

Desenvolvimento de uma Bancada Experimental para Inspeção Automatizada de Produtos Industriais por Visão Computacional

Alan Deivis Valmorbida, Maurício Edgar Stivanello, Raimundo R. M. Cunha

¹ Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)
Departamento de Metal-Mecânica - Campus Florianópolis
Av. Mauro Ramos, 950 - Centro - CEP 88020-300
Florianópolis - SC - Brasil

alanvalmorbida@hotmail.com, {mauricio.stivanello, rcunha}@ifsc.edu.br

Abstract. *The development of automated image-based inspection systems can present challenges not only related to the processing techniques, but also to the operating conditions. Image artifacts resulting from the movement of products inspected during the acquisition should be considered. In this work, the development of an apparatus that allows to characterize in a more adequate way the real scenario of use of these systems is presented. The experimental results demonstrate the reproduction of the effects observed in images obtained in real production lines and, thus, prove the effectiveness of the use of the proposed apparatus.*

Resumo. *O desenvolvimento de um sistema de inspeção automatizada baseado em imagens pode apresentar desafios não só relacionados com as técnicas de processamento empregadas, mas também com as condições de operação. Artefatos resultantes da movimentação dos produtos inspecionados durante a aquisição de imagens devem ser considerados. No presente trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma bancada que permite caracterizar de forma mais adequada o cenário real de utilização destes sistemas e, desta forma, simplificar o desenvolvimento e validação deste tipo de ferramenta. Os resultados experimentais obtidos demonstram a reprodução de efeitos de imagens obtidos em linhas reais de produção e, desta forma, comprovam a efetividade da utilização da bancada proposta.*

1. Introdução

Atualmente, devido ao mercado cada vez mais exigente, o setor industrial busca atingir altos níveis de qualidade nos produtos manufaturados. Para atingir uma maior qualidade é indispensável a inspeção de cada produto na linha de produção. Muitas empresas já utilizam a inspeção visual como método para analisar as características dos produtos. No entanto, a inspeção realizada por operadores humanos não é confiável por longos períodos devido à perda natural de foco e atenção, em especial para os casos de produtos fabricados em altas velocidades. E por conta disso, a utilização de sistemas de visão computacional que utilizem imagens para realizar inspeção automatizada tem se tornado uma ferramenta aplicada a esses casos.

O desenvolvimento de um sistema de inspeção automatizada, por sua vez, pode ser uma atividade desafiadora. Além da dificuldade associada à seleção das técnicas de processamento de imagens digitais mais apropriadas para cada caso de inspeção [Davies 2004], existe a problemática de validar o sistema ao longo de seu desenvolvimento sob condições fiéis às observadas quando da implantação do sistema [Chen et al. 2016]. A efetividade e precisão de uma análise realizada por um sistema automatizado é influenciada diretamente pela velocidade de deslocamento dos produtos frente ao sistema durante a aquisição de imagens. Desta maneira, é importante que durante o desenvolvimento deste tipo de sistema seja possível reproduzir as condições de aquisição que serão observadas durante seu uso após implantação.

Na proposta do presente trabalho é descrito o projeto e implementação de uma bancada de laboratório que permite simular as condições de uma produção seriada de produtos manufaturados, possibilitando assim o desenvolvimento e validação de sistemas de visão que tenham como requisitos a sincronização e aquisição de imagens de produtos em altas velocidades. De baixo custo e de tamanho reduzido, esta bancada se diferencia ainda das esteiras lineares utilizadas na indústria ou mesmo em laboratórios, permitindo assim a avaliação de movimentação rápida e repetitiva de produtos.

Na seção 2 são descritas a arquitetura geral de um sistema de inspeção automatizada, e as abordagens empregadas na aplicação de sistemas de inspeção de produtos na indústria. Na seção 3 é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento da bancada de movimentação de produtos, incluindo o projeto e a fabricação das peças, e a implementação dos módulos de hardware e software do equipamento. Na seção 4 são apresentados os resultados de validação e testes do sistema desenvolvido. Na seção 5 são feitas as conclusões decorrentes do desenvolvimento do trabalho.

2. Configuração Geral de Sistemas de Inspeção Automatizada e Ambientes de Validação Utilizados em Tempo de Desenvolvimento

A inspeção automatizada de produtos pode ser empregada para diferentes tipos de produtos manufaturados. Na indústria têxtil, pode ser utilizado para detecção de furos e/ou manchas no tecido, e de linhas arrebentadas em processo [Stivanello et al. 2016b]. Na indústria de envase, pode ser utilizada para a inspeção de lacres, amassamentos, avaliação de nível e presença de contaminantes [Chen et al. 2016].

Um sistema de inspeção automatizada pode assumir diferentes configurações, dependendo da aplicação para qual foi desenvolvido. Uma configuração simplificada é apresentada na Figura 1, composta por um sistema de aquisição e por um sistema de processamento das imagens. Nesta configuração, é capturada uma sequência de imagens dos produtos transportados pela esteira. A aquisição das imagens é realizada de modo sincronizado com a produção, fazendo uso de sinais de sensores de presença. Estes quadros de imagem são transmitidos ao sistema de processamento, onde um computador, executando um software especificamente desenvolvido, analisa-os a fim de extrair dados importantes que caracterizem o produto inspecionado, e posteriormente os compare com valores de referência. Como resultado do processamento, o sistema envia uma decisão, se Aprovado ou Reprovado, para que o sistema mecatrônico atue no processo, seja excluindo o defeito detectado e/ou dando continuidade à produção.

O desenvolvimento e validação de um sistema de inspeção como este, fazendo

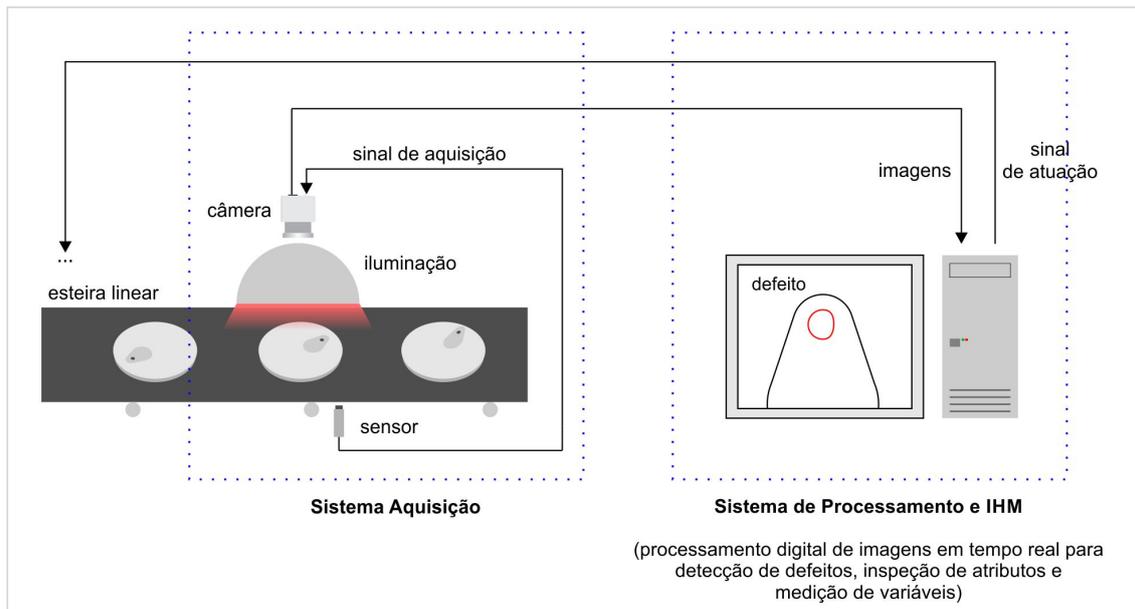


Figura 1. Arquitetura simplificada de um sistema de inspeção automatizada.

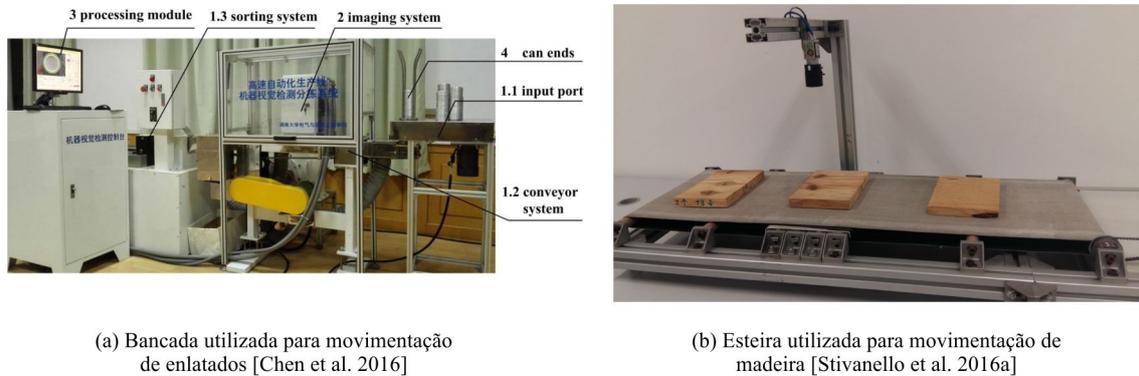
uso da linha industrial, pode se tornar uma tarefa inviável. Isso devido à impossibilidade de parada de produção para a montagem e reconfiguração dos equipamentos utilizados, como também por possíveis comportamentos indesejados do sistema durante as etapas de desenvolvimento e testes. Por outro lado, o desenvolvimento fora da linha de produção pode não se mostrar representativo para o processo inspecionado, pelo fato de não reproduzir características próprias e realistas da produção seriada em ambiente industrial.

Características próprias, tais como vibrações mecânicas, iluminação do ambiente, e a alta velocidade de movimentação dos produtos na linha, podem gerar artefatos nas imagens capturadas pelas câmeras utilizadas nestes sistemas. Como exemplo pode-se citar a geração de imagens desfocadas ou borrões decorrentes do deslocamento do produto associado ao tempo de exposição diante do campo de visão da câmera. A presença dessas falsas não conformidades, não reproduzidos em condições de aquisição estática, podem influenciar em muito na escolha correta das técnicas de iluminação e de processamento das imagens, assim como na precisão e repetibilidade do sistema desenvolvido e implementado.

Outro aspecto importante que não pode ser avaliado no desenvolvimento em condições estáticas diz respeito à sincronização entre o sistema de inspeção e a linha de produção. Normalmente, são empregados sensores que detectam a passagem dos produtos frente ao sistema de aquisição. Desta forma, sinais são enviados para disparar a aquisição e subsequente inspeção em função. Portanto, pelos motivos explicados acima, no desenvolvimento deste tipo de sistema são utilizadas bancadas experimentais em laboratório.

Na Figura 2-a é apresentada uma esteira adaptada para a movimentação de latas de atum, empregada na validação de sistema de detecção de defeitos como amassamentos e contaminantes [Chen et al. 2016]. Na Figura 2-b é apresentada uma esteira montada para a validação de um sistema de detecção de nós em madeira [Stivanello et al. 2016a].

Na Figura 2-c é apresentada uma máquina rebobinadeira criada para a validação de um sistema de detecção de defeitos em tecidos [Stivanello et al. 2016b].



(c) Rebobinadeira utilizada para rebobinar tecido [Stivanello et al. 2016b]

Figura 2. Exemplos de esteiras utilizadas na movimentação de produtos em laboratórios.

A utilização deste tipo de bancada linear permite a movimentação dos produtos em diferentes velocidades, de modo a reproduzir as condições de aquisição encontradas na indústria. É possível observar que as bancadas apresentadas, apesar do tamanho reduzido quando comparadas às linhas industriais, ainda possuem tamanho considerável. Na configuração linear apresentada, ainda requerem sistemas de alimentação automáticos, ou mesmo alimentação manual, o que torna difícil a reprodução de condições de produção de alta velocidade.

3. Descrição do Desenvolvimento da Bancada Proposta

Na sequência são descritos os requisitos de projeto que orientaram o desenvolvimento do trabalho, o projeto, a fabricação e implementação dos componentes mecânicos, eletroeletrônicos e de software que compõe a bancada proposta.

3.1. Análise dos requisitos

O requisito funcional principal [Carpes 2014] que orientou o desenvolvimento da bancada descrita foi o recurso de movimentação de produtos de pequeno porte a velocidades variáveis e de forma repetitiva.

Também foram definidos os seguintes requisitos não-funcionais:

- Utilização de ambientes e plataformas abertas e componentes de baixo custo;

- Facilidade de uso com acionamento tanto por software quanto por hardware;
- Portabilidade e facilidade de transporte;
- Possibilidade de fácil integração de câmeras, sistema de iluminação e outros acessórios.

Estes requisitos foram levantados de modo a atender às necessidades observadas nos estudos de caso de inspeção de diferentes produtos, partes e peças produzidos pela indústria.

3.2. Descrição do Projeto da Bancada

Observando os requisitos, foi desenvolvido um projeto mecânico e eletroeletrônico de uma bancada [Norton 2013], cuja principal característica é sua configuração de movimentação giratória, ao invés de uma movimentação linear. Na Figura 3-a é apresentado o projeto criado. Na Figura 3-b são indicados os principais componentes que constituem o sistema de inspeção.

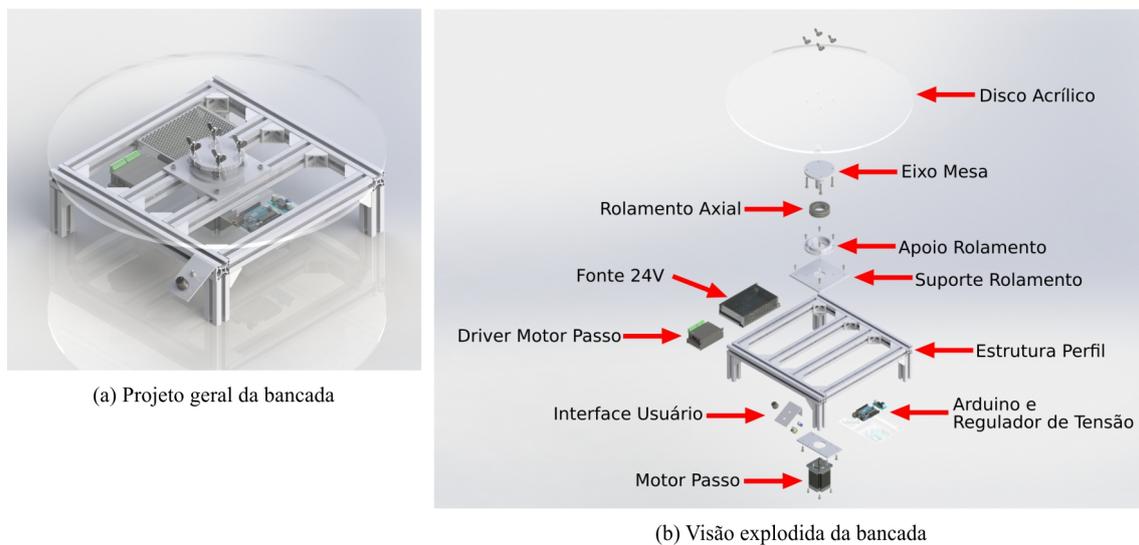


Figura 3. Modelo CAD 3D do aparato (Sistema CAD 3D SolidWorks)

A solução encontrada para atender ao requisito de movimentação em diferentes velocidades de forma repetitiva foi utilizar um disco de movimentação rotatório. Nesta configuração, produtos podem ser distribuídos ao longo do disco, e serem apresentados ao sistema de inspeção de forma repetitiva sob diferentes velocidades. Esteiras lineares, como as apresentadas na Seção 2, poderiam atender a este requisito. Porém, a alimentação manual dos produtos é inviável para situações de alta velocidade. Já a utilização de alimentadores automáticos apresenta um custo relativamente alto, o que impede o atendimento do requisito de baixo custo.

Em relação à estrutura da bancada, optou-se por utilizar perfis estruturais de alumínio, cantoneiras e fixadores, o que confere rigidez e modularidade satisfatórias. A utilização do perfil estrutural também favorece a instalação de outros componentes presentes em um sistema de visão, como câmeras, sensores e outros itens da bancada. O disco de acrílico serve como mesa para o posicionamento dos produtos a serem inspecionados.

Na Figura 4 é apresentado o diagrama elétrico que contém os componentes principais empregados e suas conexões, a saber: uma plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, um regulador de tensão, um driver, um motor, uma fonte de alimentação e os elementos de Interface Homem-Máquina (IHM).

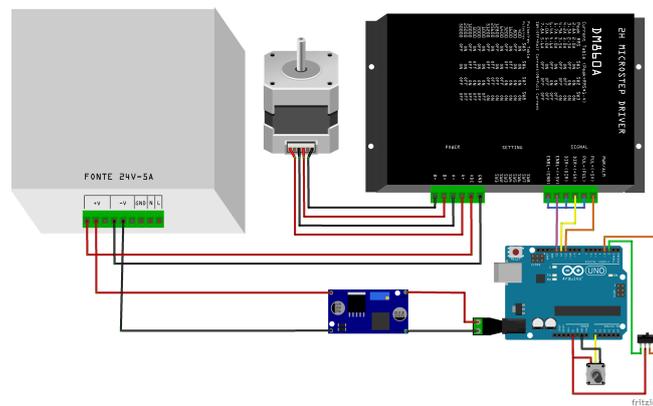


Figura 4. Circuito Elétrico (Fritzing)

Em relação à movimentação, optou-se por utilizar um motor de passo Nema 23 acionado por um driver de corrente e uma fonte de alimentação capaz de fornecer a potência necessária para o correto funcionamento do sistema. Para o controle, utilizou-se um Arduino alimentado por um regulador de tensão ligado à fonte. Por fim a interface física com o usuário contém um potenciômetro para ajuste da velocidade e uma chave para escolha do sentido de rotação.

Na Figura 5 é apresentado o diagrama de componentes que descreve os elementos principais de software do sistema.

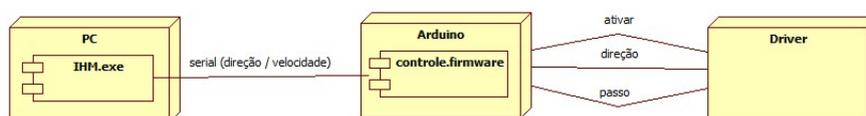


Figura 5. Diagrama de componentes

Dado o requisito de controle por software da bancada, existe um componente de software que é executado opcionalmente num PC. Através deste sistema é possível enviar mensagens de controle pela interface serial ao componente de software embarcado no Arduino. A principal funcionalidade do componente de software embarcado é enviar comandos de acionamento ao driver do motor, com base nas definições realizadas pelo usuário através de uma das interfaces.

3.3. Descrição da Implementação

Componentes do projeto como o motor, rolamento, fixadores, cantoneiras e perfis de alumínio foram adquiridos de fornecedores. Partes como a flange do rolamento foram obtidas por fabricação própria. Na figura 6 são ilustrados alguns dos processos realizados.



(a) Fabricação da flange do rolamento



(b) Fresamento do perfil de alumínio

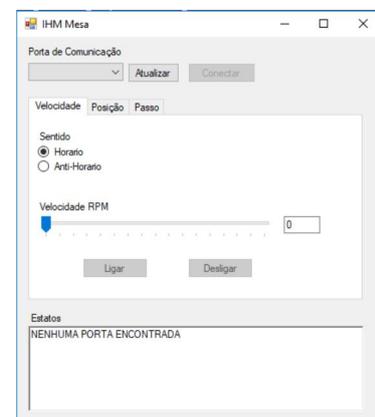
Figura 6. Processos de fabricação

O desenvolvimento do software embarcado e da IHM foram desenvolvidos nos ambientes Arduino e Microsoft Visual Studio Community Edition©, respectivamente.

Na Figura 7 são apresentados os módulos de hardware e software implementados.



(a) Hardware implementado



(b) IHM do software implementado

Figura 7. Sistema finalizado

Através da IHM o usuário tem a possibilidade de controlar tanto sentido quanto velocidade de rotação da bancada.

4. Avaliação e Resultados Experimentais

A bancada desenvolvida foi utilizada na aquisição de diferentes imagens a diferentes velocidades, com o objetivo de avaliar a efetividade da mesma na reprodução do cenário real de utilização de aquisição de imagens que orientarão um sistema de visão na atividade de inspeção automatizada. Na Figura 8 é apresentada a configuração utilizada

durante a avaliação. Uma câmera industrial foi instalada junto à bancada, de modo que o campo de visão coincidissem com a região do disco por onde são deslocados produtos nele distribuídos.

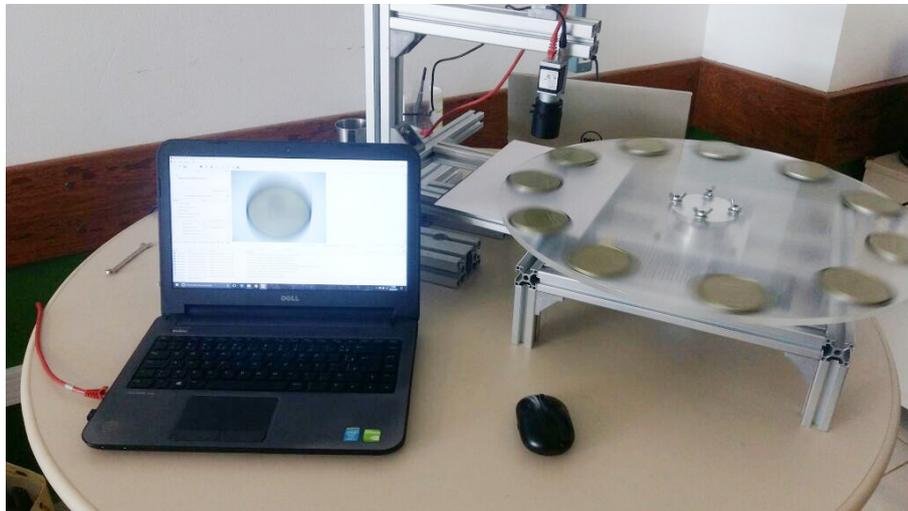


Figura 8. Sistema de aquisição integrado à bancada

Em relação ao mensurando empregado nesta avaliação, refere-se a tampas utilizadas na indústria de enlatados. Na Figura 9 são apresentadas imagens frontais e traseiras de uma das tampas utilizadas. Inspeções são importantes nestas partes de modo a identificar problemas como ausência do lacre, problemas na impressão serigráfica, amassamentos, inserção incorreta do rebite, dentre outras. Para o caso da avaliação realizada, 11 tampas foram dispostas ao longo do disco. Na configuração adotada, o fundo da tampa fica visível à câmera. Esta configuração é utilizada, por exemplo, para avaliar amassamentos e presença de selante nas bordas e também a integridade do rebite que fixa o lacre ao painel da tampa.

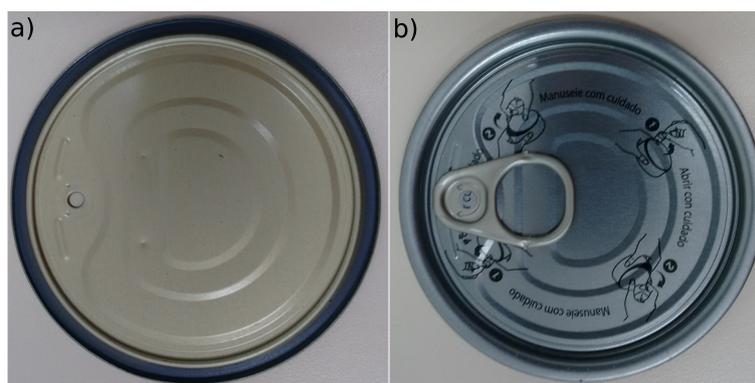


Figura 9. Peça utilizada na avaliação da bancada

Na Figura 10 são apresentadas imagens de tampas adquiridas em diferentes velocidades, incluindo 5, 10, 15 e 25 rpm. Estas velocidades foram selecionadas pois, neste cenário de produção, são utilizadas velocidades de até 6 latas por segundo, que coincide com a quantidade de peças apresentadas à câmera na rotação máxima utilizada na avaliação.

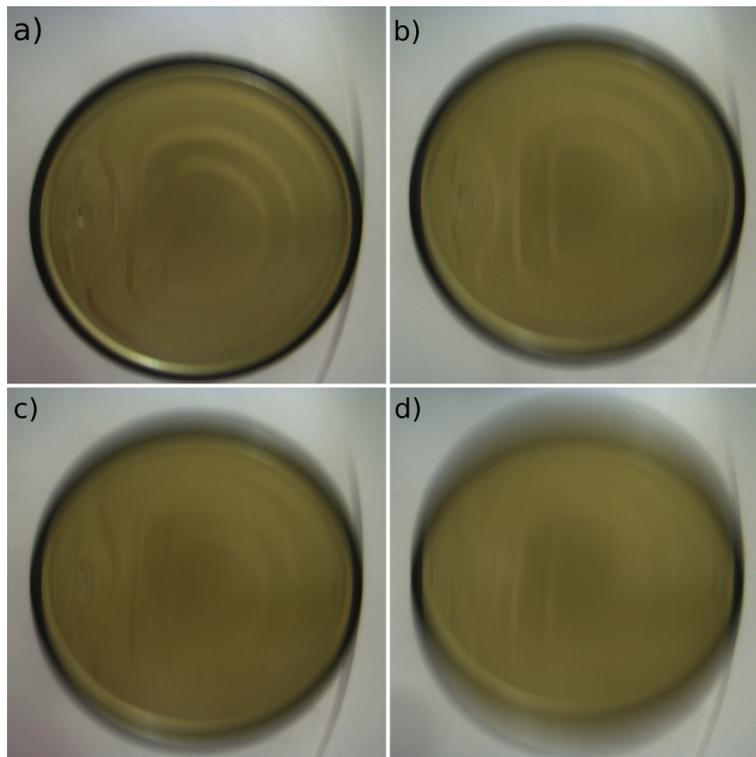


Figura 10. Imagens adquiridas a)5 RPM, b) 10 RPM, c) 15 RPM e d)25 RPM

É possível observar que, diferente de uma aquisição onde o objeto capturado permanece estático, ocorre nas condições descritas um efeito de borramento, que é devido à movimentação das tampas ao longo do intervalo de tempo de exposição. A magnitude do borramento é proporcional à velocidade de deslocamento do objeto. Este é exatamente a condição de aquisição observada num cenário real de utilização de um sistema de inspeção automatizada. Fica evidente, desta forma, que o problema apresentado pode convenientemente ser tratado avaliando-se diferentes abordagens e configurações de aquisição ainda em momento de desenvolvimento e fora da linha. No exemplo apresentado, por exemplo, uma abordagem possível é a redução do tempo de exposição da câmera, o que resultaria em imagens com redução do borramento, porém com valores menores de intensidade luminosa. Para compensar este último efeito, uma abordagem comum seria empregar componentes de iluminação de maior potência, de modo a compensar o menor período de exposição.

Outro aspecto avaliado foi a fidelidade da rotação do disco em relação à velocidade selecionada. Durante a utilização da bancada, através da interface gráfica, o usuário pode selecionar a rotação desejada. Em função desta configuração, o software embarcado realiza o acionamento do driver do motor. Para esta avaliação, foi utilizado um tacômetro para se obter um valor de referência, de modo a comparar a velocidade real alcançada com a velocidade teórica decorrente dos valores e tempos de acionamento. Para rotações variando de 20 a 80 rpm, o erro máximo obtido foi igual a 3,20%.

5. Conclusões

No presente trabalho foi descrito o projeto, construção e validação de uma bancada de laboratório que permite a simulação do deslocamento de produtos manufaturados em linhas de produção para fins de desenvolvimento de sistemas de inspeção automatizada. Como exibido na etapa de validação, é evidente a diferença entre uma imagem com aquisição estática e em altas velocidades. Este fato enfatiza a importância de um aparato como o desenvolvido para o projeto e validação de sistemas de inspeção em condições mais realistas, antes que os mesmos sejam implantados em uma linha de produção real.

Como pode-se observar a partir dos resultados obtidos, os requisitos propostos no início do projeto foram cumpridos com êxito. Como trabalho futuro, esta bancada será utilizada em laboratório para auxiliar no desenvolvimento de sistemas que abordem diferentes estudos de caso, como por exemplo o de inspeção de defeitos em tampas de enlatado no trabalho ilustrado.

Referências

- Carpes, W. P. (2014). *Introdução ao Projeto de Produtos*. Bookman.
- Chen, T., Wang, Y., Xiao, C., and Wu, Q. M. J. (2016). A machine vision apparatus and method for can-end inspection. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.
- Davies, E. R. (2004). *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- Norton, R. L. (2013). *Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada*. Bookman.
- Stivanello, M. E., Possamai, G., Valmorbidia, A., Roloff, M. L., and VArgas, S. (2016a). Visage - sistema de inspeção de produtos por visão computacional baseado em diagrama de blocos. In *12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications*.
- Stivanello, M. E., Vargas, S., Roloff, M. L., and Stemmer, M. R. (2016b). Automatic detection and classification of defects in knitted fabrics. *IEEE Latin America Transactions*.