

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DA MANUFATURA POR IMPRESSÃO 3D UTILIZANDO VISÃO DE MÁQUINA

Rodrigo Reis, reis_rodrigo@hotmail.com¹

Walter Luis Mikos, mikos@utfpr.edu.br¹

José Aguiomar Foggiatto, foggiatto@utfpr.edu.br¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de setembro, 3165, Curitiba-PR

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema de monitoramento para utilização em impressoras 3D. O sistema proposto visa a detecção de dois modos de falha verificados durante a impressão com a tecnologia de extrusão de material, que podem resultar em peças defeituosas e gerar desperdício de tempo e material. O primeiro modo de falha é o descolamento de peças na mesa de impressão, que ocorre com peças que possuem uma geometria desfavorável para a fixação. O segundo modo de falha é a falta de deposição de material, que acontece quando o filamento polimérico não é extrudado durante a impressão, fazendo com que o cabeçote de impressão continue se movendo sem formar a peça. Para a detecção dos modos de falha durante o processo, aplicou-se um sistema de visão de máquina, através do uso de um programa desenvolvido em um módulo do ambiente de programação LabVIEW, o Vision Builder, com câmera, fixação e iluminação apropriadas, para monitorar a impressão das peças. O desenvolvimento do sistema de monitoramento se deu por um processo iterativo de criação e testes, que foram realizados durante a impressão de peças de dimensões e cores variadas, até que uma solução simples e funcional fosse obtida. O resultado é um sistema de monitoramento que se utiliza de visão de máquina e tem capacidade de detectar automaticamente o descolamento de peças e a falta de deposição de material, com potencial para ser incorporado em algumas tecnologias de impressão 3D.

Palavras-chave: Impressão 3D, Visão de Máquina, Sistema de monitoramento.

1. INTRODUÇÃO

A impressão 3D é um processo de fabricação que surgiu na década de 1980, desenvolvida inicialmente sob o nome de estereolitografia (TAKAGAKI, 2012, p.29), que utilizava a solidificação do polímero através de um efeito fotoquímico. Posteriormente passou a utilizar o princípio da manufatura aditiva, adicionando o material em camadas de acordo com um modelo previamente definido no CAD (desenho auxiliado por computador).

Com a popularização da impressão 3D e a grande versatilidade de aplicações possíveis, cresce também a preocupação com o desempenho do processo, como, por exemplo, velocidade de impressão e ausência de falhas.

Foram identificados dois modos de falha recorrentes na impressão 3D utilizando a tecnologia de extrusão de material, que compreende o processo onde o material é extrudado e depositado através de um bico (ASTM F2792, 2013).

Um dos modos de falha observados é o descolamento da peça da mesa de fabricação da impressora, principalmente quando a geometria do componente não permite um apoio adequado, o que gera uma movimentação indesejada da peça, fazendo com que ela saia da posição de impressão e o material seja depositado de forma incorreta, “em vazio”, gerando desperdícios. Foram identificadas, na prática, duas ações realizadas para diminuir a ocorrência do descolamento: são utilizados suportes presos diretamente na peça, o que pode gerar marcas ou deformações, ou aumenta-se a temperatura nas primeiras camadas de material depositadas, visando garantir melhor adesão, algo que nem sempre funciona.

Um segundo modo de falha verificado é a não deposição de material, que ocorre quando o filamento de material não é corretamente tracionado para o bico extrusor, assim a impressora continua se movendo normalmente, porém sem depositar material, não formando a peça como deveria. Não há nenhuma ação preventiva para minimizar a ocorrência da falta de deposição.

Uma tecnologia utilizada geralmente na engenharia para o controle e manutenção da qualidade em processos produtivos é, segundo Rios (2010, p.6), a visão de máquina, que é caracterizada pelo uso de câmeras para captura de imagens, enquanto o reconhecimento e processamento das imagens obtidas são realizados através de programas apropriados (VICTORIANO *et al.*, 2012, p.1).

Podem ser realizadas medições de várias características de componentes mecânicos pelo uso da visão de máquina, como por exemplo, os aspectos dimensionais e geométricos (FELICIANO *et al.*, 2005, p.43) ou ainda realizar a detecção de movimentos, como no estudo de Krishnan *et al.* (2015), onde foi utilizada uma webcam para desenvolver um detector de movimentos em tempo real de baixo custo.

Com base em aplicações de visão de máquina existentes, infere-se que é possível utilizar uma tecnologia análoga para monitorar uma peça sendo impressa, sendo possível desenvolver um sistema de monitoramento de custo reduzido que detecte os modos de falha.

2. FUNDAMENTAÇÃO

Uma das tecnologias mais simples e populares de impressão 3D é a de extrusão de material. Segundo Takagaki (2012, p.3), nessa tecnologia utiliza-se de um filamento de matéria prima em estado sólido, que será fundido no interior de uma cabeça de impressão, para então ser extrudado e depositado em uma plataforma, formando a peça através de deposições sucessivas de camadas de material.

Ainda de acordo com Takagaki (2012, p.3), o material utilizado por essa tecnologia é geralmente o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) ou o PLA (ácido polilático). Volpato *et al.* (2007, p.69) aponta como pontos positivos do processo de impressão por extrusão de material o fato de ser possível realizar impressões em ambiente de escritório, devido à não utilização de lasers durante o processo e não necessitar de pós-cura dos materiais. Algumas limitações dessa tecnologia são: a precisão não muito elevada (pois depende da espessura da camada, que é de no mínimo 0,05mm), a velocidade lenta do processo e a necessidade de utilizar suporte em regiões suspensas.

Os sistemas de visão de máquina vêm ganhando popularidade, sendo utilizados nas mais variadas funções, como por exemplo: a inspeção automática da qualidade na agroindústria, com a realização da detecção de defeitos superficiais em frutas cítricas (López-García *et al.*, 2010, p.2); a inspeção de contatos elétricos, capaz de detectar suas dimensões e principais defeitos de superfície nos contatos (Te-Hsiu Sun *et al.*, 2010, p.2); detecção de impurezas presentes em folhas de papel, através de processos de classificação e limiarização de imagens (Bianconi *et al.*, 2013, p.2); a medição de componentes mecânicos sem contato, utilizando calibrações entre a distância entre pixels nas imagens e a distância física entre pontos (Yuan-Yuan *et al.*, 2012, p.5).

Um sistema de visão pode ser entendido como um sistema completo utilizado na resolução de um problema, englobando o *software* e os dispositivos físicos, como câmeras, sensores e sistemas de iluminação, por exemplo (DESCHAMPS, 2004, p. 21).

O desenvolvimento de *softwares* para sistemas de visão de máquina pode ser feito de diversas formas, utilizando-se de linguagens de programação variadas, que podem gerar uma elevada complexidade. Uma alternativa para simplificar o processo de desenvolvimento de programas para sistemas de visão é a utilização do módulo Vision Builder AI, do software LabVIEW, desenvolvido pela National Instruments (National Instruments, 2016).

Optou-se por utilizar o Vision Builder no desenvolvimento do sistema de monitoramento, pois possui diversas ferramentas que permitem a realização do processamento das imagens obtidas e a configuração de aplicações de visão de máquina, como o reconhecimento de padrões, detecção de caracteres, avaliação de precisão e alinhamento e detecção de presença, por exemplo.

Segundo Marengoni e Stringhini (2009, p.3), o processamento de imagens se faz necessário pois muitas vezes as imagens que serão utilizadas necessitam ser convertidas, para algum formato ou tamanho específico, ou precisam ser filtradas, para realçar suas características.

Algumas operações comuns de processamento de imagens são: remoção de ruídos, que são interferências na uniformidade da intensidade dos pixels (Russ; Neal, 2015, p.33); manipulações no histograma, que são ferramentas que apresentam a distribuição estatística das intensidades dos pixels ao longo da imagem, permitindo realizar facilmente manipulações globais na imagem (Aboud Neta *et al.*, 2008, p.1); detecção de bordas, que é uma etapa de segmentação que permite a identificação de objetos na imagem, através de análises de mudanças abruptas na intensidade dos pixels da imagem (RIOS, 2010, p.3).

Uma vez que a inspeção é configurada no Vision Builder, ela pode ser migrada para o LabVIEW, que se utiliza de uma sintaxe de programação gráfica para proporcionar uma redução nos tempos de programação. No LabVIEW é possível realizar modificações no programa e a inserção de funções extras, aumentando a versatilidade do sistema de monitoramento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Ao longo do desenvolvimento do sistema de monitoramento utilizou-se: um programa computacional, para desenvolvimento do controle do sistema de visão, uma câmera para a captura de imagens, sistema de iluminação com módulos led e a impressora 3D.

O programa utilizado para o desenvolvimento do sistema de processamento de imagens, que também controla o sistema de visão de máquina, é o módulo NI Vision Builder, para inspeção automatizada utilizando Windows 7.

Para a aquisição das imagens foi utilizada uma câmera Logitech c920, com resolução de 15 Megapixels.

A impressora que se destina o sistema de monitoramento é fabricada pela Microbras Indústria e Comércio de Eletrônicos Ltda, sendo o modelo 3D Cloner DH+, utilizada no laboratório do Núcleo de Manufatura Aditiva e

Ferramental (NUFER) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Esse modelo de impressora utiliza a tecnologia de extrusão de material, e a movimentação do cabeçote de extrusão é feita nos eixos x-y, enquanto a mesa de impressão se movimenta apenas no eixo z.

Para o sistema de iluminação, foram utilizados três módulos de led quádruplos, modelo smd5050, da fabricante Starlux. Cada módulo possui uma potência de 0,96W e opera com uma tensão de 12V em corrente contínua. Para fornecer energia aos leds foi utilizada uma fonte de alimentação de 12V e 1A.

3.2. Metodologia

A metodologia adotada foi adaptada de uma metodologia de projetos proposta por Forcellini (2002). A primeira etapa foi o planejamento do projeto, definindo-se o cronograma, orçamento previsto e ferramentas disponíveis.

Partiu-se então para o projeto informacional, através do levantamento de aplicações de visão de máquina existentes, da avaliação dos modos de falha e das necessidades dos clientes, finalizando com um estudo sobre o *software* utilizado.

A terceira etapa foi uma combinação entre projeto preliminar e testes, através de um método iterativo de desenvolvimento, aplicação e avaliação. Primeiramente desenvolveu-se o controle do sistema no *software* Vision Builder e, em seguida, a instalação da câmera na impressora 3D, para a realização de testes e verificação da funcionalidade do programa desenvolvido.

O ciclo de testes e desenvolvimento foi repetido até a definição de uma configuração final do sistema de visão de máquina que fosse mais adequada, através de variações de *layout*, como no posicionamento da câmera, da iluminação e da estrutura de funcionamento do programa, por exemplo, até a obtenção de um sistema de monitoramento que realize a detecção dos modos de falha durante a impressão de peças diversas.

A última etapa foi a documentação dos resultados, identificando as limitações e as características funcionais do sistema obtido.

3.2.1. Estrutura do programa

A estruturação de uma inspeção no ambiente Vision Builder é feita através de um diagrama de estados, que é composto de estados e transições, que irão definir o fluxo da inspeção. Cada um dos estados, representados por elipses, contém um número determinado de funções de inspeção, enquanto as transições, representadas pelas setas, determinam quando a inspeção sai de um estado e continua em outro.

As transições denominadas como *Default* são padrões e automáticas, o fluxo de inspeção passará por essas transições se as funções dentro de cada estado foram cumpridas e não houver nenhuma outra condição para outra transição. Quando uma transição *Default* é ligada no estado em que se origina, é possível formar um loop na inspeção, em que o estado realiza suas funções repetidamente, até que a condição de outra transição seja atingida.

A versão final do diagrama de estados do sistema de monitoramento, que será descrita, é apresentada na Fig. (1).

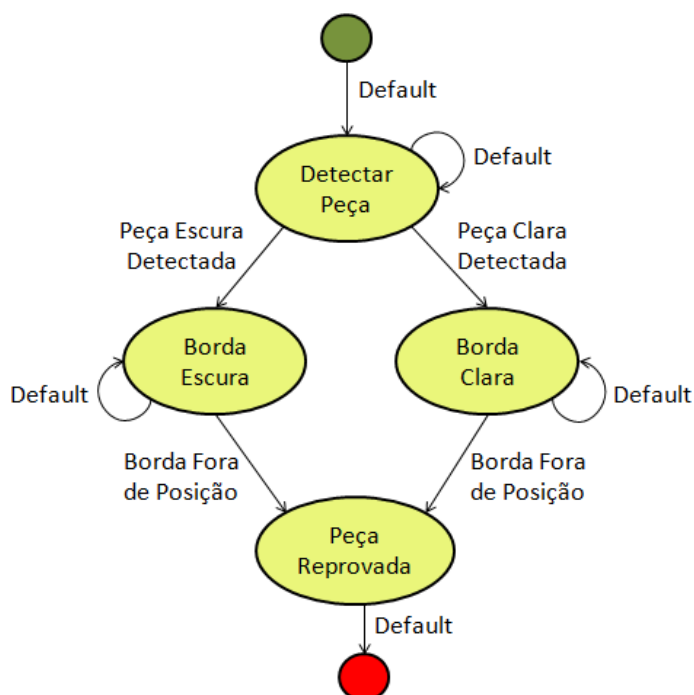


Figura 1 – Diagrama de estados do sistema de monitoramento.

A primeira etapa do programa desenvolvido compreende a detecção da peça sendo impressa. Nesse estado a imagem é obtida e processada através de outro módulo do LabVIEW, o Vision Assistant, visando converter a imagem e melhorar o contraste, além de outros ajustes de posicionamento e rotação da imagem.

A imagem obtida pela câmera possui uma profundidade de cor de 32 bits, porém muitas funções do Vision Builder operam somente com imagens em uma profundidade de 8 bits, por isso se faz necessária a conversão, extraindo-se um plano de cor da imagem.

A identificação da peça é feita pela análise dos pixels na região de interesse da imagem, procurando por uma região uniforme de pixels de baixa intensidade (peças escuras) ou de alta intensidade (peças claras). Uma vez detectada a presença de uma peça, é feita a transição para outro estado da inspeção, de acordo com o tipo de peça encontrada (clara ou escura).

Nos estados chamados borda escura e borda clara, são realizadas avaliações na borda superior da peça sendo impressa. Durante uma impressão bem sucedida, a borda superior deve ser uma linha horizontal, quando observada de frente, sendo que qualquer alteração nessa condição deve indicar uma falha no processo.

Para a avaliação da borda, posiciona-se uma região de interesse, na forma de um retângulo, junto à ponta do bico de extrusão da impressora, conforme mostrado na Fig. (2). No caso de um descolamento, a peça irá se mover, gerando inclinações na borda, que irão indicar a falha, enquanto na falta de deposição de material, a peça irá sair da área de avaliação, uma vez que não há material para manter a borda junto ao bico, novamente indicando a presença de falhas.

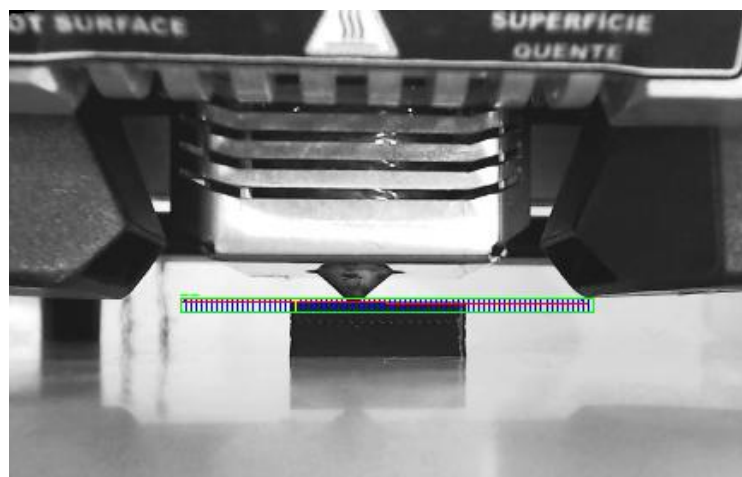


Figura 2 – Aplicação da detecção de borda.

Enquanto a borda for corretamente detectada, o estado irá se repetir, passando para o último estado apenas se for encontrada uma não conformidade.

No último estado, chamado de peça reprovada, é realizada a identificação de que a peça está fora da posição correta de impressão, através de um aviso na tela exibido dentro de um retângulo vermelho pela função custom overlay, conforme apresentado na Fig. (3), encerrando então a inspeção.



Figura 3 – Indicação de peça fora de posição.

3.2.2. Migrando a inspeção para o LabVIEW

Uma vez desenvolvidos os scripts do sistema de monitoramento no Vision Builder, migrou-se a inspeção para o LabVIEW, utilizando-se a função *Migrate Inspection to LabVIEW*, que realiza a transferência automaticamente, originando o programa no LabVIEW, chamado de *Virtual Instrument (VI)*.

Os VI's são formados por um painel frontal, que exibe a interface e faz a comunicação com o usuário, e por um diagrama de blocos, que corresponde aos códigos gráficos do programa, onde se podem realizar alterações funcionais. O painel frontal do programa é apresentado na Fig. (4).

A funcionalidade do sistema de monitoramento se mantém, independente de estar operando pelo LabVIEW ou pelo Vision Builder, porém apenas migrando o programa é possível inserir funções adjacentes e modificar a sua interface.

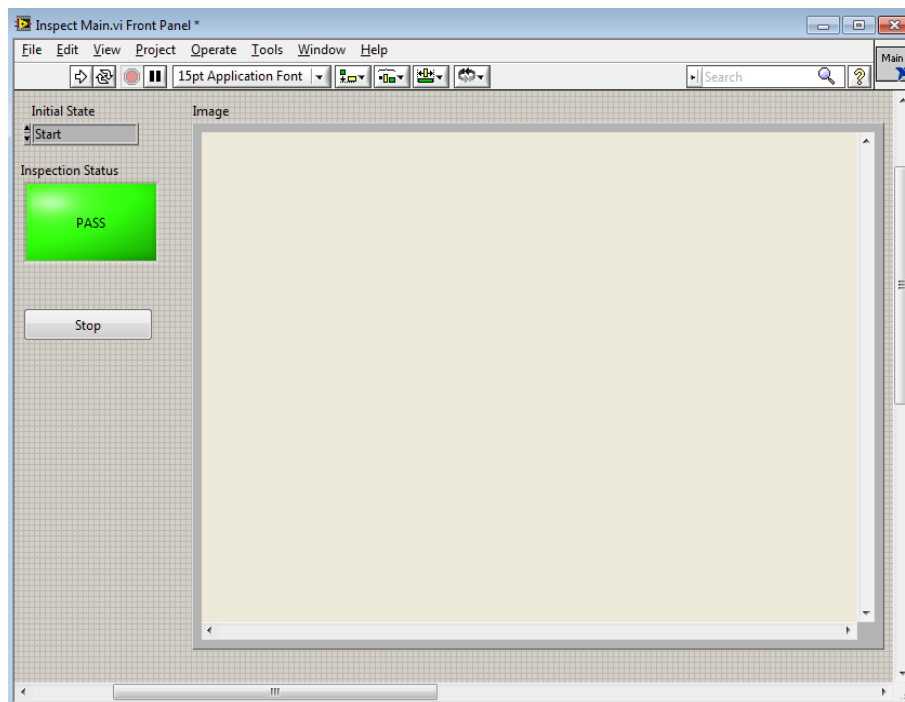


Figura 4 – Painel frontal.

4. RESULTADOS

4.1. Testes de funcionamento do sistema

Foram realizados testes na impressora 3D Cloner DH+, apresentados no Quadro (1), utilizando PLA de diversas cores para identificar aspectos funcionais e limitações do sistema de monitoramento, desenvolvendo-se então soluções para melhorar seu funcionamento.

Quadro 1 – Relação dos testes funcionais realizados.

Teste	Objetivo
Teste de configuração da câmera	Determinar o posicionamento da câmera e das funções do programa.
Teste de fixação	Determinar a fixação e avaliar a influência vibração da impressora.
Teste de iluminação	Determinar o subsistema óptico e de iluminação adequados.
Teste de contraste	Avaliar influência do contraste entre peça e fundo na detecção de borda.
Teste de fundo da imagem	Avaliar influência do fundo da imagem na detecção da borda.
Teste de deposição irregular	Avaliar o sistema quando há material irregular sobre a peça.
Teste de peça com redução de área	Avaliar o sistema na detecção da redução gradual na borda.
Teste de impressão de degraus	Avaliar o desempenho do sistema no monitoramento de peças com degraus.

Durante a realização dos testes, optou-se pela utilização da câmera posicionada de frente para a peça, fixada na altura do bico extrusor, de forma que a borda superior apareça como uma linha horizontal na imagem.

Para manter o contraste suficiente para a detecção da borda, foi necessário adaptar o fundo de acordo com a cor da peça, uma vez que a detecção da borda é realizada pela variação na intensidade dos pixels. Outra consideração sobre o

fundo da imagem identificada nos testes, foi que a presença de objetos que possam refletir luz pode interferir na detecção da borda, mostrando que o ideal é a utilização de um fundo uniforme, sem variações de cores ou texturas.

Notou-se a influência da iluminação sobre o sistema de monitoramento quando utilizada a luz ambiente do laboratório como única fonte de iluminação, pois à medida que o bico extrusor se move, varia a intensidade da luz projetada de cima sobre a peça, gerando sombras.

Em alguns testes, essa variação na luminosidade foi suficiente para impedir o funcionamento do sistema de monitoramento, pois o mesmo depende de contrastes adequados entre peça e fundo. A aplicação do sistema de iluminação, com módulos de led instalados frontalmente à peça sendo impressa, permitiu que a luminosidade sobre a peça fosse sempre constante e adequada ao funcionamento do sistema, além de tornar desnecessário um subsistema óptico para o direcionamento da luz, pois a incidência direta sobre a peça foi suficiente para garantir a iluminação adequada, diminuindo a complexidade do sistema.

Verificou-se que com a vibração da máquina durante a impressão a câmera poderia se deslocar, o que levaria a um reposicionamento da região de interesse de avaliação da borda, impedindo a detecção correta. Para amenizar os efeitos de vibrações e ao mesmo tempo realizar a fixação adequada da câmera e dos módulos de led, foi desenvolvido um suporte para ser fixado na porta da impressora, sendo impresso durante os testes do sistema de monitoramento, apresentado na Fig. (5).



Figura 5 – Câmera e módulos de led presos ao suporte.

Verificou-se que a detecção de borda em peças com redução gradual na área pode funcionar até que a largura se reduza até aproximadamente 12 mm, para diminuir a probabilidade de falhas do sistema.

Outra limitação foi encontrada na impressão de peças com degraus, pois ao avaliar a borda durante a formação de um novo degrau, partes da peça de alturas diferentes fazem com que o programa interprete erroneamente o contorno da borda, levando a indicação de peças fora de posição indevidamente, como exeplicado na Fig. (6).

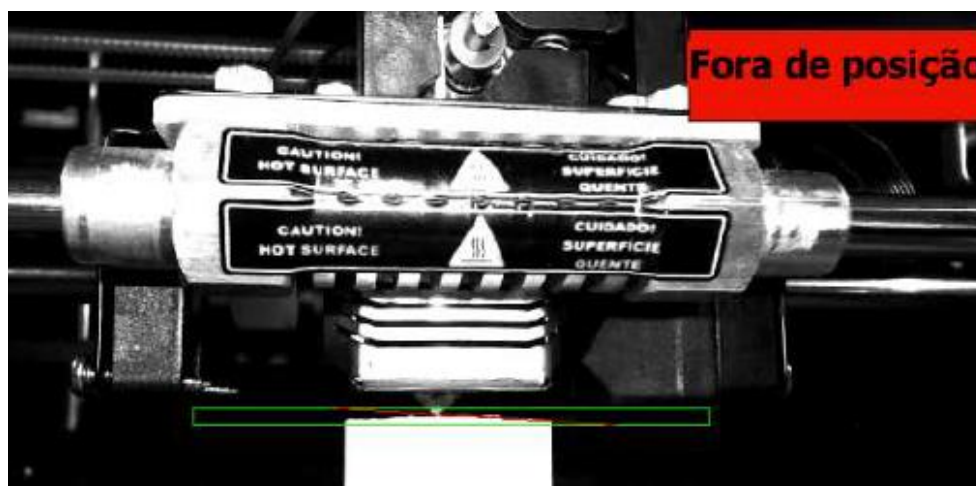


Figura 6 – Falha do programa durante a impressão de degraus

Para evitar que a inclinação presente na impressão de degraus seja interpretada como falha pelo sistema, deve-se estabelecer um valor mínimo para que a inclinação detectada configure um modo de falha de impressão, dessa forma pequenas inclinações não indicarão uma peça fora de posição.

Durante os testes, o sistema se mostrou capaz de detectar outro modo de falha, a deposição irregular de material. No caso de material se acumular indevidamente sobre a peça, será detectado pelo sistema assim que atingir dimensões suficientes para gerar inclinações detectáveis na função de avaliar borda. A Fig. (7) exemplifica de forma destacada a detecção de deposição irregular de material.

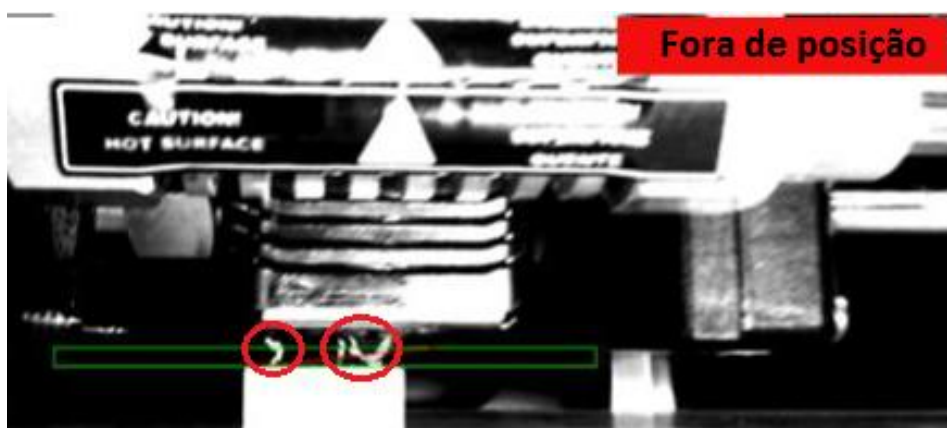


Figura 7 – Deposição indevida de material durante a impressão de uma peça.

Considerando as peculiaridades do sistema de monitoramento identificadas durante os testes, foi possível determinar requisitos para que o sistema funcione corretamente, sendo apresentados de forma resumida no Quadro (2).

Quadro 2 – Requisitos funcionais do sistema de monitoramento

Característica	Instrução de operação
Fixação da câmera/iluminação	Utilizar suporte fixado na porta da impressora.
Modelo da câmera	Câmera Logitech c920; Resolução 15 Megapixels.
Posicionamento da câmera	Posicionar a câmera na altura da peça, com a borda da peça horizontal na imagem.
Foco da câmera	Configurar o foco fixo e sobre a peça.
Iluminação	Manter luzes do laboratório ligadas durante impressões.
Subsistema de iluminação	Utilizar os módulos led posicionados em frente a peça que está sendo impressa.
Subsistema óptico	Verificou-se desnecessário quando aplicado o subsistema de iluminação.
Plano de fundo	Utilizar um fundo claro na impressão de peças escuras e um fundo escuro, na impressão de peças claras. Preferência por fundos sem mudanças de cor ou textura.
Inclinação máxima	Utilizar uma inclinação aproximada de 5° para as funções de avaliação de borda.
Ajuste do programa	Posicionar adequadamente as funções de detecção de peças e de avaliação de bordas.

4.2. Simulações de detecção dos modos de falha

Para realizar a simulação de falta de deposição de material foi utilizado um modelo de cubo com 20 mm de aresta, devido a sua simplicidade, para a realização de seis impressões em PLA branco.

Durante cada impressão, a alimentação de material da impressora foi interrompida, retirando-se o filamento de material do bico extrusor. O cabeçote extrusor continuava se movendo, sem depositar o material, como no problema de falta de deposição.

Após a interrupção de material, foram necessários três deslocamentos da mesa da máquina para baixo, para que a peça deixasse a região de interesse da função de detecção de borda, apontando então a falha. Esse deslocamento seria equivalente à uma distância de 1,2 mm, uma vez que a espessura de camada utilizada foi de 0,4 mm.

A Fig. (8) apresenta a detecção da falta de deposição de material no momento que a peça não aparece na região de interesse de avaliação de borda.

Podem ser necessários mais deslocamentos da mesa até que a falta de deposição de material seja detectada pelo sistema de acordo com a espessura de camada utilizada na impressão, sendo que quanto menor a espessura, mais tempo decorre entre a interrupção de material e a detecção pelo sistema de monitoramento.

Tamanhos menores para a região de interesse da função de avaliar borda podem diminuir o número de deslocamentos da mesa até a detecção da falta de material, porém, na prática, influenciaram negativamente no

desempenho do sistema, pois a indicação de falhas nesses casos ocorreu mesmo em peças sem problemas, devido à sensibilidade do sistema às vibrações e luminosidade sobre o bico injetor.

Para a realização de simulações do descolamento de peças, foram realizadas cinco impressões de esferas de 25 mm de diâmetro. A forma esférica foi escolhida por apresentar uma área de contato com a mesa muito pequena, o que aumentaria as chances de ocorrer o descolamento durante a impressão.

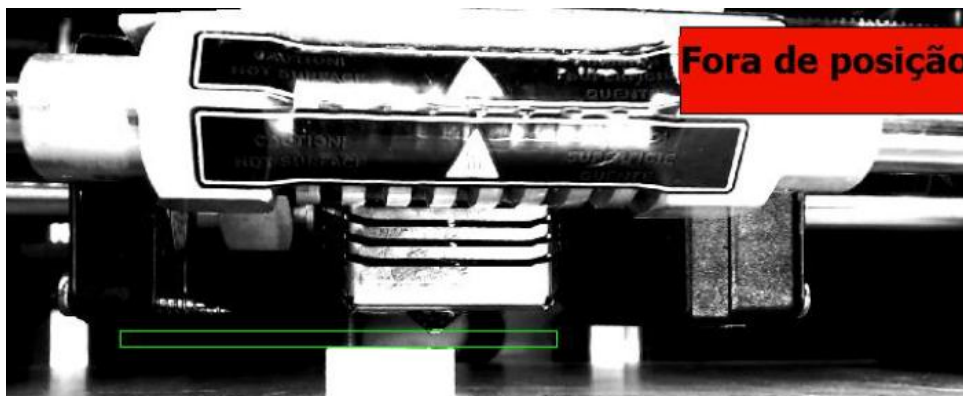


Figura 8 – Detecção da falta de deposição de material.

Utilizou-se durante os testes um valor de preenchimento interno de 20%, enquanto o valor da espessura de camada foi variado de 0,25 mm até 0,4 mm. Não foi utilizada borda adicional na base, visando facilitar o descolamento das esferas. Durante a impressão, as peças descolaram, sendo isso detectado pelo sistema de monitoramento assim que apresentadas inclinações de borda elevadas, conforme ilustrado na Fig. (9).

O descolamento gera inclinações elevadas da borda superior, maiores que 10°, sendo detectadas no momento em que há a movimentação da peça. O sistema não irá detectar um pequeno descolamento parcial da peça, se este não gerar inclinação ou movimentação da peça para fora da região de interesse de avaliação da borda.

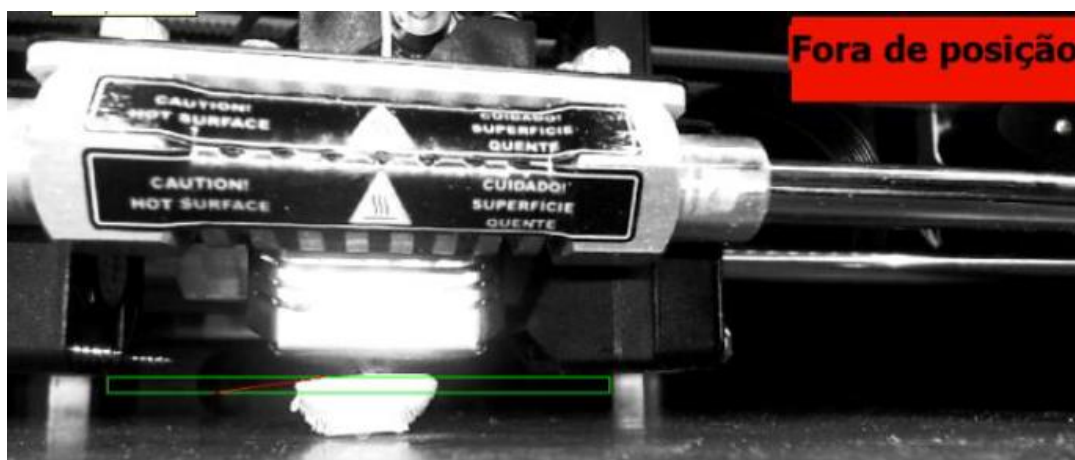


Figura 9 – Detecção do descolamento de uma esfera.

Para avaliar o funcionamento do sistema durante o monitoramento de peças com grande largura, maior que a região de interesse de avaliação de borda, foram impressas peças triangulares, conforme a Fig (10).

Constatou-se através dos testes que mesmo quando a borda possui um comprimento maior que a região de interesse onde ela será avaliada, a identificação dos modos de falha ocorre normalmente. Isso é possível pois o único requisito necessário para a detecção dos modos de falha, por descolamento ou falta de deposição, é que pelo menos parte da borda esteja presente dentro da região de interesse do programa, dessa forma o sistema pode atuar mesmo em peças de grande comprimento.

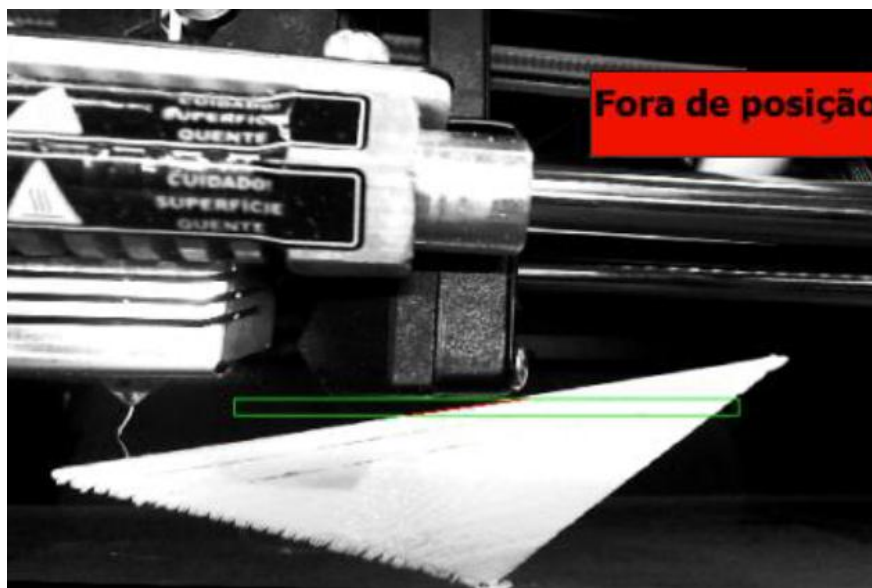


Figura 10 – Detecção do descolamento no final da impressão de um triângulo.

5. CONCLUSÃO

Foram realizados diversos testes utilizando um protótipo do sistema de monitoramento, visando à definição de suas características funcionais através da variação de parâmetros do sistema, como mudanças no posicionamento dos componentes, utilização ou não de iluminação e variações no programa, por exemplo, até que fosse obtido o layout mais eficaz.

A inserção de um subsistema de iluminação se mostrou necessária durante os testes, assim, foram utilizados 3 módulos de led quádruplos, posicionados em frente a peça sendo impressa, garantindo o aumento no contraste da peça com o fundo e a luminosidade adequada ao bom funcionamento do sistema. A iluminação frontal da peça se mostrou eficaz, tornando desnecessário o desenvolvimento de um subsistema óptico para o direcionamento da luz, diminuindo assim os custos e simplificando a instalação e utilização do sistema de monitoramento.

A operação do sistema utilizando um suporte para a câmera e iluminação, desenvolvido e produzido durante os testes na própria impressora 3D, forneceu grande estabilidade ao processo de inspeção, reduzindo a influência das vibrações da impressora na detecção de borda.

O módulo Vision Builder foi adequado ao desenvolvimento do sistema, sendo intuitivo e possuindo uma grande variedade de funções de inspeção, permitindo a obtenção de um sistema de visão configurado especificamente para atuar no modelo de impressora 3D Cloner DH+. A utilização desse sistema em impressoras diferentes requer alterações no layout, que levem em conta as peculiaridades e dimensões da impressora escolhida.

A transferência do programa realizado no Vision Builder para o LabVIEW acrescenta um grande potencial de utilização e integração do sistema de monitoramento, uma vez que o LabVIEW é um ambiente de programação versátil e permite a inserção de diversas funções extras ao programa, aumentando o grau de personalização possível.

O sistema de monitoramento proposto foi capaz de detectar automaticamente os modos de falha de impressão 3D analisados, sejam falhas de descolamento de peças ou de falta de deposição de material, desde que consideradas suas características funcionais, através de uma solução simples e de custo reduzido, com potencial para ser utilizado em algumas tecnologias de impressão 3D.

6. REFERÊNCIAS

- Aboud Neta, S. R.; Dutra, L. V.; Erthal, G. J., 2008, “Limiarização Automática em Histogramas Multimodais”, 7th Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.
- American Society for Testing and Materials, 2013, “ASTM F2792 – 12a: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies”.
- Bianconi, F et al, 2013, “A sequential machine vision procedure for assessing paper impurities”, Computers in Industry, Vol. 65, pp. 325-332
- Deschamps, F., 2004, “Contribuições para o Desenvolvimento de um Sistema de Visão Aplicado ao Monitoramento do Desgaste de Ferramenta de Corte - O Sistema Toolspy”, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- FORCELLINI, F. A., 2002, “Desenvolvimento de Produtos”, Apostila do curso de pós graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

- Feliciano, F. F., Souza, I. L., Leta, F. R., 2005, “Visão computacional aplicada à metrologia dimensional automatizada: considerações sobre sua exatidão”, *Engevista*, pp. 38 - 50.
- Krishnan, C., Washabaug, E. P., Seetharaman, Y., 2015, “A low cost real-time motion tracking approach using webcam technology”, *Journal of Biomechanics*, Vol. 48, pp. 544-548.
- López-García, F. et al., 2010, “Automatic detection of skin defects in citrus fruits using a multivariate image analysis approach”, *Computers and Electronic in Agriculture*, Vol.71, pp.189-197
- Marengoni, M., Stringhini, D., 2009, “Tutorial: Introdução à Visão Computacional usando OpenCV”, *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, Vol. 16.
- National Instruments, 2015, “Vision Builder for Automated Inspection”, disponível em: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/11700#productlisting>> Acesso em: 11 out. 2015.
- Rios, L. R., 2010, “Visão Computacional”, Salvador, Bahia, Brasil.
- Russ, J. C., Neal, F. B., 2015, “The Image Processing Handbook, Seventh Edition”. CRC Press.
- Takagaki, L. K., 2012, “Tecnologia de Impressão 3D”, *Revista Inovação Tecnológica*, pp. 28-40.
- Victoriano, E. R., Santos, D. D., Maciel, R., 2012, “Reconhecimento de Imagem Através da Visão de Máquina”.
- Volpato, N. Ed., et al., “2007”, “Prototipagem Rápida Tecnologias e Aplicações”. São Paulo: Blücher.
- Te-Hsiu Sun, 2010, “Electric contacts inspection using machine vision”, *Image and Vision Computing*, Vol. 28, pp. 890-901.
- Yuan-Yuan, T., Si-yang, L., Quing_chang, T., 2012, “Application of detecting part’s size online based on machine vision”, *Energy Procedia*, Vol.16, pp.1948-1956

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

DEVELOPMENT OF A MONITORING SYSTEM FOR 3D PRINTING MANUFACTURING USING MACHINE VISION

Rodrigo Reis, reis__rodrigo@hotmail.com¹

Walter Luis Mikos, mikos@utfpr.edu.br¹

José Aguiomar Foggiatto, foggiatto@utfpr.edu.br¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de setembro, 3165, Curitiba-PR

Abstract: *The present work aims to present the development of a monitoring system to be used on 3D printers. The proposed system can detect two failure modes identified during the printing with the material extrusion technology, which can result in defective parts and, waste of time and material. The first failure mode is the part detachment from the printing table that happens with unfavorable geometry parts to fixture. The second failure mode is the lack of material deposition that happens when the polymeric filament is not extruded during the printing, causing the machine to continue moving without forming the part. To detect the failure modes along the process, a machine vision system was applied, using a software developed in a LabVIEW module, Vision Builder, with the appropriate camera, fixture and illumination, to track the printing of a part. The development of the monitoring system happened through an iterative process of creation and testing, during the printing of parts with different colors and dimensions, until a functional and simple solution was obtained. The result is a monitoring system using machine vision with the capability of automatically detecting the detachment of parts and the lack of material deposition, with potential to be incorporated in some 3D printing technologies.*

Keywords: *3D Printing, Machine Vision, Monitoring System.*