

**COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF  
DIRETORIA DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO - DE  
SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO- SPE  
DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE - DMA  
DIVISÃO DE MEIO AMBIENTE DE GERAÇÃO - DEMG**

**EXTENSÃO MÁXIMA DA CUNHA SALINA NO  
ESTUÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO NA MARÉ  
DE SIZÍGIA DO DIA 9 DE JANEIRO DE 2008.**

Prof. Dr. Arno Maschmann de Oliveira  
Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros  
Eng. Civil Arthur de Oliveira Hernandez  
Estudante André Araújo de Oliveira  
Estudante Wilson da Silva

31 de Janeiro de 2008



## 1- INTRODUÇÃO

Considerando a gradativa redução das vazões que se inicia no mês de janeiro de 2008, devido às secas, a equipe de pesquisadores da cunha salina apresenta os resultados do Monitoramento referente ao mês de janeiro de 2008. A distribuição longitudinal da cunha salina no estuário do rio São Francisco durante a preamar da maré de Sizígia do dia 09 de janeiro de 2008 é um dos resultados mais importantes porque é durante a preamar das marés de Sizígia que ocorrem as maiores intrusões salinas no estuário do rio São Francisco.

Outrossim, esclarecemos que estes resultados se referem apenas à maré de preamar de Sizígia por esta ser de maior amplitude que a de quadratura e, conseqüentemente, de maior penetração e efeitos no Estuário.

## 2- METODOLOGIA DA PESQUISA REALIZADA

### 2.1 Equipe de campo

A equipe para levantamento de campo deverá contar com quatro técnicos, no mínimo, podendo incluir estudantes estagiários, mas deverá sempre incluir pelo menos um oceanógrafo com experiência em levantamentos de cunha salina.

### 2.2 Localização e Georreferenciamento das estações de medição

A variação temporal da cunha salina será medida na mesma estação hidrométrica do monitoramento da CHESF no período de 2005 a 2007. E as estações ao longo do talvegue do canal principal, por onde se propaga a cunha salina nas preamares, serão determinados durante a primeira campanha de medição, contando no mínimo com 12 estações ou até que não ocorra cunha salina, ficando distanciadas entre si de 500 a 1000 m, de acordo com a variabilidade espacial da salinidade, sendo todos os pontos referenciados em UTM de Córrego Alegre.



### 2.3 Variação temporal da salinidade e velocidade

Para determinação da variabilidade temporal da salinidade e velocidade da penetração da cunha salina, durante as marés de Sizígia e de Quadratura, serão realizados levantamentos em um ponto próximo da foz, com intervalos de tempo de meia hora, durante dois ciclos completos de maré (25 horas), desde a superfície até o fundo com pontos de medição distanciados de 1 metro.

### 2.4 Variação espacial da cunha salina

Para determinação da forma e distância de penetração da cunha salina serão feitos levantamentos do perfil vertical da salinidade em pelo menos 12 estações distanciadas entre 500 a 1000 m. Cada perfil será formado por pontos de medição distanciados de 1 m na vertical, durante as preamares de Sizígia em diversas estações ao longo do talvegue do canal principal por onde a cunha salina mais se estende, de maneira resulte uma vista lateral de distância da foz versus profundidade.

Adicionalmente será medido durante as preamares, em todas as estações ao longo do talvegue do canal principal, na superfície e no fundo os sólidos totais dissolvidos, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica.

### 2.5 Parâmetros a serem medidos com os equipamentos disponibilizados:

- a) Navegação: Barco tipo traineira com cabine e convés cobertos, equipado com todos os acessórios de navegação e segurança requeridos pela Capitania do Portos;
- b) Georreferenciamento: um GPS marca Garmim modelo II Plus, com indicação de 1 m;
- c) Determinação da profundidade: um ecobatímetro marca MAVMAN modelo Fish450 com indicação de 0,1 m;
- d) Determinação da salinidade será utilizada um termosalinômetro marca WTW modelo 197, com indicação de 0,1 ups.



e) Determinação da velocidade da corrente: Correntômetro com hélice de savonius marca e modelo Mini-digi-Kartran com indicação de velocidades de 0,01 m/s, equipado com guincho hidrométrico marca hidrologia com 20 m de cabo e defletor de correntes de 25 kg.

f) Determinação dos sólidos totais dissolvidos com indicação de 0,01 g/l, pH com indicação de 0,01 unidades, oxigênio dissolvido com indicação de 0,001 g/l, condutividade elétrica com indicação de 0,001 mSi/cm<sup>2</sup>: Sonda multiparamétrica marca YSI modelo SD 6600.

### 3- RESULTADOS

Os resultados parciais, desta pesquisa, com a distribuição longitudinal da cunha salina do dia 09 de janeiro de 2008, estão apresentados na forma de gráficos da distribuição da salinidade desde a superfície até as proximidades do fundo do canal. Deve-se notar que todos os gráficos da cunha salina trazem escalas verticais até oito metros de profundidade e horizontais com salinidade até 40 UPS, para facilitar as comparações entre perfis verticais de salinidade. Quando a cunha salina desapareceu nas figuras 15 e 16 a escala da salinidade foi ampliada para melhor visualização dos últimos traços de sal na coluna de água.



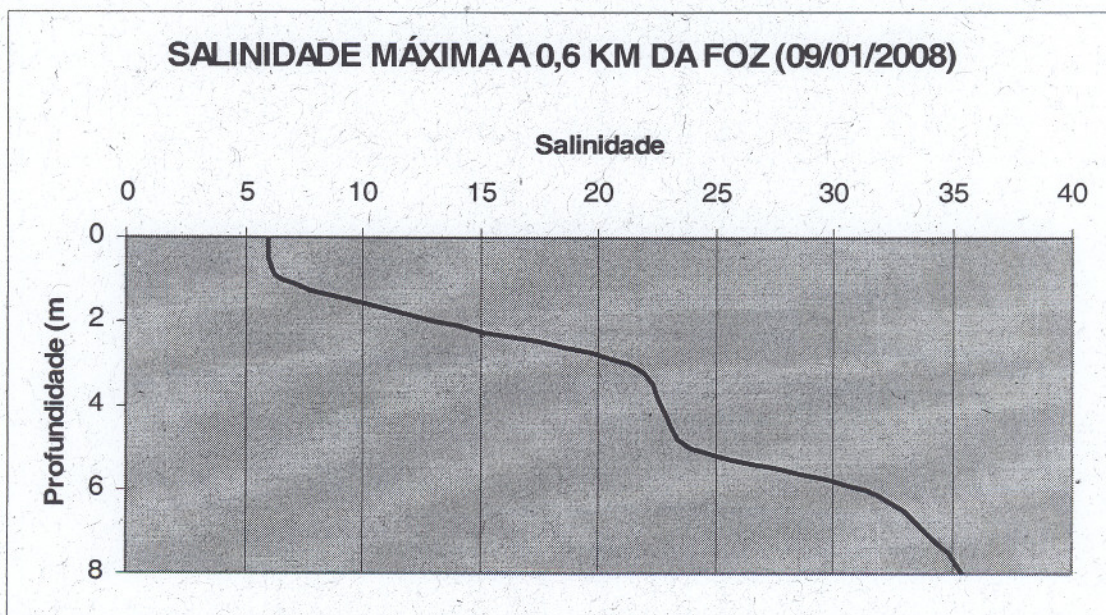
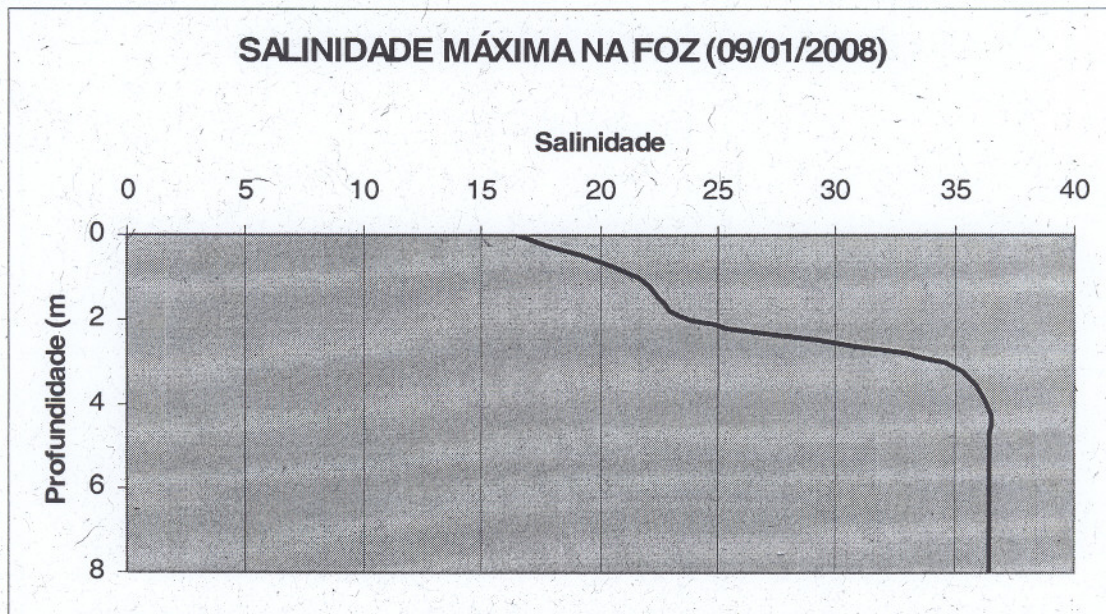


Fig. 1 e 2 Variação vertical da salinidade da cunha salina ao longo do talvegue do canal principal do estuário de rio São Francisco, Coordenadas UTM Córrego Alegre (25L0785349, 8838060) e (25L0785295, 8838629) respectivamente.



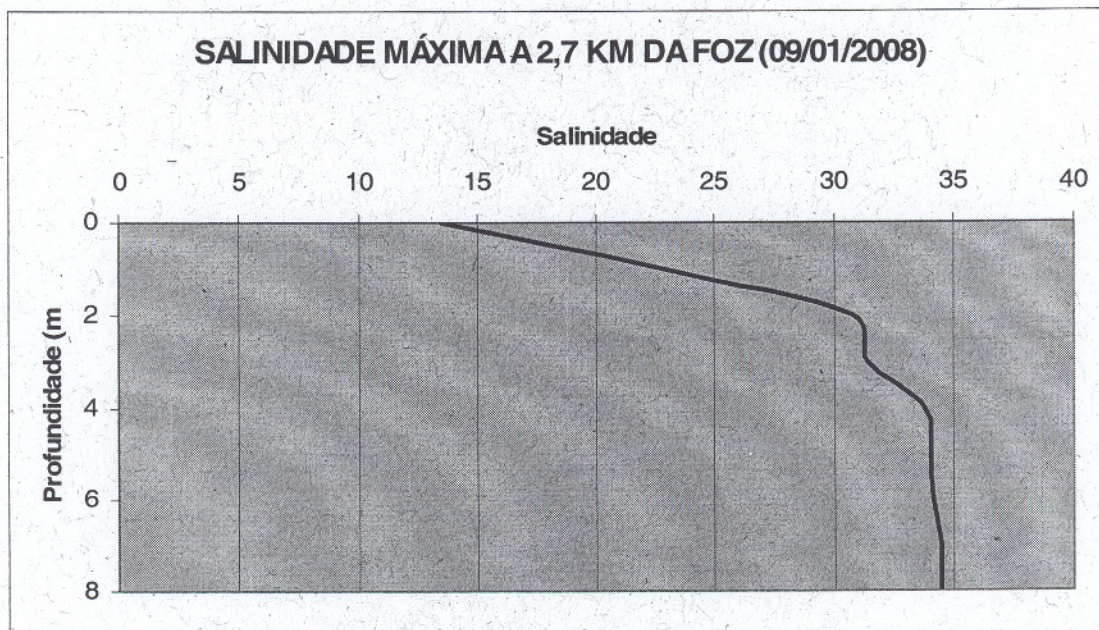
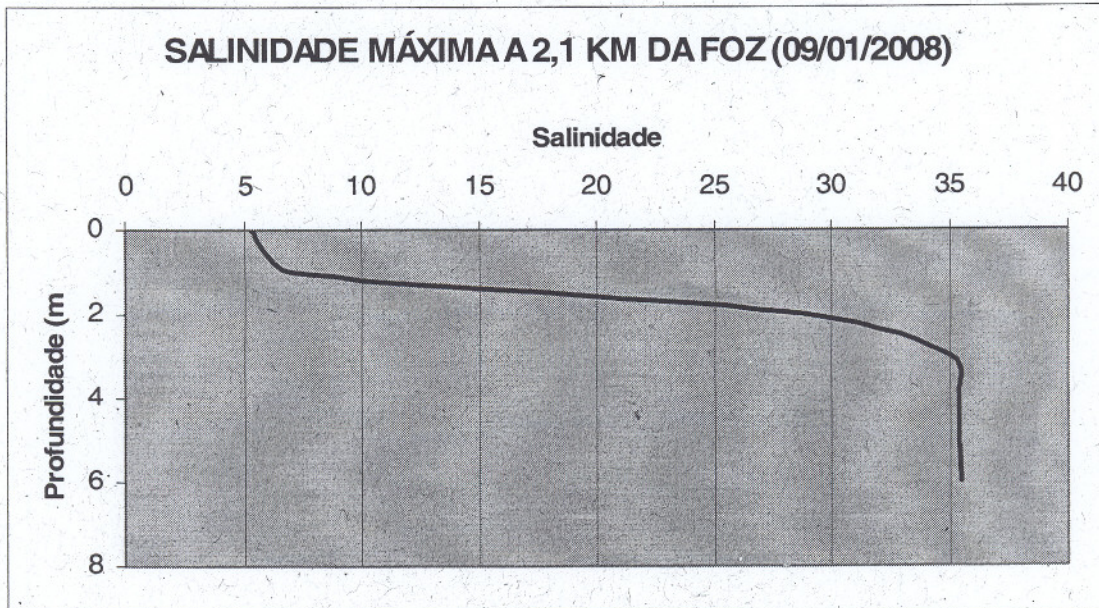


Fig. 3 e 4 Variação vertical da salinidade da cunha salina ao longo do talvegue do canal principal do estuário de rio São Francisco, Coordenadas UTM Córrego Alegre (25L0784870, 8839162) e (25L0784704, 8839955) respectivamente.



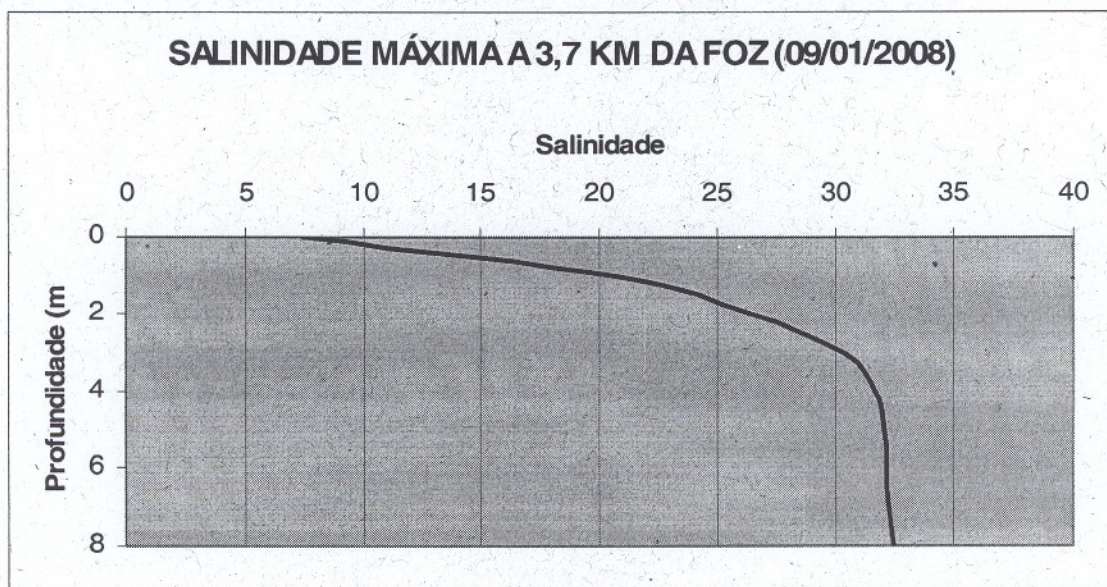
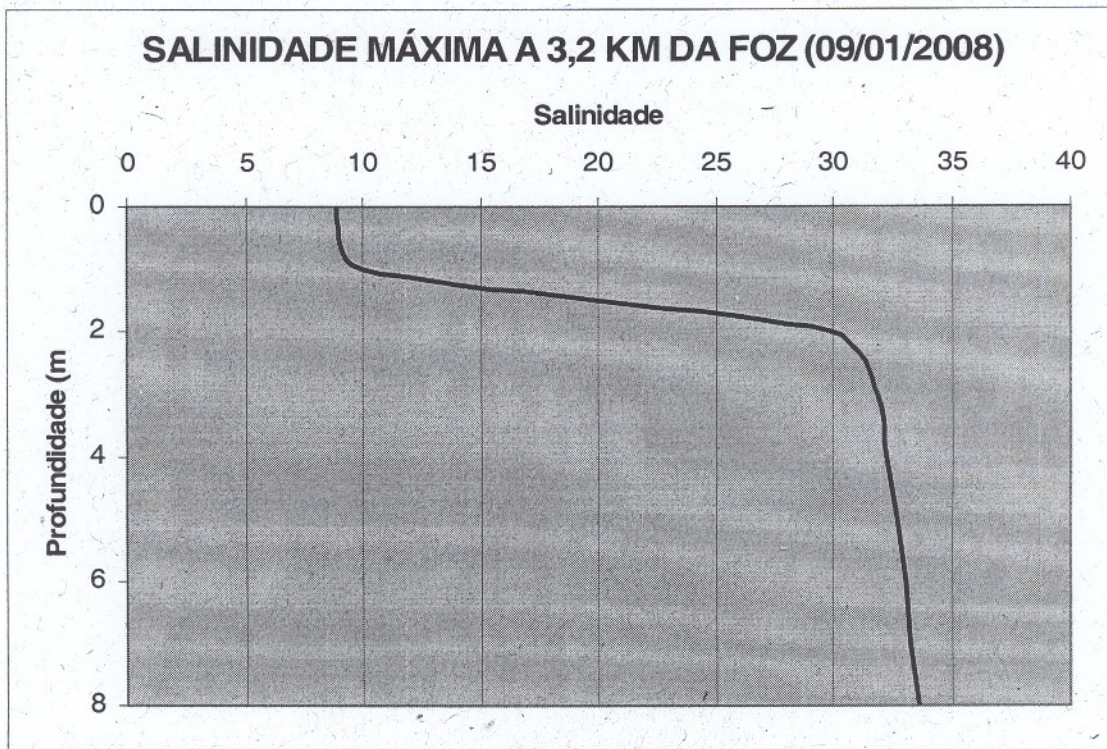


Fig. 5 e 6 Variação vertical da salinidade da cunha salina ao longo do talvegue do canal principal do estuário de rio São Francisco, Coordenadas UTM Córrego Alegre (25L0784676, 8840635) e (25L0784638, 8841109) respectivamente.



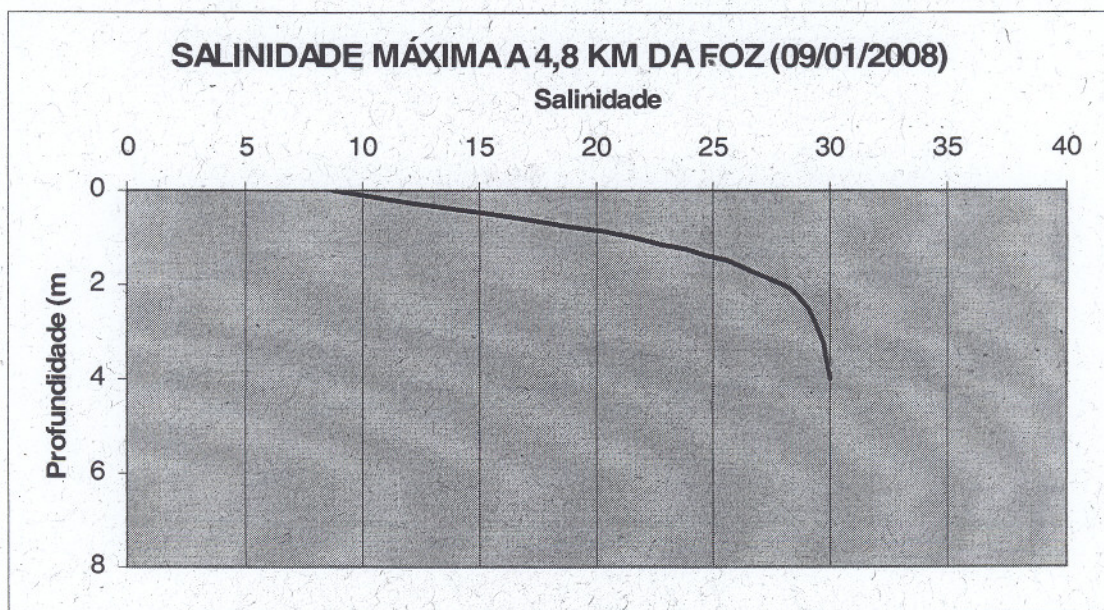
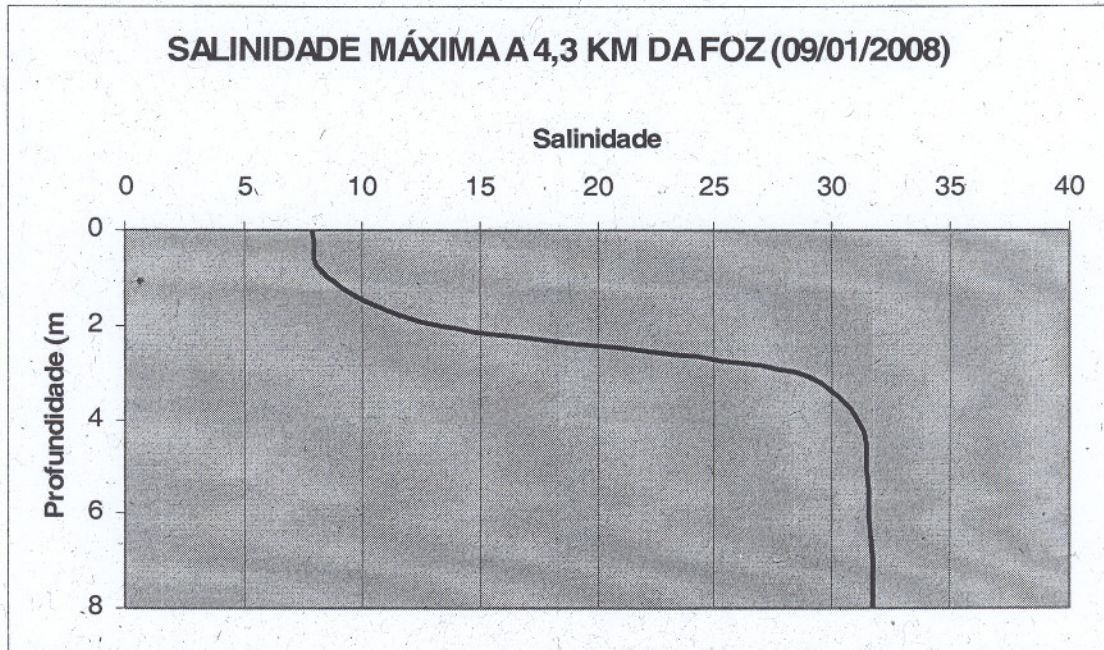


Fig. 7 e 8 Variação vertical da salinidade da cunha salina ao longo do talvegue do canal principal do estuário de rio São Francisco, Coordenadas UTM Córrego Alegre (25L0784450, 8841592) e (25L0784112, 8842020) respectivamente.



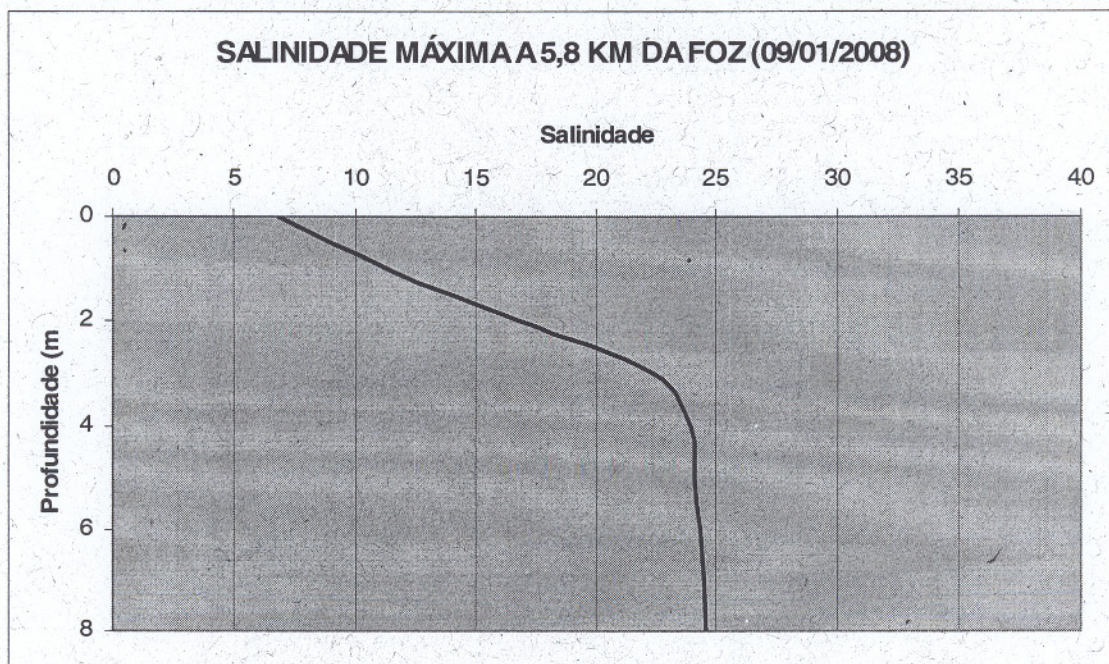
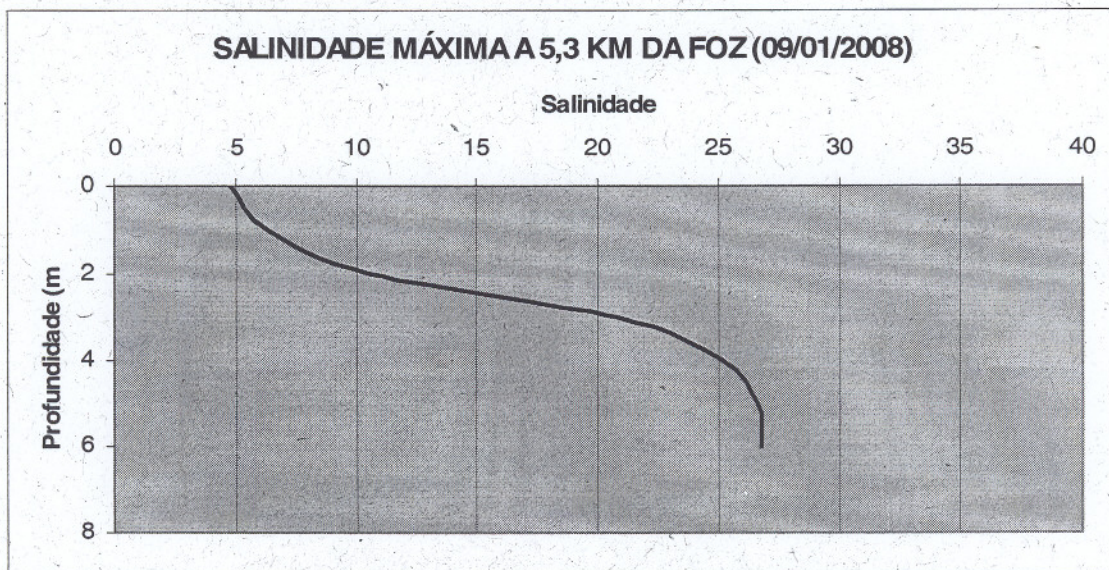


Fig. 9 e 10 Variação vertical da salinidade da cunha salina ao longo do talvegue do canal principal do estuário de rio São Francisco, Coordenadas UTM Córrego Alegre (25L0783812, 8842432) e (25L0783578, 8842872) respectivamente.



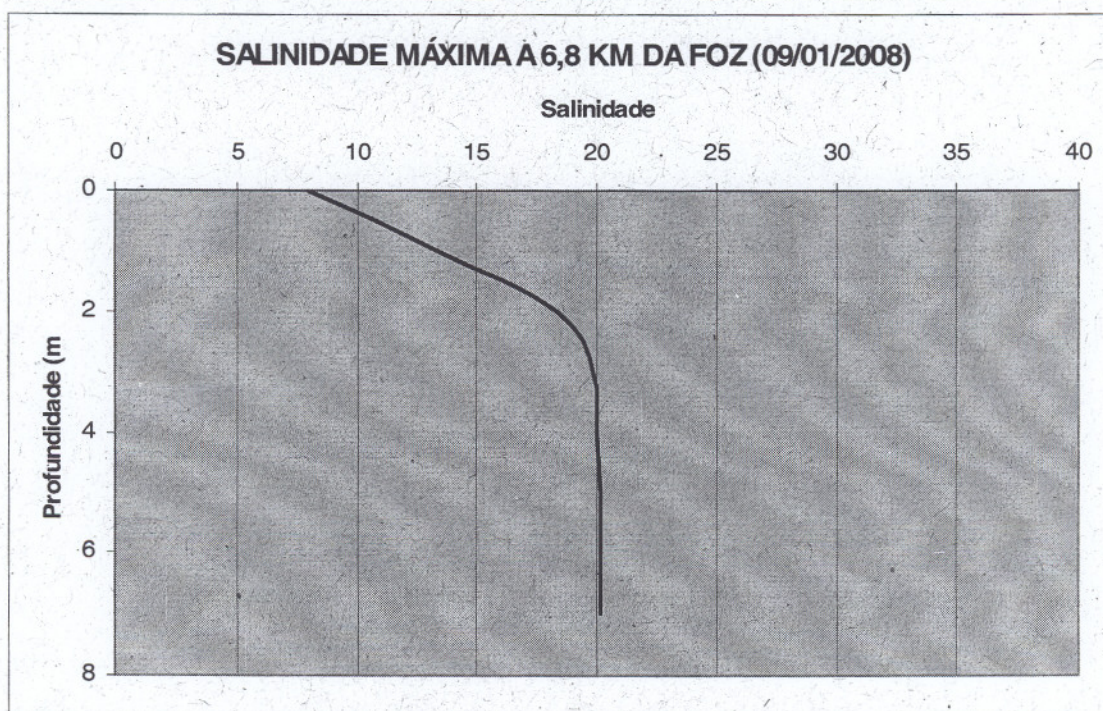
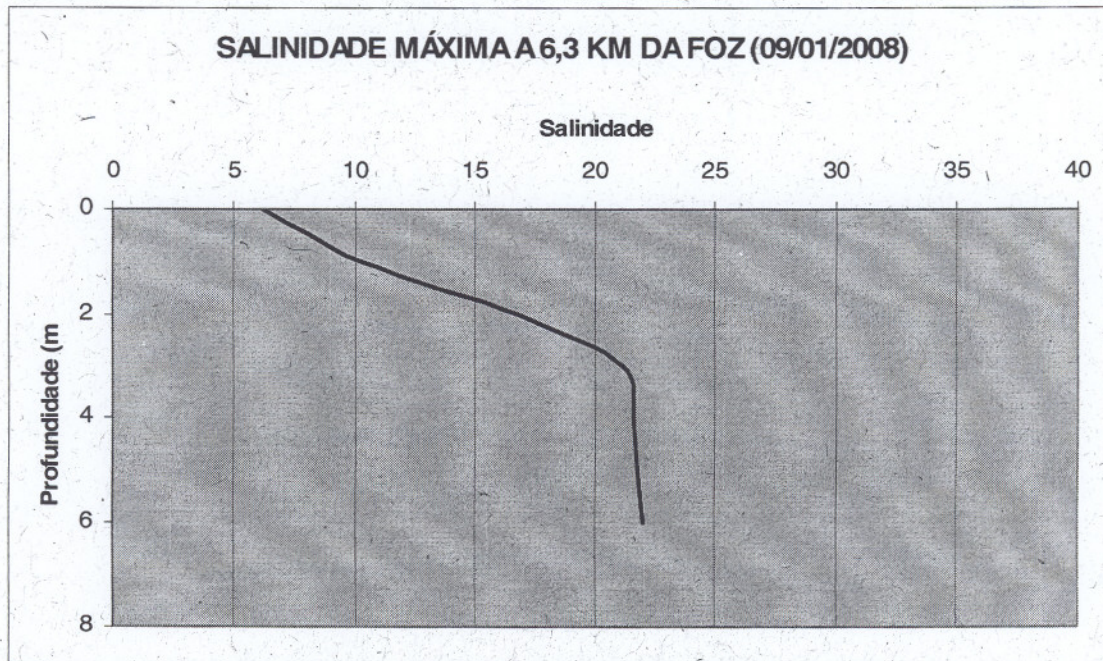


Fig. 11 e 12 Variação vertical da salinidade da cunha salina ao longo do talvegue do canal principal do estuário de rio São Francisco, Coordenadas UTM Córrego Alegre (25L0783336, 8843313) e (25L0783086, 8843764) respectivamente.



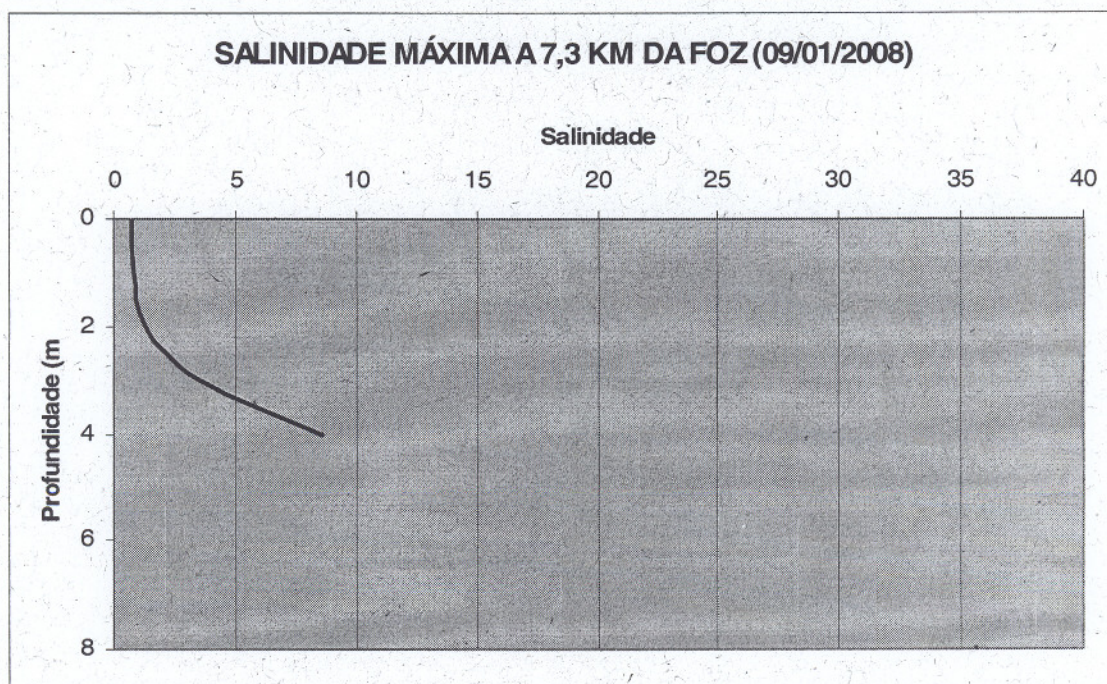
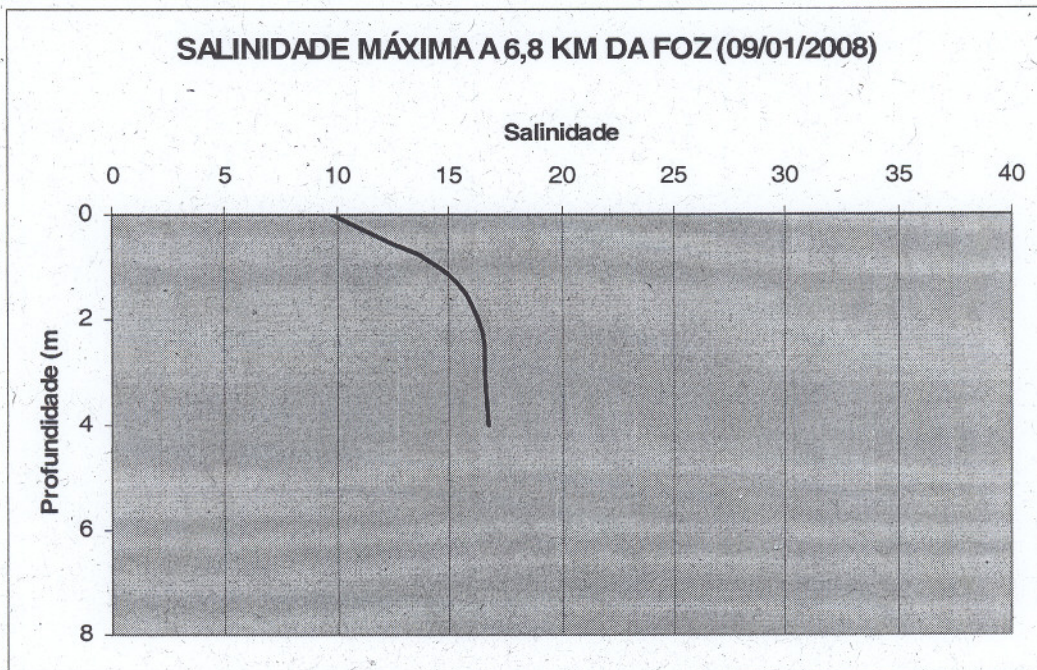


Fig. 13 e 14 Variação vertical da salinidade da cunha salina ao longo do talvegue do canal principal do estuário de rio São Francisco, Coordenadas UTM Córrego Alegre (25L0782809, 8844185) e (25L0782473, 8844557) respectivamente.



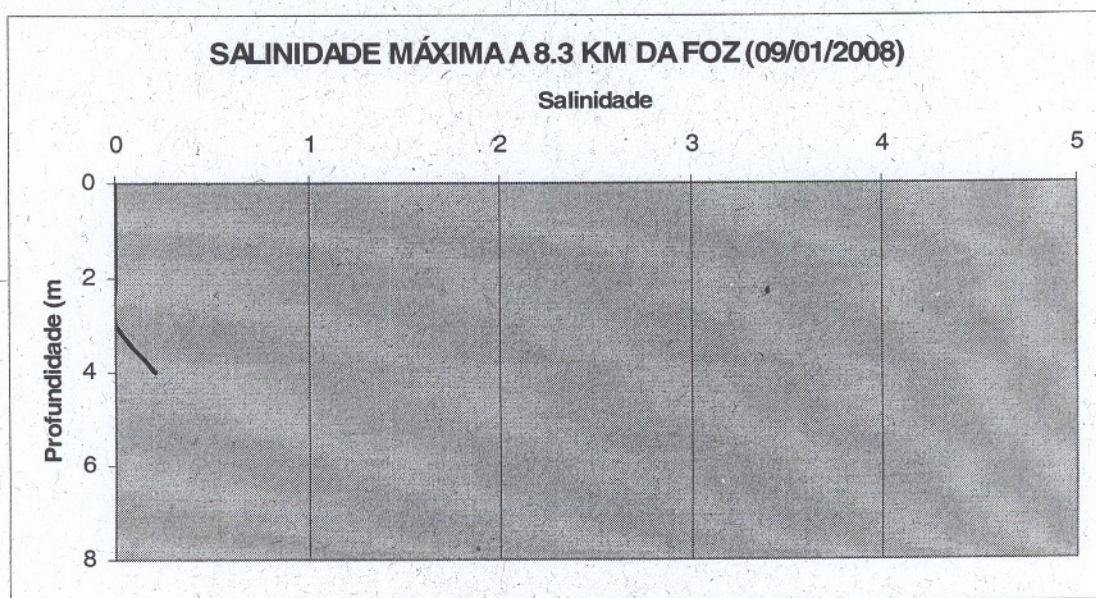
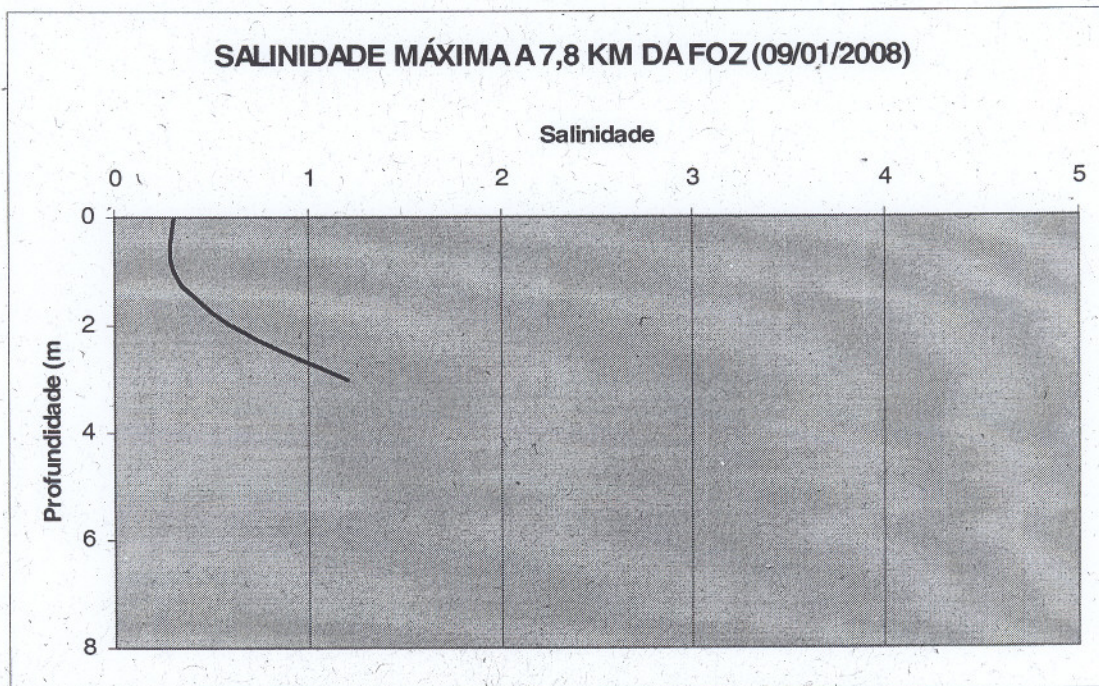


Fig. 15 e 16 Variação vertical da salinidade da cunha salina ao longo do talvegue do canal principal do estuário de rio São Francisco, Coordenadas UTM Córrego Alegre (25L0782178, 8844959) e (25L0781986, 8845413) respectivamente.



## DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Durante a preamar desta maré de Sizígia ocorreu uma típica penetração da cunha salina para pequenas vazões do rio São Francisco, quando o mesmo não tem força suficiente para empurrar a água salgada e mais densa do oceano.

Caso as vazões continuem se reduzindo a tendência desta cunha salina será a de se intensificar e se estender mais para montante, podendo até a atingir as proximidades da cidade de Piaçabuçu, tal como já ocorreu nas vazões históricas, de cerca de 800 m<sup>3</sup>/s, antes da regularização do rio com as barragens.

O registro das defluências totais médias diárias, a jusante de Xingo, durante a primeira quinzena de janeiro de 2008, oscilaram entre 1.296 m<sup>3</sup>/s (15/01) e 1.566 m<sup>3</sup>/s (09/01).

Caso as vazões do rio São Francisco, a partir da UHE de Xingó, venha a se reduzir para valores inferiores ao do período desta medição, recomendamos um monitoramento mensal com 25 horas de duração, durante a maré de Sizígia, com a mesma metodologia deste trabalho, porque mesmo que as vazões se mantenham uniformemente pequenas as marés possuem variações mensais,



**COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF  
DIRETORIA DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO - DE  
SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO- SPE  
DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE - DMA  
DIVISÃO DE MEIO AMBIENTE DE GERAÇÃO - DEMG**

**EXTENSÃO MÁXIMA DA CUNHA SÁLINA NO  
ESTUÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO NA MARÉ DE  
SIZÍGIA DO DIA 23 DE FEVEREIRO DE 2008.**

Prof. Dr. Arno Maschmann de Oliveira  
Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros  
Eng. Civil Arthur de Oliveira Hernandez

Fevereiro de 2008



## **1 APRESENTAÇÃO**

Estes são os resultados parciais dos levantamentos de campo da salinidade na foz do rio São Francisco, nos dias 09 de janeiro e 23 de fevereiro de 2008, em situações de marés idênticas, durante as preamarés das marés de Sizígia, quando ocorrem as maiores salinizações da foz, sendo a vazão do rio o único parâmetro que mudou neste período.

## **2 METODOLOGIA**

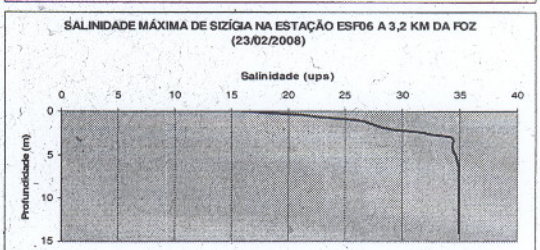
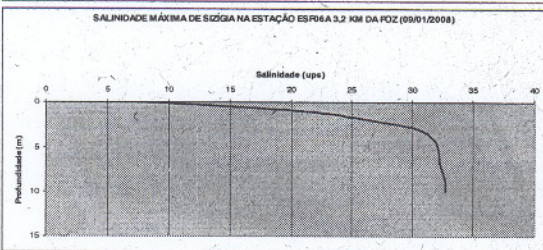
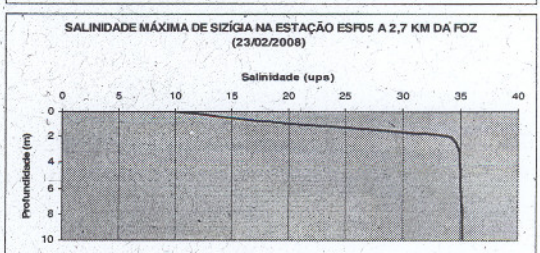
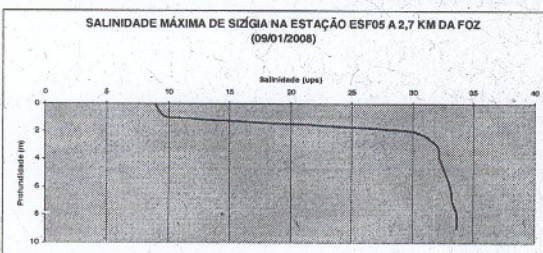
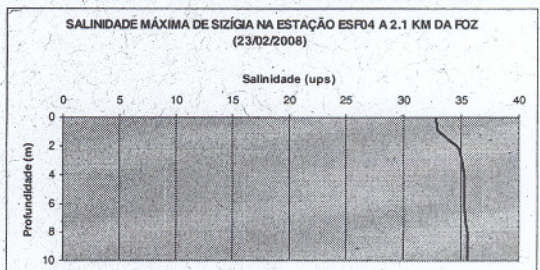
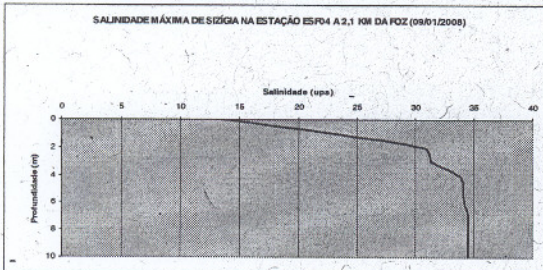
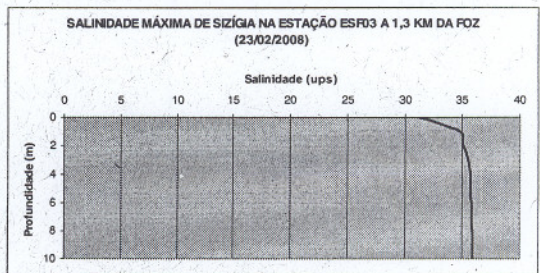
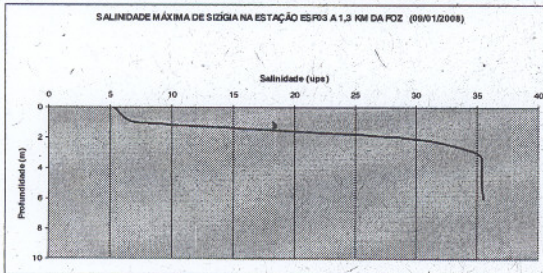
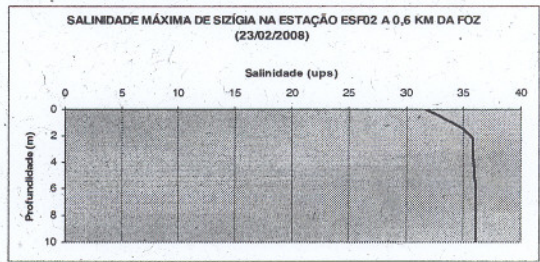
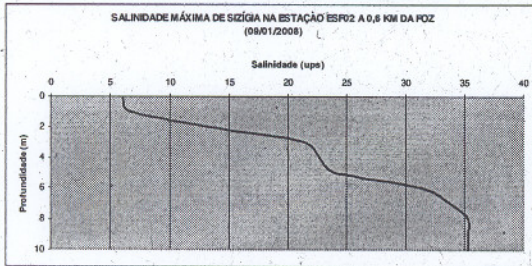
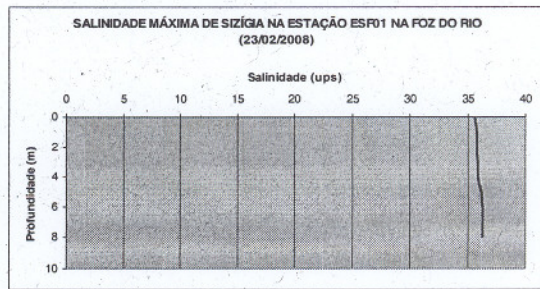
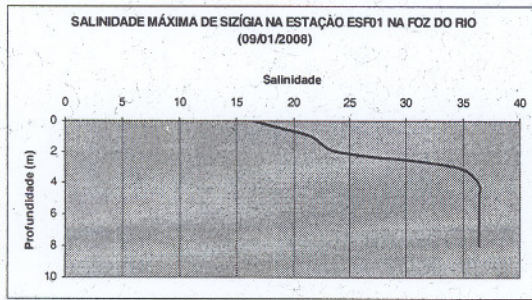
As medições de salinidade foram realizadas desde a superfície até próximo do fundo, desde a foz até as proximidades da cidade de Piaçabuçu, o alinhamento das estações seguiu o talvegue do rio, por onde a salinidade se propaga em uma maior distância, com a maioria dos pontos distanciados de cerca de 500 m.

Para se medir o perfil vertical de salinidade no momento da salinidade máxima se iniciou as perfilagens nas proximidades da foz no momento da salinidade máxima neste ponto e se deslocou na direção de montante com intervalo de tempo entre cada estação de aproximadamente 5 minutos, o que corresponde aproximadamente ao tempo do deslocamento da onda de máxima salinidade entre uma estação e outra, neste estuário.

## **3 RESULTADOS**

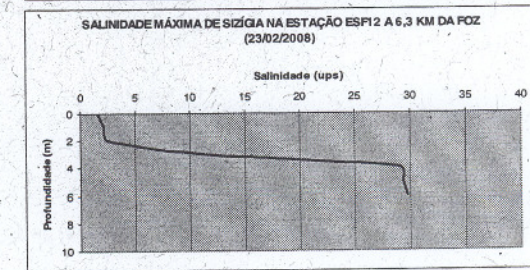
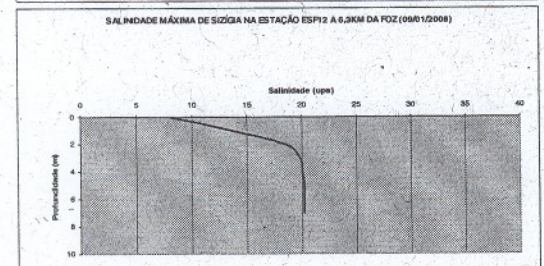
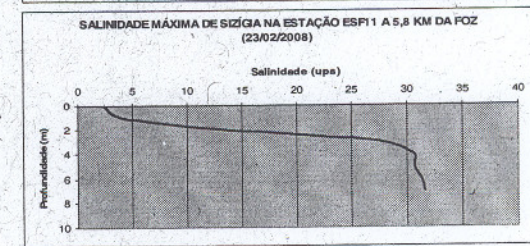
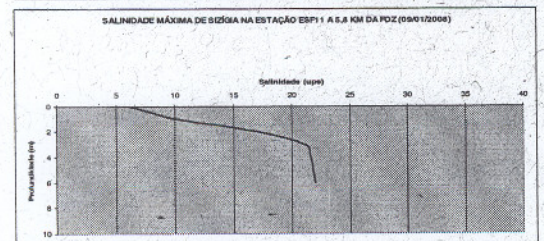
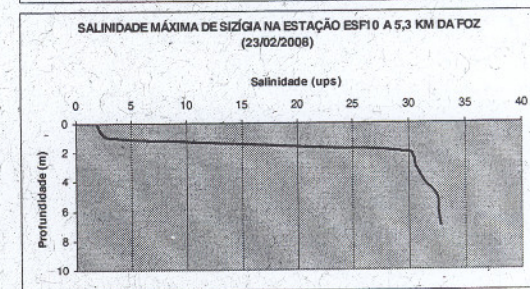
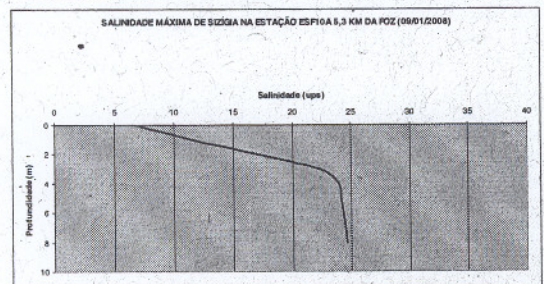
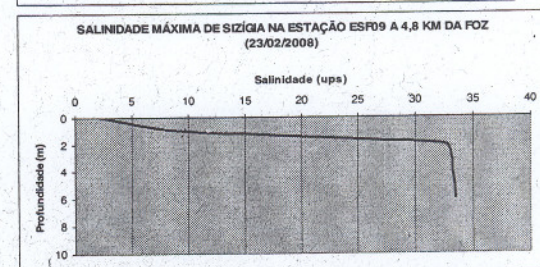
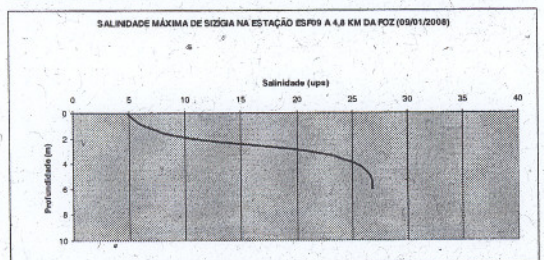
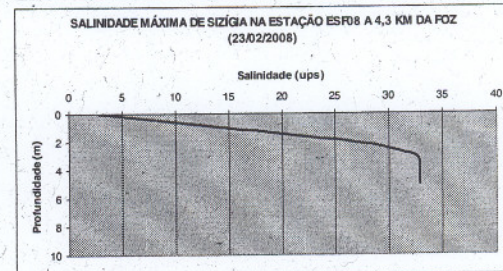
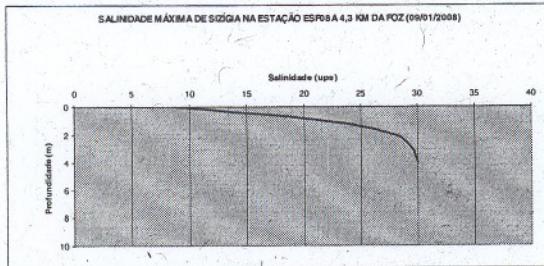
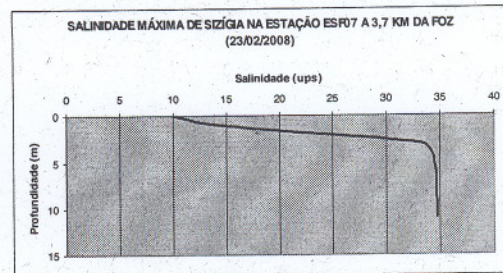
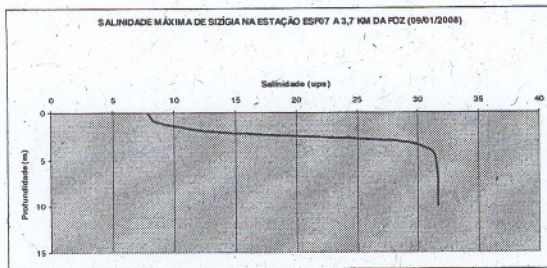
Os resultados parciais destas campanhas estão apresentados a seguir na forma gráfica em pares, para facilitar as comparações entre os perfis de salinidade de 09 de janeiro e de 23 de fevereiro de 2008.





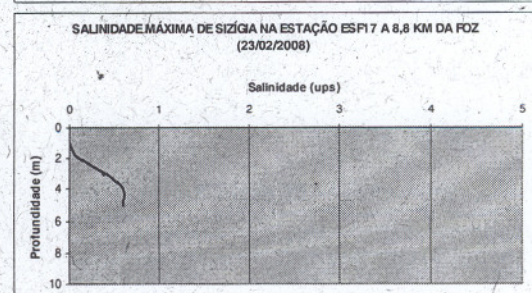
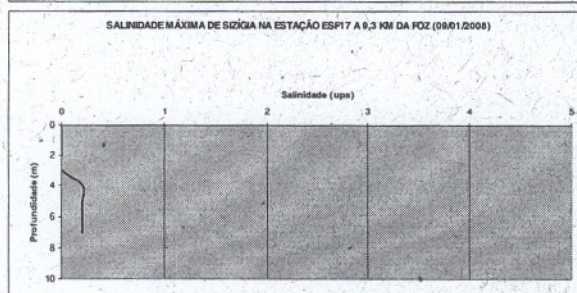
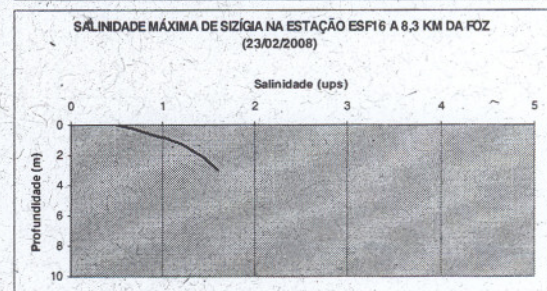
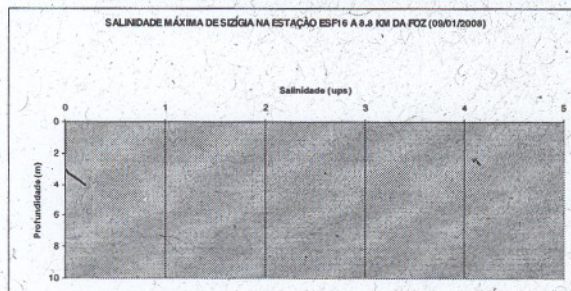
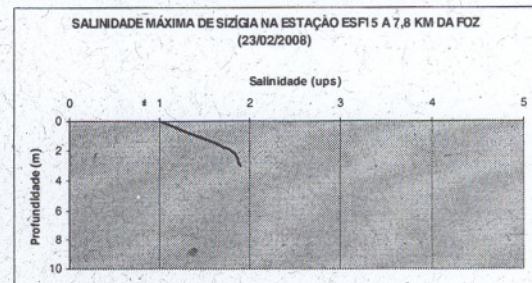
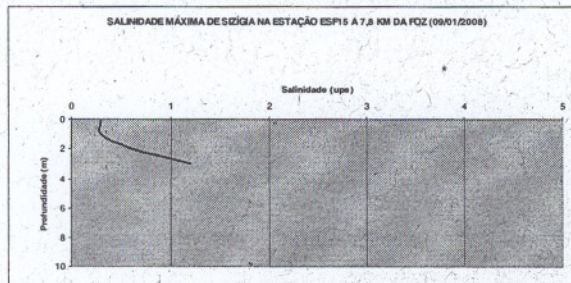
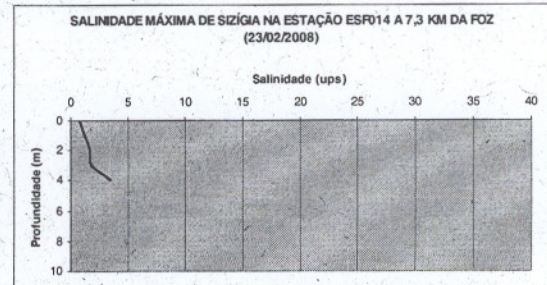
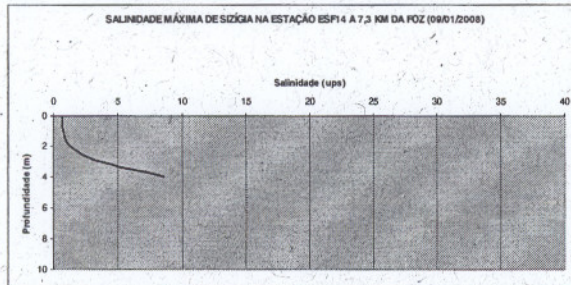
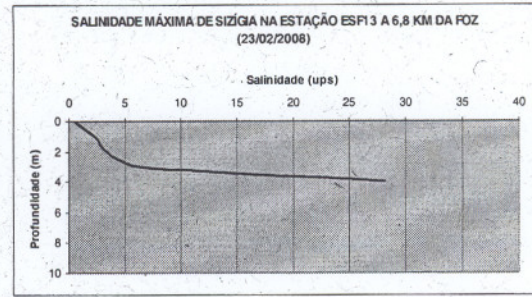
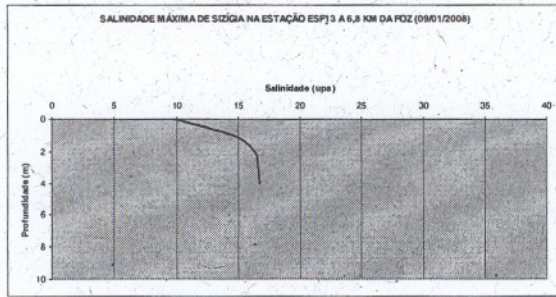
Comparação do perfil vertical da salinidade de janeiro e fevereiro de 2008, desde a foz até 3,2 km a montante.





Comparação do perfil vertical da salinidade de janeiro e fevereiro de 2008, de 3,7 a 6,6 km a montante da foz.





Comparação do perfil vertical da salinidade de janeiro e fevereiro de 2008, de 6,8 a 9,3 km a montante da foz..



#### **4 DISCUSSÕES**

Os resultados acima mostram uma salinização do estuário do rio São Francisco ocorrida no dia 9 de janeiro foi produzida pela circulação gravitacional formando cunha salina associado a uma pequena advecção direta da água do mar até aproximadamente sete km da foz seguido de uma pequena salinização devido a difusão turbulenta longitudinal até 9 km, quando a salinidade do rio volta aos valores esperados inferiores a 0,1 ups. No dia 23 de fevereiro o bombeamento das marés produziu uma salinização pela advecção direta da água do mar nos primeiros dois km da foz, e a partir deste ponto teve início a uma circulação gravitacional com formação de cunha salina, bem mais intensa que a de nove de janeiro, que se estendeu até cerca de sete km da foz, a partir deste ponto voltou a ocorrer uma difusão longitudinal turbulenta do sal até aproximadamente 9 km da foz.

Comparando ambas as distribuições de salinidades pôde ser observado que no dia 23 de fevereiro foram encontradas águas oceânicas em toda a coluna vertical nos primeiros dois km da foz e também a cunha salina, formada até sete km da foz foi muito mais intensa. O talvegue do canal principal tem uma significativa redução na sua profundidade, à aproximadamente sete km da foz, bloqueando a propagação da cunha salina a montante deste ponto, quando passa a ocorrer apenas uma difusão longitudinal turbulenta, a qual não representa perigo de salinização do rio. No entanto se a circulação gravitacional da cunha salina ou a advecção de águas oceânicas pelo bombeamento das marés se intensificar a água salgada, de maior densidade, poderá ultrapassar o baixio localizado a sete km da foz e se deslocar na direção de Piaçabuçú, a onde as profundidades se acentuam.

#### **5 RECOMENDAÇÕES**

Recomendo um monitoramento mensal da cunha salina do estuário do rio São Francisco enquanto durar vazões inferiores a mil e trezentos metros cúbicos por segundo, para se conhecer melhor o comportamento da salinização do estuário e determinar os limites seguros para uma redução de vazão.