

SISTEMA DE VISÃO PARA VERIFICAÇÃO DE PALETES PARA APLICAÇÃO EM CÉLULA DE PALETIZAÇÃO ROBOTIZADA

Marcus Vinicius Barbosa de MORAIS¹

Engenheiro de Controle e Automação/IFSP-Campus São Paulo
Discente do curso de Mestrado em Automação e Controle de Processos
IFSP/Campus São Paulo

Ricardo PIRES²

Doutor em Sistemas Automáticos e Microeletrônicos/Université Montpellier II
Docente IFSP-Campus São Paulo

RESUMO

Sistemas de Produção Flexíveis estão se tornando cada vez mais presentes nas indústrias, que buscam mais agilidade e, conseqüentemente, a automação de processos tem crescido. Um desses processos é a paletização robotizada, que visa a organizar e empilhar cargas de modo a facilitar movimentação e transporte. No entanto, os processos automatizados apresentam problemas que acabam gerando parada de produção e necessitam da intervenção humana. No caso da paletização, a qualidade dos paletes de madeira é um desses problemas. Este artigo visa a apresentar um levantamento bibliográfico de sistemas de verificação de paletes para viabilizar o desenvolvimento de um sistema de visão. Esse sistema será aplicado em células de paletização robotizada, a fim de verificar e separar os paletes em condições de uso dos paletes sem condições de uso.

Palavras-chave: Sistema de Visão. Automação. Paletização.

Introdução

A automação industrial tem como principal fundamento o aumento de produção, fazendo os processos e produtos com mais qualidade e em menor tempo (GOEKING, 2013). E esse tem sido o principal objetivo das indústrias para investir em automação. Aguiar (2013) argumenta que a outra motivação para a implementação de sistemas automatizados é a substituição de processos rudimentares e prejudiciais aos

¹ Endereço eletrônico: marcusvb.morais@gmail.com

² Endereço eletrônico: ricardo_pires@ifsp.edu.br

trabalhadores. Porém, reforça que a indústria tem necessidade de maior agilidade e desempenho em diversos processos, entre eles, a paletização.

Dessa necessidade, surgem os Sistemas de Produção Flexíveis (SPF), que estão se tornando cada vez mais presentes nas fábricas, mas ainda necessitam ser aperfeiçoados em diversos aspectos. Um exemplo de SPF é a célula de paletização robotizada, que tem como objetivo organizar diferentes tipos de cargas, de maneira a facilitar transporte e armazenagem. Ao trabalhar com diversos projetos de paletização robotizada, percebe-se que um dos maiores problemas, que diminui a produtividade e, algumas vezes, gera custo, são paletes sem condições de uso para tal aplicação, que acabam entrando nos sistemas misturados com os paletes em condições de uso.

Entre esses problemas, encontram-se paletes enroscados nos transportadores ou queda dos produtos sobre os paletes, que diminuem a produtividade, pois obrigam os operadores a intervenções com o robô parado. Os problemas são gerados, principalmente, por paletes quebrados. Outro problema é a possibilidade de colisões entre o órgão terminal do robô, normalmente chamado de garra, e um palete fora das dimensões. Essas colisões podem chegar a danificar a garra e, com isso, gerar custo.

A inspeção humana para evitar que paletes sem condições sejam barrados antes de entrarem no sistema é muito utilizada. Contudo, a precisão dos humanos em tarefas de inspeção é próxima de 68% apenas (HUBER *et al* citados por PATRICIO E MARAVALL, 2006). É possível aplicar algumas soluções mecânicas baseadas no conceito *poka yoke* (CALARGE E DAVANSO, 2014) para evitar problemas causados por paletes ruins. Entretanto, essas soluções não conseguem abranger toda a necessidade de verificação para garantir que um palete está em condições de uso para o sistema, visto que um palete pode apresentar diversos defeitos como lascas, rachaduras, fissuras, elementos quebrados ou fora de dimensão (PATRICIO E MARAVALL, 2006).

Sistemas de visão já estão presentes na indústria, exercendo, por exemplo, funções de verificação de produtos e peças. Esses sistemas têm como objetivo a identificação de padrões e auxiliam nos processos de qualidade das empresas. Portanto, um sistema de visão para verificação de paletes nada mais é que uma vertente de sistemas de verificação, que identificará padrões e auxiliará na qualidade e desempenho das indústrias.

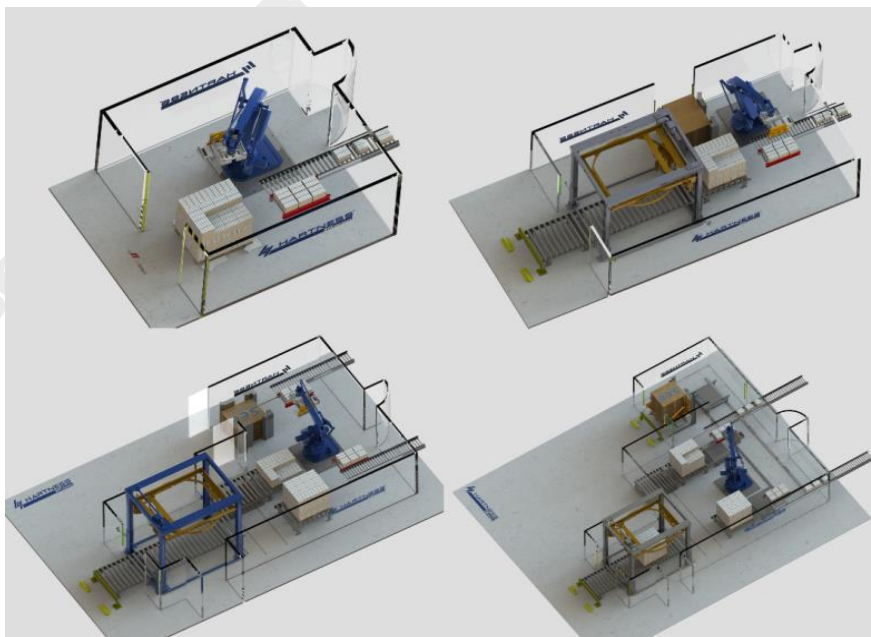
Célula de paletização robotizada

Segundo Aguiar (2013), existe a necessidade de introduzir maior agilidade nos sistemas de produção industriais. Com isso, surgem os Sistemas de Produção Flexíveis (SFP), em que os robôs manipuladores desempenham um papel fundamental, executando tarefas de carga/descarga, pintura, solda, manipulação, entre outros.

Paletização consiste na ação de organizar caixas em camadas, formando um paralelepípedo que é chamado de palete (AGUIAR, 2013). O principal objetivo da paletização é facilitar o transporte de carga. Existem diversas formas de paletização, são elas: manual, semiautomática, automática convencional e automática robotizada. Para a paletização robotizada, utilizam-se robôs manipuladores de 4 eixos com diferentes tipos de órgãos terminais, dependendo da aplicação.

Por ser um SFP, as células de paletização podem ter elementos variáveis e tamanhos variáveis, com os seguintes elementos e processos: alimentação de produtos, alimentação de paletes vazios, saída de palete cheio, robô manipulador, sensores para automação e sensores para segurança. A Figura 1 apresenta algumas possibilidades diferentes de células de paletização robotizadas.

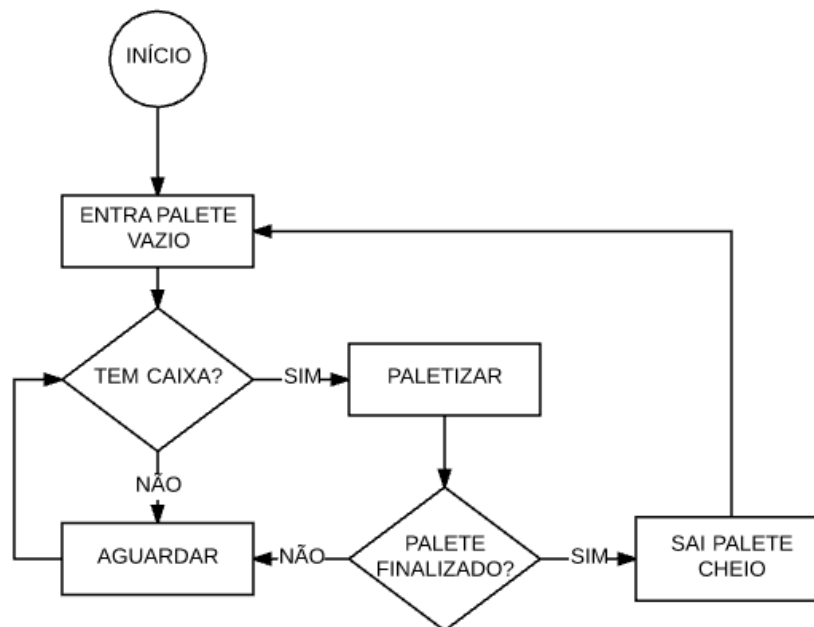
Figura 1- Células de paletização com tamanhos variados



Fonte: Hartness SEE Sistemas

O conceito de funcionamento básico de uma célula de paletização robotizada é apresentado na Figura 2.

Figura 2- Fluxograma Célula de Paletização Robotizada



Fonte: Autor

Sistemas de visão computacional

Sistemas de visão computacional utilizam recursos de aprendizado e tomam decisões baseadas nas entradas visuais do sistema para emular a visão humana (GONZALES, 2002 citado por SEMIM, 2012). Eles têm como objetivo obter um conjunto de técnicas e metodologias para dar suporte às aplicações práticas baseadas em imagens (SEMIM, 2012) e são desenvolvidos e utilizados para aplicações que necessitam de funções visuais, capturando e reconhecendo objetos visíveis e padrões (DJAJADI *et al*, 2010).

Sensores de visão, *hardware* de digitalização de imagem e iluminação são os elementos que compõem um sistema de visão computacional. Além disso, é desenvolvido um algoritmo em um computador, para analisar a imagem e encontrar as informações procuradas nelas. A iluminação é um ponto crucial dos sistemas de visão, dado que é um desafio realizar a captação e análise da imagem com a variação de luz

natural do ambiente. Por isso, é necessário ter um elemento de iluminação associado ao sistema de visão (MATO *et al*, 2013).

Os sensores de visão, normalmente câmeras, podem ser divididos em dois grupos (SONKA *et al*, 2014): baseadas no princípio de emissão de fótons – exploram o fenômeno fotoelétrico; baseadas no princípio fotovoltaico – muito utilizado em semicondutores. Existem diversos tipos de câmeras, digitais e analógicas, baseadas nesses dois princípios e a utilização de cada uma delas varia de acordo com a aplicação.

Imagem é considerada uma função bidimensional, com variáveis que representam as coordenadas espaciais, como cor e forma (DJAJADI *et al*, 2010). Existem diversos métodos de detecção de objetos a partir de imagem, seja para um objeto 2D ou 3D. Conforme Borrmann *et al* (2011), a Transformada Hough é um dos métodos mais utilizados para detecção de linhas e círculos de objetos 2D e é a base para diversos outros métodos de detecção de objetos, tanto 2D quanto 3D.

Dentre os diversos métodos para processar as imagens, Djajadi *et al* (2010) listam os seguintes:

Redução de ruído – Ao retirar o ruído, que atrapalha na análise da imagem, é possível focar a imagem apenas no objeto desejado.

Remoção de fundo – Nesse procedimento, duas imagens são utilizadas, uma sem o objeto de interesse e outra com o objeto. Cada pixel da imagem é comparado, levando assim ao destaque do objeto desejado.

Erosão e dilatação – Utilizado para retirar pequenos ruídos da imagem. Enquanto o método de erosão retira pixels o método de dilatação os adiciona. (DJAJADI *et al*, 2010, p. 140-141)

Sonka *et al* (2014) destacam como possíveis problemas a serem tratados pelos algoritmos de processamento de imagens: ruído, brilho e contraste, tamanho e posição. Ruído está presente em praticamente todo tipo de medida e normalmente precisa ser eliminado para que a imagem seja analisada. Brilho e contraste, em geral, estão ligados à iluminação. O tamanho está diretamente ligado ao processamento, mas, com o avanço da tecnologia de processadores, imagens maiores podem ser analisadas sem problemas. A posição é essencial, uma vez que o foco a imagem deve ser o objeto a ser analisado e a imagem deve, portanto, mostrá-lo em condições de ser analisado.

Ao ser processada por um computador, a imagem é digitalizada e, após esse processo, pode ser representada em uma matriz retangular (SONKA *et al*, 2014). Nessa matriz, informações como o brilho de cada ponto são armazenadas. O que o computador “vê” são apenas os números dessa matriz (BRADSKI E KHAELER, 2008).

Em relação ao controle de qualidade por imagem, para Semim (2012), a tarefa de inspeção visual é uma tarefa muito comum. Esse processo busca informações como dimensão, posição, forma entre outros. Os defeitos são um dos alvos dos sistemas de visão (DAVIES, 2005 citado por SEMIM, 2012). Ao fazer a inspeção visual, normalmente, é tomada uma decisão baseada no reconhecimento de padrões. Segundo Castro e Prado (2002), padrão são as propriedades que possibilitam o agrupamento de objetos semelhantes em uma classe ou categoria. Existem três fases no reconhecimento de padrões: representação dos dados de entrada e mensuração, extração das características e identificação e classificação do objeto (CASTRO E PRADO, 2002).

Sistemas de verificação de paletes por contato

O sistema automático para inspeção de paletes desenvolvido por Gatteschi (2005) é composto por uma célula robotizada, com uma entrada e uma saída de paletes, uma posição para acúmulo de paletes bons, uma posição de acúmulo de paletes ruins e a posição de verificação. O sistema possui a capacidade de verificar qualquer tipo de palete, identificando: altura do palete; falta de ripas, tocos ou transversais; e ripas, tocos ou transversais quebradas.

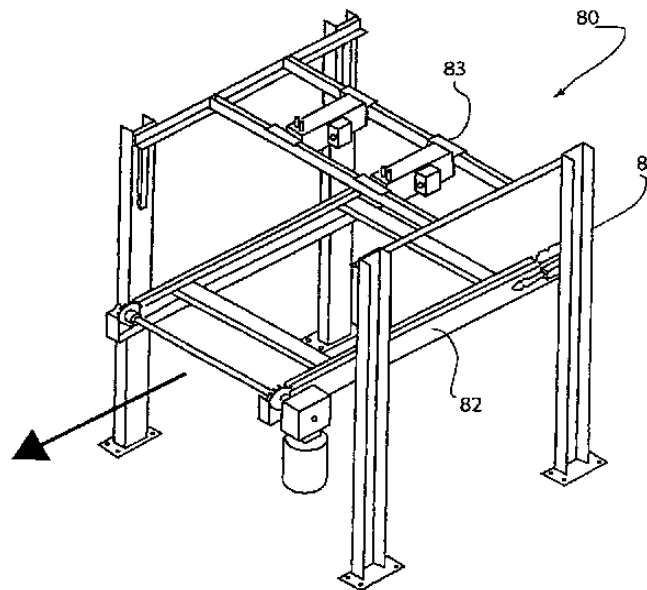
A verificação é realizada em diversas etapas, sendo que o robô manipulador é responsável por todas elas. Quais etapas serão realizadas depende do tipo do palete e algumas etapas podem não ser executadas, caso algum defeito tenha sido detectado. Para cada um dos itens a ser detectado, uma sequência de movimentos diferentes é executada, ou seja, existe uma sequência de movimentos para detecção de ripas, outra para detecção de tocos, outra para detecção de altura e assim por diante.

Durante o ciclo, o robô prioriza a inspeção de paletes. Então, se a posição de saída da célula estiver ocupada, o robô deposita o palete nas posições de acúmulo, formando uma pilha de paletes. Quando uma das pilhas de paletes fica cheia, é acionado um aviso para o operador, para que ele retire os paletes da célula.

Sistemas de verificação de paletes por imagem

Townsend e Lucas (2010) descrevem uma célula de inspeção de paletes automática, na qual um ou dois robôs manipuladores fazem a movimentação de paletes alimentados por uma esteira, levando-os para dispositivos de inspeção ou reparo. Esses dispositivos seriam *stand-alone*, não estando associados a nenhum outro equipamento da célula e, portanto, podem ser utilizados tanto com alimentação manual quanto automática. A primeira opção de dispositivo de verificação descrita é composta por um transportador e um sistema de sensores de presença posicionados linearmente em diferentes posições, para detectar presença/ausência de ripas de madeira. Com isso, é possível mapear o palete. O dispositivo é mostrado na Figura 3.

Figura 3- Sistema para Verificação de Paletes por Sensores



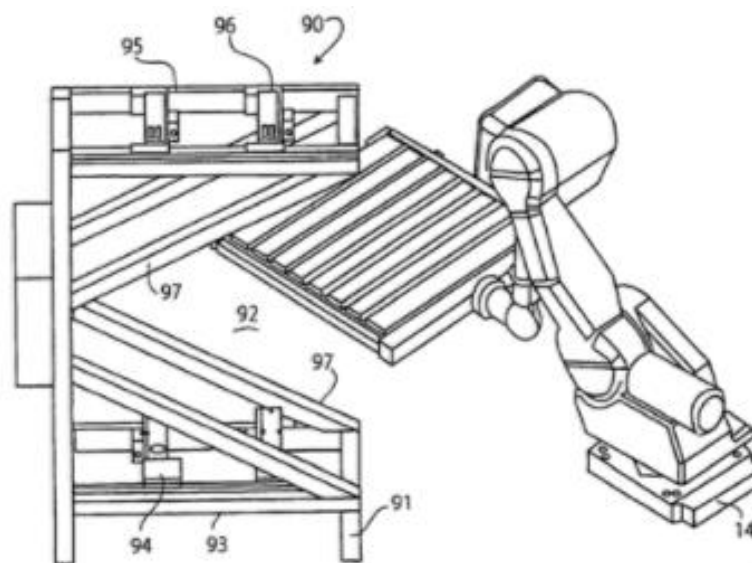
Fonte: TOWNSEND E LUCAS (2010)

O segundo dispositivo descrito possui a mesma estrutura física, porém, ao invés de sensores de presença, é usada uma câmera a laser, ou linear com espelhos realizando movimentos ou em formato de leque, para realizar o mapeamento do palete. Com esse

dispositivo, é possível adquirir imagens em 3D, utilizando mais uma câmera e realizando a triangulação das imagens.

O terceiro e último dispositivo é um sistema de verificação sem esteira, no qual o robô manipulador passa pelos sensores de presença, realizando movimentos lineares. Esse dispositivo realiza o mapeamento do palete em 2D, apenas. A Figura 4 representa o terceiro dispositivo.

Figura 4- Sistema para Verificação de Palete Manipulado por Robô



Fonte: TOWNSEND E LUCAS (2010)

Townsend e Lucas (2015) apresentam um sistema para inspeção e reparo de paletes composto por um emissor de laser e uma câmera. A câmera captura o que é refletido do laser, formando uma imagem em duas dimensões. Essa imagem é processada por um computador, que identifica os elementos dos paletes e os localiza através de coordenadas. Cada elemento é analisado pelos seguintes critérios:

- Individuais (presença/ausência, tamanho, localização e integridade);
- Entre elementos (espaçamento e sobreposição);
- Tipo de palete (presença de itens desnecessários ou ausência de itens necessários).

Para o processamento da imagem, são utilizados dois programas. O primeiro realiza a aquisição da imagem e o segundo o processamento propriamente dito. Para analisar a imagem, é aplicado um filtro para remoção do fundo, resultando em uma

imagem apenas da superfície do palete. Para isso, são identificados os quatro pontos de extremidade do palete, nomeados como PP0, PP1, PP2 e PP3. Conhecendo esses pontos, o programa calcula as dimensões (x,y) do palete.

Na sequência, são aplicados os critérios de inspeção do palete e, caso o sistema identifique defeitos no palete, ele gera uma lista dos itens que devem ser reparados ou removidos. Essa lista é enviada para a estação de reparo, onde um robô manipulador executa a receita gerada através da lista, ou reparando o palete para uso novamente, ou desmontando o palete e separando as partes que podem ser usadas em um reparo futuro de outro palete.

Patrício e Maravall (2006) estudaram a aplicação de um sistema de visão para detectar pequenas fissuras, de aproximadamente 1mm, nos paletes de madeira. Dentre as principais dificuldades citadas estão: as veias naturais da madeira e a quantidade de irregularidades apresentadas pelos paletes após alguns meses de uso, que podem gerar falsos alarmes, além de encontrar a técnica de segmentação mais adequada para fazer a detecção das fissuras. Eles concluíram que todas as técnicas existentes geravam um número de falsos alarmes acima do aceitável, então propuseram um conceito novo, nomeado Histograma de Elementos Conectados. Esse conceito é um derivado dos histogramas tradicionais, entretanto com funções espaciais mais avançadas.

O sistema de visão em si, nomeado *Visual Inspection Machine* (VIM), é composto por um dispositivo mecânico de manipulação, sistema de iluminação, oito câmeras, dois cartões digitalizadores, um computador e um controlador lógico programável (CLP). O palete é verificado no sentido normal e girado 180° dentro de uma cabine preta, para evitar reflexões.

O sistema de verificação é dividido em 4 módulos: calibração, segmentação, medida e classificação. No módulo da calibração, é realizada uma correspondência entre a quantidade de pixels da imagem com a dimensão do palete, criando um palete virtual e determinando as medidas reais do palete. A precisão do módulo de calibração é submilimétrica. No módulo de segmentação, é obtido o contorno de cada um dos elementos do palete em análise. A principal dificuldade é diferenciar os pixels do palete dos pixels do fundo. Para facilitar nessa identificação, é utilizada uma imagem em escala de cinza. Com os dados obtidos pelo módulo de calibração e de segmentação, o

módulo de medidas determina as dimensões de cada elemento do palete. O último módulo verifica os elementos à procura de fissuras.

Os autores concluíram que as fissuras têm um valor diferente dos outros elementos da madeira na escala de cinza, portanto o princípio do funcionamento foi baseado em encontrar elementos que poderiam ser fissuras e comparar com um padrão de veias da madeira, entre outras características, para concluir se o elemento achado era uma fissura ou não.

Conclusão

A indústria procura sempre melhorar seus processos produtivos, visando a mais produção, com mais qualidade e em menor tempo, com o principal objetivo de maximizar o lucro. Neste cenário, a automação é a ferramenta ideal para auxiliar a indústria a atingir esse objetivo e, conforme a necessidade crescente da indústria, a automação evolui e agrega mais tecnologias. Sistemas de verificação fazem parte da automação de processos com o objetivo de garantir a qualidade na produção. Altos índices de rejeito ou refugo indicam necessidade de manutenção ou melhoria em alguma parte do processo e são os sistemas de verificação que apontam essas falhas nos demais componentes da linha de produção.

Uma necessidade perceptível na indústria, mais especificamente na automação do processo de paletização, ou seja, no desenvolvimento de células de paletização robotizadas, é a melhoria na qualidade dos paletes de madeira, que servem como base para as cargas a serem empilhadas. Por ser um item de alta rotatividade, com alto índice de reuso, os paletes de madeira normalmente apresentam defeitos que impactam no desempenho das células de paletização robotizadas. A indústria em geral não consegue garantir que serão utilizados apenas paletes íntegros na totalidade das aplicações, então costumam utilizar a verificação visual dos paletes que, no entanto, é deficiente. A automação então começou a buscar soluções para a indústria e alguns sistemas de verificação de paletes já foram desenvolvidos em diversos países, porém esses sistemas não estão difundidos na indústria nacional.

Portanto, sendo a verificação de paletes uma necessidade da indústria e comprovando-se, através do levantamento bibliográfico apresentado, ser plausível a

aplicação de sistemas de verificação de paletes, o desenvolvimento de um sistema nacional para verificação e separação de paletes baseados em visão computacional se justifica.

Referências bibliográficas

- AGUIAR, H. T. *Desenvolvimento de um Sistema de Paletização Robotizado*. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, 2013.
- BORRMANN, D. *et al. The 3D Hough Transform for plane detection in point clouds: A review and a new accumulator design*. Berlim: 3D research, vol 8, 2011.
- CALARGE, F. A.; DAVANSO, J. C.; *Conceito de Dispositivos à Prova de Erros Utilizados na Meta do Zero Defeito em Processos de Manufatura*. Piracicaba: Unimep, 2014.
- CASTRO, A. A. M. de; PRADO, P. P. L. do. Algoritmos para Reconhecimento de Padrões. *Revista de Ciências Exatas*. Taubaté, v. 5-8, p. 129-145, 2002.
- DJAJADI, A. *et al. A Model Vision of Sorting System Application Using Robotic Manipulator*. *Journal Terakreditasi Dikti*. Telkomnika Tangerang, vol. 8, n° 2, p 137-148, 2010.
- GATTESCHI, E. *Automated system for checking pallets*. Patente Estados Unidos, 2005.
- GOEKING, W. *Da máquina a vapor aos softwares de automação*. São Paulo: Atitude Editorial, 2010.
- MATO, J. L. *et al. Automated Counting of Palletized Slate Slabs Based on Machine Vision*. *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Viena: p. 2378-2383, 2013.
- PATRICIO, M. A.; MARAVALL, D.; *A novel generalization of the gray-scale histogram and its application to the automated visual measurement and inspection of wooden Pallets*. Madri: Elsevier, 2006.
- SEMIM, R. C. *Sistema de Visão para Guiar um Robô de Manipulação de Cabeçotes Fundidos*. Joinville: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2012.
- SONKA, M.; HLAVAC, V.; BOYLE, R. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. Stamford: Cengage Learning, Ed. 4, 2014.
- TOWNSEND, S.; LUCAS, M. D.; *Automated pallet inspection and repair*. Patente Estados Unidos, 2010.

TOWNSEND, S.; LUCAS, M. D.; *Software and methods for automated pallet inspection and repair*. Patente Estados Unidos, 2015.

VISION SYSTEM FOR CHECKING PALLETS FOR APPLICATION IN ROBOTIC PALLETIZING CELL

ABSTRACT

Flexible Production Systems are becoming more and more present in industries, which seek more agility and consequently the automation of processes have grown. One of these process is the robotic palletizing, which aims to organize and stack loads in order to facilitate movement and transportation. However, the automated processes present problems that end up generating production stop and require human intervention. In the case of palletizing, the quality of the wooden pallets is a problem. Aiming to solve the problems caused by these pallets out of condition for application in robotic palletizing cells, this research project presents a vision system, using common cameras and software developed through the free OpenCV platform, which can differentiate pallets in conditions for the application of pallets without conditions, using a machine learning technique Support Vector Machine, avoiding malformed pallets, stops and human interventions, communicating with the automation CLP of the palletizing cell via industrial network.

Keywords: *Vision System. Automation. Palletizing.*

Envio: junho/2017
Aceito para publicação: julho/2017