



Firmware para Impressora 3D por Jateamento de Aglutinante com Dois Materiais

Firmware for binder jetting additive manufacture with two materials

Igor Bertucci Colete Silvy (orientado)*, Neri Volpato (orientador)†,

Felipe Gonçalves Di Nisio‡

RESUMO

Firmware, ou software embarcado, é um programa responsável pelo funcionamento do sistema eletrônico e pela realização das operações de uma máquina. O presente estudo tem como objetivo desenvolver um *firmware* para um equipamento de Manufatura Aditiva (AM) pelo princípio de jateamento de aglutinante capaz de combinar dois materiais distintos. Foi programado um código em C++ de arquitetura simples, embarcado em um microcontrolador Arduino Mega. O *firmware* foi implementado em um protótipo de espalhamento de pó, no qual foi possível a realização de testes de movimentação dos sistemas presentes no equipamento. Os resultados demonstram um bom funcionamento do software durante as operações da máquina, e foi notada a possibilidade de utilizar o mesmo para compensar falhas mecânicas presentes no equipamento.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, jateamento de aglutinante, firmware, software embarcado.

ABSTRACT

Firmware, or embedded software, is a program responsible for the functioning of the electronic system and for carrying out the operations of a machine. This study aims to develop a firmware for an Additive Manufacturing (AM) equipment by the principle of binder jetting capable of combining two different materials. Code was programmed in C++ with simple architecture, embedded in Arduino Mega microcontroller. The firmware was implemented in a dust-spreading prototype, it was possible to execute movement tests of the systems present in the equipment. The results demonstrate a good functioning of the software during machine operations, and the possibility of using it to compensate for mechanical failures present in the equipment was noted.

Keywords: Additive Manufacturing, Binder Jetting, Firmware, Embedded Software.

1 INTRODUÇÃO

O uso do *Firmware* está presente em vários objetos do nosso dia a dia, como nos computadores, carros, brinquedos, celulares, eletrodomésticos, etc. Qualquer máquina que possua um hardware com necessidade de controle em baixo nível terá um *Firmware*, em outras palavras, um software embarcado (DOURADO, 2004). Esse software é responsável por fazer os mecanismos executarem de maneira controlada cada ação da máquina, a qual, de forma pré-programada, apresentará uma lista de comandos que foram previstos no planejamento para aquele aparato. Dessa mesma forma acontece nos processos de Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing* - AM), popularmente conhecida por “Impressão 3D”. As impressoras recebem informações

* Eng de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; silvy@alunos.utfpr.edu.br

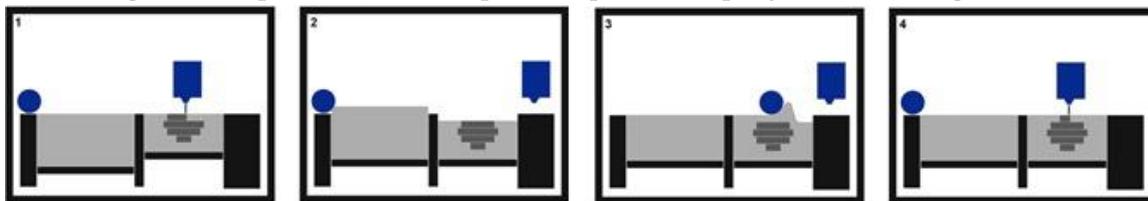
† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ecoville (Curitiba); nvolpato@utfpr.edu.br

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; felipenisio@alunos.utfpr.edu.br

sobre o que será fabricado na forma de um código (G-code), que é lido pelo *firmware* e este, então, executa os movimentos dos motores e controla os demais sistemas da máquina até a obtenção da peça final impressa.

Dentro da AM, o princípio de jateamento aglutinante consiste em jatear seletivamente um líquido ligante sobre a matéria-prima em pó, motivando uma reação que irá aglutinar as partículas de pó, formando uma camada do sólido, e a adição de sucessivas camadas resulta na obtenção da peça final desejada (SILVA, 2017) (Fig. 1).

Figura 1 – Representação das etapas de impressão 3D por jateamento de aglutinante



Fonte: Haas (2018)

Embora os equipamentos de AM por jateamento de aglutinante costumam utilizar apenas um material em suas impressões, está sendo desenvolvido no Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER) um protótipo que permite que as peças sejam obtidas com dois materiais diferentes. Para isso, o objetivo deste trabalho é desenvolver um *firmware* que fará o controle deste equipamento, possibilitando a impressão de peças utilizando dois materiais distintos de maneira controlada.

2 MÉTODO

O *firmware* desenvolvido será embarcado em um microcontrolador responsável por enviar os comandos aos motores da máquina. Para o presente estudo, foi escolhido o uso do Arduino Mega: uma placa de prototipagem eletrônica de código aberto utilizada frequentemente em impressoras 3D de pequeno porte, facilitando o acesso a exemplos de programas já existentes. Uma placa adaptada (Shield) será acoplada ao Arduino, e nela serão conectados os drivers responsáveis pela comunicação com os motores.

2.1 Funcionamento do protótipo

O protótipo em desenvolvimento é dividido em duas partes: um aparato responsável pelo espalhamento do pó e um mecanismo que realiza os movimentos do cabeçote de jateamento. No momento atual da pesquisa, apenas a construção do aparato de espalhamento foi concluída. As dimensões do protótipo foram baseadas em um projeto aberto de uma impressora 3D de jateamento de aglutinante denominada Oasis 3DP (HAAS, 2018).

Como o principal diferencial do protótipo é a impressão utilizando dois materiais distintos, o aparato de espalhamento possui três cubas para o armazenamento do pó: uma central, chamada de plataforma de construção (W0), e duas de alimentação (W1 e W2), como pode ser observado na Fig. 2, que apresenta um modelo CAD (*Computer-Aided Design*) do projeto do aparato. Em cada uma das cubas de alimentação é armazenado um material em pó diferente, enquanto na plataforma de construção ocorrerá o jateamento do aglutinante e, conseqüentemente, a fabricação da peça. No início de cada camada, as cubas se movimentam no eixo W (Fig. 2) de acordo com o valor da altura da camada definida, e em seguida o rolo realiza o transporte do material de uma cuba de alimentação para a plataforma de construção (movimento no eixo U). Simultaneamente a este movimento, o rolo deverá rotacionar para auxiliar a formação de um leito uniforme de pó na plataforma. Apenas um material é espalhado por camada, e o usuário pode definir como será a distribuição dos materiais por camada.



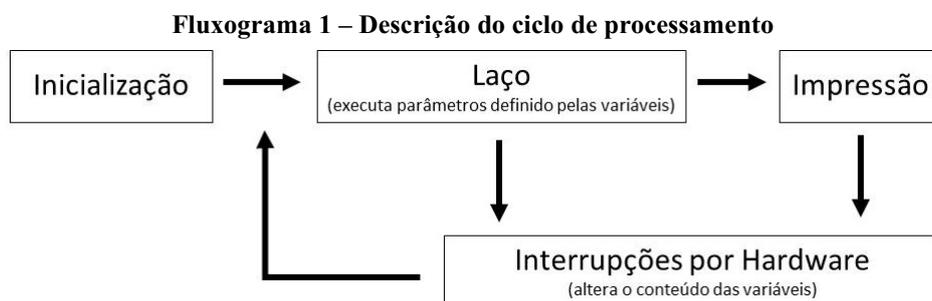
utilizado foi o do próprio Arduino, que permitiu o uso de comunicação serial para testes preliminares antes da realização de testes no protótipo em si.

2.2.1 Descrição de Arquitetura

A arquitetura do software embarcado foi dividida em três partes, para explicar foi montado um fluxograma com o ciclo de funcionamento (Fluxograma 1). A primeira parte é a inicialização, responsável por declarar as variáveis, gravar as bibliotecas e iniciar os parâmetros (como velocidade dos motores e a prioridade de entradas específicas do microcontrolador). Também é responsável por comandar *home* para todos os eixos e gravar as coordenadas 0 em seus devidos lugares.

A segunda parte inicia um laço (*loop*), nele executa as variáveis definidas inicialmente. Para mudar o valor dessas variáveis foi usado um parâmetro para interrupção do ciclo de processamento chamada “attachInterrupt”. Ele concede prioridade para uma função previamente declarada e acontece depois que a entrada muda de 0 para 1 ou vice versa. Depois que a função termina o ciclo volta a onde parou. As entradas definidas foram quatro: os dois sentidos do *encoder* e dois botões que são usados para confirmação de seleção e outro de emergência.

Por fim, a terceira e última parte é a impressão, nela se lê o G-code gravado no micro SD e executa a impressão de acordo com cada linha de comando, serão explicadas mais à frente. Somente pode ser interrompida pelo botão de emergência.



Fonte: Autoria própria (2021)

2.2.2 Leitura do G-code

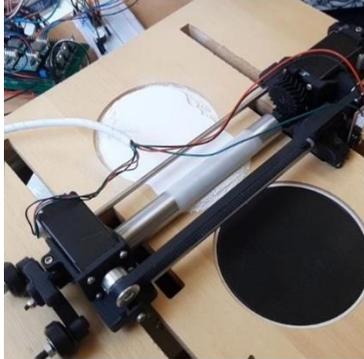
O G-code será gerado no programa de planejamento de processo de AM denominado RP3 (*Rapid Prototyping Process planning*), atualmente em desenvolvimento pelo NUFER. O software é responsável por dividir o modelo 3D das peças em diversas camadas bidimensionais, que serão traduzidas para linhas de comando que informam o cabeçote de impressão as posições em que ocorrerá a deposição do aglutinante.

O *firmware* faz leitura de comandos amplamente conhecidos na área, como por exemplo o comando G1, que movimenta os eixos e define a altura de camada, e também o G28, que desloca o cabeçote para o *home* (coordenadas X= 0 e Y = 0). No entanto, foi necessário a criação de novos comandos para o funcionamento do protótipo:

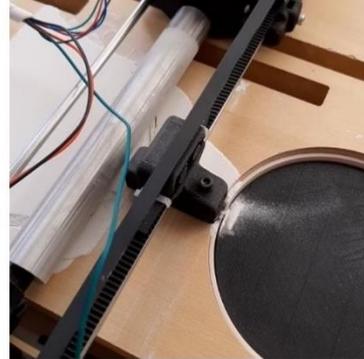
- **M10** - O comando M10 tem como função definir qual será o material usado nas camadas de impressão e poderá ter dois modos diferentes de operação, com um ou dois materiais. Exemplos: *M10 1* (apenas material 1), *M10 2* (apenas material 2) e *M10 1 2* (ambos materiais).
- **M20** - O comando M20 permite controlar a velocidade transversal de espalhamento do rolo no eixo U (F), a velocidade de rotação do rolo (S), e o percentual adicional de material a ser fornecido pelas cubas de alimentação (C). Os valores de velocidade são informados em mm/min. A leitura

Figura 3 – Imagens do teste com protótipo

(a) Espalhamento do material



(b) Operação de limpeza da mesa



Fonte: Autoria própria (2021)

4 CONCLUSÃO

De uma maneira geral, os testes demonstraram que o *firmware* atuou da maneira planejada, sendo capaz de movimentar os motores e realizar as operações desejadas. Ainda serão realizados mais testes, analisando a variação de parâmetros como a velocidade dos motores e a altura de camada utilizada. Na fase de teste, também foi possível observar que alguns problemas provenientes da parte mecânica da máquina podem ser resolvidos com soluções eletrônicas e/ou softwares embarcados bem regulados. Após a finalização do mecanismo que controla o cabeçote, deverão ser realizados testes do jateamento de aglutinante e posteriormente testes de impressão de amostras.

No presente estudo é demonstrada a interação entre software e máquina, e a dependência entre os conhecimentos das duas áreas. Foi possível concluir que o desenvolvimento elaborado de um *firmware* é capaz de garantir o funcionamento de um equipamento inovador.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida. Ao orientador Prof. Neri Volpato pela confiança para a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- DOURADO, Rogério; ALLEX, Elthon. Construção de uma metodologia para desenvolvimento de software embarcado. Universidade Federal de Campina Grande. 2004.
- SILVA, Antonio Verguetz. Desenvolvimento de formulações de porcelanas para manufatura aditiva por jateamento de aglutinante. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.
- ZALM, Erik van der. Firmware Marlim. 2011. Disponível em: <https://marlinfw.org>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- HAAS, Yvo de. Oasis 3DP. 2018. Disponível em: <https://hackaday.io/project/86954-oasis-3dp>. Acesso em: 5 de setembro de 2021.
- XAAR. Xaar XJ128. Disponível em: <https://www.xaar.com/en/products/xaar-printheads/xaar-128/> Acesso em: 10 de setembro de 2021.