

# O PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE INSPEÇÃO ON-LINE DE SUPERFÍCIES DE TIRAS A QUENTE NA CST <sup>(1)</sup>

*Fernando José Martinelli <sup>(2)</sup>  
Eduardo Natal Brunelli <sup>(3)</sup>  
Sergio de Oliveira Lima Júnior <sup>(4)</sup>  
Júlio Cezar Bellon <sup>(5)</sup>*

Este artigo apresenta a experiência obtida pela Companhia Siderúrgica de Tubarão no processo de instalação de seu sistema de inspeção on-line de tiras a quente. O artigo apresenta inicialmente uma visão geral da forma de funcionamento do sistema descrevendo conceitos gerais relativos aos princípios que regem a operação do sistema. Em especial descreve-se uma forma de compreender o processo de aprendizagem subjacente a operação do sistema. Apresenta-se ainda uma descrição do processo de comissionamento do equipamento indicando suas fases e alguns comentários acerca das dificuldades encontradas e soluções adotadas.

Palavras-chave: sistema de inspeção de defeitos superficiais, laminador de tiras a quente, aprendizagem automática

<sup>(1)</sup> *Contribuição Técnica ao 8º Seminário de Automação de Processo da ABM, Belo Horizonte, MG, 06 a 08 de Outubro de 2004*

<sup>(2)</sup> *Engenheiro eletricista, D.Sc, Especialista em Automação de Processos, CST, Vitória, ES*

<sup>(3)</sup> *Técnico Especializado em Manutenção e Controle de Processo, CST, Vitória, ES*

<sup>(4)</sup> *Membro da ABM, Engenheiro, Especialista em Laminação de Tiras a Quente, CST, Vitória, ES*

<sup>(5)</sup> *Membro da ABM, Engenheiro metalurgista, M.Sc, Especialista em Laminação de Tiras a Quente, CST, Vitória, ES*

## 1 INTRODUÇÃO

Um problema intrínseco a produção de tiras a quente é a possibilidade de ocorrência de defeitos em sua superfície. Estes defeitos podem ser de vários tipos e ter diferentes fontes geradoras. Por exemplo, pode-se ter a presença de carepa nas superfícies, devido a condições de operação do forno ou do processo de descarepação ao longo da linha; pode-se ter o surgimento de arranhões no material, em função de algum problema nos rolos de transporte; pode-se detectar ondulações, causadas pelo processamento no trem acabador; dentre várias outras possíveis.

Em função deste problema, faz-se a necessidade de se realizar uma inspeção do material que é produzido em laminadores de tiras a quente. Esta inspeção tem por finalidade julgar se a qualidade do material produzido atende os requisitos do cliente e também dar uma realimentação dos tipos de defeitos detectados à operação do laminador para que esta possa tomar as ações necessárias para minimizar a ocorrência dos defeitos nas próximas tiras que serão laminadas.

O processo usualmente adotado para a realização desta inspeção consiste na realização de uma inspeção visual das tiras produzidas pelo laminador. Neste processo escolhem-se algumas bobinas para serem inspecionadas. Em geral usa-se uma relação uniforme, por exemplo, a cada 7 bobinas, 1 é selecionada para a inspeção e servirá como referência da situação da laminação naquele instante.

No processo de inspeção visual as bobinas selecionadas para a inspeção são retiradas para uma área de inspeção específica e uma parte de seu comprimento inicial é desenrolada. Algo em torno de 10 metros. O inspetor avalia visualmente os tipos de defeitos que aparecem nesta região e julga, com base nesta porção da tira se a mesma tem uma qualidade que atende aos requisitos do cliente. Sua avaliação é também transmitida à operação, caso algum problema que requeira uma modificação da forma de operar o laminador seja detectado.

Apesar da grande utilidade deste processo e qualidade de avaliação que um inspetor experiente possui, existem algumas restrições inerentes que devem ser consideradas.

A primeira destas restrições diz respeito a impossibilidade de realização de uma inspeção total do material. Na forma de inspeção visual somente é possível a inspeção de parte das bobinas produzidas, e ainda assim, somente uma pequena parte do comprimento de cada uma delas pode ser avaliada.

Uma segunda restrição está relacionada ao atraso na realimentação de informações para a operação. Enquanto uma bobina está sendo inspecionada, outras estão sendo produzidas e, até que o inspetor informe a operação de algum problema detectado como, por exemplo, marca de cilindro, outras bobinas estão sendo produzidas com o mesmo problema.

Diante do exposto acima, a Companhia Siderúrgica de Tubarão, durante a aquisição de seu laminador de tiras a quente decidiu instalar um equipamento que já vinha sendo usado em outras empresas localizadas em outros países. Tal equipamento é um Sistema de Inspeção On-Line de Defeitos Superficiais de Tiras a Quente.

Este tipo de equipamento constitui-se de fato num sistema integrado de captura e processamento de imagens que permite a detecção e classificação dos defeitos presentes nas tiras laminadas. Sua grande vantagem está na possibilidade de uma análise de toda a produção, ou seja, 100% das bobinas produzidas podem ser inspecionadas e além disto todo o seu comprimento em ambas as faces estará sendo analisado. Como resultado desta avaliação completa do material, a operação

do laminador tem uma realimentação muito mais rápida e ampla dos defeitos que estejam ocorrendo, permitindo assim uma intervenção imediata na eliminação das causas de tais defeitos.

Nas próximas seções deste artigo descreve-se o princípio de funcionamento deste equipamento e a experiência da CST na implantação deste tipo de equipamento.

## 2 O SISTEMA DE INSPEÇÃO ON-LINE DE DEFEITOS SUPERFICIAIS

### 2.1 TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS

Um Sistema de Inspeção On-Line de Defeitos Superficiais de Tiras a Quente tal qual o sistema utilizado pela CST, para realizar a sua tarefa requer que em sua concepção sejam integradas diversas tecnologias distintas. Na descrição do princípio de funcionamento deste tipo de equipamento, nos parece importante realizar um comentário sobre as três que consideramos mais relevantes. São elas:

- Processamento paralelo – Em função dos tempos envolvidos na produção de uma bobina a quente, o tempo disponível entre a produção uma bobina e outra é muito pequeno. Assim, um sistema que precisa avaliar a qualidade das bobinas e dar uma realimentação rápida desta informação precisa adotar alguma tecnologia de processamento que agilize seu trabalho. É claro que o desenvolvimento de novas arquiteturas computacionais permitem dia a dia máquinas com poder de processamento cada vez maior. Contudo uma solução muito interessante é a adoção de um processamento das informações em uma forma paralela, permitindo que com hardware de baixo custo, sejam obtidos tempos de processamento adequados para avaliação da qualidade superficial do material produzido.
- Processamento de imagens (análise e classificação de formas) – Outra tecnologia que inevitavelmente deve ser empregada é a de processamento de imagens. Qualquer imagem capturada, para que seja classificada como um defeito, precisar antes passar por alguns processamentos. Estes processamentos vão desde a simples captura e análise da existência ou não de algo que valha a pena ser analisado em uma imagem, até a classificação do tipo de defeito representado por aquela imagem.
- Aprendizagem Automática – A área de aprendizagem automática é um ramo da Inteligência Artificial que estuda formas de computadores aprenderem com experiências anteriores. Em função do conhecimento de como classificar os defeitos ser basicamente um conhecimento humano, o uso de tais técnicas permite que um sistema computacional aprenda com base nas informações a ele passadas, permitindo classificar um defeito tão bem como um especialista humano e que este conhecimento seja sempre refinado com base em novas informações.

### 2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O sistema adotado pela CST foi adquirido da empresa Parsytec junto ao contrato de fornecimento do seu LTQ. Muitas das informações citadas a seguir são de fato relacionadas a forma como o sistema da empresa Parsytec realiza o seu processamento.

## 2.2.1 CAPTURA DA IMAGEM

Para a identificação de um defeito superficial com base em uma imagem, parte-se do princípio de reflexão apresentado pela figura 1. Isto é se uma fonte luminosa emite seus raios sobre uma superfície regular, estes raios serão refletidos em uma determinada direção e podem ser capturados por um observador. Se esta superfície for irregular, tais raios serão refletidos em direções diferentes, criando zonas de iluminação diferenciada quando analisadas pelo observador.

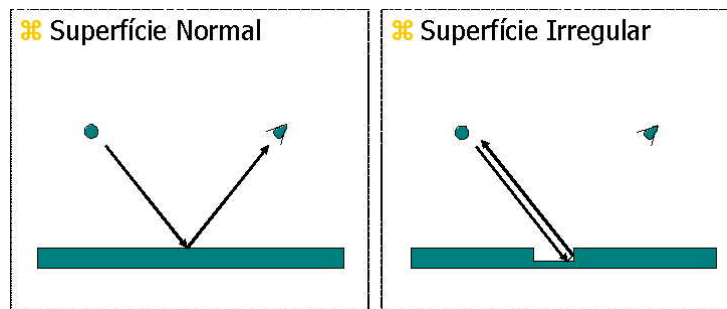


Figura 1 – Princípio de reflexão usado na detecção de defeitos

Para a implementação deste princípio, o hardware do sistema é composto por um conjunto de luzes e câmeras posicionadas a fim de capturar as imagens das duas faces da tira e ao longo de toda a largura da mesma. O hardware em uso na CST possui um conjunto de 6 câmeras posicionadas para captura de imagens em cada face da tira.

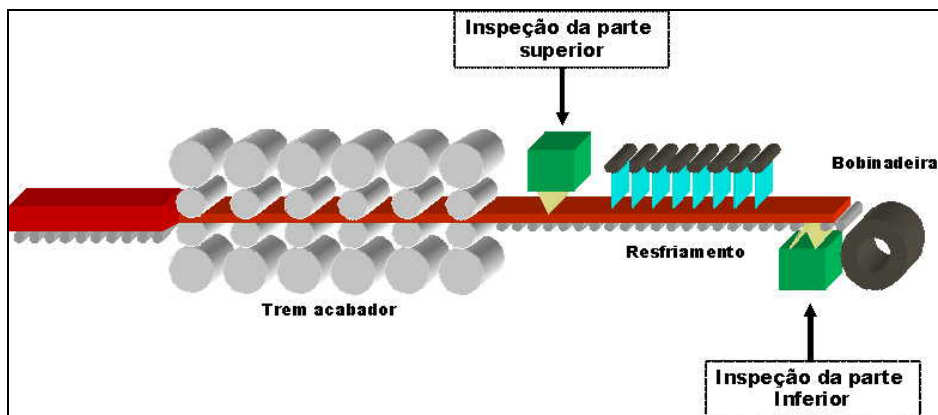


Figura 2 - Localização do sistema na Linha de Laminação a Quente da CST

Cada uma destas câmeras está periodicamente capturando uma imagem da tira em uma razão (número de imagens por segundo) constante. As câmeras superiores capturam 120 imagens por segundo e ficam localizadas na saída do trem acabador (Figura 2). Em função da distância entre rolos da mesa, as câmeras inferiores – localizadas após o resfriamento laminar e antes da guarda lateral de entrada da bobinadeira 1 – capturam uma imagem com área inferior a das câmeras superiores. Para compensar tal situação as câmeras capturam 240 imagens por segundo.

## 2.2.2 PROCESSAMENTO INICIAL

As imagens capturadas por cada câmera são enviadas a um computador ao qual as mesmas estão conectadas (Figura 3). Estes computadores realizam um processamento inicial da imagem. Este processamento inicial consiste basicamente em identificar se há variações de nível de cinza entre os pixels da imagem. Se for detectada tal variação, então se considera que a imagem apresenta um defeito que precisará ser classificado em uma fase posterior do processamento. Se a imagem for suficientemente homogênea, considera-se que nenhum defeito está ali apresentado e a imagem é descartada.

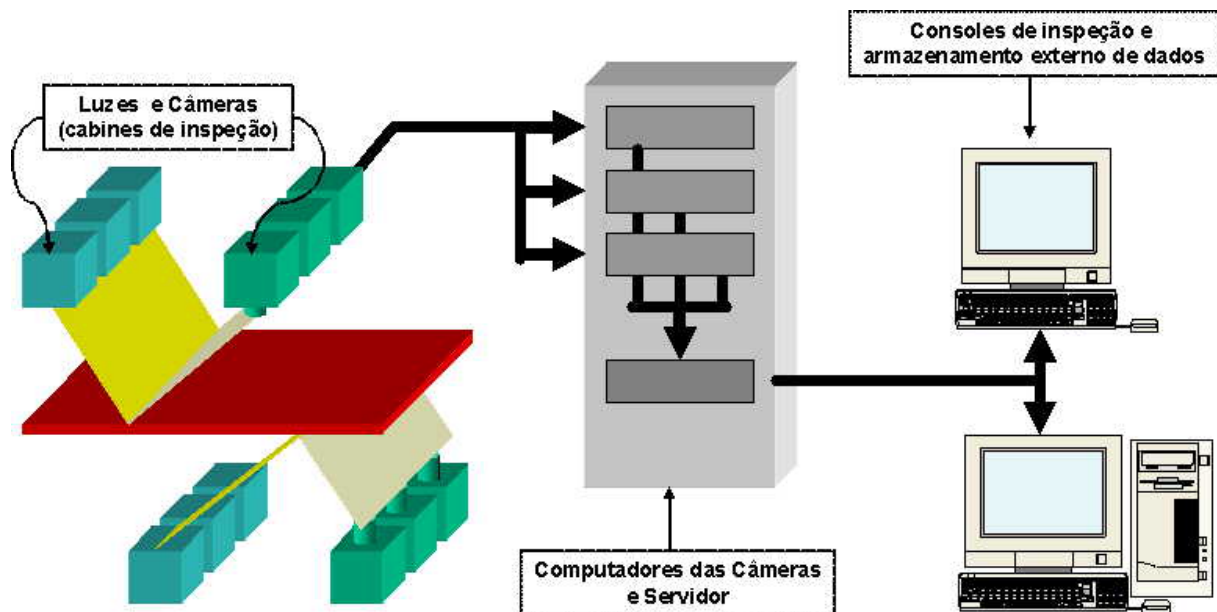


Figura 3 – Diagrama esquemático do hardware do sistema adotado na CST

A fim de identificar se uma imagem tem realmente defeito, existem alguns parâmetros que precisam ser ajustados. Um deles é a “sensibilidade”. Este parâmetro indica qual a variação de nível de cinza a partir da qual será considerada a existência de um defeito. Seu ajuste representa um compromisso entre a quantidade de defeitos que se deseja obter e os tipos de defeitos que se quer capturar. Se a sensibilidade é muito alta, mesmo defeitos com baixo contraste podem ser capturados, contudo muitas variações de tonalidade da tira podem vir a ser capturadas inadequadamente como defeitos podendo causar dificuldades de avaliação. Por outro lado uma sensibilidade muito baixa pode implicar na não captura de algum tipo de defeito.

## 2.2.3 PROCESSAMENTO DA IMAGEM CONSIDERADA DE UM DEFEITO

As imagens consideradas defeito passam por um processamento adicional. Inicialmente a região onde o defeito foi detectado é delimitada dentro da imagem capturada.

Em alguns casos um mesmo defeito pode estar representado em múltiplas imagens. Tal situação ocorre quando um defeito tem dimensões maiores que a área de visualização de uma câmera, ou está localizado em uma área abrangida pela observação de duas câmeras. Assim um processamento de agregação das diferentes imagens que compõem o desenho se faz também necessário.

Identificada a localização do defeito, inicia-se um processamento com o objetivo de extrair das imagens as características que permitirão distinguir um defeito de outro. Exemplos de características podem ser: sua área, diferença de níveis de cinza, comprimento, largura, dentre outras. De fato no sistema adquirido pela CST podem existir até 800 destas características, mas o sistema não precisa calcular todas. Ele se focaliza apenas num subconjunto que permita tomar a decisão sobre qual tipo de defeito que está presente naquela imagem. Na seção seguinte apresenta-se uma forma que pode ser usada para identificar quais as características que permitem tomar esta decisão.

Identificadas as características de cada imagem, o sistema toma então a decisão sobre qual tipo de defeito ela representa, apresentado assim o resultado ao operador.

Ao fim da laminação da bobina o sistema apresenta ainda um resultado geral identificando a distribuição dos defeitos ao longo da área de cada uma das faces. O resultado desta bobina permanecerá no sistema por alguns dias. No caso da CST, optou-se ainda por adquirir um sistema de armazenamento auxiliar que permite um aumento da capacidade de armazenamento dos resultados da bobinas processadas.

#### 2.2.4 DETERMINAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DISCRIMINANTES

A determinação de quais características e quais valores representam cada defeito é realizada por um componente de software do sistema e é baseada em algumas técnicas de Inteligência Artificial. Este software analisa uma série de imagens de referência fornecidas pelos especialistas responsáveis pelo “treinamento” do equipamento. Para cada uma destas imagens, o especialista define qual o defeito que ela representa.

De uma forma simplista, podemos dizer que o software irá analisar quais as características que são comuns a todas as imagens que representam um tipo de defeito. Havendo detectado estas características, adota-se a hipótese de generalização de que todas as imagens que tiverem características equivalentes àquelas imagens de referência analisadas representarão o mesmo tipo de defeito.

Tabela 1 – Cálculo de todas as características de algumas imagens

Área	Perímetro	Tonalidade	Comprimento	Largura	Classe
1	5	claro	2	0,5	carepa
1	20,2	claro	10	0,1	arranhão
1	4	escuro	1	1	nada relevante
1	20,2	escuro	0,1	10	furo
10,56	14	claro	4,8	2,2	carepa
10	14	claro	5	2	arranhão
8,25	14	escuro	5,5	1,5	nada relevante
4,8	24,8	escuro	0,4	12	furo
30	26	claro	3	10	carepa
3	30,4	claro	15	0,2	arranhão
49	28	escuro	7	7	nada relevante
32	36	escuro	2	16	furo

Como exemplo ilustrativo e didático de uma abordagem que pode ser adotada, consideremos o indicado pela tabela 1.

Ela representa o resultado do cálculo de todas as características de algumas imagens classificadas por um especialista. O software irá identificar qual a característica que melhor divide o conjunto inicial em dois conjuntos com classes o mais distintas possível.

Será então selecionada a característica TONALIDADE conforme mostrado na figura 4, pois ela consegue dividir o conjunto inicial em dois conjuntos onde nenhuma das classes do primeiro conjunto aparece no segundo. Com base nesta partição o sistema continuará operando até que obtenha conjuntos específicos para cada classe.



Figura 4 – Participação da tabela 1 em conjuntos com classes distintas

Na figura 5 se apresenta o resultado final para este exemplo. Note que com apenas a análise de 3 características é possível ter uma definição exata de que tipo de defeito que uma imagem representa.

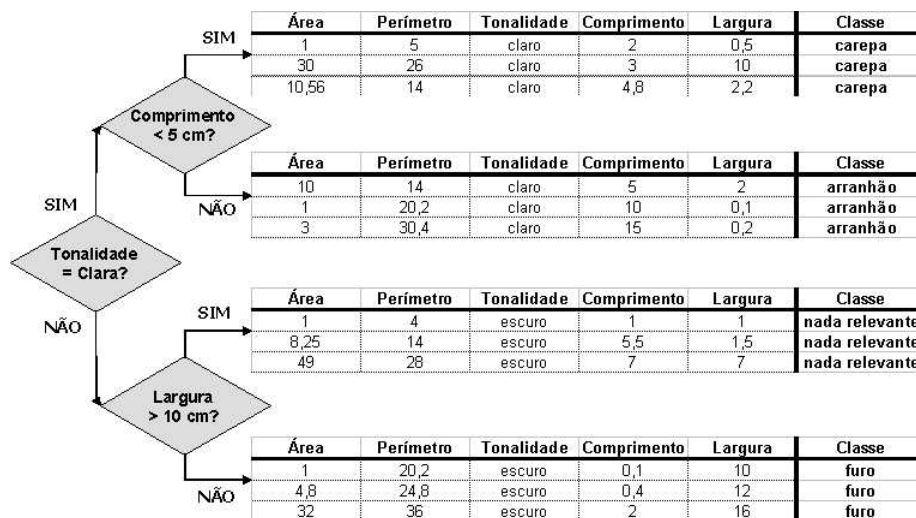


Figura 5 – Participação da figura 4 em conjuntos com classes distintas

O exemplo acima não representa exatamente a forma de operação do sistema da CST, mas apenas a possibilidade de uso de um outro algoritmo [1] de aprendizagem automática para solução deste problema. Existem ainda diversos outros algoritmos [2] que poderiam realizar a mesma atividade de outras formas distintas e atingindo resultados equivalentes.

### 3 COMISSIONAMENTO

Como já citado, o sistema adotado pela CST foi adquirido da empresa Parsytec junto ao contrato de fornecimento do seu LTQ. Tal sistema possui o

hardware da versão 3.1. Durante o processo de comissionamento do equipamento o software foi atualizado pela própria Parsytec para a versão 4.2 em função desta nova versão ter funcionalidades que permitiram um comissionamento mais simplificado do equipamento.

O sistema foi comissionado em paralelo a linha do LTQ da CST. Esta atividade realizada desta forma acabou trazendo alguns transtornos em função da necessidade de se voltar à atenção também para outras áreas do LTQ que estavam sendo comissionadas, impedindo um acompanhamento intenso da implantação e com certeza causando algum impacto no tempo total do comissionamento.

O comissionamento levou 2 anos desde a chegada do equipamento até o aceite dos níveis de precisão da classificação dos defeitos. Este comissionamento foi realizado através de várias visitas dos técnicos da Parsytec a CST e acabou refletindo diversas fases de atividades. Macroscopicamente, podemos dividir as atividades nas seguintes fases:

- Preparação das instalações civis para abrigar os equipamentos;
- Instalação do hardware;
- Comissionamento do hardware;
- Atualização do software;
- Ajuste e calibração dos equipamentos;
- Operação inicial com classificador pré-ajustado;
- Treinamento operacional;
- Solução de problemas com ambiente (excesso de água);
- Coleta de novas imagens;
- Geração de novos classificadores.

Um grande problema na instalação do Parsytec nas instalações da CST e que causou muita dificuldade nos ajustes foi o acúmulo de água sobre a tira na região onde estavam sendo capturadas as imagens da face superior. Várias alternativas foram testadas para a eliminação da água, mas somente após a instalação de 4 ventiladores sobre a região é que foi possível solucionar o problema.

A presença de água fazia com que o sistema capturasse imagens em excesso. Estas imagens em excesso não eram processadas pelo sistema, devido ao seu grande volume, fazendo com que muitas imagens fossem perdidas. A presença de água nas imagens que eram capturadas também fazia com que o sistema focalizasse atenção sobre a água, impedindo a correta classificação de alguns defeitos reais presentes. A água também impedia a geração de novos classificadores em função das imagens não estarem refletindo apenas os defeitos reais das tiras.

O sistema começou a funcionar com alguns defeitos pré-classificados pela Parsytec com base em imagens de outras usinas. Contudo existe a necessidade de se estar sempre refinando este classificador com as imagens características do laminador no qual o sistema está operando. Após a eliminação do problema da água, iniciou-se uma fase de melhoria nos níveis de classificação através da utilização das próprias imagens da CST para realimentar o classificador.

Outra dificuldade observada durante o processo de comissionamento esteve relacionada ao processo de classificação de imagens. A avaliação de imagens não segue sempre os mesmos moldes da avaliação física do defeito, criando alguma dificuldade na classificação correta de algumas imagens. As denominações adotadas inicialmente pelo sistema também não correspondiam exatamente as denominações usadas pelos especialistas da CST.



Durante o comissionamento, vários novos classificadores foram criados até que os níveis de aceite contratuais fossem atingidos. Ainda hoje tal processo de geração de novos classificadores se faz necessário para refinamento do desempenho do sistema, em função da ocorrência de novos defeitos ou novas características de defeitos já conhecidos, até mesmo porque novos materiais vão sendo desenvolvidos e incorporados ao mix do laminador.

#### 4 CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

O Sistema de Inspeção On-Line de Defeitos Superficiais de Tiras a Quente tem se apresentado como uma ferramenta fundamental no auxílio a operação do laminador da CST. Sua importância atingiu tal nível que em caso de alguma indisponibilidade do sistema, a linha de laminação permanece parada até seu restabelecimento.

Apesar das dificuldades em seu comissionamento a forma de operação do sistema encontra-se dominada, mas ainda muito trabalho é esperado na melhoria contínua dos níveis de acerto na classificação de defeitos.

Algumas ações também estão sendo implementadas com o objetivo de investigar a utilidade dos resultados do sistema no julgamento do material produzido. Estas ações visam adequar o sistema a forma de avaliação hoje adotada na empresa, disponibilizar de uma forma mais intensa os dados nos sistemas de nível 2 e 3 e investigar alternativas de automatizar o julgamento das bobinas com base nos dados diretamente extraídos do sistema.

#### 5 REFERÊNCIAS

- [1] QUILAN, J. R.. Induction of decision trees. **Machine Learning**, n.1, p.81-106. 1986. Reprinted in: SHAVLIK, Jude W., DIETTERICH, Thomas G.. **Readings in machine learning**. San Mateo (CA-USA): Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1990. p.57-69.
- [2] MITCHELL, Tom M.. **Machine Learning**. Boston (MA-USA): WBC/McGraw-Hill, 1997.
- [3] **Manuais do Sistema Parsytec Versão 4.2**

# THE HOT STRIP ON-LINE INSPECTION SYSTEM INSTALATION ON CST <sup>(1)</sup>

*Fernando José Martinelli* <sup>(2)</sup>  
*Eduardo Natal Brunelli* <sup>(3)</sup>  
*Sergio de Oliveira Lima Júnior* <sup>(4)</sup>  
*Júlio Cezar Bellon* <sup>(5)</sup>

This article presents the acquired experience on the installation of the hot strip on-line inspection system in Companhia Siderúrgica de Tubarão.

The article presents an overview of the system focusing on the way it works. It is described the main concepts that guide the system operation. It is specially described the learning process used by the system to acquire the knowledge that it uses to operate.

It is also being presented the comissioning process of this equipment, describing this process, its phases and some comments regarding the problems we have found and the adopted solutions.

Keywords: On-line inspection system, hot strip mill, machine learning

<sup>(1)</sup> *Technical Contribution to 8<sup>TH</sup> ABM Process Automation Seminar, October 6<sup>th</sup> to 8<sup>th</sup>, 2004 – Belo Horizonte - MG*

<sup>(2)</sup> *Electrical engineer, D.Sc, Automation Specialist, CST, Vitória, ES*

<sup>(3)</sup> *Maintenance and Process Control Specialized Technician, CST, Vitória, ES*

<sup>(4)</sup> *ABM member, Engineer, Hot Strip Mill Specialist, CST, Vitória, ES*

<sup>(5)</sup> *ABM member, Metallurgical engineer, M.Sc, Hot Strip Mill Specialist, CST, Vitória, ES*