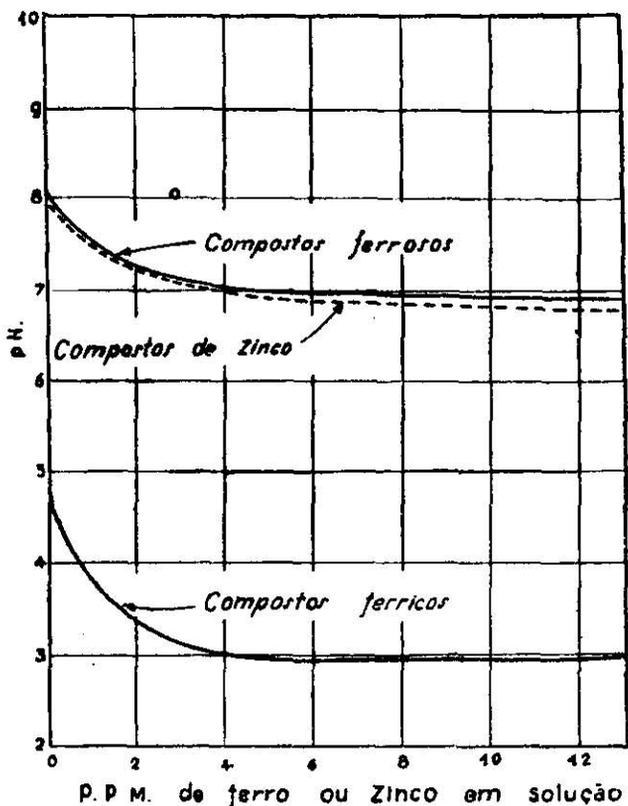


Fig. 1

Quando a agua continha muito bicarbonato de calcio, e ainda devido á presença de muito gaz carbonico, ella não estava saturada com carbonato de calcio e o equilibrio poderia ser mudado pela corrosão do ferro, tendendo a produzir saturação pela redução do  $\text{CO}^2$ . Nessas condições o  $\text{CO}^2$  se uniria com o ferro e, si o tempo de contacto fosse sufficientemente longo, seria estabelecido um equilibrio, no qual a agua ficaria saturada ou supersaturada com carbonato de calcio. Mesmo que tivesse havido consideravel corrosão de ferro para estabelecer o equilibrio, verificar-se-ia estar a agua quasi livre de ferro soluvel depois de certo periodo. Commumente seria encontrado menos que 0,1 p.p.m de ferro em solução. A baixa solubilidade do ferro na agua saturada com carbonato de calcio demonstra que, si a agua é conservada saturada com este composto, os productos da corrosão serão precipitados quasi ao mesmo tempo em que são formados.

De accôrdo com as condições em que o phenomeno da corrosão se processa, não é possível tratar uma agua de abastecimento publico de maneira que a corrosão não se verifique, quando as superficies do ferro, frescas, são expostas á acção da agua. O unico meio de evital-a é protegendo o ferro de algum modo. Praticamente todas as canalisações têm uma camada protectora applicada pelos fabricantes. As camadas protectoras mais commumente usadas não são permanentes, a menos que ellas se tornem protegidas por uma outra camada formada com substancias existentes na agua.

Como os canos não são installados para poucos annos de uso, não é possível, salvo para os de grandes diametros, refazer a pintura protectora sem removel-os da terra; assim mesmo, para os tubos grandes, haveria a interrupção de funcionamento, o que, no nosso serviço, torna o problema complicado e quasi inexequivel.

Onde agua corróe o ferro ou ferro galvanizado, é preciso tratal-a para tornal-a não corosiva, si se deseja evitar as perdas decorrentes da corrosão.

O problema da protecção adequada das canalisações de ferro vem a ser a producção de condições que permittam a formação gradual de uma camada impermeavel no interior do cano, em addição á camada applicada pelo fabricante. Em tal tratamento a camada não deve ser formada rapidamente, salvo por um periodo curto, porque um tratamento continuado produziria uma camada espessa que reduziria a capacidade da canalisação.

O tratamento deve ser feito de modo a produzir um equilibrio necessario á formação gradativa da camada protectora.

O ponto de equilibrio em que essa formação se verifica varia consideravelmente nas differentes aguas e só é determinado depois dos ensaios que indicam o tratamento exacto. Uma vez este applicado, devem-se fazer observações em corpos de provas ou em tubos retirados da rêde para substituições ou reparos, para ver o que está se passando em relação á formação de camadas internas.

O desejavel é que a formação da camada protectora se dê emquanto a pintura original do tubo estiver perfeita, porque logo que a agua se põe em contacto com a superficie do ferro vem a formação das caries e dos tuberculos que as cobrem, do que resulta augmento de perda de carga pelo attrito.

O equilibrio desejado é aquelle em que se obtem a agua saturada com carbonato de calcio e uma leve supersaturação por um periodo curto. Não é possível conservar a agua exactamente saturada com carbonato de calcio, todo o tempo. Para ficar-se do lado seguro, é melhor manter-se uma leve supersaturação, por alguns annos. a partir do inicio do tratamento e, depois de observações da camada formada no interior da canalisação, proseguir nas mesmas condições ou, si a camada formada attinge mais de 1/64" de espessura, o tratamento pôde ser reduzido ao ponto onde não haja formação de camada tão espessa. Possivelmente numa agua, cuja saturação justa com carbonato de calcio tenha sido estabelecida por ensaio, poderá haver fluctua-

ções na applicação do alcali, de modo tal que em certo tempo a agua terá tendencia para depositar carbonato, devido a uma leve supersaturação, e noutros momentos haverá uma tendencia para dissolver o carbonato, quando a agua estiver abaixo do ponto de saturação. O tratamento conveniente deve ser feito de modo a não haver materialmente um augmento ou diminuição da espessura da camada.

Como nas aguas ha varios compostos alcalinos, não é possivel dar um methodo para computar o equilibrio. As substancias alcalinas mais commumente encontradas são carbonato de calcio, de magnesio e frequentemente de sodio. Estes compostos, em geral, existem largamente como bicarbonato, em vez de monocarbonato, dependendo do gaz carbonico presente. A fig. 2 dá as curvas mostrando o equilibrio approximado de saturação do carbonato de calcio e de magnesio. Nessa curva são dados o pH, e as concentrações em alcali represen-

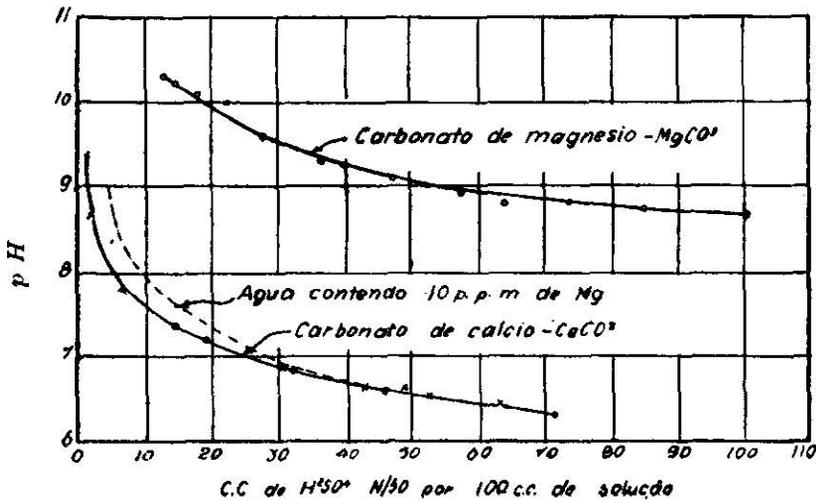


Fig. 2

tadas em centímetros cubicos de  $H^2SO^4 \frac{N}{50}$  por cc. de agua, requeridos para neutralizar o alcali. O numero de cc. de acido, multiplicado por 10, dá a alcalinidade em p.p.m., quando o alcali é carbonato de calcio.

Pelas curvas nota-se que ha consideravel differença entre os equilibrios de saturação do carbonato de magnesio e do de calcio. A principal significação dos carbonatos de magnesio e de sodio na agua é variar o equilibrio do carbonato de calcio, principalmente quando são usados o pH e a alcalinidade para obter o ponto de saturação. Esse effeito é mostrado pela linha pontilhada da fig. 2, que é a do equilibrio approximado de carbonato de calcio, quando a agua contém 10 p.p.m. de magnesio como carbonato de magnesio.

A curva de carbonato de calcio mostra o equilibrio de saturação em pH 7,6, para 100 p.p.m. de carbonato de calcio. Quando ha uma

mistura de 10 p.p.m. de magnésio, o pH no equilibrio de saturação do carbonato de calcio é cerca de 7,9, para uma alcalinidade de 100 p.p.m

Um augmento em magnésio determina um augmento no pH do equilibrio de saturação, e vice-versa. Isso se dá tambem quando existe sodio sôb forma de carbonato, com effeito provavelmente mais pronunciado. O carbonato ou o hydrato de sodio substituirá o calcio que está em combinação sôb forma de saes neutros, cujo effeito sobre a saturação do carbonato de calcio é pequena, a menos que exista em grande quantidade. O carbonato de calcio augmenta, sem duvida, proporcionalmente á quantidade de sodio que substitue o calcio nos sulfatos e chloretos.

Actualmente o unico caminho que existe para determinar si a agua está acima ou abaixo do ponto de saturação de carbonato de calcio, é verificando si ella dissolve ou precipita carbonato de calcio quando posta em contacto com o material pulverisado.

Pelas curvas pôde-se vêr que o equilibrio de saturação do carbonato de calcio varia largamente para differentes aguas.

Si não houver na agua outras substancia alcalinas em quantidades apreciaveis, que é o caso geral de nossas aguas, o equilibrio desejado pôde ser obtido da curva de carbonato de calcio. Para cada agua que se vae submetter ao tratamento deve-se determinar o ponto de equilibrio e estabelecer a curva de saturação de carbonato de calcio.

No tratamento para reduzir a corrosividade da agua, a cal é a substancia geralmente usada, não só pelo seu baixo preço como tambem por circumstancias de ordem technica. Quando a quantidade de carbonato de calcio é menor que 30 p. p. m., o emprego da cal é quasi essencial si se deseja uma bôa redução de corrosividade. Quando está acima de 30 p. p. m., pôde-se usar cal ou sóda, esta de preço bem mais elevado que a cal. Verdade é que a cal, augmentando a dureza da agua, affecta economicamente os consumidores devido ao maior consumo de sabão.

Nas installações onde se procede ao tratamento com sulfato de aluminio, para a coagulação, e onde a reacção se processa com alcalinidade natural, é aconselhado applicar alcali depois que o coagulante é adicionado. No nosso caso a applicação antes da filtração não pôde ser feita, porque elevações relativamente pequenas do pH, acima do ponto optimo de flocculação, o qual nas nossas aguas está sempre abaixo de pH 6, não só provocam a dissolução dos flócos que escapam á decantação, como ainda exercem acção sobre os que estão nos filtros.

A applicação da cal á agua filtrada, para estabelecer o ponto de saturação, tem o inconveniente de produzir depositos formados por parte da propria cal, ou por impurezas que esta contém, o que é commum no nosso caso, á vista da difficuldade de se obter uma cal satisfactoriamente pura.

Quando a agua, depois de receber a cal, vae para um reservatorio, antes de ser distribuida, a maior parte do material que não entra em solução, alli se deposita. Nesse caso, deve-se submetter a agua

a uma agitação conveniente, para permittir que toda a parte solúvel se dissolva. Ha muitas installações onde a cal é adicionada á agua filtrada, sem agitação.

É de todo conveniente, quando se applica a cal em quantidades já bastante grandes, dotar-se a installação de um systema de mistura que permitta a dissolução do material solúvel que póde se depositar. Quando em vez de cal é utilizado carbonato ou hydrato de sodio, os quais praticamente não contêm insolúvel, a applicação póde ser feita na agua filtrada, sem inconveniente de depositos.

Nas nossas aguas tratadas com sulfato de aluminio, parte da cal utilizada no tratamento combina-se, formando  $\text{SO}^4\text{Ca}$ . A utilização, tambem, de carbanato de sodio, contribuiria para augmentar o teor de  $\text{CaCO}^3$  em que ellas são pauperrimas.

\*  
\*  
\*

Devido á presença de outros compostos alcalinos na agua, o caminho mais certo para se determinar o ponto exacto de saturação do carbonato de calcio na agua é mediante ensaio. Quando a agua não *soffre variações grandes nos seus constituintes salinos*, o ensaio não precisa ser executado diariamente.

No processo indicado por P. L. McLaughlin, admite-se que o gráu de subsaturação ou de supersaturação de uma agua (dentro dos limites requeridos para execução do ensaio), em uma dada alcalinidade e pH, é funcção do gráu de augmento ou diminuição da alcalinidade total da referida agua, depois do contacto com carbonato de calcio puro.

Para determinar-se o valôr do pH, no qual o ponto de saturação de uma agua subsaturada é attingido, basta augmentar o pH de uma amostra da referida agua, com cal, atravez de uma serie de pH de valores arbitrarios.

Determina-se, assim, o gráu de subsaturação ou supersaturação expressos em partes por milhão de alcalinidade total ganhas ou perdidas depois da amostra ser tratada com carbonato de calcio, como é dado no exemplo a seguir:

Colhe-se cerca de quatro litros de agua filtrada, tomada antes da applicação da cal para elevação do pH, em um frasco daquella capacidade.

O pH encontrado nessa amostra é 5,7, e a alcalinidade ao Methyl-Orange é 5,0 p. p. m. Cerca de 200 c. c. da amostra é transferido para um frasco de Erlenmayer. Adiciona-se a este uma colher de chá de  $\text{CaCO}^3$  chimicamente puro, precipitado, e agita-se durante cinco minutos. Deixa-se decantar o carbonato, filtra-se o liquido sobrenadante através de papel filtro e determina-se a alcalinidade na porção filtrada. A alcalinidade encontrada foi de 22 p. p. m., havendo, portanto, um augmento de 17 p. p. m. em relação á amostra original ( $22 - 5 = 17$ ). O augmento de alcalinidade é marcado em correspondencia com o pH da amostra original (5,7), de modo a ter-se o primeiro ponto da curva (Fig. 3)

Vae-se adicionando gradativamente agua de cal saturada á amostra original, de modo a determinar um augmento do pH; este foi elevado a 6,8. A alcalinidade neste pH foi de 9,0 p. p. m. Transfere-se 200 c. c. da amostra (de pH 6,8) para um frasco de Erlenmayer, como no primeiro caso, addiciona-se  $\text{CaCO}_3$ , agita-se 5 minutos, descanta-se, filtra-se e determina-se a alcalinidade. A alcalinidade encontrada foi de 20 p. p. m., o que corredonde a um augmento de 11 p. p. m. ( $20 - 9 = 11$ ), em relação á amostra á qual se tinha adicionado agua de cal saturada. O augmento de alcalinidade (11 p. p. m.) é marcado em correspondencia com o pH da amostra (6,8), constituindo o segundo ponto da curva.

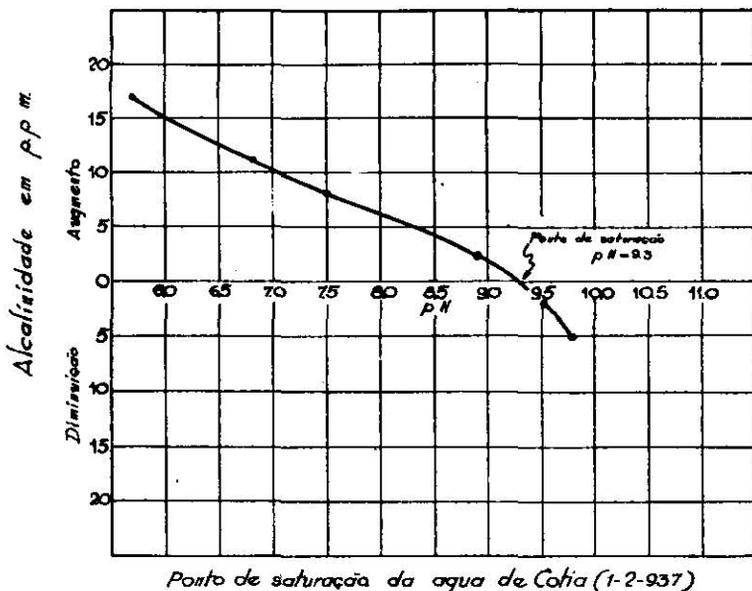


Fig. 3

Addiciona-se mais agua de cal saturada á amostra original, para elevar o pH. No caso presente o pH foi a 7,5. A alcalinidade foi de 11 p. p. m. Depois de adicionado o  $\text{CaCO}_3$ , como nos casos anteriores, a alcalinidade foi de 19 p. p. m., o que deu um augmento de 8,0 p. p. m. ( $19 - 11 = 8$ ).

Esse augmento marcado em correspondencia com o pH da amostra (7,5) deu o terceiro ponto da curva. Na vez seguinte, procedendo-se de maneira analogica, obtem-se um pH 8,9 e um augmento de alcalinidade de 2,5 p. p. m. que marcados em correspondencia deram o quarto ponto da curva.

Nessa ultima vez já se notou que a subsaturação era pequena, havendo um augmento de alcalinidade de apenas 2,5 p. p. m.

Nas duas vezes seguintes, procedendo-se como nas vezes anteriores, foram obtidos, depois da addição da agua da cal saturada, pH 9,5 e pH 9,8; a alcalinidade, antes da addição do  $\text{CaCO}_3$ , foi 19 p. p. m. e 23 p. p. m., e 17 p. p. m. e 18 p. p. m. depois da addição do  $\text{CaCO}_3$ . No pH 9,5 a alcalinidade diminuiu ( $17 - 19 = -2,0$ ), isto

é, tornou-se menor depois da applicação do  $\text{CaCO}_3$ . O mesmo se deu no pH 9,8, em que houve uma diminuição de alcalinidade de 5,0 p. p. m.

Com o pH 9,5 a agua já estava levemente supersaturada e parte do carbonato de calcio formado pela addição da agua de cal saturada era retirada. Essas duas alcalinidades marcadas como diminuição de alcalinidade, em correspondencia com os respectivos pH, dão mais dois pontos da curva. Esta, traçada, dá o equilibrio de saturação no ponto que a curva corta a linha correspondente a zero de augmento ou diminuição de alcalinidade, ponto esse que, no caso presente, corresponde a pH 9,3.

Depois de determinado o ponto de saturação, na pratica, é só addicionar á agua filtrada cal bastante para elevar o pH a 9,3 pouco mais ou menos.

Devido á influencia do gaz carbonico na solubilidade do  $\text{CaCO}_3$ , deve-se evitar, tanto quanto possivel, durante o ensaio, que as amostras estejam em contacto com o ar, retirando-se as amostras com pipetas e evitando as agitações violentas. Os ensaios devem tambem ser executados em temperatura ambiente que se acredita não occasionar erro apreciavel.

O exemplo dado acima e repetido a seguir, é referente á agua dos filtros de Cotia.

Amostras de agua filtrada, de Cotia, ensaida em 1-2-937.

pH 5,7 Alc. 5	$\text{CaCO}_3$ add. mist. dec. e filt.	Alc. 22	Subsaturação + 17
Add. de cal pH 6,8 Alc. 9	$\text{CaCO}_3$ add. etc.	Alc. 20	Subsaturação + 11
Add. de cal pH 7,5 Alc. 11	$\text{CaCO}_3$ add. etc.	Alc. 19	Subsaturação + 8
Add. de cal pH 8,9 Alc. 14,5	$\text{CaCO}_3$ add. etc.	Alc. 17	Subsaturação + 2,5
Add. de cal pH 9,5 Alc. 19	$\text{CaCO}_3$ add. etc.	Alc. 17	Subsaturação - 2
Add. de cal. pH 9,8 Alc. 23	$\text{CaCO}_3$ add. etc.	Alc. 18	Supersaturação - 5

Certas aguas mudam de composição de tempos em tempos, augmentando ou diminuindo a alcalinidade e outros compostos alcalinos que affectam o ponto de saturação do carbonato. Nas nossas aguas, pobres em constituintes salinos, essas variações são praticamente inexistentes.

Para uma dada agua, os pontos de saturação pódem ser determinados pelo processo acima, para varias alcalinidades, traçando-se a curva de saturação de accôrdo com os diversos valores encontrados.

A figura 4 representa uma curva dada por McLaughlin, traçada com dados fornecidos pela agua de Charleston.

Com essa curva, o numero de ensaios para determinação do ponto optimo pode ser reduzido, bastando, de vez em quando, fazel-o para contróle. Para encontrar-se o pH correspondente ao ponto de equilibrio do carbonato de calcio bastará fazer-se a determinação da alcalinidade total da agua a ser tratada.

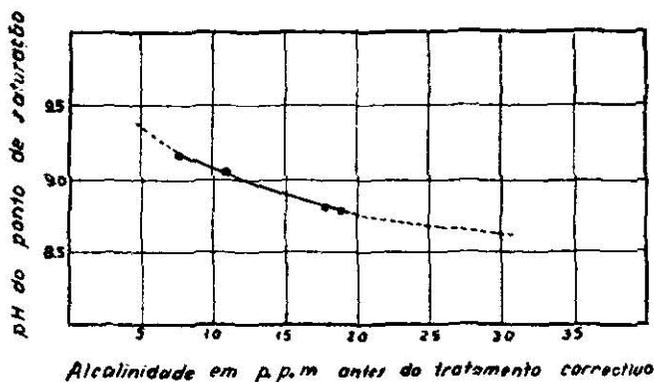


Fig. 4

Baylis aconselha o seguinte processo para a determinação do equilibrio de saturação do carbonato de calcio.

Deve-se utilizar, como capacidade conveniente, um frasco de um litro, de rolha esmerilhada, de vidro perfeitamente insolúvel, tal como o vidro Pyrex. Colloca-se no frasco cerca de 200 grs. de carbonato de calcio finamente pulverisado e lava-se com a propria agua que vae ser ensaiada.

Depois de agitar-se a agua com o carbonato, por alguns minutos, deixa-se permanecer por algum tempo, até todo o carbonato decantar. Deixa-se escôar o liquido sobrenadante e repete-se a operação duas ou três vezes. Adiciona-se em seguida agua da mesma fonte que vae ser ensaiada e deixa-se permanecer em contacto com o carbonato de calcio durante uma noite. É preferivel adicionar-se a agua no começo do dia e agitar-se durante o dia.

O carbonato está, assim, prompto para ser usado para o ensaio.

Escôa-se a agua tanto quanto possivel e adiciona-se ao frasco a que vae ser ensaiada, enchendo-o completamente, de modo a não ficar espaço cheio de ar. Mistura-se perfeitamente o carbonato e a agua, em intervallos frequentes, durante 24 horas no minimo; pódese tambem fazer a mistura sómente durante o dia, porém, no minimo durante dois dias, deixando-se em repouso uma noite antes de tomar-se a amostra para o ensaio. Quando se dispõe de uma machina para

agitação, com a qual se possa conservar o carbonato sempre misturado com a agua, o equilibrio possivelmente póde ser estabelecido em 6 a 8 horas; comtudo é aconselhavel agitar-se por tempo mais longo. Depois de se considerar que o equilibrio já está estabelecido, é melhor deixar a amostra ficar em repouso por uma noite, antes do ensaio.

Quando se destampa o frasco para tomar-se a porção de agua para o ensaio, retira-se com uma pipeta um pouco dagua de proximo do centro do frasco, para determinar o pH, sem permittir que ella fique em contacto com o ar mais do que o necessario. Determina-se o pH tão rapidamente quanto possivel para evitar que haja tempo para absorção do  $\text{CO}^2$  do ar. A amostra retirada, assim, do centro do frasco, depois de permanecer uma noite, deve ser perfeitamente clara. Si fôr verificada alcalinidade de mono-carbonatos, deve-se tirar bastante liquido claro para fazer o ensaio.

A agua para fazer a alcalinidade total deve ser filtrada atravez de papel, mas a que se destina á alcalinidade do mono-carbonato e ao pH não precisa. O filtro para a alcalinidade total deve ser de 12 a 15 cms. de diametro, lavado convenientemnte antes de usar. Dispensa-se no minimo 100 cc. da primeira agua filtrada e depois filtra-se o bastante para fazer a prova.

Deve-se determinar o pH e a alcalinidade da agua antes de ser posta em contacto com o carbonato de calcio. Um augmento da alcalinidade, depois da agua estar em contacto com o carbonato, mostra que parte desse composto foi dissolvido e que a agua é corrosiva ao carbonato de calcio. Si a alcalinidade fôr diminuindo, houve precipitação do carbonato e a agua estava supersaturada com carbonato de calcio. Nenhuma mudança indica que ella está em equilibrio; o mesmo se dá quando não ha modificação apreciavel de pH.

Sendo verificado que a agua está abaixo da saturação, ou supersaturada, deve-se fazer o tratamento no sentido de attingir o ponto de saturação. Não são precisos, geralmente, mais que duas ou três provas para determinar-se o equilibrio exacto.

O carbonato de calcio pulverisado póde ser usado para diversas provas, mas o frasco deve ser conservado cheio com agua identica á que deve ser ensaiada.

Entre os dois processos, o de Mc Laughlin, comquanto não se possa assegurar a ausencia de erro, é o que permittte ensaio mais rapido. Elle tem sido applicado com successo para aguas de alcalinidades baixas, em varias installações de tratamento, nos Estados Unidos

No estudo do tratamento das nossas aguas, tendo-se em vista a corrosão, como já dissemos, temos que considerar que parte das aguas do nosso abastecimento são tratadas completamente, para ficar dentro das exigencias de potabilidade, e outra parte, bem menor e que necessita de tratamento completo, é apenas chlorada.

As aguas com tratamento completo são as de Santo Amaro e de Cotia. As de Cotia, tratadas ha cerca de 20 annos, porém, com installações inadequadas, de sorte que o material que escapa á decantação,

não sendo retido pelos filtros antigos, é carregado pela agua para a rede de abastecimento. Esse material em suspensão vem engrossar as incrustações que se formam nos canos. Essa situação, entretanto, ficou normalisada depois da inauguração da nova estação de tratamento.

As aguas apenas chloradas são: as do Cabuçú, as do Guarahú, as que vão ter á caixa de Juncção, as dos tanques da Cantareira e as dos Poços Profundos do Belemzinho.

As aguas de Santo Amaro, como tambem as de Cotia, in-natura, têm um residuo fixo de approximadamente 30 p. p. m., pH por volta de 6,3, alcalinidade ao M.O. de 8-9 p.p.m. (em  $\text{CaCO}_3$ ), gaz carbonico livre de 2-4 p.p.m. e dureza nunca superior a 3,5 p.p.m. Depois do tratamento pelo sulfato de aluminio e cal, o pH baixa a numeros que vão de 5,5 a 5,9. que é geralmente a zona onde se encontra o pH optimo de flóculação. O pH da agua filtrada está dentro desses limites; a alcalinidade fica reduzida a 3-5 p.p.m.; o gaz carbonico livre vae a 3-6 p.p.m. O pH da agua filtrada era elevado, depois da filtração, a 7,5, pouco mais ou menos, pela addição da cal, havendo ainda uma pequena quantidade de  $\text{CO}_2$  livre (1-2 p.p.m.).

De pouco tempo para cá o pH da agua filtrada foi elevado, de modo a ser mantido nas vizinhas de 8,0.

Nas demais aguas de superficie que são apenas chloradas, o pH anda entre 6,3 - 6,9, o residuo entre 15 á 40 p.p.m., a alcalinidade entre 8 a 15 p.p.m. e o gaz carbonico livre varia de 3 a 6 p.p.m. Entre ellas, as do Cabuçú são as que apresentam maior alcalinidade (12-15 p.p.m.); seu pH é geralmente mais elevado que o das demais, porém, inferior a 7: apresentam tambem o teor de ferro geralmente entre 1 e 2 p.p.m. e trazem, em certas épocas, ainda que por periodos relativamente curtos, certa quantidade de manganez, que, assim como o ferro, contribue para augmentar os depositos nas canalisações.

As aguas dos poços do Belemzinho são mais mineralizadas. O seu residuo é de cerca de 170 p.p.m.; alcalinidade 60-70 p.p.m.;  $\text{CO}_2$  livre por volta de 9 p.p.m.

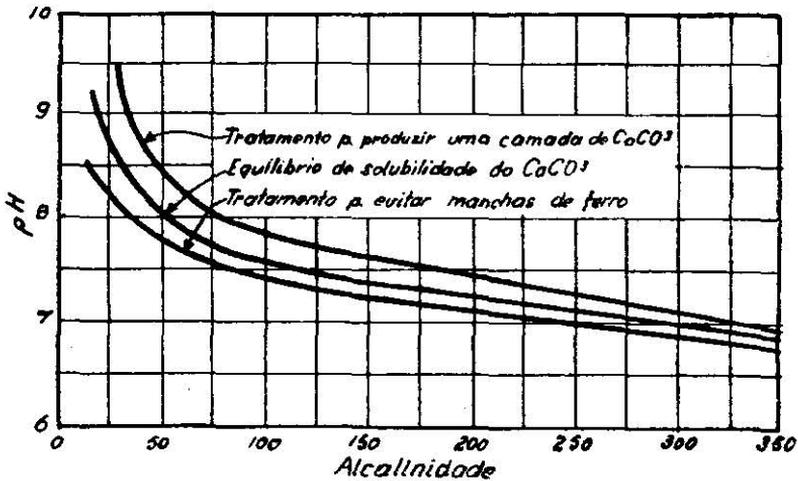
Como se vê, as nossas aguas, com excepção das dos poços do Belemzinho, cujo volume é de 8.000 m.<sup>3</sup> /24 horas, approximadamente, e que muito brève vão ser retiradas do abastecimento, são pauperrias em constituintes salinos, com dureza e alcalinidade fraquissimas. Offerecem todas ellas condições favoraveis á corrosão.

O tratamento preventivo da corrosão deve ser extensivo a todas ellas. Aliás, todas as aguas que são apenas chloradas, com excepção das dos poços, necessitam de tratamento completo; as suas condições de potabilidade são más durante quasi todo o anno. Seria mais conveniente que o tratamento preventivo da corrosão fôsse applicado nessas aguas ao mesmo tempo que o tratamento correctivo da potabilidade, mesmo porque, acreditamos que a alcalinização dellas, como se apresentam actualmente, póde dar ensejo a precipitações nocivas.

No tratamento das aguas, tendo em vista a corrosão, é commum levar-se tal tratamento a um ponto onde as manifestações decorrentes da corrosão, taes como as aguas ferruginosas, manchas dos appare-

lhos sanitarios, sejam impedidas. Porém, a maior parte do ferro corroido é depositada proxima de onde a corrosão se processa, formando os tuberculos que reduzem a secção dos encanamentos.

A fig. 5 dá, approximadamente, a relação entre o pH e alcalinidade para o tratamento adequado, preventivo da corrosão. A curva inferior correspondente ao tratamento quando se deseja sómente evitar manchas em aparelhos sanitarios, etc., ou aguas ferruginosas; a curva do meio corresponde ao equilibrio da solubilidade do carbonato de calcio; e a superior ao tratamento com o qual se obtem uma camada protectora de carbonato de calcio.



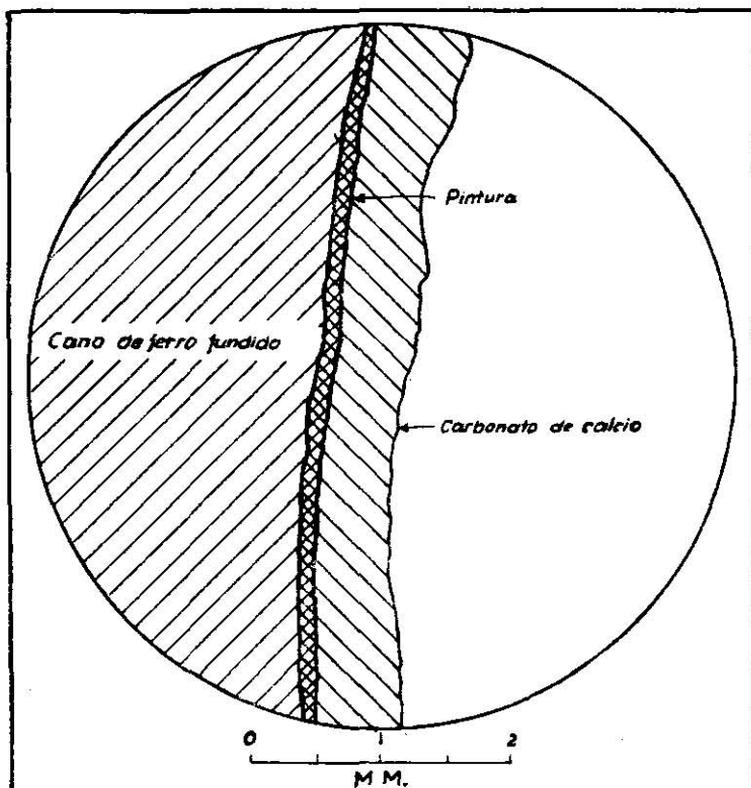
Relação entre o pH e alcalinidade para o tratamento adequado da agua preventivo da corrosão.

Fig. 5

De um modo geral, a saturação da agua com o carbonato de calcio é o tratamento mais desejavel. Entretanto, quando se trata de aguas de pequena dureza, como as nossas, deve-se manter, por certo tempo, uma leve supersaturação de carbonato, para formar a camada protectora. Onde a alcalinidade do carbonato de calcio é inferior a 30 p. p. m., a applicação da cal, para produzir uma leve supersaturação, precisa ser feita com consideravel cuidado, para que não haja alcalinidade caustica. Depois que se obtiver a formação de uma camada fina no interior da canalisação, a agua poderá ser mantida todo o tempo saturada com carbonato que praticamente conserva a camada formada, evitando que seja dissolvida.

As aguas muito molles oferecem mais difficuldades para a protecção, por ser difficil manter o equilibrio exactamente no ponto de saturação. Nas grandes installações, onde ha pessoal habilitado, poderá ser mantido o equilibrio desejado, com certa constancia. As curvas das figs. 3 e 7 dão os pontos de saturação para as aguas de Cotia e Santo Amaro, na occasião em que foram feitos os ensaios. Para ob-

ter-se uma leve supersaturação capaz de formar uma pellicula protectora, o pH deverá ser levado pouco acima dos pontos de saturação encontrados, bem controladas as alcalinidades ao Methylorange e ao Phenolphthaleina, para que não haja alcalinidade caustica.



*Desenho, com camera lucida, da camada protectora de carbonato de cálcio, de canalisações em Nova Orleans.*

Fig. 6

Comquanto consideremos difficil manter-se uma installação para a correccão das aguas que ainda não soffrem tratamento completo ensaiamos tambem a agua do Cabuquí, cujo ponto de saturação é dado na curva da fig. 8.

Diante do exposto, o tratamento correctivo para produzir uma leve supersaturação de carbonato de cálcio, deve ser posto em pratica nas estações de tratamento de Santo Amaro e Cotia e estendido ás outras aguas do abastecimento juntamente com o tratamento completo de que ellas necessitam.

Como já dissémos anteriormente, é aconselhavel, depois da applicação da cal, submeter-se a agua a um periodo de agitação, de modo a assegurar-se a dissolução completa das particulas não dissolvidas

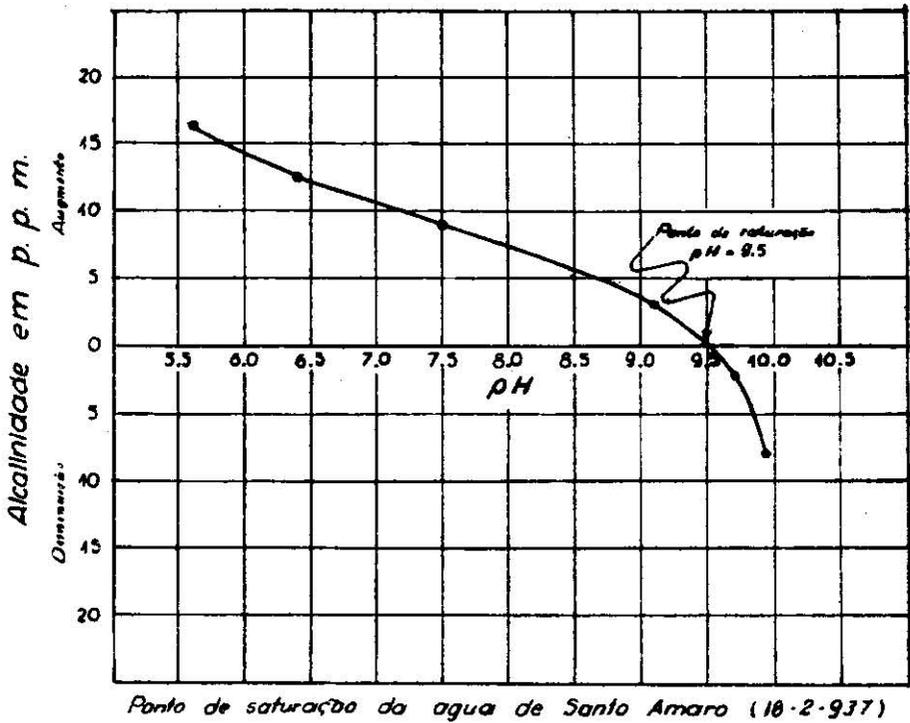


Fig. 7

que iriam depositar-se nas canalizações, como também permittir a decantação de impurezas contidas no cal.

No caso de Santo Amaro a agitação é dispensavel, visto a cal ser applicada sôb forma de agua de cal saturada, na qual o  $\text{Ca}(\text{OH})^2$  está todo dissolvido. O mesmo não se dá em Cotia, onde a cal é applicada sôb forma de leite de cal que leva para a agua a cal em suspensão e as impurezas finas que a acompanham.

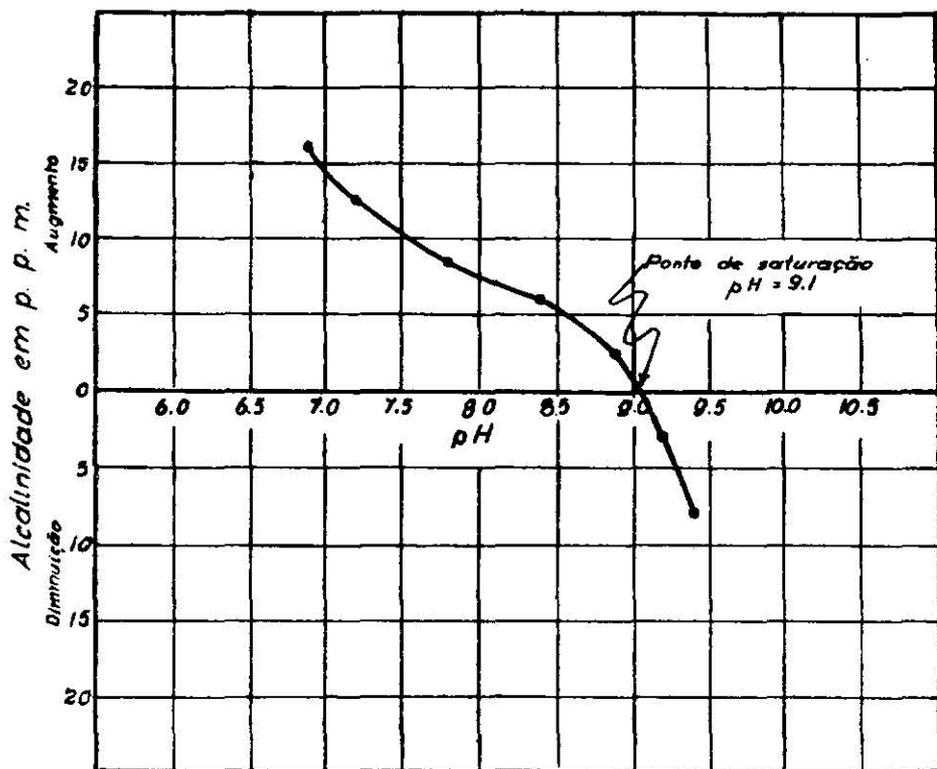
Para pôr em pratica o tratamento correctivo, suggerimos o seguinte:

1) — A adopção de dispositivos misturadores na installação de Cotia, podendo-se, em caracter de experiencia, inicial-o com a installação tal como está, porém, observando-se cuidadosamente o aqueducto para que a formação de depositos de substancias insolueis não venha prejudicar a sua vasão.

2) — Submitter as canalizações em serviço á limpeza mecanica, na medida do possivel, para que a camada protectora não venha a se formar sobre superficie rugosa ou tuberculizada.

3) — Collocar em pontos da adductora e da rêde de distribuição tubulações inspeccionaveis, afim de que se possa observar a formação da camada protectora.

4) — Submitter a tratamento completo as aguas dos outros mananciaes, que actualmente são apenas chloradas, de modo a ter-se no abastecimento aguas de qualidade praticamente uniformes.



Ponto de saturação da agua de Cabuçu (3-9-36)

Fig. 8

5) — Submeter á acção das diversas aguas utilizadas no abastecimento de São Paulo, corpos de provas representados por canalisações de diversos materiaes, taes como: tubos revestidos internamente de cimento, tubos de cimento e amiantho, tubos de cobre e de latão (para ligações domesticas), etc., afim de poder-se, depois de algum tempo, formar um juizo sobre o modo de se comportar desses materiaes em relação ás nossas aguas.