

# OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DO NÍVEL DE AÇO DO DISTRIBUIDOR DO LINGOTAMENTO CONTÍNUO DA COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO (CST) <sup>1</sup>

Alexandre Toniati<sup>2</sup>  
Elizeu Rocha de Moura<sup>3</sup>  
Robison Miranda do Nascimento<sup>4</sup>

## Resumo

A placa de aço é um dos produtos finais destinados aos clientes, cuja a necessidade de controle de qualidade é exigida durante todo o seu processo de fabricação no Lingotamento Contínuo. O nível de aço do distribuidor, objeto deste trabalho, é um dos itens de que podem afetar nesta qualidade, caso não tenha seu controle de maneira apurada. Como o sistema de controle automático original de nível de aço no distribuidor não atendia aos requisitos contidos nos padrões operacionais, foram realizadas melhorias neste sistema visando a sua otimização e eliminação os eventos de qualidade a ele associados. Este trabalho apresenta as melhorias implementadas no sistema de controle de nível automático de aço no distribuidor.

**Palavras-chave:** Nível de aço; Inversor; Lingotamento contínuo; Distribuidor.

---

<sup>1</sup> Contribuição técnica a ser apresentada no IX Seminário de Automação de Processos – ABM, a ser realizado em Curitiba- PR, nos dias 05 a 07 de outubro de 2005 .

<sup>2</sup> Engenheiro Eletro-eletrônico do Lingotamento Contínuo, Cia Siderúrgica de Tubarão, Vitória – ES.

<sup>3</sup> Técnico de Predição e Inspeção Elétrica do Lingotamento Contínuo, Cia Siderúrgica de Tubarão, Vitória – ES.

<sup>4</sup> Supervisor de Predição e Inspeção Elétrica do Lingotamento Contínuo, Cia Siderúrgica de Tubarão, Vitória - ES

## INTRODUÇÃO

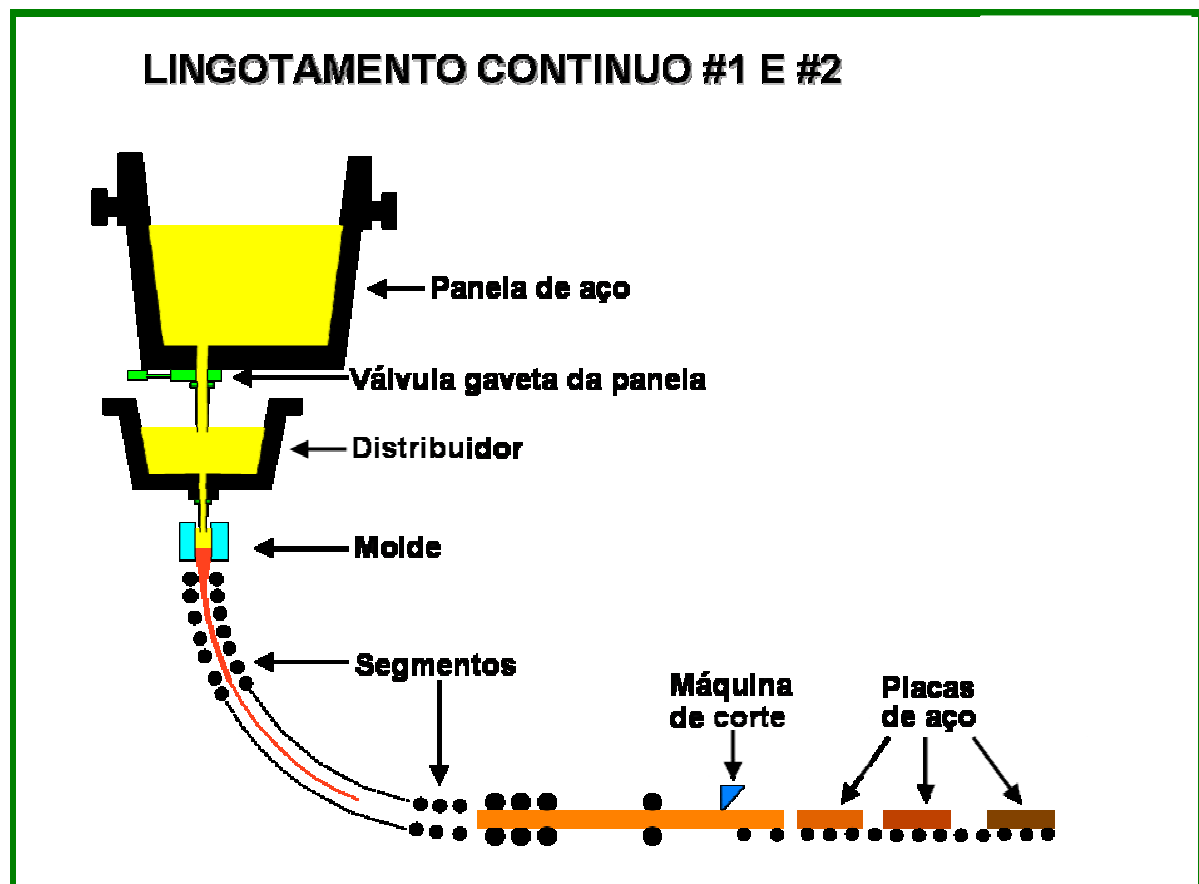
O presente trabalho será dividido em três partes distintas, a saber:

- Apresentação da Companhia Siderúrgica de Tubarão, o Lingotamento Contínuo (área operacional) e o processo onde foi implementado o trabalho em questão;
- Abordagem resumida sobre o princípio de funcionamento do controle de nível de aço no distribuidor;
- Detalhamento das melhorias implementadas na malha de controle automático do nível do distribuidor.

## LINGOTAMENTO CONTÍNUO

O processo de fabricação de placas da CST utiliza a tecnologia do lingotamento contínuo, no qual o aço líquido sofre um resfriamento e solidificação em processo contínuo. Este processo se dá em molde vazado com perfil pré-determinado.

O processo de lingotamento contínuo está ilustrado na Figura 1, onde são mostrados seus principais equipamentos.



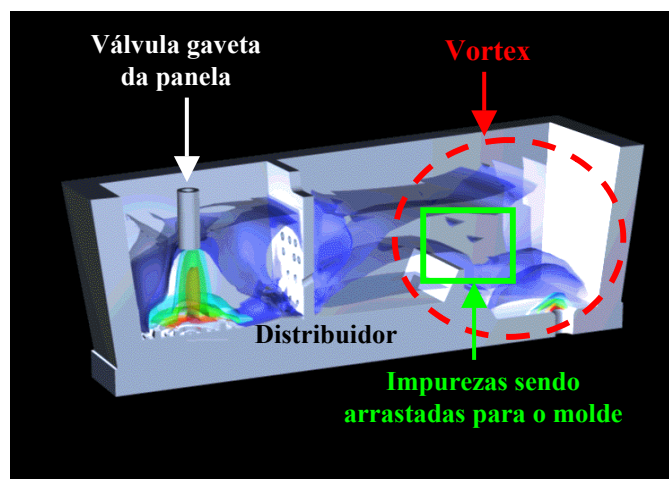
Fonte: CST

Figura 1. Processo do Lingotamento Contínuo.

## NÍVEL DE AÇO DO DISTRIBUIDOR

Além da função de manter a continuidade do processo, o distribuidor tem grande influência na qualidade da placa. Esta influência está relacionada diretamente ao nível de aço no seu interior. O controle deste nível é feito através da medição do peso do volume total de aço contido no interior do distribuidor. O processo exige uma variação no nível, de no máximo, 1,5 toneladas na máquina de lingotamento contínuo 1, e 2 toneladas na máquina de lingotamento contínuo 2 para cima ou para baixo do valor real visado.

A queda do nível abaixo das tolerâncias provoca a criação de vortex (redemoinhos) dentro do distribuidor, fazendo com que inclusões, situadas na interface aço / escória, sejam arrastadas pelo fluxo de aço destinado aos moldes, comprometendo assim a qualidade da placa de aço. A Figura 2 mostra um vortex no distribuidor. Essas inclusões causam defeitos no produto final tais como: “slivers” (inclusões geradas por presença de alumina ( $Al_2O_3$ ) no aço) ou “blisters” (internas na placa por inclusões de pó fluxante).



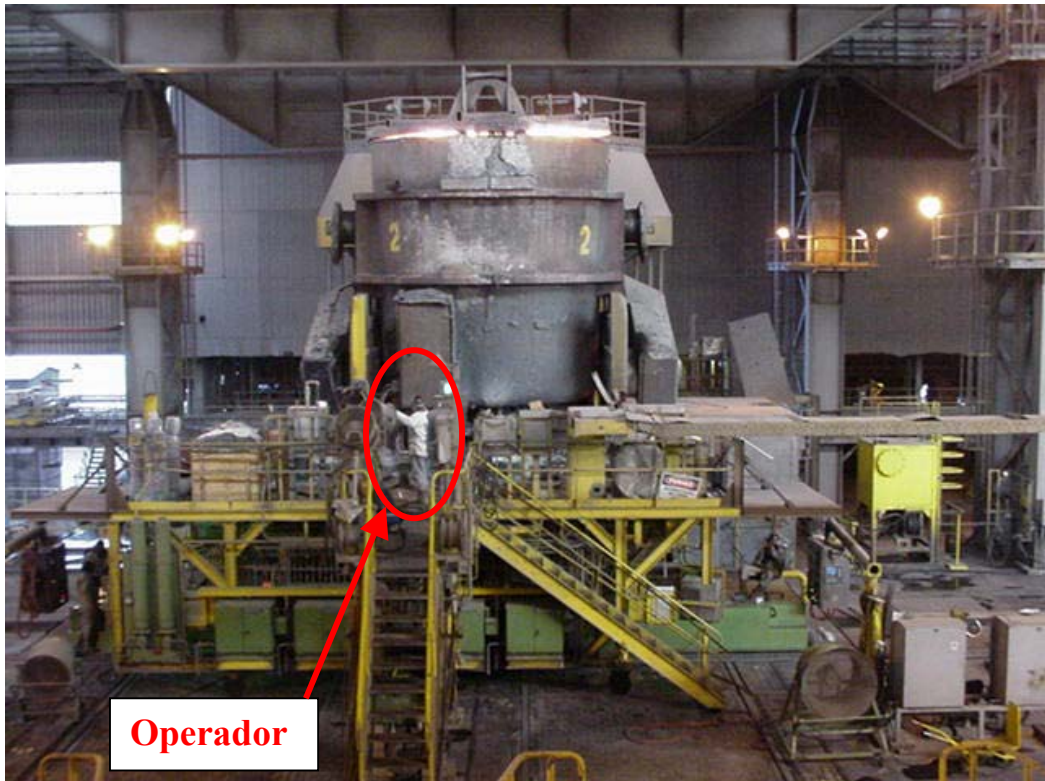
Fonte – CST

**Figura 2.** Vortex no distribuidor.

A subida do nível acima das tolerâncias pode ocasionar transbordamento de aço no distribuidor, e interrupções de seqüência de lingotamento. O transbordamento de aço pode causar danos a equipamentos e afetar a segurança dos operadores.

As anomalias relatadas acima ocorriam nos lingotamentos contínuos da CST, em função do controle automático do nível do aço do distribuidor não funcionar conforme a especificação técnica da máquina de lingotamento contínuo. A perda da confiabilidade do sistema de controle automático fez com que os operadores adotassem o controle do nível no modo manual.

O controle do nível manual eliminou, praticamente, as ocorrências de transbordamento e interrupções de lingotamento, porém as variações do nível do aço ficaram acima da tolerância máxima permitida, além de necessitar da presença do operador por tempo integral na plataforma de operação da válvula gaveta, conforme mostrado na Figura 3, lugar de alto risco de projeção de aço líquido, durante todo o tempo de lingotamento.

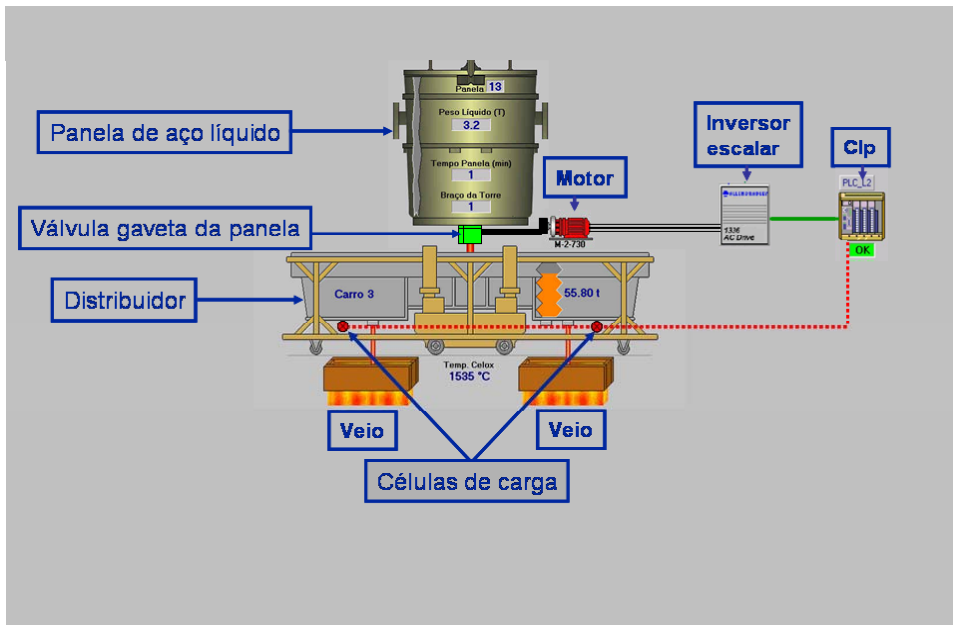


Fonte - CST

**Figura 3.** Operação em manual do nível do distribuidor.

### Sistema Original de Controle Automático do Nível do Distribuidor

O nível de aço no distribuidor é controlado através de um sistema em malha fechada com ação proporcional derivativo com modulação de largura de pulso (PWM). O sistema de controle do nível original é apresentado na Figura 4.



Fonte - CST

**Figura 4.** Representação esquemática da instrumentação.

## Visão Geral do Sistema

O nível de aço do distribuidor é controlado através do peso do aço no mesmo, que é medido através de quatro células de cargas nas quais está apoiado o distribuidor. O peso medido pelas células de carga (PV), é lido pelo CLP em intervalos de 1 segundo, que calcula a média deste a cada cinco leituras. Outra variável usada para o controle do nível é taxa de troca de aço no distribuidor (Roc), sendo calculada em intervalos 5 segundos conforme Equação (1):

$$Roc = (Patual - Panterior) * 12 \quad (1)$$

Onde:

*Roc* = Taxa de troca do distribuidor

*Patual* = Peso atual

*Panterior* = Peso anterior

O peso medido (PV) é comparado com o peso pressetado (SP). A diferença entre eles fornecerá um erro. Através deste erro o CLP envia um comando para ligar o inversor, que por sua vez aciona o motor elétrico da válvula gaveta da panela. No caso do erro positivo o comando será de abertura da válvula e no caso de erro negativo será de fechamento da válvula, conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Cálculo do Comando da Válvula Gaveta em Função do Erro

<b>Erro</b>	<b>Taxa de troca</b>	<b>Comando</b>
> 250 Kg	> 150 Kg/min	Fecha
< -250 Kg	< -150 Kg/min	Abre
entre -100 Kg e -300 Kg	> 250 Kg/min	Fecha (corrigir overshoot)
entre 100 Kg e 300 Kg	> -250 Kg/min	Abre (corrigir overshoot)
entre -100 Kg a 100 Kg	-----	Sem ação

O cálculo da taxa de troca de aço no distribuidor é utilizado para controle do sobrepasso (Overshoot) do nível de aço. O comando para ligar o inversor se dá através de pulsos de referência de velocidade fixa em 20Hz, com largura e frequência calculadas em função da variação do erro e da taxa de troca do distribuidor.

## Deficiências do Sistema Original de Controle do Nível em Automático

Em conjunto com a equipe de operação do Lingotamento Contínuo, foram executados testes do sistema no modo automático, para observação e análise dos problemas relacionados às perdas de controle do nível do aço, que fizeram com que este sistema de controle de nível automático do distribuidor fosse colocado fora de operação, desde o início de operação.

Durante os testes observaram-se duas deficiências no sistema: A primeira observada foi a perda do nível de aço mesmo com a ocorrência de diversos comandos de abertura da válvula gaveta. Conforme mostrado na Figura 5.



Fonte – Sistema supervisorío CST

Figura 5. Nível de aço do distribuidor durante o vazamento da panela.

A segunda foi observada principalmente nos primeiros momentos de vazamento do aço da panela e está relacionada ao peso da coluna de aço da panela sobre a válvula gaveta.

## MELHORIAS NO CONTROLE DE NÍVEL DO DISTRIBUIDOR

### Substituição do Inversor de Acionamento da Válvula Gaveta

O problema da válvula gaveta não responder aos comandos enviados pelo inversor está ligada ao agarramento da válvula gaveta em função do atrito entre suas placas deslizantes. Este atrito é maior durante o início de vazamento da panela, devido a maior carga líquida de aço sobre as placas. Também foram observados agarramentos da válvula durante todo o processo de vazamento da panela. Estes agarramentos estão ligados à penetração de impurezas entre as placas deslizantes da válvula gaveta. O inversor original da malha de controle de nível do distribuidor é do tipo “Controle Escalar”; este tipo de inversor é utilizado em aplicações onde são necessários apenas à variação de velocidade e que não requerem elevadas dinâmicas (respostas rápidas e alta precisão), nem controle de torque. Como no sistema da válvula gaveta necessita-se de torques elevados para atender sua dinâmica de funcionamento e também de respostas rápidas devido ao CLP enviar pulsos de pequenas larguras para o mesmo, o inversor escalar não é apropriado para esta aplicação.

No controle de nível da válvula gaveta o motor elétrico deve fornecer um controle preciso de torque para uma faixa extensa de condições de operação e respostas rápidas. Logo se recomenda o uso de inversor com “Controle Vetorial”, cujo princípio de funcionamento é de controlar o fluxo e o torque do motor independentemente,

produzindo componentes de corrente no motor com o propósito de se obter um torque preciso e um controle de potência. Devido ao exposto optou-se pela substituição do inversor escalar por um inversor vetorial.

### **Otimização do Software do Clp e Parâmetros do Inversor**

Alterações implementadas no sistema para minimizar os efeitos dos desgastes, agarramentos e da variação dinâmica do peso da panela sobre a válvula gaveta:

### **Implementação de Dois Estágios de Velocidade ao Inversor**

O sistema original acionava o motor da válvula gaveta a uma frequência única de 20 HZ, e por isto causava grandes deslocamentos na válvula gaveta, desestabilizando o sistema. Assim, foi implementado no software do CLP dois estágios de referência de velocidade para o inversor em função do erro e da taxa de troca do nível do peso do distribuidor conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Referências de Velocidade para o Inversor

Erro (Ton)	Taxa de troca (Ton/min)	Preset de frequência (Hz)
-0,5 < Erro < 0,5	-----	10
-----	-3 < Roc < 3	10
-0,5 > Erro > 0,5	-----	17
-----	-3 > Roc > 3	17

### **Frenagem de Corrente Contínua no Motor da Válvula Gaveta**

As válvulas gavetas das panelas não respondiam uniformemente com os pulsos enviados pelo inversor para a correção do erro, pois as que estavam mais leves deslocavam mais, causando uma variação de vazão maior desestabilizando o sistema. Para solucionar o problema foi habilitada no inversor a função de frenagem por injeção de corrente contínua no motor de acionamento da válvula gaveta após o final de cada pulso de comando para o inversor, possibilitando assim maior precisão no movimento de deslocamento da válvula gaveta, em função da redução do deslizamento da mesma.

### **Ajustes dos Parâmetros no CLP**

Durante observações do sistema foi verificado que a variável taxa de troca do distribuidor usada para minimização do sobrepasso (Overshoot) do nível de aço no sistema, também provocava um grande número de pulsos de comando para o inversor. Este grande número de pulsos causava oscilações do nível, assim como redução da vida útil da válvula gaveta. Com a implementação do inversor vetorial, foi possível alterar o valor responsável pela geração destes pulsos, reduzindo as oscilações do nível e os excessivos acionamentos da válvula gaveta.

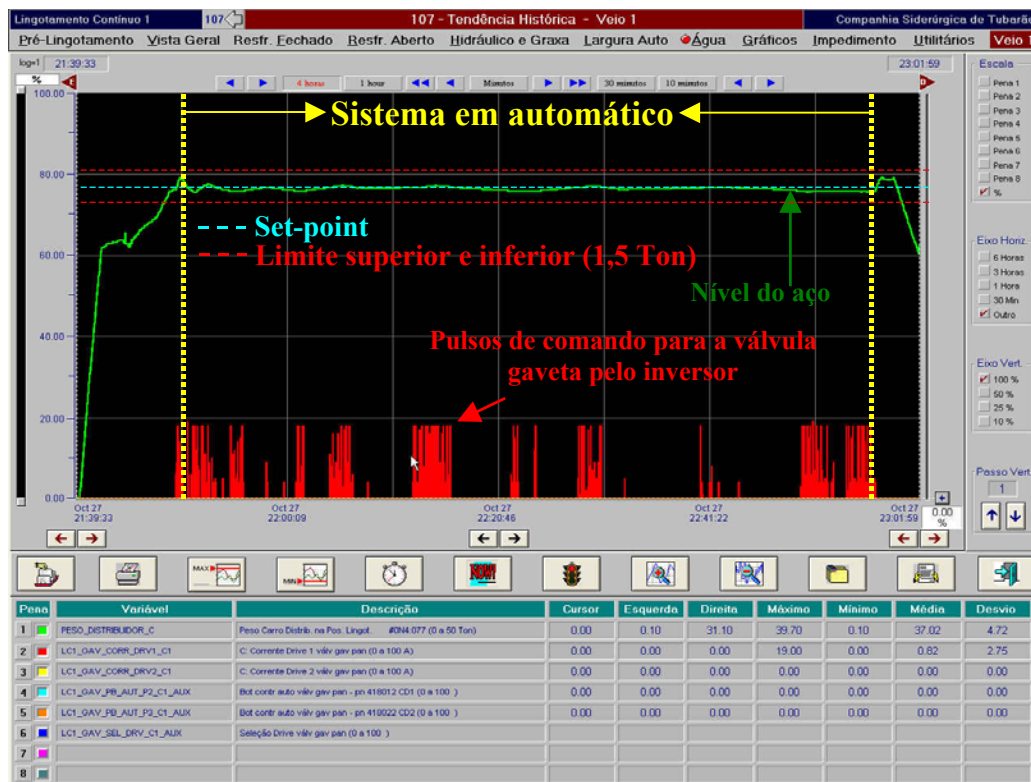
## **CONCLUSÃO**

### **Resultados Obtidos**

Com as implementações descritas acima conseguiu-se que o sistema de controle automático do nível de aço do distribuidor mantivesse o nível do aço, em parâmetros ideais para a operação das máquinas de lingotamento contínuo, com variações de 1



tonelada para as piores situações, ficando a variação média em 600 Kilogramas conforme mostrado na Figura 6, melhorando o índice de funcionamento do sistema em automático, conforme Tabela 3.



Fonte – Sistema supervisor CST

**Figura 6.** Nível do aço do distribuidor após a modificação.

**Tabela 3.** Índice de Funcionamento em Automático do Nível do Distribuidor

Antes da Modificação	Após Modificação
20 %	80%
* Média mensal	

Outro ganho obtido foi relacionado à segurança pessoal do operador, em função da não necessidade de sua permanência em tempo integral na plataforma de operação da válvula gaveta da panela durante o lingotamento, reduzindo a exposição do mesmo ao risco de projeção de aço conforme Tabela 4.

**Tabela 4.** Tempo de Permanência do Operador na Plataforma da Panela.

Antes da Modificação	Após Modificação
100 %	16%
* Média do tempo de lingotamento = 60 minutos	



## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Guia para Normalização de Referências**: NBR 6023. Rio de Janeiro, 2002.
- 2 COMPANHIA SIDERURGICA DE TUBARÃO. **Padrão técnico PT-MAN-0721-00-0007 – Sistema de controle de nível do aço no molde**. 0. rev. Serra: CST, 2003.
- 3 COMPANHIA SIDERURGICA DE TUBARÃO. **Padrão técnico PT-ENG-EGEL-00-0009 – Requisitos técnicos para projeto e fornecimento de inversores de frequência**. 0. rev. Serra: CST, 2004.
- 4 COMPANHIA SIDERURGICA DE TUBARÃO. **Padrão técnico PT-PRO-ACIA-73-7340 – Controle do nível do aço no distribuidor**. 12. rev. Serra: CST, 2003.
- 5 WEG industria S.A..Centro de Treinamento Clientes. **Curso de variação de velocidade**.Jaraguá do Sul: 2004.

# OPTIMIZATION OF THE TUNDISH STEEL LEVEL CONTROL SYSTEM ON THE CST'S CONTINUOUS CASTER<sup>1</sup>

Alexandre Toniati<sup>2</sup>  
Elizeu Rocha de Moura<sup>3</sup>  
Robison Miranda do Nascimento<sup>4</sup>

## Abstract

The steel slab is one of the final consumer products, which have the quality control needs required during all the manufacture process in the Continuous Caster. The tundish steel level, subject of this paper, is one of the items that could affect this quality, if its automatic control system doesn't work properly.

Since the tundish steel level automatic control system hadn't attend the standard requirements, improvements were done in this system, aiming its optimization and the quality events removal associated. This paper presents the improvements done in the tundish steel level automatic control system.

**Key-words:** Steel level; Inverter; Continuous cast; Tundish.

<sup>1</sup> *Technical paper to be presented at IX Seminar of the Automation of the Processes – ABM, at Curitiba- PR, October 2005.*

<sup>2</sup> *CST's Continuous Casting Electrical and Eletronic Maintenance Engineer.*

<sup>3</sup> *CST's Continuous Casting Eletrical Maintenance Technician.*

<sup>4</sup> *CST's Continuous Casting Eletrical Maintenance Supervisor.*