



FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

APLICAÇÕES DO LASER NA INDÚSTRIA 4.0: PROCESSOS DE CORTE, SOLDA, MEDIÇÃO E RASTREABILIDADE POR MEIO DE GRAVAÇÃO DIRETA DE PEÇAS

Wagner de Miranda Santos¹
Alex Pisciotta²

RESUMO

O conceito de Indústria 4.0 não pode ser confundido com a prática de automatização e robotização das linhas de produção, plantas industriais e dos galpões logísticos. Assim como todas as revoluções industriais anteriores, esta não será diferente, pois mudará nossas antigas práticas de realizar negócios, criar e produzir produtos, e realizar serviços. Este trabalho tem como objetivo demonstrar as diversas aplicações e demonstrações do uso do laser (*Light Amplification by Stimulated of Radiation*) na indústria, como esta tecnologia tem se desenvolvido e é utilizada para o ganho de produtividade e para a diminuição dos desperdícios. Assim como as demais tecnologias emergentes da Indústria 4.0, como a Impressão 3D, Realidade Aumentada, Internet das Coisas, entre outras, sua importância torna-se crucial para a garantia da qualidade e produtividade. Serão abordadas tecnologias utilizadas hoje no mercado, a segurança proporcionada pela gravação a laser, os ganhos com a sua implementação, e acima de tudo, a garantia da correta identificação e da rastreabilidade do produto na produção.

ABSTRACT

The Industry 4.0 concept cannot be mistaken with the practice of automation and robotization of production lines, industrial plants and logistics warehouses. Like all previous industrial revolutions, this one will not be different, as it will change our old practices of doing business, creating and producing products, and providing services. This work aims to demonstrate the various applications and demonstrations of the use of laser (*Light Amplification by Stimulated of Radiation*) in the industry, how this technology has been developed and how it is used to increase productivity and reduce waste. Like others emerging technologies in Industry 4.0, such as 3D Printing, Virtual Reality, Internet of Things, among others, its importance becomes crucial for ensuring quality and productivity. Technologies used today in the market will be addressed, the security provided by laser marking, gains from its implementation, and above all, the guarantee of correct identification and traceability of the product in production will be demonstrated.

¹ Pós-graduando em Automação Industrial e Robótica na Faculdade SENAI “Felix Guisard”. E-mail: wagner.miranda39@hotmail.com

² Docente e Es. em Automação Industrial da Faculdade SENAI “Felix Guisard”. E-mail: alex@pisciotta.com.br

1. INTRODUÇÃO

Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, são termos recentes, que surgiram em 2011, na Alemanha, após uma parceria entre empresários, políticos e acadêmicos, com o propósito de estruturar o que há de mais moderno em automação e sistemas inteligentes de comunicação dentro dos centros industriais (LAURETH, 2014). O seu principal propósito pode ser destacado pela redução de custos, economia de energia e o aumento da segurança e qualidade.

Concluimos que a Indústria 4.0 é um novo conceito que seguramente será uma realidade, mudará a forma como lidamos hoje com a produção de bens de consumo e materiais, tendo uma melhor distribuição de riquezas e um planeta mais sustentável. (VENTURELLI, 2014).

Logo, fica claro que muitos dos antigos conceitos e métodos de produção, não são mais viáveis em um mercado que preza pela garantia da qualidade, redução de custos e preços, e a sustentabilidade ambiental. Ao observar as principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 – *Internet of Things, Big Data, Cloud Computing, Cyber Security, Robótica Avançada, Gêmeos Digitais, Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada e Inteligência Artificial* – percebe-se o grande peso que a informação ganhou no processo. Desenvolver uma máquina com alta tecnologia sem que tenha a interconectividade com toda a cadeia de processo, não é mais o modelo ideal. “A Manufatura inteligente tem transformado a maneira de produzir e consumir, e as empresas que não investirem em inovações, não conseguirão manter-se competitivas e serão extintas” (SOUZA et al., 2017).

A eficiência produtiva afeta a diluição dos custos, por ações que contribuem para a vida financeira da indústria em seu ramo de atividade. Segundo Makoski e Favero (2017), o aumento da produtividade sempre teve como consequência a diminuição do custo, e existe quase sempre minimização no preço de venda do produto, o que possibilita maior consumo. A redução de custos é o grande motivador da busca de elevar a produtividade.

O laser tem sido estudado, desenvolvido e aprimorado nas últimas décadas. Uma tecnologia que tem sido implementada nos processos industriais e tem crescido exponencialmente com as novas possibilidades da Indústria 4.0. O laser pode ser encontrado em muitos projetos que visem a obtenção da alta precisão e qualidade, como em processos de corte, gravuras e marcações, sistemas de medição, soldas e muitos outros.

No novo prospecto de indústria onde a qualidade da informação do produto e do processo são cruciais, esta é uma tecnologia que tende a crescer e ganhar cada dia mais espaço. Por isso, o objetivo deste estudo, é abordar algumas possibilidades que esta tecnologia pode ganhar com o futuro cenário econômico e tecnológico, e demonstrar os ganhos que as empresas podem obter ao investir em inovações desta área, em conjunto com as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. PRINCÍPIOS DO LASER

O Sol, as estrelas, ou uma simples lâmpada acesa, são objetos que emitem luz própria, isto é, produzida por si próprios, são denominados corpos luminosos. A luz emitida por esses corpos iluminados se difunde em todas as direções e possuem em sua composição todos os comprimentos de onda, formando o espectro eletromagnético. (SANTOS et al., 2015)

O laser (*Light Amplification by Stimulated of Radiation*) que traduzindo para o português significa “Amplificação da luz por emissão estimulada da radiação” é um dispositivo capaz de gerar radiação visível monocromática e de alta intensidade. Uma de suas características mais marcantes é por sua luz ser monocromática, portanto, se verificarmos o espectro da luz laser conforme figura 1, veremos apenas uma linha, mostrando que ela é composta de apenas um comprimento de onda, enquanto qualquer outra fonte de luz é formada por vários comprimentos de onda.

Figura 1 - Comprimento de onda de uma luz incandescente e do laser



Fonte: Bagnato (2001)

De acordo com Rodrigues (2007), a luz laser é altamente monocromática, coerente, direcional e pode ser focada nitidamente. A luz laser emite trens de onda que podem ter várias centenas de quilômetros de comprimento, devido ao forte paralelismo.

Outra grande característica é o fato de que a intensidade do feixe laser pode ser extremamente grande, ao contrário das fontes de luz convencionais. Sua potência pode atingir grandes intensidades na ordem de Tera Watt (10^{12} W).

“Ser direcional também é outra característica do laser, resultando em um feixe constituído de ondas caminhando na mesma direção, havendo um mínimo de dispersão em um feixe bastante estreito”. (RODRIGUES, 2007)

A figura 2 exemplifica este conceito.

Figura 2 - Diferença entre propagação em fase e fora de fase



Fonte: Elaborado pelo Autor

Funcionando como fonte de luz de características únicas, o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico. Oliveira (2008) afirma que, suas múltiplas aplicações em setores dos mais variados, tais como telecomunicações, medicina, automação do comércio e industrial, holografia, eletrônica em geral, dimensionam o caráter estratégico que o laser detém no desenvolvimento tecnológico.

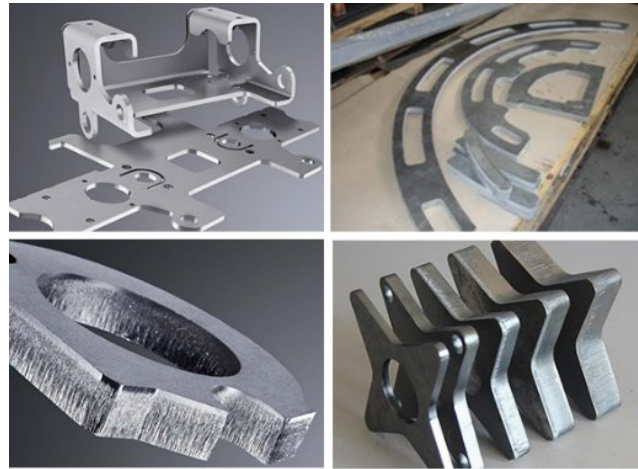
Além da grande aplicabilidade do laser em pesquisas científicas, o laser está presente em diversas áreas da sociedade. Na indústria, foco deste trabalho, na produção de mídias como CD's e DVD's, em leitores de códigos de barras, pointers e hologramas. Nas telecomunicações, está presente na fibra ótica. Empregado em operações táticas da polícia e nas forças armadas americana existem projetos em que o laser é capaz de desabilitar baterias antiaéreas, explodir bombas e lançadores de mísseis. Na área médica, também são inúmeras as aplicações do laser, como em cirurgias oculares, operações em cordas vocais, desobstrução de vasos sanguíneos, vaporizar células cancerígenas e cirurgias plásticas, na remoção de manchas, cicatrizes, verrugas, tumores e tatuagens.

2.2. SISTEMAS DE CORTE POR LASER

O corte a laser atende a diversas funções de corte, sendo apropriado para praticamente todos os tipos de materiais, como peças metálicas, aço, plásticos, vidro e cerâmica. O corte a laser é um processo sem contato. Ele é usado frequentemente em materiais em forma de chapa, onde o raio laser incide sobre o material e este se funde.

O laser é uma ferramenta de corte e sem desgaste. Entre as inúmeras vantagens, destaca-se a não deformação das peças, arestas de cortes limpas, alta velocidade do processo, o aproveitamento ideal do material, alta precisão e o sistema automatizado que possibilita o corte de figuras geométricas complexas com 2D e 3D, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Peças de corte do laser

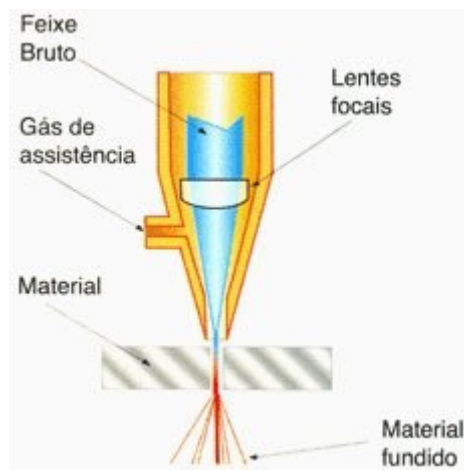


Fonte: LGV (2016)

Somada a estas características, a crescente evolução tecnológica tem possibilitado, nos últimos anos, a redução do custo do investimento inicial em equipamentos e o aumento da potência destes, tornando o processo como uma excelente opção, por uma análise custo *versus* benefício para o corte de metais. É com esta visão que o processo de corte a laser torna-se cada vez mais uma necessidade emergente em várias empresas, expandindo-se em grande escala no cenário mundial e particularmente, no Brasil.

De acordo com o processo mostrado na figura 4, o laser promove a fusão e a evaporação de materiais em regiões muito localizadas, com isso, é necessário que um fluxo de gás de assistência (oxigênio ou nitrogênio) sobre a massa fundida para baixo e para fora da ranhura, expulsando as partículas do material. O resultado são cortes precisos e lisos.

Figura 4 - Processo de corte a laser



Fonte: LGV (2016)

2.3. SISTEMAS DE SOLDA A LASER

A solda a laser possui diversas aplicações em diferentes ramos, desde a indústria automotiva até a indústria aeroespacial, conforme mostra a figura 5. Esta tecnologia oferece vantagens decisivas na produção. Conforme guia técnico da Kuka (2016), na solda a laser, o feixe aquece o material à temperatura de fusão. A radiação é focada através de um sistema óptico. O cordão de solda é gerado através do movimento relativo entre o raio laser e a peça. Para proteger a superfície de solda contra a oxidação, durante a solda é adicionado o gás de proteção argônio.

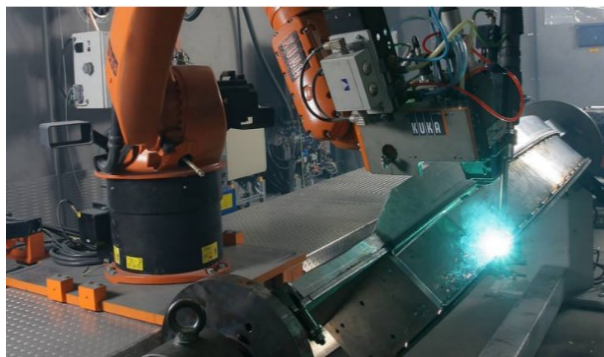
Figura 5 - Solda a laser

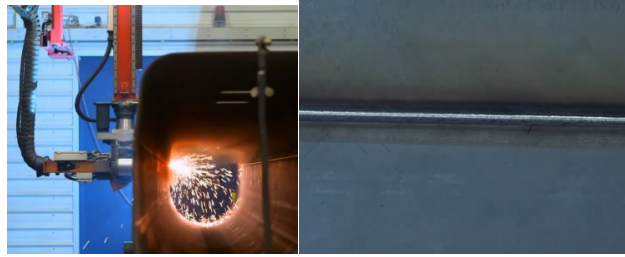


Fonte: Kuka (2016)

A solda híbrida a laser, mostrada na figura 6, combina as vantagens da solda a laser com as da solda com gás de proteção. Este processo de solda é mais usualmente utilizado na indústria naval, automotiva e de veículos ferroviários, onde os componentes a serem soldados possuem paredes mais grossas.

Figura 6 - Solda híbrida





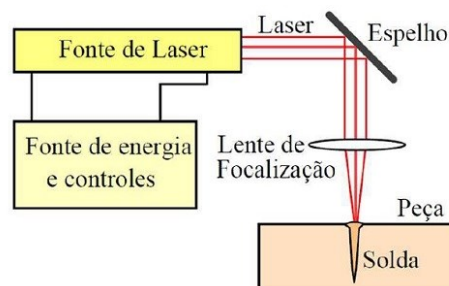
Fonte: Kuka (2016)

Algumas das vantagens da aplicação do laser no processo de solda está o baixo custo de produção, em decorrência da elevada velocidade e na diminuição do retrabalho; a alta confiabilidade, pois, graças ao processo sem contato e livre de forças de atrito, não há desgastes de ferramentas e uma alta qualidade, graças às grandes profundidades de solda e cordões estreitos.

De acordo com Gimenes Jr. (2013), na maioria das aplicações laser, não há adição de metal à poça de fusão. Em certas aplicações especiais há adição de metais, cuja classificação de materiais corresponde basicamente ao processo de soldagem TIG, ou mesmo associado a outros processos por fusão como o processo TIG, Plasma ou MIG, tendo como principal função o recobrimento, uma cobertura final, pois em grandes espessuras há um afundamento da poça de fusão e conseqüentemente é necessária uma pequena adição de metal.

Em um feixe laser, a soldagem ocorre da seguinte maneira conforme mostra a figura 7: a radiação do feixe ao interagir com a matéria possui parte absorvida, parte refletida. A parte absorvida é de tal ordem de grandeza que aquece o material levando-o a fusão ou vaporização dependendo da densidade de energia. No caso de ter-se a vaporização do material, forma-se uma coluna de vapores metálicos partindo do ponto de interação do feixe com o material e avançando em direção ao interior da peça. Esta coluna, semelhante a um furo, recebe o nome de *key-hole* (furo chave) e absorverá grande parte da radiação incidente na peça distribuindo-o posteriormente.

Figura 7 - Funcionamento do laser



Fonte: Gimenes Jr. (2013)

Conforme explanação de Gimenes Jr. (2013):

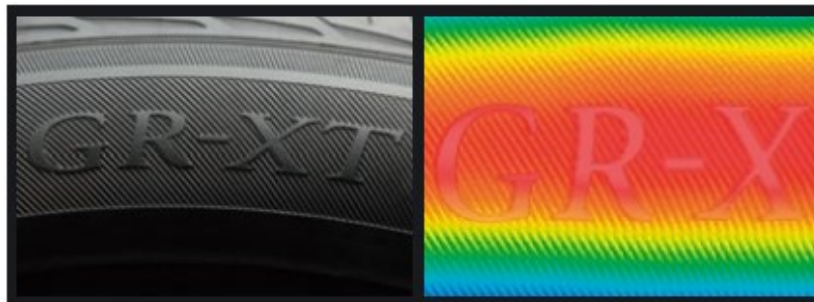
Como o processo é dinâmico, o deslocamento da peça garantirá a sustentação do *key-hole*, porém existirá uma velocidade de avanço mínima para que o processo se sustente. Com o deslocamento do *key-hole*, a massa de material líquido vai se solidificando ocorrendo assim a soldagem. Entretanto, quando a densidade de energia não for suficiente para a vaporização (e for apenas para fusão), ocorrerá a soldagem por condução, que terá um mecanismo extremamente semelhante aos processos de soldagem convencionais, com o calor sendo dissipado lateralmente.

2.4 SISTEMAS DE MEDIÇÃO A LASER

Os sistemas de medição a laser, também conhecidos como *scanners* a laser 2D/3D, também ganharam grande aplicabilidade na indústria, devido ao seu ganho de produtividade, rápida detecção de falhas, descobrindo suas causas raízes antes mesmo de alcançar o cliente final. Tais dispositivos são capazes de medir formatos de produtos que passam em uma linha ou através de um equipamento em alta velocidade e com alta resolução. Medidores mais modernos podem medir alvos que se movimentam a 6,4 m/s com um ponto de 0,1mm. Os formatos são medidos com precisão mesmo em casos onde a superfície pretas ou inclinadas com baixa reflexividade e superfícies metálicas com alta reflexividade são combinadas sob o mesmo eixo óptico. (KEYENCE, 2015)

A Figura 8 mostra um exemplo.

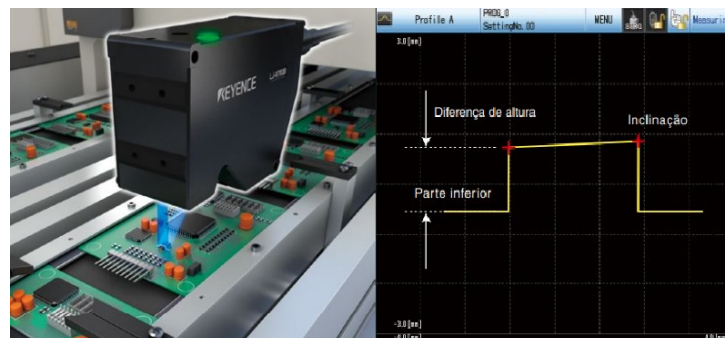
Figura 8 - Medição captada com precisão em superfície preta e inclinada



Fonte: Keyence (2015)

Na figura 9, todas as placas eletrônicas produzidas em uma linha de produção são inspecionadas pelos medidores a laser. A altura e a inclinação são aferidas, tendo uma inspeção de 100% da amostragem, garantindo que nenhuma peça com falhas prossiga.

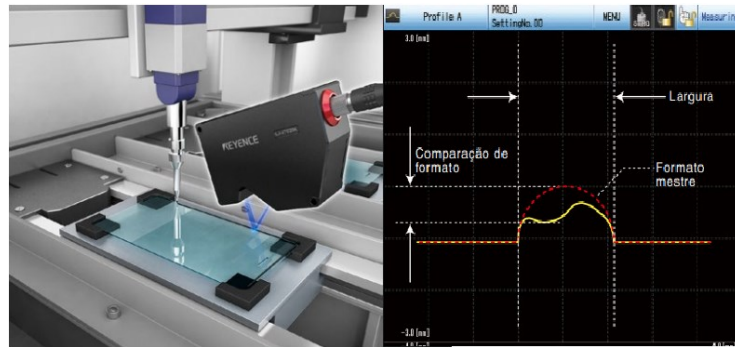
Figura 9 - Medição de altura e inclinação



Fonte: Keyence (2015)

Na figura 10, é demonstrado um dispositivo para medir a quantidade de material selador aplicada no vidro. Uma cabeça sensora projetada para objetos transparentes permite a inspeção de substratos transparentes. No desenho do software, é possível verificar na linha tracejada em vermelho, o formato padrão, enquanto a linha em amarelo representa as medidas captadas pelo sensor.

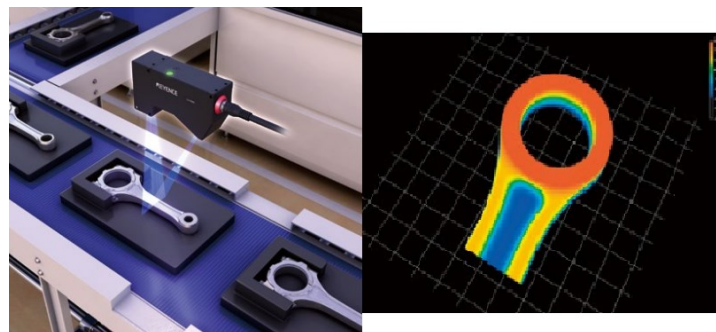
Figura 10 - Medição da aplicação de selador nos vidros



Fonte: Keyence (2015)

Na figura 11, podemos constatar outro processo em que os scanners a laser 3D se mostram altamente competitivos em termos de inspeção e medição. Neste exemplo, os formatos em 3D de alvos em movimento são medidos para determinar se estão corretos ou não.

Figura 11 - Medição de formatos 3D



Fonte: Keyence (2015)

Atualmente existem 74 tipos de modos de medições, que dentre eles, os principais são: medir a altura de pontos especificados; medir a diferença de altura de um ponto de referência para um ponto especificado; medir as coordenadas/quantidade de movimento para a posição especificada; medir a largura de pontos especificados; medir a distância entre dois pontos; medir a distância de uma linha de referência para um ponto especificado; medir o raio de formatos curvos; medir a espessura de pontos especificados; medir o ângulo entre duas linhas especificadas; calcular resultados de medições múltiplas, entre outros. (KEYENCE, 2015)

2.5. RASTREABILIDADE NA INDÚSTRIA 4.0

Os sistemas de rastreabilidade são aplicados para assegurar, controlar, identificar e monitorar a produção e, com isso, proporcionar vantagens competitivas a quem as utiliza. Os sistemas de rastreabilidade estão totalmente alinhados aos programas de qualidade total. Eles são extremamente importantes no atendimento das normas de qualidade, como a ISO/TS 16949, principal norma de qualidade do setor automotivo, por proporcionarem a inspeção total da produção. Além disso, são ainda um dos principais requisitos das normas de qualidade específicas, aplicadas pela maioria dos fabricantes. A rastreabilidade representa maior segurança aos clientes, pois a identificação da peça por um código único garante que ela passou por controles rigorosos antes de chegar ao cliente. (BENTO e PAULILLO, 2010)

A rastreabilidade fornece informações sobre o ciclo de vida do produto, conforme mostra a figura 12, pois pode agregar um grande volume de informações sobre as especificações da peça, suas medidas, conformidade com as normas de qualidade e o lote de fabricação, entre outros, sendo que estas informações são colhidas e armazenadas no código durante o processo produtivo. No caso das montadoras de automóveis, em caso de alguma falha que possa colocar em risco a integridade ou o conforto do usuário, é possível emitir um aviso e localizar o proprietário do veículo sobre problemas com um determinado lote – operação chamada de *recall*. (MELLO et al., 2008)

Figura 12 - Rastreabilidade do ciclo de vida útil.



Fonte: Videojet (2014)

Segundo Bento e Paulillo (2010), durante o processo produtivo, a rastreabilidade permite monitorar o andamento da produção, através da leitura do código em vários pontos da linha e ao final do processo, fornecendo um mapa completo das peças agregadas no produto. Além disso, com a expansão do comércio global, os produtos passam a ser vendidos em todos os lugares do mundo e, por esse motivo, precisam de uma identificação mais detalhada de sua origem e especificações.

2.6 PROBLEMAS NA IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS E LOTES

Como todos os registros pertinentes ao produto estão armazenados nos sistemas de rastreabilidade, a qualidade de gravação é uma preocupação constante, pois está ligada diretamente ao retrabalho originado por problemas no sistema de rastreabilidade das peças, podendo seu custo ser oneroso com a utilização de etiquetas. De acordo com Bento e Paulillo (2010), caso haja algum dano nos sistemas convencionais de etiquetas, informações cruciais do processo de fabricação da peça serão perdidas, dificultando a localização de peças do mesmo lote, ou que detenham peças oriundas de lotes de um determinado fornecedor, produzidas por um determinado funcionário, em um determinado dia, turno, horário etc. Os códigos são utilizados para localizar a origem, desde o fornecimento da matéria-prima principal e seus componentes, até às prateleiras e sites de venda.

Há diversos motivos por que códigos de barras podem não ser lidos: baixo contraste, distorção, violação da zona neutra e baixa qualidade de impressão. Códigos que não podem ser escaneados podem gerar atrasos em uma linha de produção ou até incidir pesadas multas. Segundo Brown (2020):

Empresas como *Walmart* e *Amazon* aplicam penalidades financeiras aos fornecedores que não atendam às exigências de rastreabilidade e causam atrasos no processo. Se a etiqueta é colocada em um local indevido ou não pode ser escaneada, o pacote pode ser recusado de embarcar e as multas podem representar até 10% da receita global de um fornecedor. As consequências de uma baixa qualidade de identificação dos produtos podem prejudicar a reputação de uma empresa. Clientes podem deixar de realizar negócios em decorrência dos repetidos problemas de embarque, falta de requisitos e falhas por rastrear o produto.

Na figura 13, podemos visualizar alguns dos principais problemas encontrados nas etiquetas adesivas. Tais etiquetas podem apresentar falhas de impressão, podem ser danificadas por fricção, sofrer a ação do tempo como umidade e temperatura e até corrosão por contato com materiais químicos. Embora haja outros sistemas de codificação, como o *DataMatrix*, a etiqueta impressa ainda não corresponde uma perfeita aplicação em todos os tipos de produtos, especialmente aqueles que terão longos ciclos de vida e em ambientes não controlados.

Figura 13 - Etiqueta com impressão danificada



Fonte: LabelJoy (2018)

Na figura 14, podemos ver a facilidade com que uma etiqueta pode ser removida e substituída por outra, não garantindo a rastreabilidade do produto.

Figura 14 - Danificação das etiquetas



Fonte: NR2 Etiquetas (2019)

2.7 MARCAÇÃO DIRETA DE PEÇAS

Fabricantes podem usar o DPM - *Direct Press Marketing* – (traduzido para Marcação Direta de Peças), para rastrear peças ao longo do processo de fabricação e cadeia de suprimentos. É ideal para localizar peças para serviços ou devoluções e pode auxiliar na responsabilidade e resolução da garantia.

Na produção de peças, a utilização de códigos legíveis de máquinas pode ajudar a reduzir a necessidade da entrada manual de códigos, aumentar a precisão de códigos e aumentar a velocidade da troca de dados. Códigos gerados eletronicamente que incluem tanto código de barras 1D e 2D oferecem armazenamento de códigos e utilização simples para sistemas internos de TI.

Códigos 1D, também conhecidos como lineares ou de uma dimensão, são apresentados através de barras verticais. Códigos 2D são códigos bidimensionais, os quais surgiram como uma alternativa para tornar possível a inserção de uma maior quantidade de informação dentro do código de barras. Dependendo da informação que se desejasse colocar, ficaria inviável a utilização de um código 1D tanto em função de tamanho na apresentação do código, quanto em relação à limitação do número e tipos de caracteres permitido pelos padrões. Datamatrix, PDF417 e Quick Response (QR) Code são exemplos de códigos de barras 2D.

Por mais de 20 anos, o código de barras 1D foi amplamente utilizado para fornecimento de dados, mas esse formato está sendo substituído por formatos 2D. Isso acontece porque códigos 2D podem conter mais informações em menos espaço e pode ser aplicado em uma variedade de métodos de marcação direta. A figura 15 mostra exemplos destes códigos.

Figura 15 - Código 1D na parte superior e Códigos 2D na parte Inferior



Fonte: Automatech (2017)

A Videojet (2014) declara que os três elementos principais na Marcação Direta de Peças (DPM), mostrada na figura 16, são:

Codificação, marcação e verificação. A codificação é a composição de uma cadeia de dados em um padrão de células escuras e claras que incluem dados, preenchimento e bytes de correção de erro para serem, então, utilizados pelo dispositivo de marcação. Marcação é a impressão de conteúdos diretamente em suas peças com a tecnologia adequada para substratos. Verificação é o ato de confirmar a precisão e qualidade de códigos. Isso acontece imediatamente após o produto ser impresso na estação de marcação.

Figura 16 - Exemplo de um código DPM



Fonte: Videojet (2014)

2.8 SISTEMAS DE GRAVAÇÕES E MARCAÇÕES POR LASER

Sistemas a laser oferecem um método bastante flexível de marcar produtos, o que também pode significar um alto nível de automatização no processo de produção de muitas indústrias. O laser é uma grande escolha para velocidades rápidas e pouca manutenção. Fabricantes de laser avançados oferecem maiores campos de marcação que podem marcar múltiplas peças sem que seja necessário reorientar o laser, que pode ajudar a melhorar o rendimento. Um grande campo de marcação ajuda a otimizar as configurações de energia.

A tecnologia de laser é uma solução popular para fornecer códigos permanentes em peças. Os sistemas de marcação a laser aplicam códigos claros e de alta qualidade em uma grande variedade de ambientes de produção. As marcações são aplicadas utilizando calor em vez de tinta, assim, no geral, os lasers são considerados mais rápidos, limpos e exigem menos manutenção quando comparados a outros sistemas de codificação.

Os efeitos da marcação a laser podem variar. Alteração de cor é o resultado da reação química entre o laser e o produto. Há também gravação da superfície, remoção ou eliminação de cores do revestimento da superfície que revelam uma cor alternativa subjacente. Além disso, há também a carbonização ou queima controlada de madeira ou materiais feitos de papelão. E há também a fusão de diferentes materiais de plástico que podem dar um efeito elevado ou côncavo. (VIDEOJET, 2014)

Na figura 17, pode-se verificar os diferentes métodos de gravação a laser, que dependerá do material a ser utilizado, da velocidade da potência do feixe luminoso.

Figura 17 - Métodos de marcações a laser

	Ilustração	Descrição	Materiais	Amostra
Remoção		Remoção da camada superior de um substrato, normalmente pintado, pela vaporização da pintura.	Papelão, plástico, metal de vidro	
Gravação		Remoção profunda de materiais que causam envergamento no material.	Plástico, metal	
Temperamento		O substrato reage ao feixe de laser de certo comprimento de onda ao modificar a formação da estrutura.	Plástico	
Mudança na cor/descoloração		Mudança na cor no local em que o laser toca a superfície do substrato.	PVC, metal, plástico, alumínio	
Gravação interna		Remoção interna de cor sem afetar a laminação da camada superior.	Vidro, acrílico	
Rompimento		O material reage ao feixe de laser criando pequenas rupturas na superfície.	Vidro	

Fonte: Videojet (2014)

No sistema de gravação, a marcação tem durabilidade igual ao ciclo de vida da peça com ótima qualidade de leitura, não gerando retrabalho. Assim, os aspectos comparados foram analisados e demonstraram ganhos em agilidade no processo, qualidade do código, aumento no volume de produção, adequação ao processo produtivo e redução significativa de custos. Na figura 18, pode-se ver exemplos de peças gravadas.

Figura 18 - Peças com gravações a laser



Fonte: Cognex (2019)

2.9 LEITORES DE CÓDIGOS

De acordo com o guia técnico da Keyence (2018), sobre leitores de código 1D e 2D com foco automático, existe hoje uma grande dificuldade na leitura dos códigos gravados nas peças pelas seguintes razões:

- O leitor não pode ser montado à distância desejada. Muitos projetos têm que se adequar as limitações dos sensores. Com a alteração das distâncias, devem ser realizadas alterações nas lentes (calibração).
- Calibração constante. Requer a reconfiguração todos os dias, pois muitos erros podem ocorrer durante a operação real.
- Falhas de leitura devido a reflexos. Estudos de iluminação externa e ângulos corretos e limitados, dificultam a montagem dos sensores.

Com o avanço dos sensores do segmento, equipamentos mais robustos possuem funções que visam eliminar as dificuldades enumeradas acima, como autofocus (o leitor pode ser montado a qualquer distância dentro do range de 1000mm), ajuste automático (determina as configurações ideais de tempo de exposição e filtros de processamento de imagens) e a polarização automática (ajustes de ângulo do leitor e da iluminação externa tornam-se desnecessários, eliminando os reflexos).

Na figura 19, podemos comparar leituras realizadas em materiais diferentes. Na primeira, em resina preta cilíndrica, e na segunda, em um metal de superfície usinada. Nas comparações a mesma leitura foi realizada sem filtro e com filtro polarizador. Segundo Keyence (2018): “O leitor apresenta fontes de luz polarizadas e diretas. A seleção automática de filtro elimina os reflexos e permite a montagem flexível”.

Figura 19 - Leituras sem e com polarizador.



Fonte: Keyence (2018)

Quando a leitura superior de códigos impressos ocorre em superfícies com acabamento espelhado, a difusão da luz pode ser resolvida com o uso de acessórios refletivos. Estes acessórios redirecionam a própria luz refletida de volta para a superfície, sendo possível obter o mesmo efeito que quando se utiliza iluminação externa, conforme mostra a figura 20.






Figura 20 - Leitura sem e com difusão de luz em superfícies espelhadas



Fonte: Keyence (2018)

Na figura 21, podemos visualizar os itens de correção realizados pelos sensores leitores de códigos de barras.

Figura 21 - Itens de correção

 Escuro	CORREÇÃO DE BRILHO DE CAPTURA Configura automaticamente diversas combinações de tempo de exposição, intervalo dinâmico e ganho para obter o brilho ideal.
 Baixo contraste	CORREÇÃO DE PATAMAR DE CONTRASTE Corrige automaticamente patamares de branco/preto e otimiza o contraste entre o código e o fundo.
 Impressão pouco densa	CORREÇÃO DE FILTRO Seleciona automaticamente o melhor filtro e intensidade de filtragem para corrigir a imagem capturada.
 Distorção	CORREÇÃO GEOMÉTRICA Corrige códigos distorcidos, como aqueles em cilindros e outras superfícies arredondadas, ou quando o leitor está montado em ângulo.
 Pontos dispersos	REDUÇÃO E CORREÇÃO DE IMAGEM Reduzir o tamanho da imagem pode reduzir o ruído de fundo ou espaços faltantes. Defeitos de ruído de fundo, sujeira ou riscos podem parecer insignificantes após a redução do tamanho da imagem, fazendo com que sejam negligenciados.

Fonte: Keyence (2018)

2.10 INTEGRIDADE DAS PEÇAS

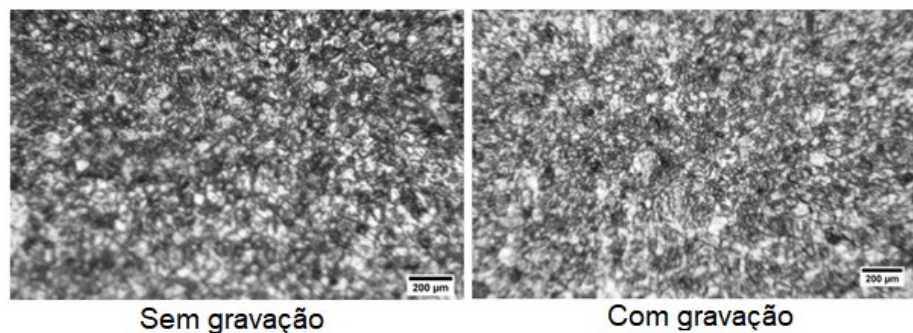
Segundo Pieretti (2013), ao utilizar sistemas de codificação a laser, o material marcado é exposto à tensão térmica, que pode comprometer a integridade da peça. Um procedimento de segurança para instalar um protetor de feixe deve ser realizado para conter o laser e proteger os usuários. O acabamento superficial das amostras é fortemente influenciado pela variação das intensidades de pulso do feixe laser que podem se tornar concentradores de tensões e locais em potencial para originar falhas.

É importante avaliar se a gravação a laser influenciará em alguma das propriedades mecânicas do material, que comprometerá a referida aplicação. Alguns materiais podem ser empregados em locais considerados de condições agressivas, tais como ambientes corrosivos, de altos esforços mecânicos e gradientes térmicos.

Em um estudo realizado por pesquisadores do CTMSP (Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo) sobre marcações a laser para identificação de componentes do setor nuclear, constataram que as melhores gravações atendiam a determinadas condições. No material em questão, o aço inoxidável AISI 348, as melhores leituras foram obtidas com o foco de feixe entre 5 e 6 mm e a taxa de repetição de pulsos com frequência entre 30 e 40 KHz.

Nas amostras submetidas à gravação laser nota-se que não ocorreram alterações na estrutura cristalina visíveis em microscopia óptica, embora o processo de gravação a laser ser baseado em princípios térmicos, conforme figura 22, onde a imagem à esquerda demonstra a estrutura de um material não submetido ao processo de gravação e a imagem à direita um material que sofreu gravação.

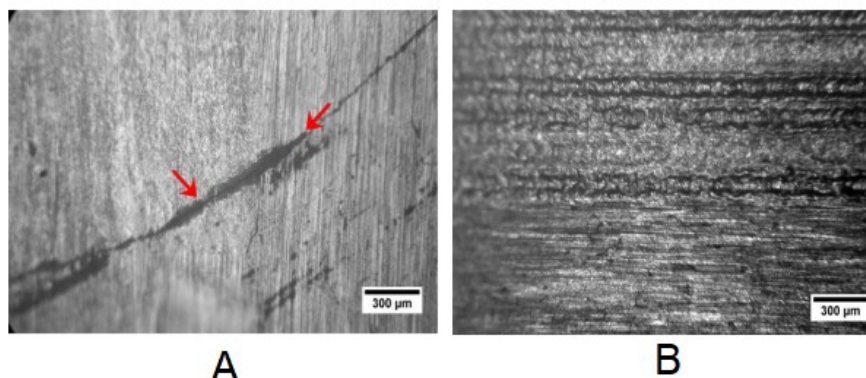
Figura 22 - Estrutura cristalina das amostras



Fonte: Oliveira et al. (2015)

No ensaio de corrosão sob tensão observa-se que a amostra de aço AISI 348 sem a gravação resistiu 66 horas, após este tempo exposta ao meio corrosivo ocorreu o surgimento de uma trinca (Figura 23A). As amostras marcadas resistiram mais tempo de ensaio: 72 horas (Figura 23B). “Este fato pode ter ocorrido devido à gravação a laser gerar uma película de óxido na superfície do material, gerando um aumento de sua camada apassivadora, desta maneira, aumentando sua resistência a este tipo de deterioração.” (OLIVEIRA et al. 2015.)

Figura 23 - Ensaio de corrosão sob tensão das amostras



Fonte: Oliveira et al. (2015)

Conforme estudo de Pieretti (2013), com gravações a laser para a rastreabilidade e identificação de implantes ortopédicos, pode-se constatar que este método de gravação não compromete a condição clínica ou a segurança dos pacientes. O maior risco envolvido é a concentração de tensão, podendo originar falhas e conduzir a fraturas. A gravação pode influenciar a resposta óssea local e o método inadequado, pode surgir a presença de partículas estranhas, causando a corrosão. De acordo com o estudo, deve ser realizado uma seleção do material apropriado para implante, considerando a natureza do contato do biomaterial com a região do organismo em que é utilizado, a duração deste contato e o acabamento da superfície é fundamental para assegurar que ele vai desempenhar suas funções adequadamente.

3. CONCLUSÃO

Pode-se concluir por meio deste estudo que o laser tem contribuído no avanço das pesquisas científicas, na medicina e no ganho de produtividade na indústria.

Processos como corte e solda de materiais podem ser hoje substituídos por processos a laser, diminuindo os tempos de ciclos de produção, diminuindo o retrabalho e refletindo na qualidade final do produto. A rastreabilidade, tema muitas vezes esquecido pelos profissionais de tecnologia, é de extrema importância para se conhecer a procedência de um produto, suas condições de fabricação, localizar possíveis falhas, conhecer seu cliente final e indispensável para o conceito da Indústria 4.0. Grandes empresas têm exigido a confiabilidade da rastreabilidade e penalizado empresas que tem falhado nesta operação. Por isso, investir em um processo de Marcação Direta de Peças (DPM) por meio do laser tem se mostrado um dos melhores métodos do mercado. Além disso, estudos tem provado que, embora haja a incidência térmica na superfície da peça, não há alteração na sua estrutura cristalina.

Embora o custo inicial de implementação seja alto, se comparado aos sistemas normais de rastreabilidade por etiqueta, o método de marcação por laser possui um ótimo ROI (*Return of Investment*), que traduzido para o português significa, Retorno sobre o Investimento. Por ser um processo sem contato, as necessidades de manutenção, reparos e trocas de ferramental são mínimas, o ganho de produtividade cresce, aumentando a possibilidade de deixar que processos de verificação e inspeção sejam realizadas de maneira automática, reduzindo a mão-de-obra e aumentando o turno de produção. Há ainda a redução ou até mesmo a extinção das penalidades e multas sofridas por clientes por falhas de rastreabilidade, sendo assim ganhos obtidos através das gravações a laser.

REFERÊNCIAS

AUTOMATECH. **Diferenças Códigos 1D e 2D**. 2017. Disponível em:

<https://loja.automatech.com.br/blogs/blog/diferencas-codigos-1d-e-2d>. Acesso em: 05 fev. 2020.

BAGNATO, Vanderlei S. **Os Fundamentos da luz laser**. São Carlos: Instituto de Física de São Carlos. Física na Escola v.2, n.2, 2001. Disponível em:

www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a02.pdf. Acesso em 23 jan. 2020.

BENTO, Alexandre Rodizio; PAULILLO, Gilson. **Rastreabilidade e inovação tecnológica em cadeias produtivas na indústria automobilística**. 65 ed. São Paulo: ABM Congress, 2010.

BROWN, Naomi. **Cost of poor barcode quality**. Cognex, 2020.

Disponível em: <https://www.cognex.com/blogs/barcode-verification/cost-of-poor-barcode-quality>. Acesso em: 10 jan. 2020.

COGNEX. **Key Principles of laser marking and implications for DPM Code Quality**. 2019.

Disponível em: <https://www.cognex.com/blogs/barcode-verification/key-principles-of-laser-marking-and-implications-for-dpm-code-quality>. Acesso em: 09 fev. 2020.

- GIMENES JR., Luiz. **Soldagem a laser**. Infosolda, 2013. Disponível em: https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/soldagem-laser.pdf. Acesso em: 16 Jan 2020
- KEYENCE. **Scanner a laser de alta velocidade 2D/3D**. 2015. Keyence Brasil, São Paulo.
- KEYENCE. **Leitores de códigos 1D e 2D com foco automático**. 2018. Keyence Brasil, São Paulo.
- KUKA. **Tecnologias de Processo**. 2016. Disponível em: <https://www.kuka.com/pt-br/produtos-servi%C3%A7os/tecnologias-de-processo/>. Acesso em: 08 Jan 2020
- LABELJOY. **Imprimir corretamente os códigos de barras**. 2018. Disponível em: <https://www.labeljoy.com/pt-pt/suporte/como-fazer/imprimir-codigos-de-barras/>. Acesso em: 14 Fev 2021.
- LAURETH, Waleska Camargo. **Convergências Tecnológica, Educação e Trabalho: do discurso social global aos desafios regionais**. Revista da Associação Brasileira de Estudos do Trabalho. João Pessoa, v.13, n.2, p. 279 – 293, 2014.
- LGV. **Corte a Laser**. 2016. Disponível em: <http://lgv.com.br/corte-a-laser/>. Acesso em: 08 fev 2020.
- MAKOSKI, Gilcilene de Lima; FAVERO, Marcela Bortotti. **Gestão de processos de uma lavanderia indústria: eficiência produtiva da máquina laser**. Maringá: revista de Pós-Graduação Cidade Verde, 2017.
- MELLO, C.H.P; SILVA, C.E.S; TURRIONI, J.B; SOUZA, L.G.M. **ISO 9001:200**: Sistema de Gestão da Qualidade para Operações de Produção e Serviços. Editora Atlas. São Paulo, 2008.
- NR2 ETIQUETAS. **Etiquetas Picotadas**. 2019. Disponível em: <https://www.nr2etiquetas.com.br/etiquetas-picotadas.php>. Acesso em: 8 Fev 2020.
- OLIVEIRA, Hidelbrando Sousa. **O Laser e suas aplicações**. Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 2008.
- OLIVEIRA, A.B.; PEDRONI, M.G.; BERETTA, J.R. **Investigação da superfície de aços inoxidáveis AISI 348 contendo gravação a laser**. In: INTERFINISH LATINO-AMERICANO, 3, 2015.
- PIERETTI, E. F.; LEIVAS, T. P.; Máximo, A.; RAELE, M. P.; ROSSI, W. D.; das NEVES, M. D. **Caracterização do efeito da gravação a laser na superfície do aço inoxidável austenítico utilizado em implantes ortopédicos**. Belo Horizonte. In: CONGRESSO DA ABM, 68, 2013.

RODRIGUES, Daniel Silva. **A Física do Laser**. Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 2007.

SANTOS, Wagner de Miranda; GARCIA, Marcus Valério Rocha; TAVARES, João Paulo; SANTOS, Luis Fernando dos; SILVA, Rodrigo da. **Vaso Sanitário com descarga de dois estágios e controle automático do nível da água no reservatório**. Resende: Seget, 2015.

SOUZA, Paulo Henrique Moura; CAVALLARI JUNIOR, Silvio José; DELGADO NETO, Geraldo Gonçalves. **Indústria 4.0: contribuições para o setor produtivo moderno**. Joinville, SC. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37, 2017.

VENTURELLI, Márcio. **Indústria 4.0: uma visão da automação industrial**, 2014. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/> Acesso em: 14 fev 2021.

VIDEOJET do Brasil. **Guia técnico: métodos de marcação direta de peças identificação legível de máquina para indústrias automotivas e aeroespaciais**. São Paulo, 2014.

SOBRE OS AUTORES

¹ WAGNER DE MIRANDA SANTOS (Aluno)



Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário ETEP (2016), cursando atualmente a Pós Graduação em Automação Industrial e Robótica pela Faculdade SENAI de Taubaté (2020). Tem experiência na área de engenharia de ensaio de sistemas aeronáuticos, de planejamento e controle de produção e sistemas de rastreabilidade. É Analista de Controladoria e Custos na empresa IPA e responsável pelo controle de custos e implementação de melhorias.

² ALEX PISCIOTTA (Orientador)



Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em eletrônica Pela Universidade de Taubaté (2005) com especialização em Automação e Controle Industrial pela Universidade de Taubaté (2012). Atualmente é professor da Faculdade Senai de Tecnologia de Taubaté, lecionando no curso de Pós-graduação em Automação Industrial e Robótica. Tem experiência como Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento na empresa LG Electronics do Brasil e como professor no ensino superior e técnico nas instituições de ensino Anhanguera Educacional e Universidade de Taubaté.