



## APLICAÇÃO DE UV LED NO ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NA LINHA DE INSPEÇÃO DE TARUGOS DA GERDAU OURO BRANCO\*

Guilherme Lisboa Quaresma<sup>1</sup>  
 Alessandro Elson Teixeira<sup>2</sup>  
 Luiz Orione Vieira<sup>3</sup>  
 Antonio Marcos Venanzi<sup>4</sup>  
 Adriano Schirmer Silva<sup>5</sup>  
 Marcio Renato Da Silva<sup>6</sup>  
 Edimar da Consolação Santos<sup>7</sup>

### Resumo

Um ensaio por partículas magnéticas é um método não destrutivo utilizado na detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em produtos laminados. Este método consiste em submeter a peça a um campo magnético, com aglomeração de partículas magnetizáveis nos pontos onde há descontinuidade. As partículas usadas podem ser de diferentes cores, dimensões e formas. A partícula fluorescente sob a luz ultravioleta demonstra melhor resultado para detecção de pequenas descontinuidades. Para ampliar o campo de visão ensaiado e realçar o contraste entre partícula e peça a radiação ultravioleta deve garantir uniformidade, intensidade e comprimento de onda adequado. Essas exigências motivaram o trabalho da Gerdau junto com a Metal Chek, representante da Spectroline, no desenvolvimento de uma solução inovadora. Na Linha de Inspeção de Tarugos da Gerdau Ouro Branco o uso de luminárias ultravioletas de LED - Light Emitting Diode tornou-se uma alternativa que proporcionou ganho em eficiência e em confiabilidade na tomada de decisão do inspetor de qualidade, baixo consumo de energia, custo de manutenção e satisfação dos clientes. A implantação das luminárias de LED refletiu na prática a evolução da qualidade do produto, além de melhores condições em meio ambiente, saúde e segurança para o inspetor.

**Palavras-chave:** Partícula magnética fluorescente; Luz ultravioleta; LED – Light Emitting Diode; Qualidade.

### USING UV LED IN MAGNETIC PARTICLE TESTING IN THE LINE OF BILLETS INSPECTION OF GERDAU OURO BRANCO

#### Abstract

A magnetic particle testing is a non-destructive method for detecting discontinuities in surfaces and subsurfaces in laminated products. This method consists of submitting the product to a magnetic field, with an agglomeration of magnetizable particles at the points where there is discontinuity. The particles used may have different colors, sizes and shapes. The fluorescent particle under ultraviolet light shows a better result for the detection of small discontinuities. To expand the field of view tested and in order to highlight the contrast between particle and item, the ultraviolet radiation must ensure uniformity, intensity and appropriate wavelength. These requirements motivated the work of Gerdau along with Metal Chek, representant of Spectroline, in the development of an innovative solution. In the Line of Billet Inspection of Gerdau Ouro Branco, the usage of ultraviolet lamps of LED - Light Emitting Diode, became an alternative that provided efficiency and reliability gains in the decision making process of the quality inspector, low power consumption, cost maintenance and customer satisfaction. The introduction of LED lamps reflected in the evolution of product quality, better environmental conditions, health and safety to the inspector.

**Keywords:** Fluorescent magnetic particle; Ultraviolet light; LED - Light Emitting Diode; Quality.

<sup>1</sup> Engenheiro de Produção, Chefe Leitos e Pontes, Laminações de Longos, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Eng. de Minas, Chefe Inspeção e Acabamento, Laminações de Longos, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Técnico Mecânico, Assessor Técnico, Laminações de Longos, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Técnico Metalurgista, Supervisor Técnico, Metal Chek, Brança Paulista, SP, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro Mecânico, Vendedor Técnico, Metal Chek, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>6</sup> Eng. Eletricista, M.Sc. Técnico eletricista, Laminação e Acabamento PBT, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

<sup>7</sup> Técnico em Metalurgia, Inspetor de Qualidade, Laminações de Longos, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

Existem diversos métodos empregados na inspeção superficial de produtos laminados que buscam assegurar a qualidade e reforçar a preferência do cliente em um mercado competitivo. Dentre os métodos mais aplicados industrialmente estão a inspeção visual, *eddy current* ou correntes parasitas, líquido penetrante e partículas magnéticas. [1] A inspeção visual é um método simples, barato e largamente empregado na indústria, principalmente quando o produto ensaiado é destinado para aplicações menos nobres. Baseado na metodologia de comparação, esta inspeção requer critérios bem definidos para a aprovação ou rejeição do produto, restrito aos limites do olho humano. No método de ensaios por correntes parasitas o princípio básico envolvido é o da indução eletromagnética. Neste método um campo magnético primário induz um fluxo de correntes parasitas pela peça ensaiada e conseqüentemente cria um campo secundário de sentido contrario obtendo um campo magnético resultante. Quando houver diferenças químicas, de espessura ou da geometria do material, teremos alterações no fluxo de correntes parasitas, na tensão induzida e no campo resultante, tornando possível identificar descontinuidades através do monitoramento destas variações. O ensaio com líquido penetrante consiste em aplicar na superfície do material um líquido que ira penetrar nas descontinuidades. Removendo o excesso deste líquido e utilizando um revelador ficará evidente na superfície do material a descontinuidade encontrada. Este método é indicado para detectar somente descontinuidades superficiais que estejam abertas na superfície do material.

O ensaio por partículas magnéticas é largamente utilizado na detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais. É importante ressaltar que este método só pode ser usado para materiais ferromagnéticos, pois consiste na indução de campo magnético ou por passagem de corrente elétrica pela peça, fazendo com que ela seja magnetizada e onde houver descontinuidades formarão campos de fuga do fluxo magnético. Estes campos de fuga atuam como ímãs, que retêm as partículas e desta forma é possível tornar as descontinuidades evidentes para a inspeção. As partículas chamadas de magnéticas na verdade são partículas magnetizáveis, geralmente de óxido de ferro, sua forma e cor variam conforme a técnica de ensaio empregada. A forma como a partícula será aplicada pode variar entre via seca, na forma de pó pulverizado, ou via úmida quando utilizado um líquido para sua dispersão, neste caso a sensibilidade do ensaio permite um melhor resultado de sensibilidade no ensaio. O uso de partículas magnéticas fluorescentes sob luz ultravioleta é eficiente para a inspeção de laminados devido ao contraste que é possível obter entre fundo da peça e a partícula.

---

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.


**Tabela 1.** Comparação entre os métodos de ensaios não destrutivos

Método de inspeção	Tipos de descontinuidades que se pode encontrar	Vantagens	Limitações	Aplicação Fundamental
Líquido penetrante	Descontinuidades superficiais e abertas (trincas, poros, dobras, etc.)	- Fácil Manuseio - Baixo custo - Sem limitações para tamanho e geometria da peça	- Indica somente defeitos superficiais - Não se utiliza em superfícies irregulares e porosas	Em metais ferrosos e não ferrosos
Partícula magnética	Descontinuidades superficiais e subsuperficiais	- Baixo custo - Mais rápido que o LP; - Permite sensibilidade controlada	Não se utiliza em materiais não ferrosos	Indicado para materiais ferromagnéticos
Corrente parasita	Descontinuidades superficiais e subsuperficiais	- As indicações são imediatas - Não exigem uma preparação superficial rigorosa	- As peças precisam ter geometria uniforme - Apresentam algumas dificuldades na obtenção de registros permanentes	Em metais ferrosos e não ferrosos

A eficiência no resultado deste ensaio de partículas magnéticas, por via úmida, esta diretamente ligada em assegurar a qualificação e treinamento dos inspetores, controle dos parâmetros de intensidade do campo magnético, concentração das partículas, uniformidade, intensidade e comprimento de onda da radiação ultravioleta. Esta radiação adequada que é o foco do trabalho.

Conforme definido por Turro [2] a fluorescência ocorre quando um elétron de uma molécula, um átomo ou nanoestrutura relaxa ao seu estado fundamental ao emitir um fóton de luz (“pacote de energia”) visível, depois de ser excitados por energia de uma radiação eletromagnética de comprimento de onda adequado. Sabemos também que a cor que enxergamos um objeto é referente ao comprimento de onda refletido por este, ou seja, ao comprimento de onda que não é absorvido pelo objeto e sim refletido. Por exemplo, um objeto que reflete um comprimento de onda entre 440 e 485nm será visto pelo olho humano na cor azul. Uma faixa de comprimento de onda com boa percepção ao olho humano é 520 a 580nm, coincidente com a cor amarelo esverdeado, por isso comumente escolhemos esta cor para a fluorescência da partícula magnética utilizadas no ensaio e para isso é ideal incidir sob a partícula um comprimento de onda ~365nm (faixa do UVA), que refletira exatamente este comprimento de onda desejado (520 a 580nm).

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.


**Tabela 2.** Comprimento de onda por espectro e cor

Espectro	Cor	$\lambda$ (nm)
Ultravioleta	C	180-280
	B	280-315
	A	315-400
Luz visível	Violeta	400-440
	Azul	440-485
	Ciano	485-500
	Verde	500-565
	Amarelo	565-590
	Laranja	590-625
	Vermelho	625-740
Infravermelho	ABC	740-1x10 <sup>6</sup>

Para a escolha da luminária ideal a ser utilizada no ensaio como fonte da energia eletromagnética que estimulará a fluorescência da partícula, objetivamos a emissão monocromática na faixa UVA, no comprimento de onda de 365nm e ainda atingir a intensidade conforme indicado pela norma ASTM E 1444 (valor mínimo de 1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  na superfície ensaiada). Comumente utilizam-se lâmpadas de vapor de mercúrio para alcançar essas condições de iluminação. Essas lâmpadas se baseiam no princípio da descarga elétrica por meio de gases. Porém as buscas por melhores resultados de eficiência na intensidade luminosa e exatidão no comprimento de onda tem motivado o surgimento de alternativas viáveis. Daí, a tecnologia LED (*Light Emitting Diode*, ou Diodo Emissor de Luz) se transformou em um dos principais alvos de avanços na área de iluminação, alinhando conforto visual, flexibilidade de aplicação e uso, eficiência energética e sustentabilidade.

O diodo emissor de luz LED é um componente eletrônico semicondutor que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz na matéria, diferente das tecnologias convencionais que necessitam de descarga de gases, filamentos metálicos, radiação ultravioleta e outros. Para obter o uso dessa tecnologia no ensaio de partículas magnéticas é necessário encontrar um diodo capaz de emitir um comprimento de onda de 365nm pelos motivos explicamos acima.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A linha de inspeção de tarugos (LIT) da Gerdau Ouro Branco possui equipamento de inspeção superficial com método de partículas magnéticas por via úmida, utilizando concentrado a base de água com pigmentação fluorescente na cor amarelo intenso. Para criar o campo magnético que tenha força suficiente de direcionar as partículas para os campos de fuga gerados nas descontinuidades, utilizamos duas estações de magnetização composta por bobinas transversais e longitudinais que promovem uma magnetização multidirecional por indução. A peça é ensaiada em rota contínua de processo, na posição diamante em dois postos de inspeção com iluminação luz ultravioleta (ou “luz negra”) na superfície do material.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

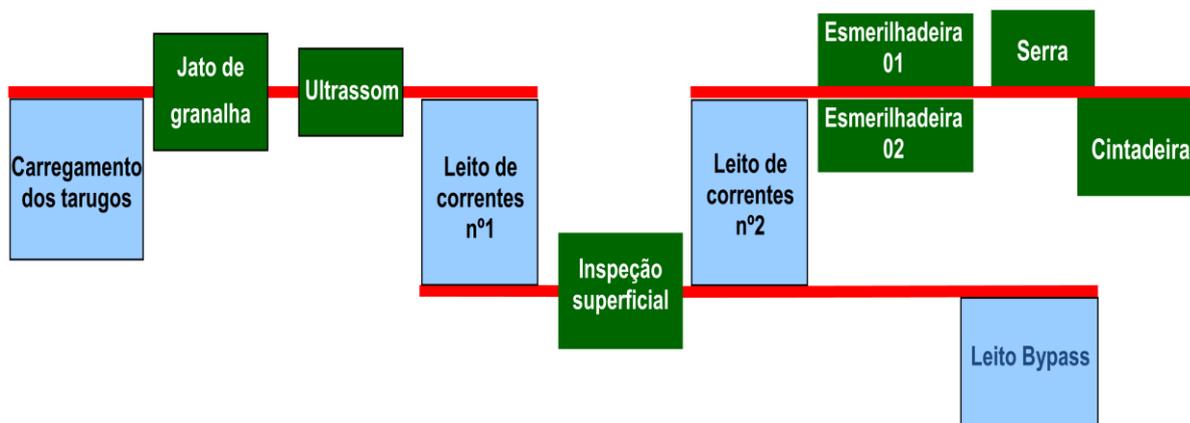


Figura 1. Layout dos equipamentos da Linha de Inspeção de Tarugos (LIT)

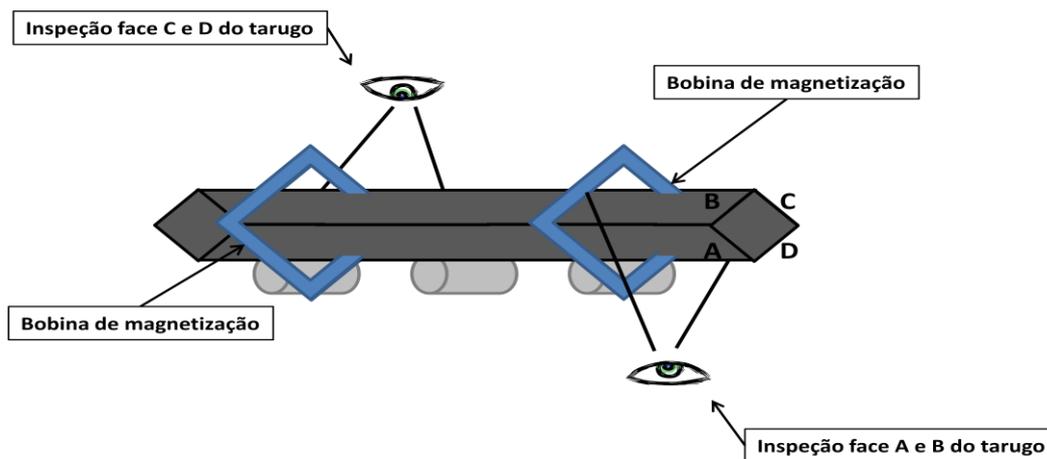


Figura 2. Desenho esquemático da cabine de inspeção

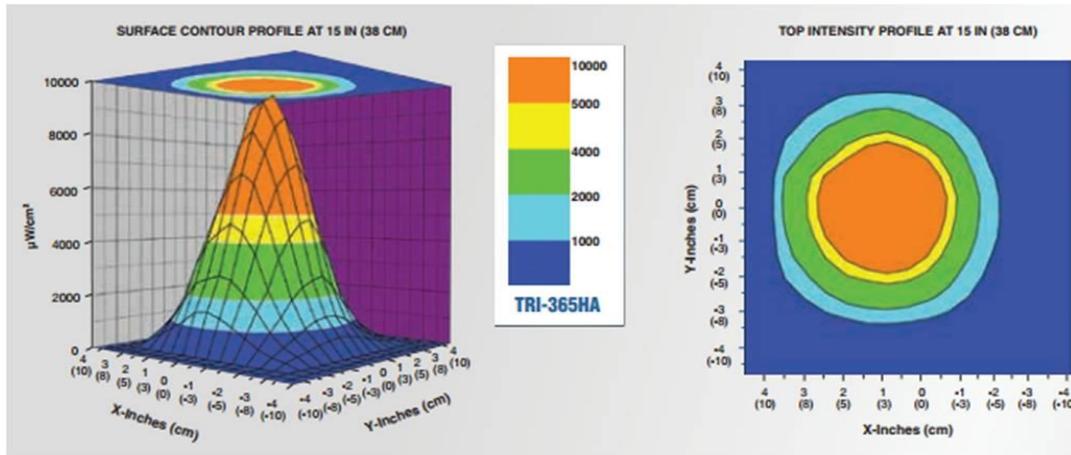
Alterando os valores de corrente, aplicado nas bobinas de magnetização é possível modificar a intensidade da força que direciona as partículas para as discontinuidades sendo necessário atingir um campo mínimo. Vale a pena ressaltar que campos magnéticos muito altos causam interferências magnéticas que podem disfarçar algumas discontinuidades, por meio de medições da intensidade do campo é possível manter controlado.

Para proporcionar a radiação ultravioleta adequada ao ensaio utilizavam-se quatro luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio, modelo UV400, com o comprimento de onda entre 320 a 400nm e 400watts. Estes equipamentos apresentavam restrições na região da peça com intensidade ultravioleta superior a  $1.000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , baixa resistência mecânica, risco de queimadura por contato com a superfície das luminárias, dificuldades com o layout de instalação e vida útil das lâmpadas.

Estas dificuldades motivavam a busca por uma solução eficiente na iluminação. Desta necessidade iniciou-se o estudo para desenvolvimento de uma luminária utilizando a tecnologia LED, objetivando obter eficiência na intensidade de radiação e exatidão no comprimento de onda.

Em 2010 foi apresentado o primeiro protótipo, baseado na luminária de LED modelo Tritan 365, com cabeçotes móveis obtendo boa luminosidade, baixo consumo de energia e geração de calor, porém o campo visual ainda limitado, conforme figura 3.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



**Figura 3** – Modelo de intensidade e foco da luminária portátil de LED

A partir deste resultado propusemos a criação de uma luminária com essa tecnologia, porém com dimensões que atendessem a necessidade da máquina de inspeção da Gerdau Ouro Branco.

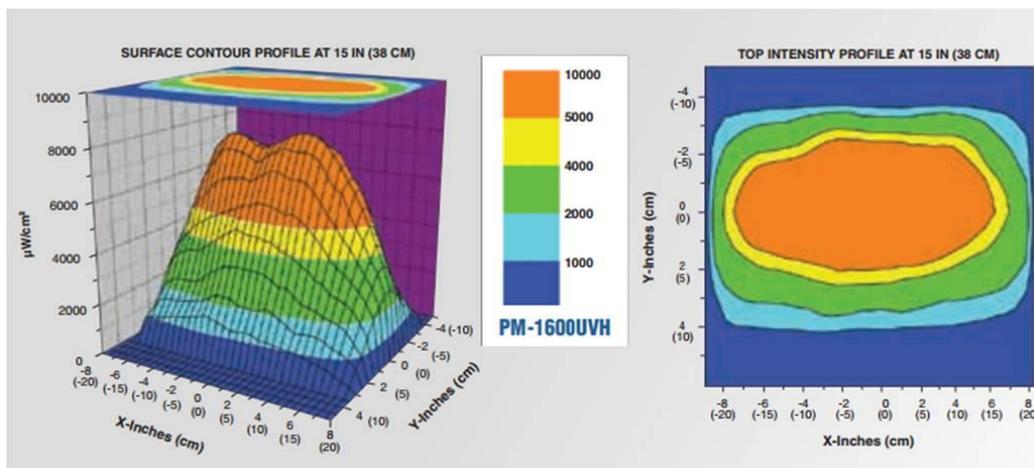
Foi desenvolvido então um modelo utilizando os LED's da luminária Tritan dispostos em linha. Chegamos a uma dimensão de 40 cm de comprimento, com 15 cm de altura, mudanças no circuito elétrico e ventilação, a fim de atender ao campo visual do inspetor e a instalação no local de trabalho. Em função desse trabalho foi criado o modelo comercial PowerMax 365. Esta luminária somou a característica da alta intensidade, ampliação da região de inspeção e diodos emitindo radiação no comprimento de onda em torno do desejado de 365nm.



**Figura 4.** Protótipo inicial



**Figura 5.** Modelo comercial



**Figura 6** – Modelo de intensidade e foco da luminária de LED desenvolvida

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.



Na figura 7, a curva PM-1600UV representa a distribuição dos resultados de comprimento de onda, obtida pela emissão dos diodos da luminária desenvolvida.

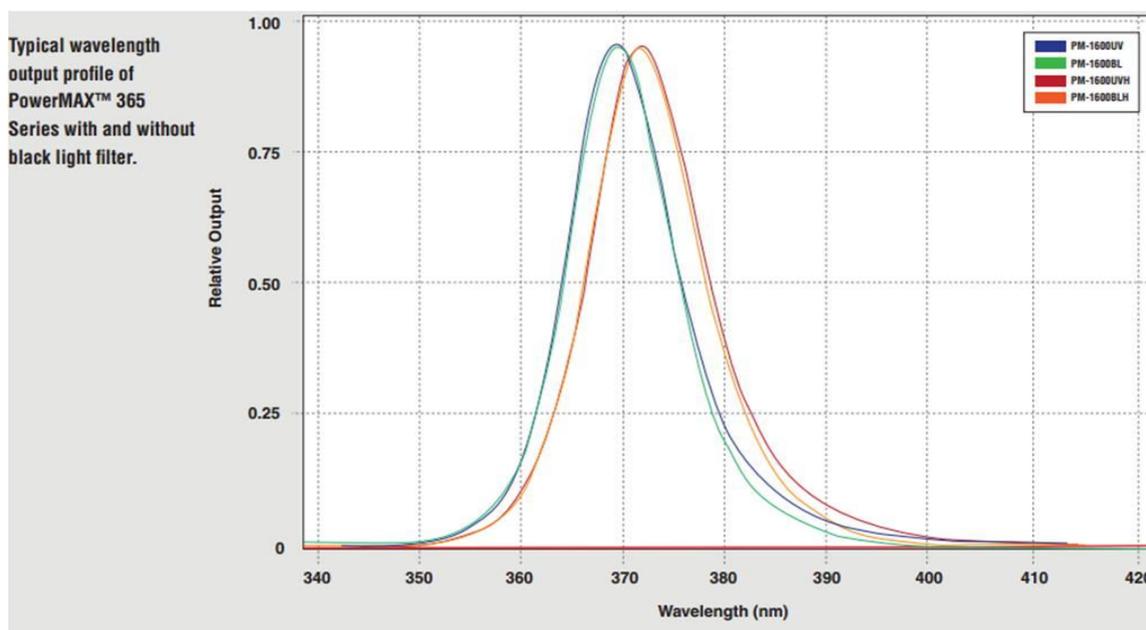


Figura 7 – Distribuição normalizada dos comprimentos de onda da luminária de LED desenvolvida.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos defeitos superficiais comuns em produtos laminados são as trincas longitudinais. Uma forma de remover estes defeitos é o esmerilhamento. Por procedimento interno quando o produto apresenta como resultado da inspeção nível D de defeitos, ou seja, mais de 70% de sua superfície, este produto será reinspecionado visando garantir a identificação de todos os defeitos relevantes.

Após a implementação do trabalho foi possível obter redução de 83% no número de defeitos superficiais encontrados em etapas de reinspeção das peças. Este resultado foi possível devido à ampliação da região com luminosidade adequada para o ensaio e maior fluorescência nas descontinuidades reveladas (em função da precisão no comprimento de onda em torno de 365nm, mostrado na figura 7).

Redução no consumo de energia, aumento da vida útil das luminárias, maior resistência á impactos mecânicos e vibrações, versatilidade no layout de instalação, não aquecimento da estrutura da luminária eliminando o risco de queimaduras, sustentabilidade por não conter metais pesados como mercúrio são outras vantagens obtidas pela tecnologia LED.

### 4 CONCLUSÃO

Para manter a preferência dos clientes é fundamental garantir no final do processo, produtos que atendam na íntegra as exigências mais altas do mercado. A etapa de inspeção de qualidade requer parâmetros bem controlados, monitoramentos periódicos e níveis de confiabilidade que assegurem uma elevada assertividade na tomada de decisão. O trabalho demonstrou que a atualização tecnológica pode elevar esses níveis de resultado e contribuir para eficiência da relação custo/benefício.

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

## LAMINAÇÃO Rolling

51º SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO - PROCESSOS E PRODUTOS  
LAMINADOS E REVESTIDOS - INTERNACIONAL  
51º ROLLING SEMINAR - PROCESSES, ROLLED AND COATED  
PRODUCTS - INTERNATIONAL



A iluminação LED ultravioleta possibilitou avanços claros nas condições do ensaio de partículas magnéticas. O ganho no aumento da fluorescência das descontinuidades oferece condições para implantação de um sistema automatizado, através de reconhecimento de imagens. O aumento da região em condições de ser ensaiada abriu espaço para o ganho de produtividade na inspeção.

### Agradecimentos

Os autores agradecem pelo suporte, disponibilização de recursos e dedicação de toda a equipe envolvida na parceria entre Metal Chek, Spectroline e Gerdau que proporcionaram a realização deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

- 1 Andreucci R. Partículas Magnéticas, 2009 – Publicação da Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção.
- 2 Turro NJ. Modern molecular photochemistry, 1ª edição, University Science Books, 1991.

---

\* Contribuição técnica ao 51º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 28 a 31 de outubro de 2014, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.