

# SENSOR ULTRA SOM PARA HCl

**Edson da Costa Bortoni**

bortoni@iee.efei.br

**Onofre Bueno Filho**

onofre.bueno@eng.aedb.br

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

2005

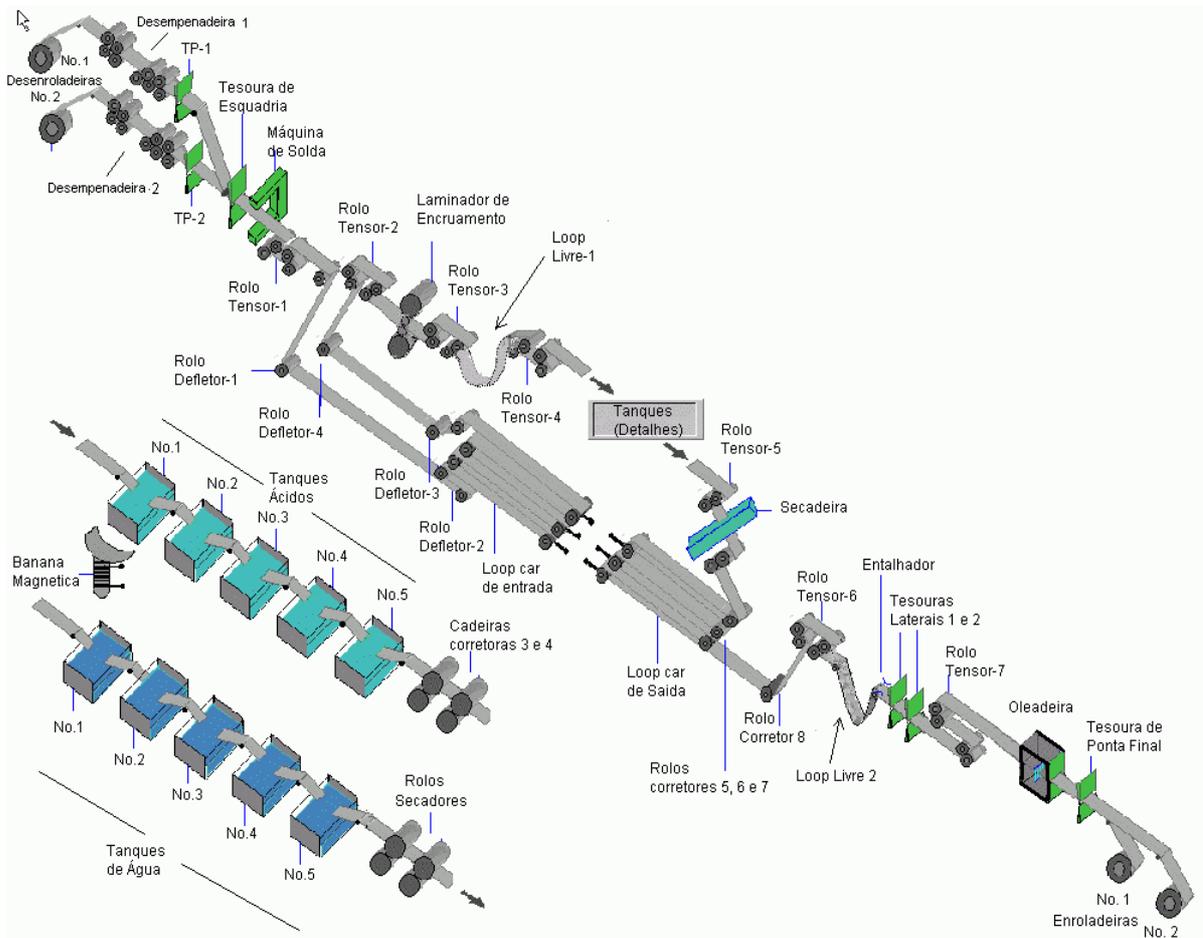
## Resumo

O presente artigo tem a finalidade de apresentar os resultados que vêm sendo obtidos na aplicação de sondas ultra sônicas para avaliação de grandezas em meio líquido, especificamente no ácido Clorídrico (HCl). A justificativa para este desenvolvimento é devido a necessidade de substituição de sensores magnéticos destinado a medir a flecha estabelecida por chapas de aço mergulhadas em tanques ditos profundos de processo de decapagem ácida, na Companhia Siderúrgica Nacional – CSN em Volta Redonda – RJ. O processo de limpeza ácida é descrito, bem como as dificuldades para substituição do transdutor magnético atual, que vão desde o alto preço para aquisição de novos transdutores magnéticos, passando pelas dificuldades de manutenção e até as imprecisões do mesmo. Na seqüência do trabalho, é descrito os resultados obtidos por pesquisadores em aplicações industriais semelhantes da tecnologia de transdutores de ultra som, de forma a servir de base em nossos experimentos. Na próxima etapa, é mostrado os primeiros resultados obtidos com a técnica do tempo de trânsito, em ensaios realizados em um tanque piloto com HCl, bem como o esboço de uma instalação de um transdutor de ultra som no tanque de HCl do processo de decapagem da CSN. Por fim são descritas conclusões preliminares e as expectativas para conclusão deste trabalho, que ora não se esgota neste relatório.

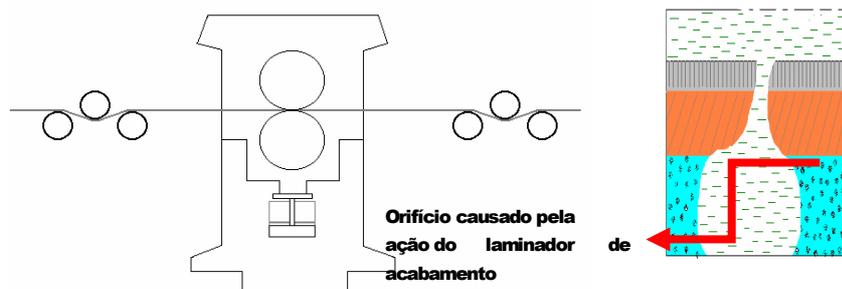
## 1. INTRODUÇÃO - CONTEXTO

As Linhas de Decapagem Ácida da CSN, foram implantadas no início da década de 80. O processo de decapagem ácida, esquematizado na figura 1.1, tipo tanque profundo (*Deep tank*), consiste na remoção da camada de óxido superficial da bobina de aço laminada a quente através de um banho em Ácido Clorídrico (HCl). No detalhe desta mesma figura, é possível visualizar os tanques de ácido e lavagem, objeto de nosso trabalho. Nesta seção de processo (central) propriamente dita, há um laminador de acabamento (vide figura 1.2), cuja função principal é quebrar as camadas superficiais compostas de óxidos gerados no processo de resfriamento da chapa de aço no laminador de tiras a quente. Cinco (5) tanques de ácido (HCl) são instalados em série, com o HCl fluindo em cascata, em movimento contrário ao deslocamento da chapa de aço, com faixas de concentração específicas por tanque (vide tabela 1.1). A chapa de aço é inserida no tanque 1 através de rolos tensores motorizados; na tecnologia de limpeza ácida em tanques profundos, a chapa é mergulhada nestes desenvolvendo uma catenária (*loop*) conforme figuras 1.3 e 1.4. Assim o HCl penetra nas ranhuras do material, geradas em função da quebra das camadas superficiais no laminador de acabamento, removendo os óxidos pelo ataque ácido. Na seqüência, a tira passa em tanques de lavagem, onde são removidos os resíduos de ácido e óxido. Na tabela 1.1, observa-se que à medida que a faixa de concentração da solução de HCl é diminuída, no contra fluxo do material, aumenta-se o percentual do Cloreto Ferroso ( $\text{ClFe}_2$  e  $\text{ClFe}_3$ ); estes, resíduos do processo de decapagem ácida. Cada um dos cinco tanques têm a capacidade de armazenar  $90\text{m}^3$  de HCl e possuem 25m de comprimento; estão dispostos de forma que o ácido clorídrico é alimentado pelo tanque 5 e em cascata flui em sentido contrário ao movimento da chapa, O HCl, através de trocadores de calor é aquecido conforme mostrado na tabela 1.1 e esta temperatura é mantida constante. A eficiência do processo de decapagem ácida (modelo) de limpeza, onde o ataque ácido realiza a remoção da camada de óxido (carepa) da superfície

do aço, depende fundamentalmente da flecha estabelecida por este loop, bem como de outras variáveis conforme diagrama 1.1.



**Figura 1.1** – Fluxo do processo das Linhas de Decapagem Ácida da CSN.



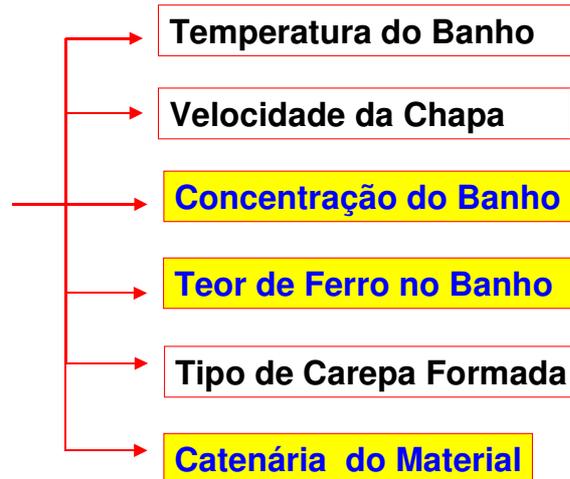
**Figura 1.2** – Laminador de Acabamento e detalhe do chapa de aço após quebra da carepa gerada no Laminador de tiras a quente.

|                           | TQ-1      | TQ-2      | TQ-3      | TQ-4       | TQ-5        |    |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|----|
| <b>ACIDITY (%)</b>        | 1,0 ~ 3,6 | 2,5 ~ 5,5 | 4,5 ~ 8,0 | 8,0 ~ 10,6 | 12,8 ~ 14,6 | -- |
| <b>IRON CONTENT (g/l)</b> | 90 ~ 130  | 95 ~ 120  | 85 ~ 110  | 45 ~ 90    | 25 ~ 70     | -- |
| <b>TEMPERATURE (°C)</b>   | 68 ~ 75   | 81 ~ 85   | 81 ~ 85   | 81 ~ 85    | 81 ~ 85     | -- |

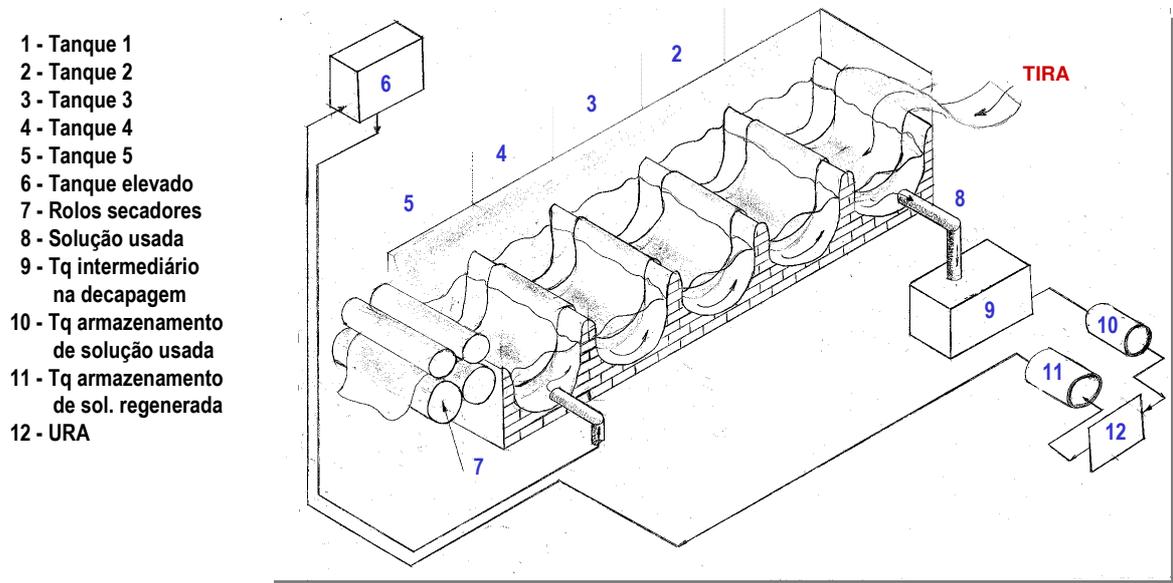
**Tabela 1.1** – Faixas de concentração de ácido clorídrico (% HCl) e percentual de cloreto ferroso nos tanques das linhas de Decapagem ácida da CSN.

**Processo**

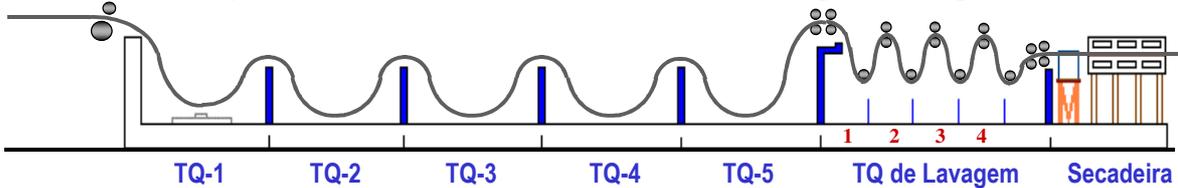
**EFICIÊNCIA DA DECAPABILIDADE DA CHAPA DE AÇO**



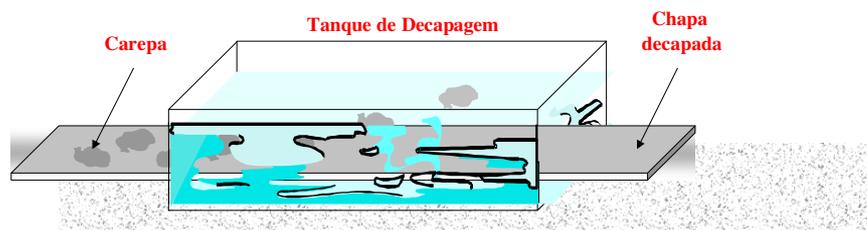
**Diagrama 1.1** – Eficiência da decapabilidade da chapa de aço.



**Figura 1.3** – Fluxo de ácido *versus* fluxo da chapa nos tanques .

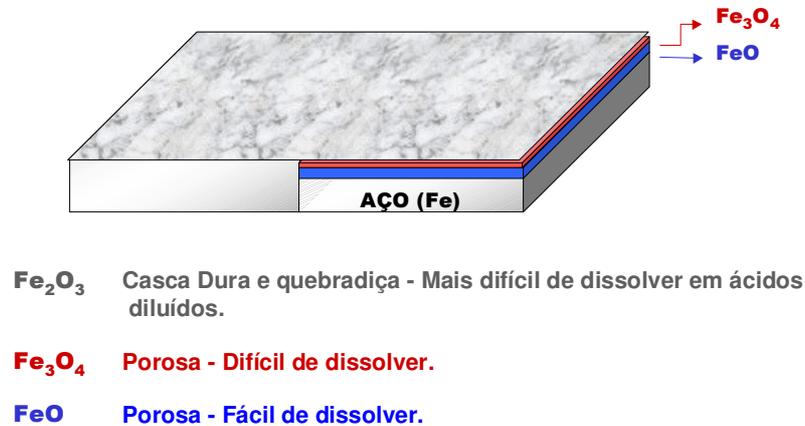


**Figura 1.4** – Catenária descrita pela chapa de aço em processo nos tanques de ácido das Linhas de decapagem de tanque profundo.



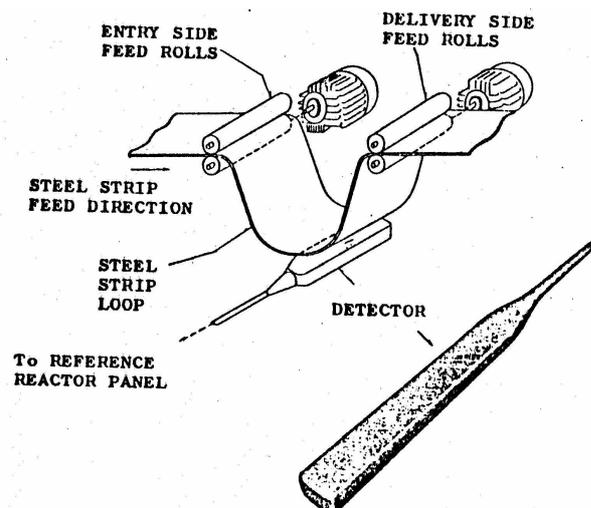
**Figura 1.5** - Processo de remoção da camada de óxido (carepa) da superfície do aço.

Na figura 1.5 é mostrado somente o processo de limpeza ácida, onde a chapa oxidada entra para o banho nos tanques de ácido. A figura 1.6 ilustra a composição da carepa, onde é possível verificar os principais sub-produtos do processo em si; ou seja, os vários teores do óxido de ferro removido são dissolvidos à solução de HCl alterando suas características;



**Figura 1.6** – Composição das camadas de carepa das chapas de aço laminadas.

A velocidade da chapa nesta seção de processo varia entre 0 mpm e 381 mpm no interior do tanque; a velocidade de processamento é estabelecida em função da composição do aço e da concentração da solução de HCl e é controlada através de informações da posição da catenária através dos drives dos motores tensores, amontante e ajustante, ao conjunto de tanques de ácido e lavagem. Conforme mostrado no diagrama 1.1, a catenária descrita pela chapa de aço, está diretamente ligada à eficiência da decapabilidade; hoje o operador ajusta o valor da catenária através de um potenciômetro que varia a referência de velocidades dos motores tensores 4 e 5. A realimentação de posição da catenária em relação ao fundo do tanque é medida através do sensor eletromagnético revestido em chumbo e inserido no fundo do tanque transversalmente à chapa num rasgo na camada de refratários conforme figura 1.7.



**Figura 1.7** – Sensor magnético usado para medição da catenária desenvolvida pela chapa de aço.

A curva de resposta do sensor magnético atual é mostrada na figura 1.8. É possível observar a não linearidade da variação da tensão de saída realimentada aos drives de controle dos motores dos rolos tensores em relação as medidas da flecha desenvolvida pela catenária.

A região operacional da curva está situada na porção entre 50mm e 250mm, ou seja, na região de maior não linearidade da curva, ou seja, um dos problemas a ser resolvido e que certamente melhorará o desempenho do processo é a correção da curva através da implantação de um dispositivo linear.

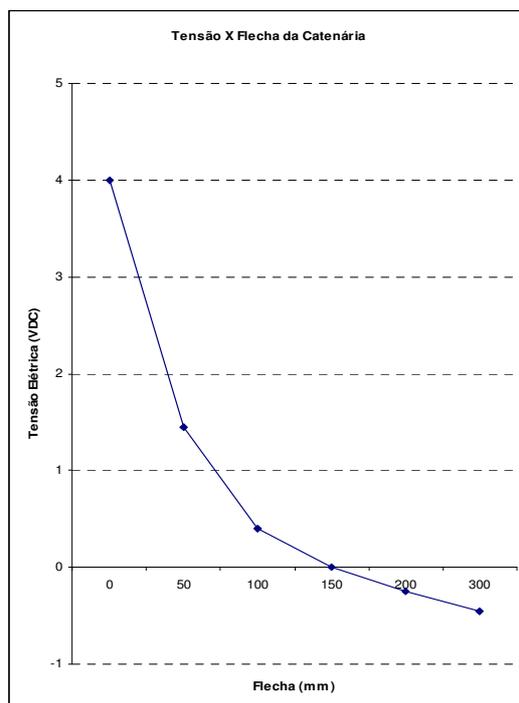


Figura 1.8 – Curva de resposta do sensor magnético atual.

## 2. JUSTIFICATIVA

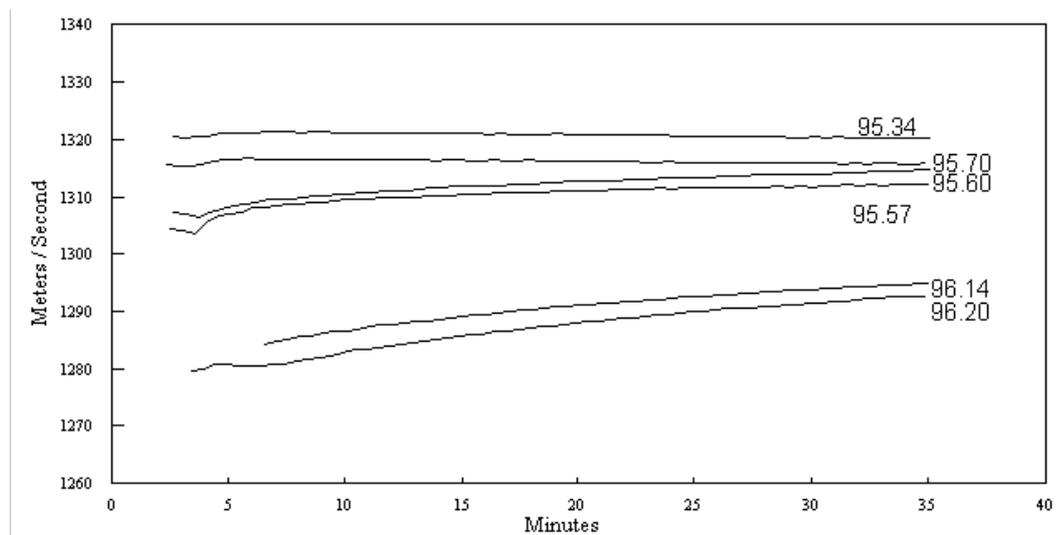
A grande motivação para substituição da filosofia de medição da catenária (flecha) descrita pela chapa de aço, é devida ao fim de vida útil dos dispositivos atuais em número de quatro (4) e sem sobressalente, bem como a sua descontinuidade de fabricação; em consulta ao fabricante, o custo, conforme última cotação datada de setembro de 2002, seria de R\$ 330.789,98 FOB Japão, equivalente a R\$ 529.639,68 CIF Brasil. Outros problemas a serem resolvidos tem a ver com os tempos e custos de manutenção; qualquer intervenção neste sensor atual requer um tempo de 10h com linha de produção parada, sendo necessário o esvaziamento do tanque 1 (90 m<sup>3</sup> de HCl) para acesso ao sensor; também os custos com material refratário especial e mão de obra para o assentamento do sensor sob o tanque exige alto custo de estoque (passivo) na ordem de R\$ 75.000,00 por intervenção. O problema fundamental portanto se baseia na necessidade de substituição dos sensores atuais por outro com características não intrusivas devido ao ataque ácido, e de preferência com custos de investimento acessíveis. Como citado anteriormente a qualidade da informação do sensor atual é não linear para uma avaliação linear, o que certamente não gera a precisão necessária no controle do banho da chapa de aço. As principais contribuições com desenvolvimento do trabalho estão relacionadas abaixo:

- Substituição do sensor magnético atual em fim de vida útil por sensor ultra som extrusivo;
- Redução do custo de investimento de R\$ 529. 639,68 para R\$ 53.800,00, aproximadamente 10% do valor do sensor atual;
- Melhoria do sinal de realimentação de posição da catenária, em função das características lineares do ultra som em detrimento à não linearidade do sensor magnético;
- Resultados da propagação do ultra som no ácido Clorídrico (HCl);

- Resultados na propagação do ultra som no material Alumina; e
- Medir em tempo real a concentração de HCl.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO PARA APLICAÇÃO DE SENSOR ULTRA SOM

As características do ultra- som, tempo de trânsito e efeito Doppler, têm sido aplicadas em vários segmentos tecnológicos; os poderes mecânicos das ondas ultra sônicas são aplicados largamente em processos químicos de uma forma geral. Vários são os pesquisadores que ora exploram estas características. Ladabaum *et. al* [1], Cittadine e Nyström [2] exploram o aumento de frequência com a conseqüente diminuição do comprimento de onda, de forma a poder explorar, cada vez mais, o processamento de imagens, notadamente na área médica (ultra sonografia). A medida da velocidade do som e ou tempo demandado para o pulso de som percorrer determinada distância, através de um líquido, portanto têm encontrado muitas aplicações para determinação de densidade, concentração e mesmo na identificação de nível de mistura de materiais com impedâncias acústicas características e bem definidas. As medidas realizadas pelo sistema de ultra som têm atingido alto nível de repetibilidade. Os sensores não ficam diretamente em contato com o líquido e podem ser construídos utilizando vários tipos de materiais. Estas técnicas são bastante úteis em ambientes severos e prejudiciais à saúde do homem e requerem baixíssimas intervenções de manutenção ou calibração, segundo Weerstra. Em [3], [4] e [5], Weerstra investiga a variação de velocidade do ultra som em meios líquidos, como forma de verificar a correlação entre densidade e concentração da substância. Observa que nas análises de medidas físicas de um líquido, existem grandes dificuldades, por exemplo, para medidas de concentração em função da variação milimétrica da velocidade com as mudanças de concentração da solução. Weerstra comprova que a maior dificuldade para avaliação da concentração de soluções está na consistência da solução, a qual não é composta de um binário (água mais ácido), ou seja, se na solução houver o depósito de um 3º elemento ou ainda outros, as variações de velocidade não ocorrerão em função das variações da solução em questão, mas poderão ser em função destes outros elementos indesejáveis, com a temperatura sendo mantida constante (vide figura 3.1); a quantificação deste comportamento provou ser útil e se mostra como base para estabelecimento de método de propagação de som em líquidos.

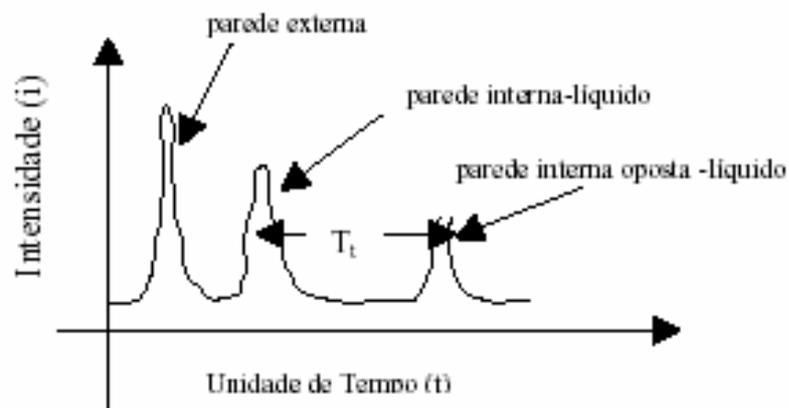


**Figura 3.1** – Velocidade do som no tempo em uma solução alcalina na temperatura constante.

Os resultados mostrados por Weerstra direcionam para necessidade de instalação de um RTD (*Resistance Temperature Detector*) próximo ao transdutor de ultra som de forma a monitorar a temperatura para compensações automáticas da velocidade do som. Weerstra mostra também em suas análises que o aumento de bolhas e ou alta concentração de

partículas podem conduzir à medições erradas em função de reflexões e refrações do som. Costa e Silva *et al*, descrevem em [6 (1998)], os resultados da aplicação de medidores *on-line* baseado em ondas ultra sônicas na extração de petróleo, mais especificamente na quantidade de água salgada misturada ao óleo propriamente dito, ou *water cut*. Numa primeira análise, Costa e Silva *et al* verificaram o aparecimento de água no óleo na faixa de 0% a 3%, numa segunda aplicação verificaram a quantidade de água produzida na faixa de 0% a 100% e em última análise do trabalho, a qualidade da água produzida em *ppm*. Costa e Silva *et al* usam duas técnicas em suas pesquisas; na primeira delas, apenas um transdutor é usado como transmissor – receptor e a segunda faz uso de dois transdutores; um como emissor e outro como receptor. A exploração da técnica de pulso de som e eco necessita de um ambiente com tubulação cheia e apresenta resultados conforme mostrado na figura 3.2, onde a intensidade dos pulsos são analisadas, num meio homogêneo. A expressão para definição da intensidade do pulso transmitido e do pulso de eco é mostrada pela equação 3.2 onde  $I$  é a intensidade do pulso de eco e  $I_0$  a intensidade do pulso transmitido,  $x$  é a distância percorrida pelo pulso e  $\alpha$  é o coeficiente de atenuação do meio em questão;  $T_t$ , na figura 3.2, é o tempo de trânsito do pulso no meio líquido a ser analisado. Como a distância percorrida pela onda de ultra som é constante (diâmetro da tubulação) e a intensidade do pulso emitido  $I_0$  também não varia, qualquer variação de  $I$  é exclusiva de uma atenuação do meio, do fluido no interior da tubulação. A medida relativa ao tempo de trânsito também possibilita as mesmas medições que o sinal relativo à amplitude; cada líquido possui uma velocidade sônica característica em função de sua densidade, logo a velocidade média na seção transversal da tubulação é proporcional à fração de cada fase no interior do duto. A velocidade ( $v$ ) no meio é determinada pela relação entre a distância percorrida e o tempo de trânsito do pulso ultra sônico.

$$I = I_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot x) \quad (3.2)$$



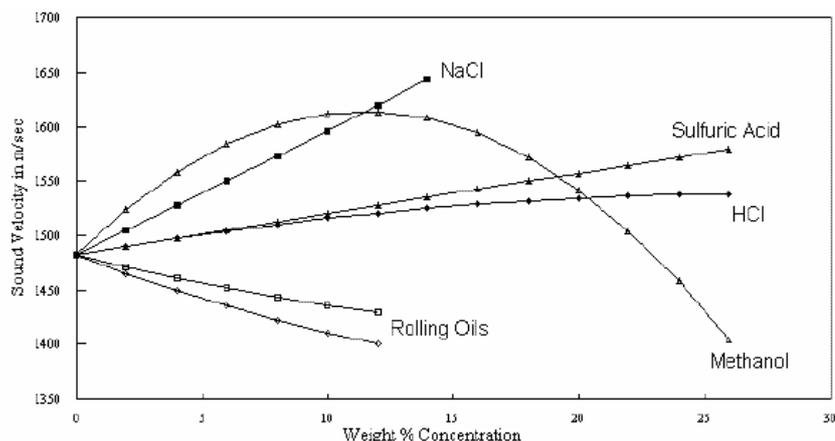
**Figura 3.2** – Sinal típico de uma aplicação extrusiva de ultra som.

As fontes de variações de incertezas para aplicação do ultra som levam em consideração, na aplicação da técnica do tempo de trânsito, o conhecimento da variação da velocidade de propagação do som em relação as propriedades viscosidade e densidade do fluido. Costa e Silva *et al*, também verificaram, em pesquisas com óleos derivados de petróleo, relação linear entre a variação da velocidade do som e temperatura com coeficiente angular negativo (na água o coeficiente angular é positivo) Weerstra [8 (2003)].

Em Weerstra [6 (2003)], é descrito o comportamento de ondas ultra sônicas em muitos tipos de líquidos, a saber, o Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), Ácido Clorídrico (HCl), Cloreto de Sódio (NaCl), Metanol e óleos de laminação. Neste trabalho, Weerstra demonstra em seus estudos a boa correlação dos valores em função da variação da densidade e concentração. O princípio básico descrito por ele está na variação da velocidade de propagação em função da variação

de densidade e por conseguinte da concentração da solução líquida. As medidas realizadas indicam que os sensores não estão em contato com a solução líquida e não possuem partes móveis, caracterizando boa repetibilidade das medidas em função destas circunstâncias citadas, além de requerer um mínimo de manutenção e calibração se comparar a outras tecnologias existentes.

Se o líquido contém substâncias dissolvidas em um solvente, tal qual o ácido clorídrico dissolvido em água, e se a concentração destas substâncias dissolvidas se altera com o tempo, a velocidade do som se altera proporcionalmente de forma bastante linear conforme figura 3.4. Observe nesta figura a linearidade para as mudanças de concentração de



até 30% para o HCl (Ácido Clorídrico). A precisão da medida do percentual de concentração estará diretamente ligada à precisão da medida da velocidade do som, bem como da curva de resposta do sensor ultra-sônico; não existe requerimentos de que o líquido tenha características de condutividade ou não, ou ainda que o solvente deva ser água, ou que a temperatura ou variação desta seja moderada; em verdade existem dois requerimentos para o sucesso da medida: a velocidade do som deve mudar para quando houver mudança no percentual de concentração e somente neste caso e o líquido deve ser sonicamente transparente, ou seja, bolhas e partículas transformam um líquido com transparência sônica em líquidos com opacidade sônica. Bolhas causam a dispersão do pulso sônico, dificultando a medida; partículas suspensas ou não dissolvidas também causam problemas na medição.

**Figura 3.4** – Variação de velocidade do som versus percentual de concentração de HCl.

**Figura 3.5** – Coeficiente de temperatura versus concentração.

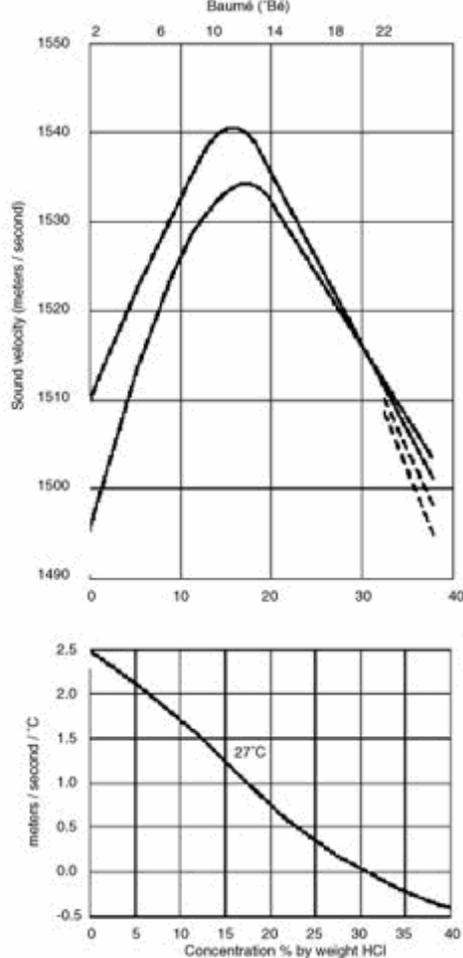


Figure 3 – TEMPERATURE COEFFICIENT VS. CONCENTRATION

Monitorar percentuais de concentração por ultra – som normalmente é melhor se o líquido é considerado binário, isto é, se o líquido contém uma substância dissolvida em um solvente tão somente. Se existe mais de uma variável que possa alterar a concentração e assim causar uma mudança na velocidade do som, então teremos certamente medidas erradas. A figura 3.5 ilustra a variação de velocidade esperada em função da variação de concentração do HCl; Weerstra em [7] observa, que na faixa de concentração entre 14% e 17% não se consegue obter um resultado satisfatório para relacionamento da variação da concentração pela variação da velocidade; porém para a investigação do tempo de trânsito, nesta mesma faixa, verificamos uma velocidade de 1548 m/s usando uma sonda de 4 MHz. Segundo Weerstra [6], medidas de percentual de concentração em ácidos de limpeza, tipo HCl (Ácido Clorídrico) e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Ácido Sulfúrico), pode ser facilmente conseguido através de um medidor de velocidade do som. Os sensores para serem aplicados neste meio fluido deve ser construído, segundo sua orientação, a partir do material PVDF (Kynar), um tipo de PVC melhorado com resistência para temperaturas em torno de 85 °C. Isto em função do alto poder do líquido em questão, o Ácido Clorídrico (HCl).

#### 4. DISPOSITIVO ULTRA SOM PARA O HCl

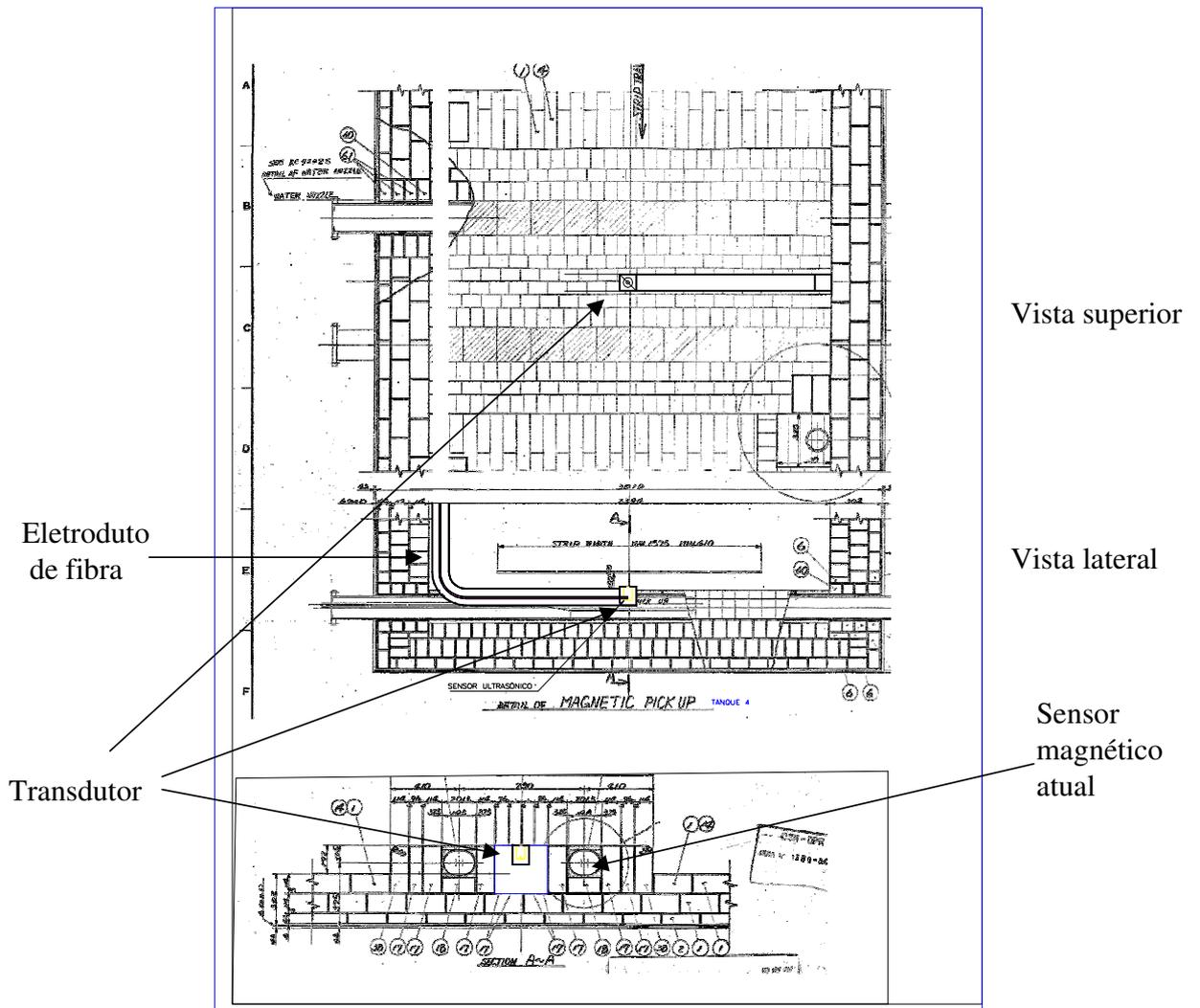
Tendo como base as pesquisas, experimentos e resultados citados no item 3 deste trabalho, iniciamos nossos testes de propagação do som no HCl, a partir da construção de um tanque de fibra que pudesse nos atender para desenvolvimento do dispositivo. Como premissas para realização das medidas da flecha desenvolvida pela catenária da chapa de aço no tanque de ácido clorídrico, temos:

- a) A medida deve ser extrusiva para que as sondas disponíveis no mercado, possam ser testadas sem danos devido ao ataque ácido;
- b) O tanque não deve, em primeira instância, ser vazado no fundo, de forma a não se ter vazamentos de ácido no futuro.
- c) Deve-se desenvolver um artefato para ser usado como guia de onda sônica.

A figura 4.1 ilustra como a sonda ultra sônica será instalada no tanque 4 de HCl, de forma a atender a premissa (a); de acordo com os desenhos dos tanques um artefato em forma de “L” deverá ser inserido no tanque com a sonda conectada em sua extremidade, no centro do tanque que coincide como centro da chapa de aço.

Para que a sonda não tenha contato com o HCl, foi necessário a pesquisa de um material que, ao mesmo tempo, tivesse boa resistência ao ataque ácido e fosse um bom condutor sônico; após pesquisas em alguns materiais, partindo do ponto de vista dos materiais resistentes ao HCl, definimos a Alumina, um material cerâmico desenvolvido para resistir a altas temperaturas, como sendo nosso alvo de testes; verificamos que não havia publicações à mão com as características sônicas deste material; então com base em materiais com propriedades sônicas conhecidas, realizamos os testes para definição da velocidade de propagação neste material, bem como sua condutividade sônica. Para definição da velocidade sônica, utilizamos uma barra circular com 100 mm de comprimento; aplicou-se à base desta um transdutor sônico com frequência de 4 MHz; com base no primeiro eco do som emitido, ajustamos a velocidade de propagação até a medida entre o som emitido e o primeiro eco atingisse 100 mm; assim verificamos que a velocidade de propagação do som na Alumina é de aproximadamente 9117 m/s. Nas figuras 4.2 (a) é mostrado detalhes do tanque utilizado nos testes com HCL na temperatura ambiente e o transdutor ultra som acoplado à Alumina é mostrado na figura 4.2 (b) , na figura 4.3, o gráfico de calibração do instrumento de análise de propagação do som, tendo como base uma peça de aço com dimensões de 100 mm e velocidade de propagação de 4520 m/s; na figura 4.4 é possível verificar os resultados que nos levaram à conclusão sobre a velocidade da Alumina, onde se pode observar a dimensão de 100 mm plotada no gráfico e a respectiva velocidade de propagação registrada pelo analisador de fluxo sônico. Outros materiais foram testados (Teflon, Ester e compostos de fibra) com sondas de várias frequências (1MHz, 2MHz e 4MHz), sem consistência nos resultados.

Para realização destes experimentos utilizamos medidor universal de fluxo sônico da STARMANS modelo DIO 562 e um transdutor sônico normal Krautkramer, modelo MB4S-N, 4 MHz e diâmetro de 10 mm.



**Figura 4.1** – Instalação de sensor ultra som no tanque 4 da LDC\_4.

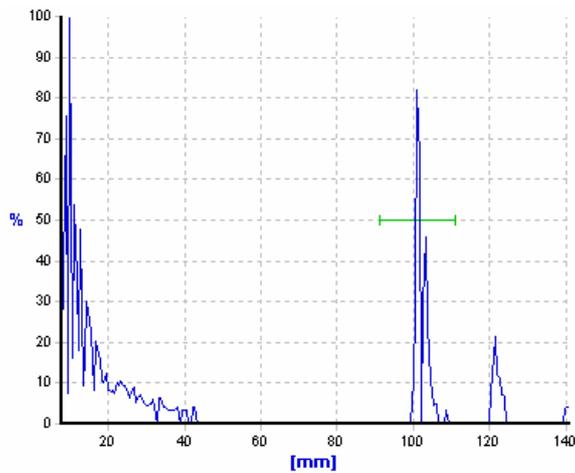


**Fig. 4.2 (a)** – Detalhes do tanque com HCl.

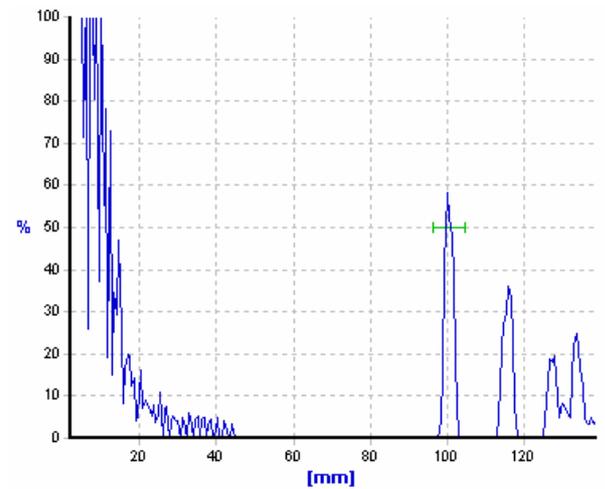


**Fig 4.2 (b)** transdutor acoplado à Alumina.

Os resultados obtidos na determinação da velocidade de propagação do som na Alumina, teve como base a calibração do instrumento DIO 562 LC, através de uma barra de aço padrão de 100 mm e velocidade de propagação de 5920 m/s (vide figura 4.3). A figura 4.4 mostra o eco de som numa barra circular de Alumina também com 100 mm de comprimento; a velocidade da Alumina registrada foi de 9117 m/s.



**Figura 4.3** – Calibração do DIO 562 para aço.

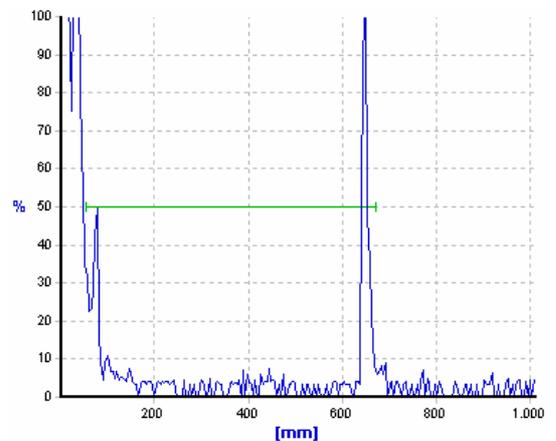


**Figura 4.4** – Determinação da vel. Alumina.

Após determinação da velocidade de propagação do som na Alumina, o tanque para experimento teve sua profundidade medida de 646,5 mm usando-se uma trena; com o tanque cheio de HCl, confirmamos a medida desta profundidade através da propagação do som com seu respectivo eco. As figuras 4.5 e 4.6 ilustram os resultados desta experiência.

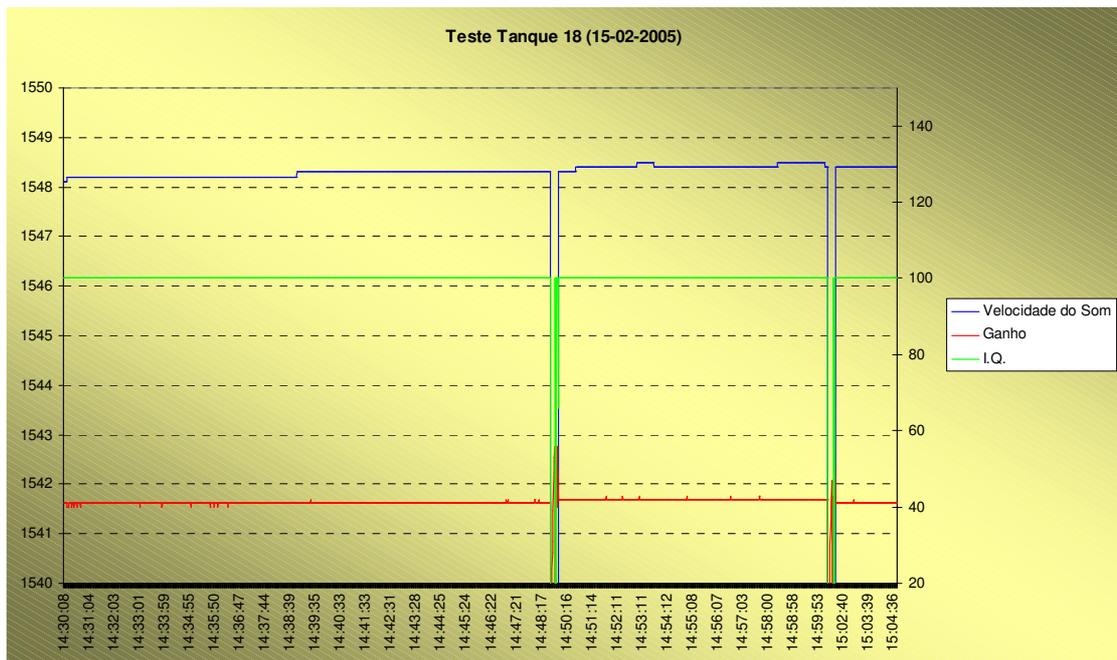


**Figura 4.5** –DIO 562 e tanque de experimentos.



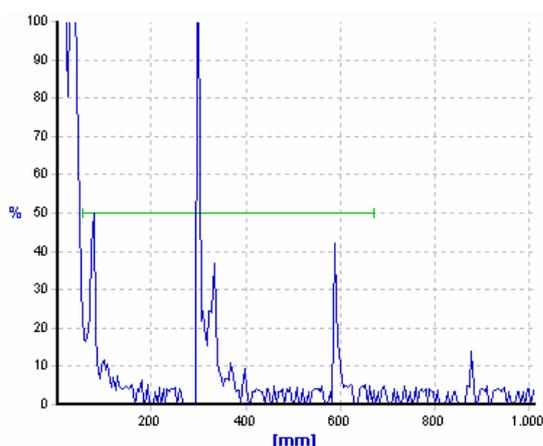
**Figura 4.6** – Determinação da profundidade do tanque.

A velocidade base de propagação do som considerada e ajustada no equipamento para medidas das distâncias de interesse, no HCl a 17% e temperatura de 60 °C, com a distância de propagação conhecida, ou seja, com 646,5 mm de profundidade do tanque, foi de 1548 m/s; a figura 4.7 ilustra o coportamento da propagação sonora no HCl, com detalhes da variação de ganho do sinal emitido em função do sinal recebido e índice de qualidade do sinal (IQ); há boa estabilidade do sinal, embora em alguns momentos a recepção do sinal fora perdida, mais em função das condições de teste, realizadas na Usina de Regeneração de Ácido Clorídrico da CSN. A pequena barra de Alumina de 10 mm utilizada como guia de onda, de forma a isolar o cabeçote ultra sônico do contato com o HCl, em função de sua alta velocidade de propagação (9117 m/s) comparada a velocidade de propagação do HCl, teve seu tempo de propagação aproximado para zero, pois a uma velocidade de 9117 m/s em 10 mm, o tempo gasto é de 1,097  $\mu$ s *versus* 0,418 ms de tempo de propagação no meio ácido de interesse; o erro devido a esta aproximação é de aproximadamente 1,7 mm.

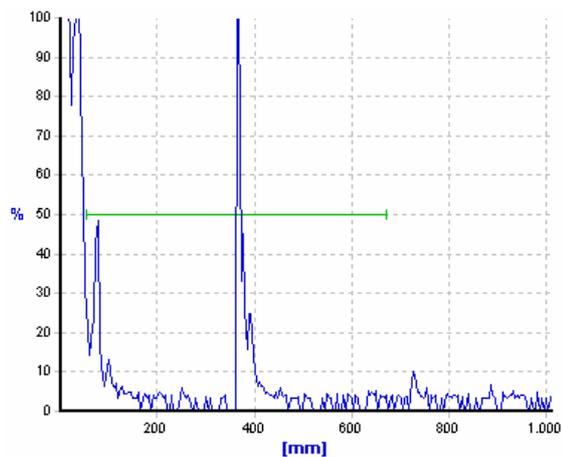


**Figura 4.7** – Velocidade do som no HCl a 17% e temperatura de 60 °C.

Na continuidade dos testes, simulamos o movimento da chapa de aço no tanque de HCl, ou seja, sua aproximação e distanciamento do sensor sônico, imitando a variação da flecha da catenária no tanque de ácido das linhas de decapagem ácida; os resultados podem ser verificados através das figuras 4.8 e 4.9.



**Figura 4.8** – distância da chapa 293,4 mm.



**Figura 4.9** – distância da chapa 366,2 mm.

## 5. CONCLUSÕES

- É possível instalar sensores à base de ultra som para medição da catenária da chapa de aço em linhas decapagem ácida; os resultados obtidos mostram boa convergência para os resultados esperados. Algumas preocupações só poderão ser conclusivas com a instalação do sensor em ambiente de produção, onde todas as interferências poderão ser avaliadas e conseqüente ações corretivas poderão tomar efeito; dentre as principais restrições que ora nos preocupam, se baseiam nos ângulos e frequência de inclinação transversal da chapa de aço no tanque; este efeito se em demasia acarreta perda do eco;
- Os resultados obtidos são lineares em toda sua faixa em detrimento ao sensor magnético atual, o qual não possui boa linearidade de resposta na faixa operacional, entre 50mm e 300mm;
- Para as medidas do índice de concentração do HCl, não obtivemos ainda respostas aceitáveis, embora não tenhamos esgotados todos os testes, além da descontinuidade da variação de velocidade levantada por Weerstra já tenha se mostrado ineficaz na faixa de 10% a 20% de concentração, conforme figura 3.5;
- Em nossos testes, com temperatura constante, não levamos em consideração esta variável em função da pequena variação de temperatura do tanque; nas medidas da catenária em ambiente de produção a temperatura, hoje já medida nos tanques será usada como referência para ajuste das medidas coletadas pelo sensor sônico, através de um algoritmo adequado;
- Para atender as demandas industriais um sensor com temperatura máxima de operação superior a 85°C deve ser buscado no mercado.

## Referências

- [1] Cittadine, A. and Nystrom, Using MEMS and a Newly developed ASIC for small-diameter pipe ultrasonic metering. Volume 17, Number 2, February 2000.
- [2] Igal Ladabaum, Surface Micromachined Capacitive Ultrasonic Transducers, , *Student Member, IEEE*, Xuecheng Jin, *Student Member, IEEE*, Hyongsok T. Soh, Abdullah Atalar, *enior Member, IEEE*, and Butrus T. Khuri-Yakub, *Fellow, IEEE*.
- [3] Weerstra, Douglas D. , On line rolling oil and picking acid concentration measurement using ultrasonics, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [4] Weerstra, Douglas D. , Hydrochloric Acid Analyzer Application Note, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [5] Weerstra, Douglas D. , Sulfuric Acid Analyzer Application Note, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [6] Costa e Silva, Cláudio Barreiros *et al*, Estudo Teórico Experimental do Impacto de fontes de Variaçl~oes em Quatro Tipos de Medidores de BS&W, Setor de tecnologia de Processamento, Produçãoe transportes da PETROBRÁS, 1998.
- [7] Weerstra, Douglas D. , Do you need a 93% H2SO4 process analyzer ?, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [8] Weerstra, Douglas D. , Hydrofluoric Acid Analyzer Application Note, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [9] Weerstra, Douglas D. , A Comparison to Conductivity Meters, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [10] Weerstra, Douglas D. , Theory of Operation – Sonic Concentration Analyzers, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [11] Weerstra, Douglas D. , Oleum Analyzer Application Note, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [12] Massa, Donald P., Choosing na Ultrasonic Sensor for proximity or distance measurement, part 1 e 2, Massa products Corp., 2002.
- [13] Dryer, Joseph E., Ultrasonic Transit Time Calculations, Sensors on-line, 2004.
- [14] Weerstra, Douglas D. , NEW SONIC TECHNIQUE MEASURES ALKILATION CONCENTRATION, R & D Chemist – Mesa Laboratories, Inc., NuSonics Division, 2003.
- [15] Cittadine, A. “MEMS Reshapes Ultrasonic Sensing,” *Sensors*, Volume 17, Number 2, February 2000.