

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME COSTA DE ARAÚJO

IMPRESSORA DE CONSTRUÇÃO 3D: CONCEITOS E INSTALAÇÃO INDUSTRIAL

João Pessoa

2024

GUILHERME COSTA DE ARAÚJO

IMPRESSORA DE CONSTRUÇÃO 3D: CONCEITOS E INSTALAÇÃO INDUSTRIAL

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, como pré-requisito para a obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Alvaro Medeiros Maciel

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

A658i      Araújo, Guilherme Costa de.

Impressora de construção 3D : conceitos e instalação industrial / Guilherme Costa de Araújo. – 2024.

45 f. : il.

TCC (Graduação – Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Coordenação do Curso Superior em Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2024.

Orientação : Prof<sup>o</sup>. Alvaro Medeiros Maciel.

1.Manufatura aditivada. 2. Impressora 3D. 3. Instalação elétrica industrial. 4. Automação industrial. I. Título.

CDU 67.02:681.5(043)

Bibliotecária responsável: Lucrecia Camilo de Lima – CRB 15/132

GUILHERME COSTA DE ARAÚJO

## IMPRESSORA DE CONSTRUÇÃO 3D: CONCEITOS E INSTALAÇÃO INDUSTRIAL

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, como pré-requisito para a obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Alvaro Medeiros Maciel

Documento assinado digitalmente  
 **ALVARO DE MEDEIROS MACIEL**  
Data: 04/10/2024 17:35:43-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Alvaro Medeiros Maciel**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Documento assinado digitalmente  
 **FRANKLIN MARTINS PEREIRA PAMPLONA**  
Data: 05/10/2024 10:54:51-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Franklin Martins Pereira Pamplona**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Documento assinado digitalmente  
 **JOSE ARTUR ALVES DIAS**  
Data: 07/10/2024 10:59:28-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Jose Artur Alves Dias**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

João Pessoa, 2024

*Dedico este trabalho ao meu pai, que sempre me apoiou e serviu de inspiração para nunca desistir de meus sonhos.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o apoio dado nestes anos e pela confiança que foi investida em mim. Por todos os conselhos e conversas que recebi e, principalmente, pelo carinho e força nos momentos que mais precisei. Em especial ao meu pai que me ajudou desde o início para que eu pudesse ingressar nesta área e por todo o suporte para poder concluir esta jornada.

Agradeço a todos os professores que participaram do processo de aprendizagem, que trabalham duro para preparar os materiais de aula, por todos os conselhos e também pelos momentos descontraídos. A todos os amigos e colegas de sala pela ajuda e companhia no decorrer deste curso, e por proporcionarem vários momentos felizes.

*“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade.”*

(Nikola Tesla)

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma breve revisão sobre projetos de instalações elétricas industriais, bem como projetos de automação voltados para a impressão 3D. A fundamentação teórica do assunto parte do estudo do processo histórico na criação da impressão 3D, para então compreendermos as aplicações voltadas para a construção por Manufatura Aditiva ou Construção 3D. Observando as particularidades desse tipo de sistema, bem como outros conteúdos relacionados como controle numérico computadorizado e servo acionamentos.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva. Impressora 3D. Instalação elétrica industrial.

## **ABSTRACT**

This paper presents a brief review of industrial electrical installation projects, as well as automation projects focused on 3D printing. The theoretical basis of the subject starts from the study of the historical process in the creation of 3D printing, to then understand the applications focused on construction by Additive Manufacturing or 3D Construction. Observing the particularities of this type of system, as well as other related content such as computerized numerical control and servo drives.

**Keywords:** Additive Manufacturing. 3D Printer. Industrial Electrical Installation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Impressão com metal.....	12
Figura 2 - Impressora FDM.....	12
Figura 3 - Impressão com concreto.....	14
Figura 4 - Construção 3D de casa.....	14
Figura 5 - Impressão 3D com suportes.....	16
Figura 6 - Teste de Overhang.....	16
Figura 7 - Diagrama de blocos em malha da aberta impressora 3D.....	18
Figura 8 - Motor de passo.....	20
Figura 9 - Rotor do motor de passo.....	21
Figura 10 - Dip Switch.....	22
Figura 11 - Arduino Uno com Shield CNC.....	23
Figura 12 - Controladora CNC 5 eixos Mach3.....	24
Figura 13 - Impressora de construção 3D.....	26
Figura 14 - Motor Nema 23.....	28
Figura 15 - Motor Nema 34.....	28
Figura 16 - Motoredutor.....	29
Figura 17 - Driver DM542.....	30
Figura 18 - Driver DM860A.....	30
Figura 16 - Exemplo quadro de comando CNC.....	32
Figura 17 - Ligação do adaptador CNC.....	33
Figura 18 - Diagrama de conexão dos equipamentos.....	34

## LISTA DE SIGLAS

- 3DCP - 3D Construction Printing (Impressão 3D na Construção)
- AM - Additive Manufacturing (Manufatura Aditiva)
- C3DP - Cementitious 3D Printing (Impressão 3D em Cimento)
- CNC - Computer Numeric Control (Controle Numérico Computadorizado)
- FDM - Fused Deposition Modeling (Impressão por Fundição de Material)
- IDE - Integrated Development Environment (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
- PF3D - Processo de Fabricação por meio da Impressão 3D

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>10</b>
2.1	ORIGEM DA IMPRESSORA 3D.....	10
2.2	INDÚSTRIA ATUAL DA CONSTRUÇÃO 3D.....	13
2.3	PROCESSO DE IMPRESSÃO.....	15
2.4	SISTEMAS DE CONTROLE.....	16
2.4.1	Malha Aberta e Malha Fechada.....	17
2.5	TECNOLOGIAS EMPREGADAS.....	18
2.5.1	Motor de passo.....	19
2.5.2	Drivers.....	21
2.5.3	Controladores.....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
3.1	DIMENSIONAMENTO E MONTAGEM.....	25
3.1.1	Estrutura metálica.....	26
3.1.2	Motores utilizados.....	27
3.1.3	Controladores e Drivers.....	29
3.1.4	Programação e Calibração.....	30
3.2	PREVISÃO DE CARGA.....	31
3.3	SEGURANÇA.....	34
3.4	MANUTENÇÃO.....	35
3.5	ORÇAMENTO.....	36
<b>4</b>	<b>IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS.....</b>	<b>38</b>
4.1	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	38
4.2	RESÍDUOS NÃO BIODEGRADÁVEIS.....	39
4.3	AUTOMAÇÃO E DESEMPREGO.....	40
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este é um trabalho destinado a conclusão do curso de bacharel em engenharia elétrica do IFPB campus João Pessoa. Ele é fruto da pesquisa e desenvolvimento de atividades práticas ao longo do curso. O conteúdo aqui apresentado faz uma síntese de assuntos estudados como eletricidade aplicada, eletrônica, instalações elétricas, máquinas elétricas e CLP.

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar os conceitos de um projeto de automação de uma impressora 3D de concreto, explicando suas partes constituintes. Além disso, tem-se por objetivos explicar especificações técnicas e alguns procedimentos de instalação.

Diante disso, a justificativa para a escolha deste tema foi devido a experiência adquirida no decorrer do estágio supervisionado, na empresa 3D Eco House, onde pude ver de perto o funcionamento de uma impressora 3D que utiliza o concreto como matéria prima. Podendo acompanhar de perto durante o seu funcionamento, trabalhei para fornecer suporte técnico necessário para que pudesse funcionar de forma adequada.

A abordagem metodológica incluiu uma revisão bibliográfica para compreender os fundamentos teóricos e práticos relacionados aos sistemas de automação industrial. Nesse contexto, foram estudadas as partes físicas que constituem o processo como os motores e controladores, além de normas técnicas que regem a regulamentação para garantir a segurança desse tipo de projeto.

Por fim, concluiu-se por meio deste trabalho que, os conceitos abordados são de grande importância, não apenas para esse projeto mas para todo e qualquer ambiente industrial, visando aumentar a confiabilidade dos processos com elevada precisão dos produtos que são fabricados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentado um levantamento dos trabalhos que foram produzidos sobre impressão 3D com concreto, bem como as partes constituintes de um equipamento desse porte, além de algumas das suas aplicações.

Existem vários termos que são utilizados para descrever esse processo, que também pode ser chamado de Manufatura Aditiva (AM), de forma mais ampla, para caracterizar processos que consistem em depositar camadas de material sobre uma superfície a fim de criar uma peça ou objeto.

Nesse contexto, alguns termos que são mais específicos para descrever o processo de construção 3D e podem ser encontrados na bibliografia são: Processo de Fabricação por meio da Impressão 3D (PF3D); Impressão 3D na Construção (3DCP); Impressão 3D em Cimento (C3DP).

### 2.1 ORIGEM DA IMPRESSORA 3D

A representação de objetos em 3D deu os primeiros passos registrados por volta de 1860 através da técnica de fotoescultura, promovida pelo francês François Willème, através do seu talento como escultor e fotógrafo. Ele trabalhou em uma técnica de criação de esculturas 3D onde colocava 24 câmeras em círculo, espaçadas umas das outras. Cada câmera captava um ângulo diferente da pessoa e, ao juntar todas as imagens era obtido, de modo rudimentar, uma representação em três dimensões, processo esse que chamamos atualmente de modelagem por escaneamento. (LIRA, 2021, p.21).

Em 1933, o japonês Isao Morioka propôs um processo que combina fotoescultura e topologia para a reprodução de estátuas semelhantes aos objetos fotografados na época. O processo inicial envolvia colocar um objeto em um disco giratório que se movia suavemente, descrevendo uma linha vertical no objeto, ao longo da rotação do disco. Simultaneamente ao movimento, ele fotografa, por meio de um filamento linear de luz elétrica incandescente, as curvas dos contornos de um objeto. Estas linhas eram reveladas na folha e, topologicamente, sobrepostas ou projetadas no material da escultura. (LIRA, 2021, p.22).

Com o passar das décadas e, com a contribuição de inúmeros cientistas, foi possível aprimorar a tecnologia do processo de fabricação por meio da impressão

3D (PF3D), com a implementação da primeira máquina em 1987, e em 1993 o cenário dessa tecnologia já atingia considerável evolução. Nessa época, as máquinas PF3D apresentavam altos custos, tempo elevado do processo, e pouca precisão das peças de protótipos resultantes. Essas características dificultavam a aceitação dos sistemas PF3D e eram obstáculos à sua efetiva integração no sistema industrial e aplicação em outras áreas. (LIRA, 2021, p.25).

Nesse contexto, os principais processos de fabricação possuem princípios baseados na moldagem do material, que envolve ou não a sua fusão, por exemplo a fundição de metais em moldes, ou a moldagem por injeção de plástico. A subtração de material até chegar à forma desejada, como em processos de torneamento, fresagem e usinagem. Na conformação, que gera a geometria final da peça a partir da deformação do material inicial, por exemplo em processos de forjamento, extrusão e laminação. Na união de componentes, que pode promover a junção de partes mais simples para compor uma peça mais complexa, e na divisão de componentes, que faz o contrário da união. Diante disso, com a evolução das tecnologias surgiu o processo de fabricação baseado na adição de material, chamado atualmente de Manufatura Aditiva ou impressão 3D. (VOLPATO, 2021, p.16).

Uma impressora 3D é uma máquina capaz de criar objetos tridimensionais a partir de modelos digitais. Em vez de utilizar tinta em papel, como uma impressora convencional, uma impressora 3D extrai a matéria prima (plástico, metal, resina, entre outros) de uma bobina ou recipiente, e deposita camada por camada em uma superfície para construir o objeto desejado.

As impressoras 3D são usadas principalmente para prototipagem rápida na indústria, permitindo que empresas e designers criem modelos físicos de seus projetos (figura 1). Tendo em vista que a criação de um protótipo demanda um elevado custo e tempo pelos métodos tradicionais de fabricação. Esse tipo de tecnologia não se limita apenas a aplicações na indústria, se expandindo para diversas áreas, incluindo medicina, arquitetura, moda, educação e até mesmo na produção de alimentos.

Figura 1 - Impressão com metal

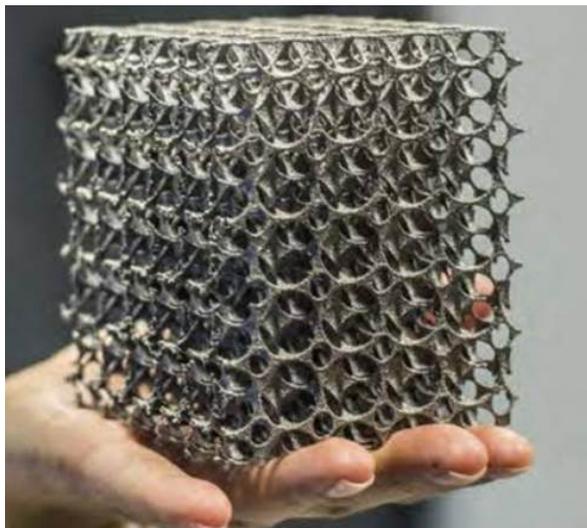
Fonte: Internet<sup>1</sup>

Figura 2 - Impressora FDM



Fonte: Internet

Atualmente, as impressoras 3D estão acessíveis ao consumidor comum, permitindo que entusiastas e pequenas empresas criem uma ampla gama de objetos personalizados (figura 2). A tecnologia está em contínua evolução, com promessas de novos materiais, maior velocidade e precisão, expandindo ainda mais seu potencial de aplicação em diferentes setores da sociedade.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.scp-prototipazionerapida.com/en/metal-sintering-dmls/>>  
Acesso: 02 set. 2024.

## 2.2 INDÚSTRIA ATUAL DA CONSTRUÇÃO 3D

A tecnologia da construção 3D está emergindo como uma das inovações mais promissoras e disruptivas na indústria da construção civil, com a crescente demanda por métodos mais eficientes, sustentáveis e personalizados, redefinindo como edifícios e estruturas são projetados, construídos e mantidos.

A arquitetura e a engenharia brasileiras são amplamente conhecidas por sua tradição de usar concreto em edifícios com formas disruptivas. Essa cumplicidade tornou possível construir as formas curvas dos desenhos de Oscar Niemeyer inspiradas na paisagem brasileira. Imagine que ele tivesse uma maneira de imprimir diretamente seus desenhos na escala real. (3D PRINTING, 2023, p.6).

Essa tecnologia permite a criação de formas arquitetônicas complexas, além de reduzir o desperdício de material, tempo de construção, e custos com mão de obra. A capacidade de imprimir estruturas utilizando materiais como concreto, argila e bio-compostos com aditivos químicos, diretamente no local, promove maior precisão e qualidade na execução dos projetos, minimizando erros humanos e permitindo a personalização em massa de elementos construtivos.

Nesse contexto, a construção de habitações é possível a um custo significativamente menor e em um tempo muito reduzido se comparado aos métodos tradicionais (figura 4). Arquitetos e designers utilizam a construção 3D para criar elementos decorativos complexos e personalizados (figura 3), como fachadas, colunas e painéis, que seriam extremamente difíceis ou caros de produzir por métodos convencionais. Isso permite maior liberdade criativa e inovação no design de edificações.

Dessa forma, construção 3D é uma resposta eficiente aos desafios enfrentados pela construção civil, como a falta de mão de obra qualificada, a necessidade de construir em locais remotos e a urgência de adotar práticas mais sustentáveis.

Figura 3 - Impressão com concreto



Fonte: Empresa 3D Eco House

Figura 4 - Construção 3D de casa



Fonte: Internet<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Disponível em:

<<https://www.cimentoitambe.com.br/projeto-no-rn-constroi-1a-casa-do-brasil-com-imprensa-3d/>>  
Acesso: 20 ago. 2024.

## 2.3 PROCESSO DE IMPRESSÃO

Para imprimir um objeto em 3D é necessário utilizar um modelo digital do mesmo. Esses modelos podem ser criados usando um programa de modelagem 3D onde se desenha o objeto a ser impresso.

Outro método de modelagem é por meio de digitalização tridimensional, esta forma consiste na utilização de um scanner 3D que captura a forma e aparência do objeto, o exportando diretamente para o computador. Alternativamente, pode-se baixar um modelo 3D pronto que foi salvo em algum formato que o programa consegue processar.

Com o modelo tridimensional o computador envia as instruções para a impressora que, a depender do tipo de matéria prima a ser impressa, realizará um processo diferente para depositar o material.

Para impressoras FDM (Impressão por Fundição de Material), o material de impressão é um tipo de polímero (PLA, ABS, PETG, entre outros) que é armazenado em carretéis de filamento e é tracionado até ser levado ao sistema de aquecimento, para ser depositado sobre a superfície de impressão em finas camadas, podendo contar com sistema de resfriamento para o material endurecer rapidamente e conseguir sustentar as próximas camadas.

O conceito Overhang, muito conhecido na impressão 3D, significa uma saliência que sobrepõe as camadas mais abaixo, ou seja, quando a impressão acontece sem apoio da camada de baixo em um objeto inclinado onde as camadas seguintes não estão completamente sobrepostas. Para resolver certas limitações na impressão FDM podem ser criados suportes para sustentar o objeto durante a impressão, que serão descartados posteriormente com a finalização da peça.

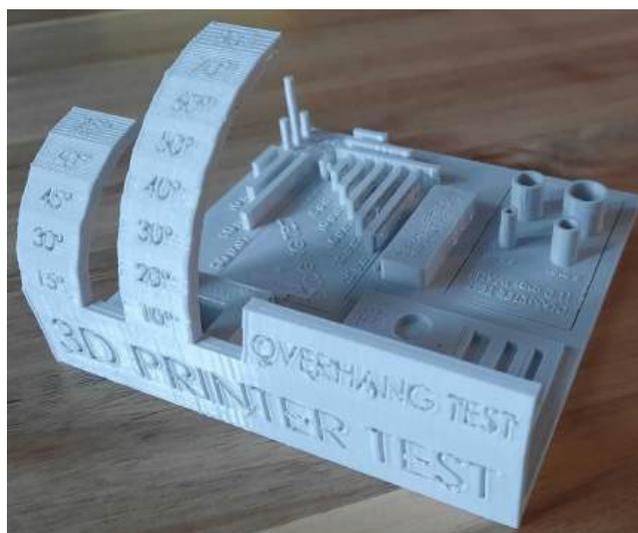
Na impressão 3D com concreto existem muitas limitações devido a diferença do material de impressão que, no caso do concreto leva muito mais tempo para endurecer se comparado aos polímeros. Dessa forma, impossibilitando a criação de um número elevado de camadas em pouco tempo e limitando drasticamente a capacidade de imprimir uma estrutura com inclinação, o que poderia fazer o objeto se deformar, e até mesmo ceder com o próprio peso. Além disso, devido ao tipo diferente de matéria prima utilizada na impressão, é preciso ter um sistema de extrusão totalmente diferente do material para ser depositado corretamente.

Figura 5 - Impressão 3D com suportes



Fonte: Internet<sup>3</sup> (Adaptado)

Figura 6 - Teste de Overhang



Fonte: Internet<sup>4</sup>

## 2.4 SISTEMAS DE CONTROLE

Na Engenharia restringimos o significado de sistema de controle para uma disposição de componentes físicos cuja função principal é comandar, dirigir ou regular a si mesmo ou a outros sistemas. (DiStefano III et al., 2014, p.1).

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://3dlab.com.br/qualidade-de-impressao-na-area-de-suporte/>> Acesso: 20 ago. 2024.

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.obico.io/blog/3d-printer-test-models/>> Acesso: 20 ago. 2024.

Para compreender o que é um sistema de controle é preciso definir dois termos: entrada e saída. A entrada é um comando aplicado por meio de uma fonte de energia externa para produzir uma resposta específica a partir do sistema de controle. Enquanto a saída é a resposta atual obtida de um sistema de controle, podendo ser ou não igual à resposta da entrada.

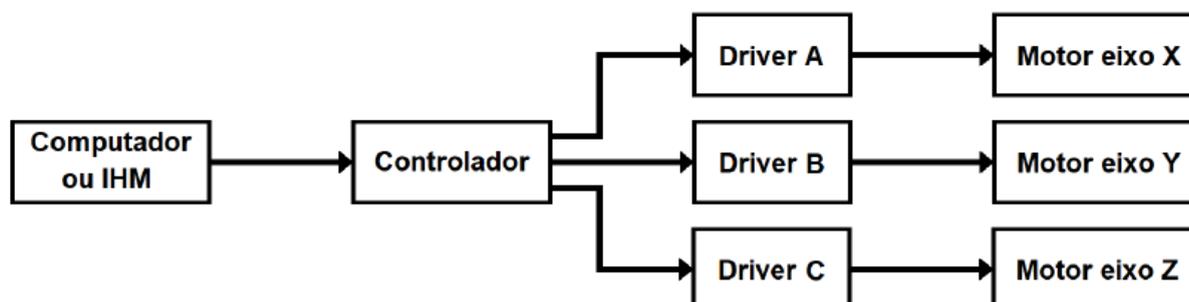
O sistema de controle de uma impressora 3D pode ser definido como entrada, constituído pelo computador, responsável por emitir os comandos e instruções para os controladores, de acordo com o formato do objeto definido no programa. Os controladores, por sua vez, enviam pulsos elétricos para os drivers e, estes últimos, energizam as bobinas dos motores responsáveis por realizar o movimento da estrutura de impressão. Nesse caso, a saída é toda resposta do sistema em movimentos da estrutura, junto ao sistema de extrusão que vai gradativamente depositando o material sobre a base de impressão a fim de criar um objeto ou estrutura.

#### 2.4.1 Malha Aberta e Malha Fechada

Podemos classificar os sistemas de controle em duas categorias, estas são os sistemas de malha aberta e de malha fechada. Um sistema de controle de malha aberta é aquele no qual a ação de controle é independente da saída. Pode ser definido em um diagrama como blocos conectados em formato de linha sem nenhuma retroalimentação. Dessa forma, o seu desempenho preciso é determinado pela sua calibração, além de serem menos suscetíveis à instabilidade. Devido a essas características, é mais comum que essa categoria seja empregada na tecnologia de impressão 3D (figura 7).

Já um sistema de controle de malha fechada, é aquele no qual a ação de controle depende de alguma forma da sua saída. Ou seja, possuem retroalimentação, que consiste em coletar informações de um bloco seguinte e aplicá-lo a um bloco anterior. Dessa forma, o seu desempenho é determinado pela forma que foi configurado para tentar minimizar o erro, aumentando sua precisão, mas com risco de tornar o sistema instável se mal configurado. (DiStefano III et al., 2014, p.3-4).

Figura 7 - Diagrama de blocos em malha da aberta impressora 3D



Fonte: Próprio Autor

## 2.5 TECNOLOGIAS EMPREGADAS

Esta seção é destinada a fazer uma explicação técnica sobre as partes constituintes de uma impressora de construção 3D, bem como as tecnologias associadas a algumas das mesmas. É preciso destacar que os componentes desta são diferentes de uma impressora FDM, já que na construção 3D precisamos de um tratamento diferente do material.

1. A Estrutura (Frame): geralmente é muito maior e mais robusta do que a de uma impressora 3D tradicional para suportar o peso do concreto e a movimentação dos seus eixos.
2. Extrusora ou Cabeça de Impressão (Print Head): adaptada para extrudar concreto, ou seja, força-lo a passar pelo bico injetor. Possui um bico largo e resistente, podendo incluir sistemas de vibração ou agitação para garantir um fluxo constante e uniforme do concreto.
3. O Sistema de Alimentação de Concreto (Concrete Supply System): bombas e tubos que transportam o concreto do misturador até a extrusora. Pode incluir sensores para monitorar a consistência e a quantidade de concreto. Em alguns casos, em vez de uma bomba de concreto, é utilizado um recipiente com pás giratórias que se assemelha a uma betoneira, para levar o material até o bico da extrusora.
4. Misturador (Mixer): é onde o concreto é preparado e misturado antes de ser bombeado para a impressora, como em uma betoneira, por exemplo. O

concreto pode incluir aditivos físico-químicos para ajustar a sua cura e resistência, tais como polímeros e fibras.

5. Plataforma de Construção (Build Platform): pode ser uma base fixa ou móvel onde a estrutura de concreto é construída sendo depositadas em camadas e, em alguns casos, o solo ou uma fundação específica serve como plataforma.
6. Sistema de Movimentação (Movement System): constituída por motores de passo com alta precisão e grau de liberdade, e trilhos que permitem o movimento da cabeça de impressão em grandes áreas, muitas vezes em eixos X, Y e Z.
7. Sistemas de Controle (Control Systems): computadores e controladores com software especializado para controlar com precisão o movimento e a extrusão do concreto.
8. Sensores e Monitoramento (Sensors and Monitoring): Incluem sensores de posição, pressão, umidade e temperatura para monitorar e ajustar o processo em tempo real.
9. Fonte de Alimentação (Power Supply): Fornece energia para todos os componentes eletrônicos e motores da impressora. Este geralmente é organizado por meio de um quadro de comando que abriga os principais componentes de alimentação, tais como fontes chaveadas e controladores.
10. Sistemas de Segurança (Safety Systems): incluem barreiras, sensores de presença, sistema de aterramento, desligamento de emergência, entre outros dispositivos para garantir a segurança dos operadores e do ambiente ao redor.

### 2.5.1 Motor de passo

O motor de passo (stepper motor) é um tipo de motor elétrico que move o seu eixo em incrementos precisos, conhecidos como passos. Diferente de motores convencionais, que giram de forma contínua, os motores de passo avançam em ângulos discretos, permitindo um controle altamente preciso da posição de seu eixo.

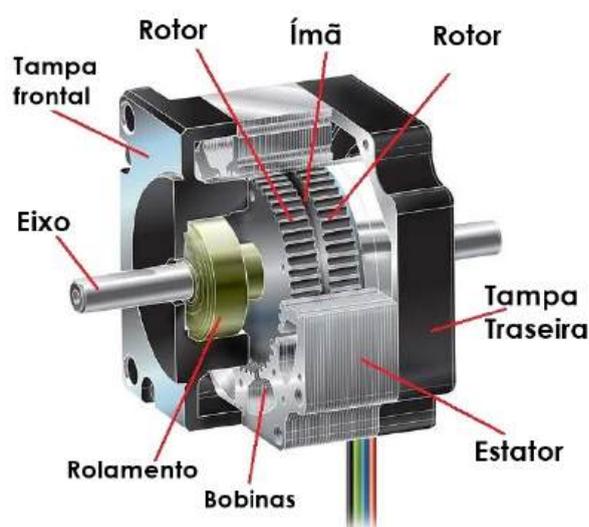
Motores de passo são controlados por pulsos elétricos aplicados em sequência às suas bobinas, fazendo o motor avançar ou retroceder um passo. Cada passo corresponde a um movimento angular específico, o que permite ao motor alcançar uma posição exata sem a necessidade de sensores de feedback, ou seja,

podem ser empregados em sistemas de malha aberta e ter uma elevada precisão sobre o movimento. Eles são amplamente usados em aplicações onde precisão e controle de posição são essenciais, como impressoras 3D, scanners, máquinas CNC, e robótica.

Dependendo do tipo de motor de passo, o número de passos por rotação pode variar, se tivermos um motor com 200 passos por rotação, por exemplo, significa que o motor gira 1,8 graus por passo. Além do passo completo (full step), podemos ter divisões menores como o meio passo (half step), movendo o eixo em metade do ângulo do passo, e o micropasso (microstep), que pode mover em frações ainda menores como 1/16 ou 1/32 de um passo, oferecendo ainda mais precisão e suavidade.

Por fim, os motores de passo além da elevada precisão apresentam um excelente torque em baixas velocidades. No entanto, possuem como desvantagem a perda de torque em altas velocidades, além do consumo de energia contínuo mesmo parado, como em aplicações onde é necessário mantê-lo energizado para não se mover.

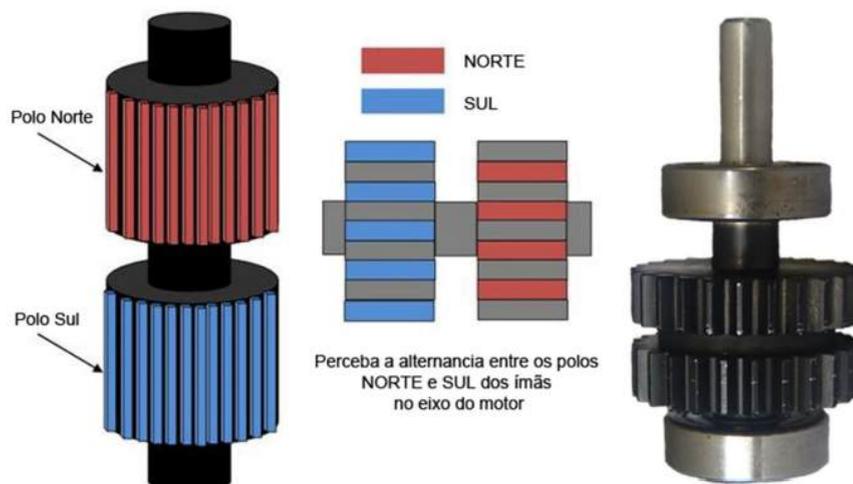
Figura 8 - Motor de passo



Fonte: Internet<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://curtocircuito.com.br/blog/motor-de-passo/introducao-ao-motor-de-passo>> Acesso: 02 set. 2024.

Figura 9 - Rotor do motor de passo



Fonte: Internet<sup>6</sup>

## 2.5.2 Drivers

Um driver é um tipo de circuito ou dispositivo eletrônico que controla e fornece a energia necessária para operar outro dispositivo, como motores, LEDs, ou transistores. Ele atua como um intermediário entre o controlador e o dispositivo final, garantindo que o sinal do controlador seja convertido e amplificado de forma apropriada para acionar o dispositivo. Além disso, possuem função de meia corrente, proteção para motores desconectados, e proteção contra sobre corrente e sobre tensão.

Nesse contexto, os drivers de motor de passo (stepper driver) são projetados exclusivamente para o acionamento de motores de passo, podendo variar a sequência de pulsos enviados ao motor para controlar o sentido de rotação, sua velocidade, e posição com elevada precisão. Alguns modelos de drivers de motor de passo também suportam micropasso (microstepping), permitindo que o motor se mova em frações de um passo completo, proporcionando um movimento mais suave e de maior precisão.

Os drivers apresentam entradas digitais que recebem os sinais do controlador com os comandos que devem executar. Essas entradas são divididas em pares com terminais positivo e negativo, elas são PUL, DIR e ENA. A entrada PUL é

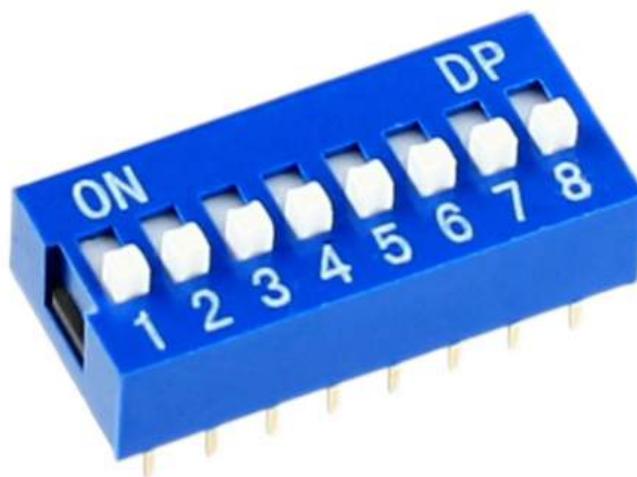
<sup>6</sup> Disponível em: <<https://curtocircuito.com.br/blog/motor-de-passo/introducao-ao-motor-de-passo>> Acesso: 02 set. 2024.

responsável por controlar o movimento do motor enviando pulsos que equivalem a um passo do motor cada, e a frequência desses pulsos determina a velocidade do motor. A entrada DIR faz o motor girar em uma direção, quando esta recebe sinal em nível lógico alto o motor gira em um sentido, quando recebe em nível lógico baixo, o motor gira no sentido oposto. A entrada ENA determina se o driver está ativo ou inativo, ou seja, quando em nível lógico alto o driver é habilitado e o motor pode operar, já com nível lógico baixo, o motor é desabilitado.

Além disso, é possível ajustar manualmente no driver a corrente do motor que está sendo utilizado, além do ajuste de micropasso (medido em pulse/rev - pulsos por revolução) a depender da aplicação. Isso é possível por meio do acionamento de um Dip Switch (figura 10), que é basicamente um conjunto de chaves de duas posições, numeradas de SW1 a SW8. Alterando suas posições entre ligado e desligado, obedecendo a tabela presente no próprio driver ou ficha técnica, é possível ajustá-lo para a corrente e o micropasso desejados na aplicação.

Dessa maneira, os drivers recebem sinais de passos e direção do controlador e, em resposta, fornecem a corrente necessária aos motores de passo para que eles girem de forma precisa.

Figura 10 - Dip Switch



Fonte: Internet<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/dip-switch/dip-switch-chave-dip-8-vias-3066.html>>  
Acesso: 05 set. 2024.

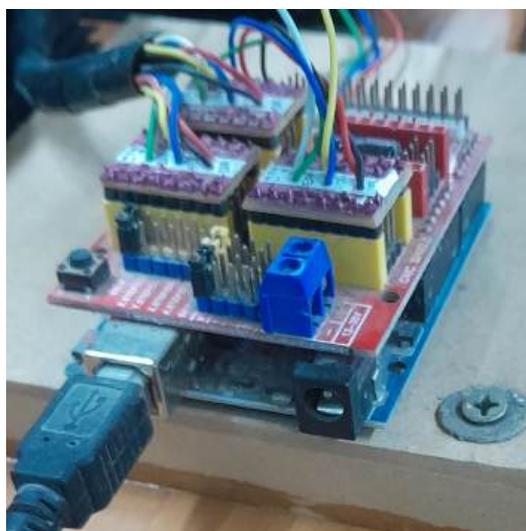
### 2.5.3 Controladores

Um controlador é um dispositivo que gerencia, comanda, direciona ou regula o comportamento de outros dispositivos ou sistemas, como os drivers de motores de passo em uma impressora 3D. É ele quem comanda um sistema automatizado, processando entradas (como dados de sensores) e emitindo saídas (como sinais de controle) para garantir que o sistema funcione conforme esperado. O controlador é essencial para manter a operação dentro dos parâmetros desejados, corrigindo desvios, respondendo a mudanças e adaptando-se a diferentes condições.

Ele interpreta os comandos de impressão que especificam as coordenadas e movimentos necessários para criar uma peça que foram definidos no programa ou arquivo de modelagem tridimensional. Dessa forma, o controlador gera sinais elétricos que são enviados para cada driver de motor de passo que comanda seu respectivo eixo independente, além de comandar a extrusão do material de impressão, nesse caso o concreto.

Dentre os vários tipos de controladores que podem ser utilizados estão os microcontroladores, como a plataforma de prototipagem programável Arduino que, a depender do modelo, terá um tipo diferente de chip e, conseqüentemente, capacidade de processamento (figura 11). Esse tipo de controlador traz a vantagem de ter baixo custo e alta flexibilidade. No entanto, possui um poder de processamento limitado, além de não ter a robustez exigida em aplicações industriais.

Figura 11 - Arduino Uno com Shield CNC



Fonte: Próprio Autor

Já os controladores dedicados (standalone boards) são placas projetadas especificamente para a aplicação em impressoras 3D (figura 12), oferecendo mais recursos como suporte para várias interfaces (USB, Wi-Fi, Ethernet), facilidade de configuração e ajustes, e maior poder de processamento. Em contrapartida temos um custo mais elevado, e dificuldade de encontrar documentação para problemas específicos.

Figura 12 - Controladora CNC 5 eixos Mach3



Fonte: Próprio Autor

Por fim, temos os controladores integrados (All-in-One) este consiste em uma placa de controle com todos os componentes necessários, incluindo drivers de motor, controle de sensores. É um sistema mais compacto e fácil de instalar, menor complexidade na montagem e com configurações otimizadas de fábrica. Suas principais desvantagens são a menor flexibilidade para upgrades, o que é um fator limitante para impressoras 3D de concreto devido ao seu tamanho e porte. Além de possuir um custo mais elevado, se algum componente apresentar defeito pode ser necessário substituir toda a placa.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto de uma impressora 3D de concreto, tomando como exemplo um caso real. Diante disso, o conteúdo aqui apresentado é fundamental para orientar as etapas de concepção, dimensionamento, montagem, e testes, garantindo que o projeto seja executado de forma eficiente e segura.

A priori, serão abordados alguns critérios utilizados para o dimensionamento e montagem da estrutura metálica da impressora, para então fazer a seleção e configuração dos motores, além da programação e calibração necessárias para o correto funcionamento do sistema. Em seguida, será discutida a elaboração do quadro geral de distribuição, que centraliza e protege os componentes eletrônicos do sistema.

Além disso, a segurança, que é um elemento essencial em qualquer instalação industrial, será explorada para incluir medidas de proteção para resguardar os operadores no ambiente de trabalho. A manutenção, tanto preventiva quanto corretiva, também será abordada, com o objetivo de prolongar a vida útil do equipamento e evitar paradas indesejadas.

Por fim, o orçamento do projeto será detalhado, considerando os custos envolvidos e a alocação de recursos para garantir a viabilidade econômica do projeto. A metodologia apresentada neste capítulo fornece uma base sólida para a execução prática do projeto, combinando rigor técnico com práticas de segurança e eficiência financeira.

#### 3.1 DIMENSIONAMENTO E MONTAGEM

Nesta seção, serão abordados os principais aspectos relacionados ao dimensionamento e montagem da impressora de construção 3D. Os elementos fundamentais como a estrutura metálica, motores, drivers e controladores, serão discutidos detalhadamente.

### 3.1.1 Estrutura metálica

A estrutura metálica da impressora de construção 3D deve ser robusta o suficiente para suportar os esforços mecânicos durante o processo de impressão. Essa estrutura é geralmente feita de aço galvanizado na forma de tubos quadrados e retangulares, ou em arranjos de treliças. Além disso, a sua montagem e fixação requer precisão para garantir a estabilidade e o alinhamento correto dos eixos. Podendo ser necessário utilizar reforços adicionais para evitar torções e garantir a rigidez da estrutura.

Como primeiro passo do projeto, é necessário determinar as dimensões da estrutura, estando diretamente ligada ao tamanho máximo do objeto que se deseja imprimir. A estrutura tem uma parte fixa responsável pela sua sustentação e se assemelha a uma caixa metálica. E outra parte móvel, envolta pela parte fixa, descreve seus movimentos com o auxílio de guias de eixo linear.

Tomemos como exemplo, um caso real de uma impressora com capacidade de imprimir em um volume de um metro cúbico (figura 13), ou seja, ela tem liberdade para se movimentar em até um metro em cada coordenada tridimensional (X, Y e Z).

Figura 13 - Impressora de construção 3D



Fonte: Empresa 3D Eco House

Dessa forma, o tamanho da estrutura metálica será maior que o espaço de impressão, sem prejudicar a movimentação dos eixos da mesma. Devido ao seu tamanho reduzido, ela pode ser construída utilizando tubos quadrados de 30x30mm

por exemplo, sendo soldados ou parafusados, de acordo com a necessidade do projeto. Não entrarei em detalhes de cálculo estrutural, já que este não é o foco deste trabalho.

### 3.1.2 Motores utilizados

Os motores desempenham um papel crucial na movimentação dos eixos da impressora e no controle preciso do processo de impressão. Como vimos no capítulo anterior, os motores de passo são os mais indicados para serem utilizados em aplicações de elevada precisão, como é o caso das impressoras 3D.

Existe uma grande variedade de modelos de motores de passo que podem ser utilizados. Ao adquirir um motor de passo é imprescindível avaliar informações técnicas como torque, resolução e corrente nominal. A instalação dos motores deve ser feita em suportes robustos, alinhados corretamente com os eixos da impressora, visto que, qualquer folga pode gerar vibrações e comprometer a integridade da estrutura.

Continuando com o nosso exemplo de impressora 3D que vimos na subseção anterior, podemos estimar o modelo dos motores de passo que utilizaremos. Diante disso, vamos considerar um motor por eixo da impressora, sendo os eixos do plano de trabalho (X e Y) de mesmo modelo, e o do eixo vertical (Z) mais potente devido ao esforço necessário para erguer, não apenas o peso da estrutura móvel, mas também o sistema de extrusão junto do material de impressão, que é o concreto.

Para os eixos do plano X e Y serão necessários dois motores Nema 23 com torque de 25 kgf.cm, e para o eixo vertical Z será utilizado um motor Nema 34 com torque de 85 kgf.cm. É preciso especificar o valor do torque já que a numeração dos motores Nema diz respeito à dimensão da sua seção, ou seja, podemos ter mais de um modelo diferente de motor Nema 23, por exemplo.

Para estes motores serão necessárias engrenagens na ponta de seus eixos, responsáveis por transmitir o seu torque por meio das correias dentadas, fazendo a estrutura se movimentar. Pode ser necessário utilizar roldanas dentadas e lisas, fixas na estrutura metálica, para tensionar as correias dentadas. É necessário ressaltar que as engrenagens e as correias devem ser compatíveis, tendo o mesmo passo, ou seja, encaixem perfeitamente uma na outra.

Além disso, será necessário um outro motor, este do tipo de indução trifásico, 4 polos, com potência nominal de 0,75 CV, acoplado a uma redução mecânica de 1:10 que desloca o eixo de forma perpendicular. Em outras palavras, esse motor funcionará na horizontal, energizado por um inversor de frequência e, com o auxílio da redução, terá mais torque com menor velocidade para girar o eixo da extrusora, forçando o material de impressão, o concreto, a passar pelo bico de impressão.

Figura 14 - Motor Nema 23



Fonte: Policomp

Figura 15 - Motor Nema 34



Fonte: Policomp

Figura 16 - Motoredutor



Fonte: Motoredutor Club<sup>8</sup>

### 3.1.3 Controladores e Drivers

A programação dos controladores envolve a utilização de softwares específicos para configurar cada um deles. Os controladores integrados requerem pouca ou quase nenhuma configuração, mas podem ser limitados se empregados em uma impressora de grande porte. As placas dedicadas e microcontroladores são ideias para uma impressora de construção 3D, já que podem comandar os drivers, responsáveis por energizar os motores de passo de acordo com as instruções do programa.

No nosso exemplo vamos utilizar o Arduino, vale ressaltar que este não deve ser utilizado em ambientes industriais, sua escolha é meramente pelo seu baixo custo para prototipagem deste tipo projeto. Para utilizá-lo será necessário acoplar um módulo conhecido como Shield (modelo CNC Shield V3 3D RepRap), além de utilizar um adaptador para conectar cada saída ao seu respectivo driver.

Os drivers foram escolhidos de acordo com a recomendação do fabricante dos motores de passo. Para os motores Nema 23 serão utilizados drivers do modelo DM542, e para o motor Nema 34, será necessário um driver do modelo DM860A. Os drivers não tem necessidade de serem programados como os controladores, a sua

---

<sup>8</sup> Disponível em:

<[https://www.motoredutor.club/MLB-2648522512-motoredutor-110-eixo-macico-motor-075cv-4p-tri-22-0380v-\\_JM#position%3D1%26search\\_layout%3Dgrid%26type%3Ditem%26tracking\\_id%3D0932bdbf-691d-4ca3-aa2c-dc1cdea27ee5](https://www.motoredutor.club/MLB-2648522512-motoredutor-110-eixo-macico-motor-075cv-4p-tri-22-0380v-_JM#position%3D1%26search_layout%3Dgrid%26type%3Ditem%26tracking_id%3D0932bdbf-691d-4ca3-aa2c-dc1cdea27ee5)> Acesso: 05 set. 2024.

instalação e conexão com os seus respectivos motores de passo deve seguir as recomendações do fabricante, sendo necessário apenas ajustar o valor da corrente nominal do motor no drive, alterando nas suas chaves seletoras.

Figura 17 - Driver DM542



Fonte: Policom

Figura 18 - Driver DM860A



Fonte: Policom

### 3.1.4 Programação e Calibração

Se tratando de um sistema de malha aberta, a programação e calibração são essenciais para garantir uma boa precisão e qualidade das impressões. Visto isso, dependendo do tipo de controlador que será adotado em um projeto, teremos uma forma específica de instalá-lo, com seu respectivo esquema de ligação e linguagem de programação.

Além disso, para imprimir algo é necessário a criação de um código de controle (G-code) que guia os movimentos da impressora. Existem softwares específicos para a geração de um G-code a partir de modelos 3D que são utilizados, e devem ser configurados de acordo com as especificações da impressora.

O G-code é uma linguagem de programação usada para controlar máquinas automatizadas, como impressoras 3D, fresadoras CNC (Controle Numérico Computadorizado), e outros equipamentos de fabricação. Vale ressaltar que não é qualquer objeto que uma impressora de construção 3D conseguirá imprimir, devido às suas limitações que foram apresentadas no capítulo anterior.

Seguindo o exemplo que foi proposto com o Arduino, este possui uma programação simples utilizando a linguagem C++ e podendo ser feita pela própria IDE do Arduino, além de possuir bibliotecas Open Source (código aberto) que são disponibilizadas de forma gratuita. Após a etapa de programação, testes iniciais devem ser realizados para garantir que todos os sistemas estão funcionando corretamente antes da produção utilizando a matéria prima.

Diante disso, a calibração dos eixos de uma impressora 3D é feita movendo a parte móvel da estrutura para um dos cantos, para assim definir de forma digital no programa o ponto zero dos eixos. Isso é necessário pois, se tratando de um sistema de malha aberta sem sensores do espaço físico por onde a cabeça da impressora irá percorrer, é preciso orientar ao programa em qual percurso do espaço de impressão a parte móvel se encontra.

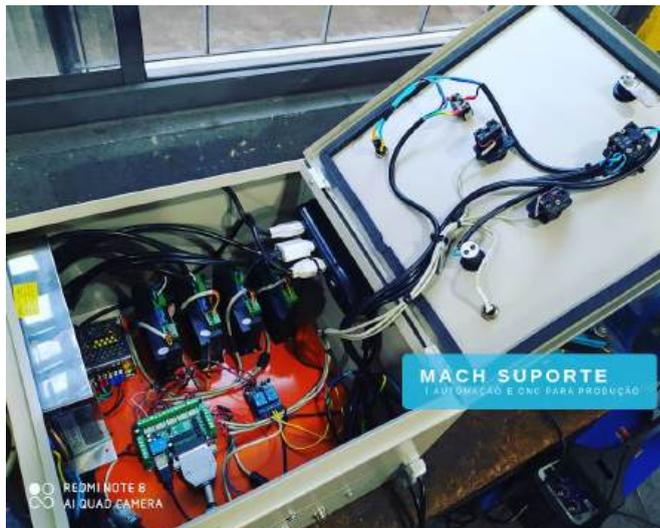
Dessa maneira, poderão ser realizados os testes para observar se a impressora consegue se mover de forma adequada pelo espaço, fazendo ajustes no programa para delimitar até onde ela pode se mover, e em qual velocidade para garantir uma boa consistência na extrusão do material.

### 3.2 PREVISÃO DE CARGA

Nesta seção teremos a apresentação de componentes essenciais para um projeto de instalação de um equipamento como a impressora de construção 3D, além do cálculo da previsão de carga de do sistema incluindo o computador, o controlador, os drivers, e o inversor de frequência do sistema de extrusão do concreto.

Diante disso, o dispositivo responsável por fornecer energia e proteger os componentes eletrônicos do nosso sistema é o quadro de comando. Ele recebe a tensão da rede (127V ou 220V) e energiza os equipamentos abrigados por esta, tais como as fontes de tensão chaveada, o controlador, e os drivers. Do quadro de comando saem os cabos de alimentação dos motores de passo, além do cabo de comunicação entre o controlador e o computador.

Figura 16 - Exemplo quadro de comando CNC



Fonte: Internet<sup>9</sup>

O quadro deve ter proteção IP40, para evitar o acúmulo de poeira nos equipamentos internos do quadro, e ainda manter o resfriamento dos mesmos. É preciso pontuar que, se o ambiente em que ele estiver instalado estiver sujeito a condições mais hostis como grande quantidade de poeira e possíveis jatos d'água, o que é plausível em um ambiente de construção civil, será necessário utilizar um quadro com grau de proteção mais elevado como IP65.

Além dos componentes que já foram citados, este quadro também deve possuir dispositivos de proteção como disjuntor geral e equipamentos de comandos elétricos, como chave de acionamento, sinalizadores luminosos, botoeiras de liga e desliga, botoeira de emergência, e contator.

Seguindo o nosso exemplo de protótipo da impressora de construção 3D, teremos uma potência instalada pequena se comparada com uma máquina deste tipo sendo de grande porte. Para energizar os dois motores Nema 23 e o motor Nema 34 utilizaremos, respectivamente, dois drivers DM542 e um driver DM860A, todos eles alimentados por uma fonte de tensão chaveada 36VDC com potência de 600 W. Vale lembrar que, dependendo do modelo do driver escolhido, pode ser ligado diretamente à tensão da rede (127V ou 220V), sem a necessidade de utilizar a fonte chaveada.

---

<sup>9</sup> Disponível em:

<<https://m1automacao.com.br/produtos/painel-de-comando/painel-de-comando-cnc.jpg>>

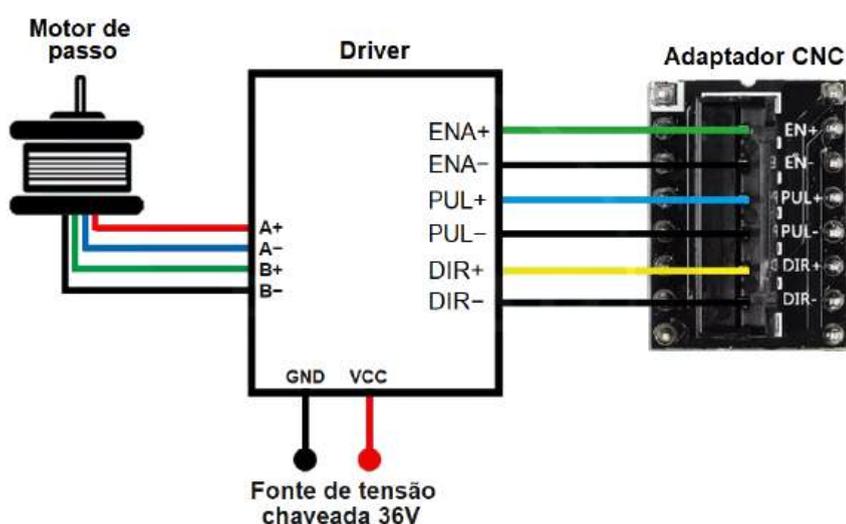
Acesso: 05 set. 2024.

Para alimentar o motoredutor trifásico do sistema de extrusão do concreto será necessário utilizar um inversor de frequência, que foi escolhido o modelo RunXLS2cv da marca Motoredutor Club pela sua facilidade de operação. Ele pode ser ligado na tensão de 220V monofásico e acionar motores de até 2 CV (1472 W), para sua ligação é necessário utilizar um disjuntor bipolar curva C de 15A na alimentação. Alternativamente pode ser utilizado o inversor de frequência CFW100 da WEG.

Dessa maneira, o sistema do nosso exemplo possui uma carga total instalada de aproximadamente 2672 W, considerando a potência do computador sendo 600 W e a potência máxima do inversor de frequência. Essa potência instalada em uma rede de 220 V monofásica nos dá uma corrente demandada de 12,14 A, que pode ser suportada por cabos de 2,5 mm<sup>2</sup>.

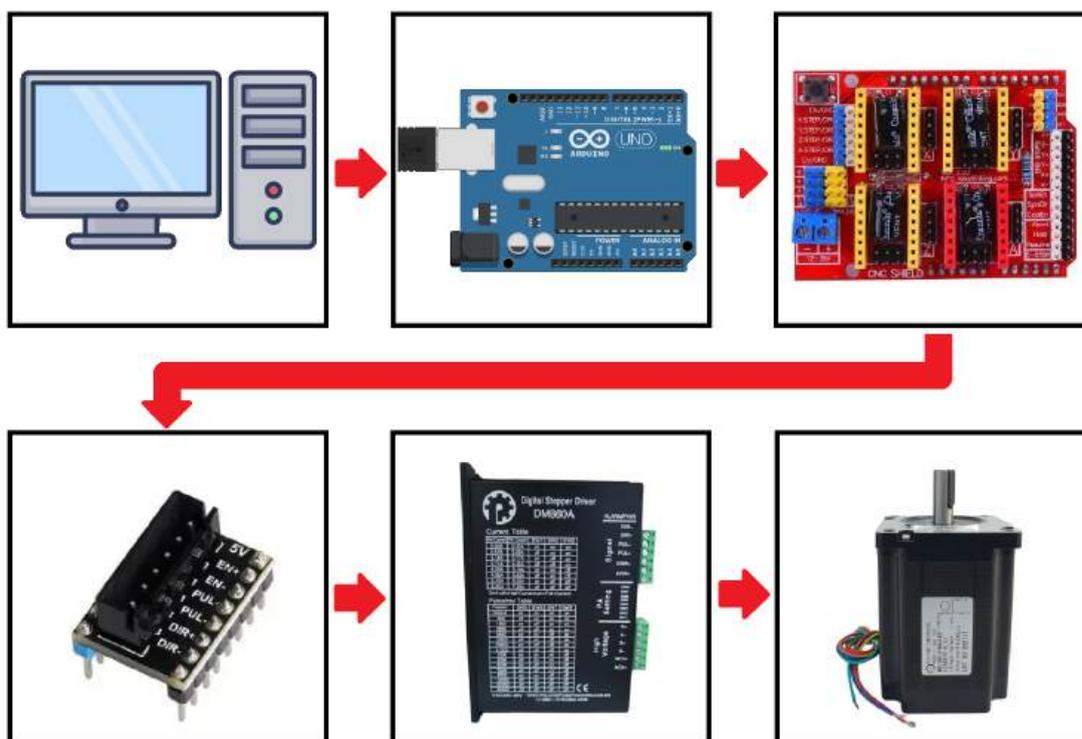
Dependendo da distância entre o local onde for instalado e o ponto de fornecimento de energia, pode ser necessário aumentar o diâmetro dos cabos devido ao critério de queda de tensão. Dessa forma, é preciso destacar a importância de um projeto elétrico específico para uma máquina de construção 3D, ainda mais se esta for de grande porte.

Figura 17 - Ligação do adaptador CNC



Fonte: Próprio autor

Figura 18 - Diagrama de conexão dos equipamentos



Fonte: Próprio autor

Como mostrado na figura 18, um diagrama simplificado da conexão dos componentes eletrônicos da impressora 3D de concreto. A primeira conexão é entre o Computador e o Arduino Uno, feita através de uma porta USB. Em seguida temos a junção do Arduino ao shield CNC encaixando um equipamento ao outro, seguindo o seu padrão de pinagem correto. O shield CNC irá receber os três módulos de adaptadores, em seus devidos locais, assim como pode ser encontrado no datasheet do fabricante. Por fim, temos a conexão deste com o driver e o motor de passo, como foi apresentado na figura 17 anteriormente.

### 3.3 SEGURANÇA

A segurança é um aspecto crítico e essencial em qualquer instalação industrial, especialmente em sistemas complexos como uma impressora de construção 3D. Algumas medidas de segurança são a utilização de dispositivos de segurança como botoeira de parada de emergência, sinalização luminosa e sonora, barreiras de segurança para proteger os operadores e evitar acidentes. O sistema

deve ter disjuntor geral, para impedir que possíveis curtos prejudiquem a instalação elétrica do local.

Pode ser necessário também a utilização de um aterramento exclusivo para a estrutura metálica da impressora que, devido ao atrito de suas partes durante o funcionamento, pode acumular eletricidade estática, ou até mesmo pela presença de correntes parasitas devido a utilização do inversor de frequência. Com a estrutura aterrada, temos uma camada de proteção adicional, impedindo que os operadores possam tomar choques indesejados ao encostarem em alguma parte metálica.

Diante disso, é de suma importância estudar a fundo as normas técnicas que regulamentam o funcionamento de máquinas em ambientes industriais, para garantir a conformidade do projeto com os padrões exigidos. Além disso, não se deve, em hipótese alguma, manipular ou realizar manutenções nas partes elétricas com o equipamento energizado, para assim garantir a segurança dos operadores.

### 3.4 MANUTENÇÃO

A manutenção é uma parte fundamental para garantir a longevidade e pleno desempenho de qualquer máquina, o que não é diferente para uma impressora de construção 3D. Dentre os vários tipos de manutenção que existem podemos destacar a manutenção preventiva e a manutenção corretiva.

A manutenção preventiva consiste na verificação regular de componentes com o objetivo de evitar falhas antes que elas ocorram. Nela é preciso observar o desgaste dos componentes (motores, guias lineares, correias, cabos elétricos, drivers, etc) com o tempo de uso, horas de operação, ou recomendações do fabricante. Algumas medidas de manutenção preventiva são a lubrificação das partes móveis para evitar desgastes desnecessários, a limpeza da poeira que pode impregnar os componentes eletrônicos, e lavagem do sistema de extrusão de concreto após finalizar o uso da impressora.

Já a manutenção corretiva, é realizada apenas após a ocorrência de uma falha ou defeito. Se comparada a manutenção preventiva, tem a vantagem de ter um custo reduzido devido a sua menor frequência. No entanto, nem sempre deve ser a única a ser utilizada, já que a queima de um componente eletrônico como driver ou controlador pode acarretar em um longo período de inatividade do processo, até que seja possível realizar a substituição do equipamento defeituoso. Algumas medidas

de manutenção corretiva são a substituição de engrenagens, rolamentos e correias que estão defeituosas, gerando vibrações e influenciando na precisão da impressão, ou até impossibilitando o seu pleno funcionamento.

### 3.5 ORÇAMENTO

O orçamento é um elemento crucial em qualquer projeto industrial, permitindo o planejamento financeiro e a viabilidade do projeto. Podendo incluir os custos como materiais de construção, componentes eletrônicos, mão de obra, e serviços de terceiros.

Um sistema de controle financeiro deve ser implementado seguindo um cronograma, para monitorar os gastos ao longo do projeto, garantindo que o orçamento seja respeitado. O orçamento deve incluir uma margem para imprevistos, que podem surgir durante a montagem, calibração, ou operação inicial da impressora.

No nosso exemplo teremos um orçamento simplificado, pois a criação de um protótipo pode ser algo bem mais complexo e ter imprevistos como mencionado anteriormente, podendo chegar a aproximadamente 15 mil reais. Não entraremos em detalhes sobre os custos com mão de obra, pesquisa, estrutura metálica, e demais partes mecânicas que a constituem.

Na tabela a seguir teremos a estimativa dos principais equipamentos que constituem o sistema da impressora de construção 3D. A estimativa dos preços é uma aproximação baseada na pesquisa orçamentária durante o mês de agosto de 2024.

Tabela - Orçamento dos Equipamentos

<b>Descrição do produto</b>	<b>Qnt.</b>	<b>Preço</b>
Arduino Uno	1	R\$ 66,00
CNC shield	1	R\$ 20,00
Adaptadores para CNC shield (kit com 3)	1	R\$ 46,00
Motor Nema 23 25 kgf.cm	2	R\$ 200,00
Motor Nema 34 85 kgf.cm	1	R\$ 376,00
Driver DM542	2	R\$ 150,00
Driver DM860A	1	R\$ 265,00
Motoredutor 1:10 0,75CV trifásico	1	R\$ 1705,00
Inversor de frequência RunXLS2cv	1	R\$ 1040,00
Fonte chaveada 36VDC 600W	1	R\$ 260,00
Painel elétrico 40x30x20cm IP-54	1	R\$ 170,00
Disjuntor bipolar curva C de 15A	1	R\$ 25,00
Disjuntor bipolar curva C de 20A	1	R\$ 35,00
Cabo flexível 2,5mm <sup>2</sup> isolamento PVC (70°C) (100m)	1	R\$ 215,00
Haste de aterramento de 1,5m e 1/2"	1	R\$ 35,00
Caixa de inspeção de aterramento	1	R\$ 10,00
Contator tripolar +NO 220V 25A	1	R\$ 46,00
Botoeira sem retenção (kit 2 liga/desliga)	1	R\$ 26,00
Sinaleira Led	1	R\$ 35,00
Botoeira de emergência cogumelo	1	R\$ 25,00
<b>TOTAL</b>	-	<b>R\$ 4750,00</b>

## 4 IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS

Como vimos no decorrer deste trabalho, as impressoras 3D de concreto são utilizadas para construir edificações e estruturas arquitetônicas complexas, apresentando vantagens como a redução de desperdícios e resíduos, além de menores gastos com mão de obra. Essas características geram impactos ambientais e sociais, como veremos neste capítulo.

### 4.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil e, tradicionalmente, sua produção é uma das maiores fontes de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no mundo. A sua fabricação consiste em uma mistura constituída principalmente pelo calcário, além de outros materiais como a argila, areia e aditivos. Esses materiais passam por um processo de moagem e aquecimento onde busca-se homogeneizar a mistura, necessitando de uma grande quantidade de energia e liberando CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Dito isso, é essencial um controle eficiente no gasto de materiais cimentícios em construções a fim de reduzir os impactos ambientais que são agravados pela liberação de gases do efeito estufa. Em construções tradicionais é comum que ocorra desperdício de materiais o que gera uma grande quantidade de resíduos que são descartados, o que não é tão evidente com a tecnologia de impressoras 3D de concreto onde há uma otimização no uso de materiais, visto que a tecnologia permite precisão na aplicação do concreto, reduzindo assim o desperdício.

Além disso, com o agravamento das mudanças climáticas e consequentes desastres naturais, está cada vez mais nítido a crescente preocupação da comunidade científica com a publicação de estudos voltados para o desenvolvimento de práticas sustentáveis.

Dessa forma, no contexto da construção civil, existem estudos voltados para a utilização de materiais alternativos como compostos de argila e fibras vegetais, além da redução da utilização do concreto e emprego de materiais reciclados na mistura. Todas essas alternativas são formas de promover mais sustentabilidade para os processos de construção, minimizando os impactos ambientais promovidas pela mesma.

## 4.2 RESÍDUOS NÃO BIODEGRADÁVEIS

Se tratando das impressoras 3D tradicionais, estas utilizam em sua maioria polímeros plásticos como matéria prima com características específicas para cada tipo de composto, que se diferem em temperatura de impressão para serem utilizadas, características físicas e aplicações. Além disso, se tratando de impactos ambientais também podemos citar o caráter não biodegradável presente na maioria delas, além de possível toxicidade para a saúde humana, como veremos a seguir.

**PLA (Ácido Polilático):** polímero derivado de fontes renováveis, como o milho ou cana-de-açúcar, sendo considerado biodegradável sob condições específicas. No entanto, sua decomposição não é rápida em ambientes naturais, necessitando de processos de compostagem industrial para se degradar adequadamente.

**ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno):** plástico derivado do petróleo e, portanto, não biodegradável. Seu processo de produção e descarte pode gerar poluentes, além de liberar compostos orgânicos voláteis (COVs) durante a impressão, o que pode representar riscos à saúde quando não há ventilação adequada.

**PETG (Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol):** termoplástico amplamente utilizado em impressoras 3D devido às suas propriedades vantajosas, mas não é biodegradável. Emite poucos compostos voláteis durante o processo, sendo uma opção segura para uso doméstico e industrial.

**Nylon (Poliamida):** polímero sintético amplamente utilizado na indústria, a impressão de nylon pode liberar vapores tóxicos, principalmente aminas voláteis, o que exige uma boa ventilação. Ele também não é biodegradável, como outros plásticos sintéticos, o nylon pode levar centenas de anos para se decompor.

**TPU (Poliuretano Termoplástico):** elastômero termoplástico que pode ser esticado, mas retorna à sua forma original. É relativamente seguro para uso, com baixa emissão de vapores, mas ainda assim é recomendado usar ventilação adequada. Não é biodegradável e pode levar séculos para se decompor.

**Resinas Fotossensíveis:** são polímeros líquidos que se solidificam quando expostos a luz ultravioleta (UV). A resina líquida é tóxica ao toque e seus vapores são prejudiciais. É fundamental o uso de luvas e uma boa ventilação ao trabalhar com resinas. Após a cura (endurecimento), o material é seguro, mas a resina

residual ainda deve ser descartada corretamente. Não são biodegradáveis e são consideradas resíduos perigosos se não forem tratadas adequadamente. As resinas curadas podem levar centenas de anos para se decompor.

### 4.3 AUTOMAÇÃO E DESEMPREGO

Em todas as revoluções industriais que ocorreram ao longo da história houveram impactos diretos na forma como organizamos o mercado de trabalho, o que gerou novas oportunidades de trabalho para alguns e desemprego para muitos, como ocorreu com o processo de automação industrial. Isso ocorreu devido a substituição do trabalho da mão de obra humana menos qualificada por máquinas automatizadas, que realizavam determinado processo em menos tempo e a um baixo custo.

Processos que antes dependiam de mão de obra humana, especialmente em tarefas repetitivas e operacionais, estão sendo substituídos por máquinas e sistemas automatizados. Como resultado, trabalhadores menos qualificados, que ocupavam posições em fábricas, setores de logística e serviços básicos, têm sido os mais afetados, já que suas funções são mais facilmente automatizáveis.

Diante disso, podemos traçar um paralelo entre as tecnologias promovidas pela revolução da indústria 4.0 com as possibilidades de aplicação da impressão 3D em concreto na construção civil. Como já foi apresentado ao longo deste trabalho, a tecnologia de manufatura aditiva pode muito bem ser aplicada para a construção de edificações promovendo inúmeros benefícios. Nesse contexto, também ocorreria a substituição da mão de obra menos qualificada, como é o caso de funções realizadas pelo pedreiro, servente, pintor, entre outras.

Devido a essa transição tecnológica, cria-se uma demanda crescente por profissionais qualificados em áreas como programação, manutenção de sistemas robóticos e análise de dados, enquanto aqueles que não possuem habilidades técnicas específicas encontram mais dificuldades para se reinserir no mercado, gerando desemprego em certos segmentos da população. A formação de mão de obra qualificada para operar e manter esses equipamentos é essencial, o que gera a necessidade de cursos técnicos e graduações voltadas à automação e áreas da engenharia.

Tanto as impressoras 3D tanto de filamento quanto de concreto representam uma revolução nas formas de produção, trazendo benefícios como a redução de resíduos e a otimização de processos. No entanto, suas consequências ambientais e sociais precisam ser cuidadosamente consideradas.

No âmbito ambiental, o uso de polímeros plásticos e o concreto tradicional apresentam desafios que devem ser mitigados por meio de inovações em materiais e na eficiência energética dos processos.

Do ponto de vista social, a automação das impressoras 3D pode gerar tanto a criação de novas oportunidades de trabalho quanto o desemprego para setores mais tradicionais. A chave para minimizar os impactos negativos está na requalificação da mão de obra para a operação deste tipo de maquinário, além de políticas que incentivem o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis nas cadeias de produção.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho apresentou, ainda que de forma breve, acerca do tema das impressoras de construção 3D. Buscando explicar desde a sua origem com as primeiras impressoras, até suas principais aplicações na atualidade, ressaltando a sua importância na indústria atual. Dessa forma, foi possível alcançar o objetivo principal deste trabalho de apresentar os conceitos por trás de uma impressora de construção 3D.

Nesse contexto, a análise de sistemas de controle em malha aberta proporcionou uma compreensão sobre as vantagens e limitações desse tipo de sistema no contexto da aplicação em construção 3D. Com a escolha correta de componentes e a implementação adequada das tecnologias, mostrou-se viável a utilização de motores de passo, drivers e controladores. A integração desses componentes demonstrou ser crucial para o funcionamento harmonioso do sistema, permitindo ajustes precisos e garantindo que a impressora opere dentro dos parâmetros desejados.

Diante disso, um bom planejamento de projeto é essencial para criação de uma impressora de construção 3D, desde o seu dimensionamento que segue de acordo com a aplicação, até aspectos de segurança e manutenção, que garantiram o pleno funcionamento com segurança para os seus operadores. Dessa forma, a continuidade deste estudo poderá explorar a otimização de algoritmos de controle e a adaptação a diferentes tipos de materiais de construção, ampliando ainda mais as possibilidades e aplicações desta tecnologia inovadora. Lembrando que, este trabalho isoladamente não é suficiente para falar sobre todos os detalhes técnicos acerca deste assunto.

Por fim, concluiu-se por meio deste trabalho que o conteúdo aqui apresentado é de grande importância para aqueles que desejam compreender um pouco sobre as impressoras de construção 3D. Os conceitos que foram abordados ajudaram a guiar os leitores no processo de criação de um projeto de automação de uma máquina deste tipo em qualquer ambiente industrial, visando garantir a confiabilidade do processo com elevada precisão dos produtos que são fabricados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIRA, Valdemir Martins. **Processos de Fabricação por Impressão 3D**: Tecnologia, equipamentos, estudo de caso e projeto de impressora 3D. 1ª ed. Brasil: Editora Edgard Blucher Ltda., 2021.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva**: tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1ª ed. Brasil: Editora Blucher, 2021.

**3D Printing for Construction with Alternative Materials**. 1ª ed. Alemanha: Springer International Publishing, 2023.

DISTEFANO III, Joseph J., STUBBERUD, Allen R., WILLIAMS, Ivan J.. **Sistemas de controle**. 1ª ed. Brasil: Bookman Editora, 2014.

AHMED, Ghafur H., ASKANDAR, Nasih H., JUMAA, Ghazi B.. **A review of largescale 3DCP**: Material characteristics, mix design, printing process, and reinforcement strategies, Structures, V. 43, 2022.

PARMIGIANI, Silvia., FALLIANO, Devid., MORO, Sandro., et al. **3D-printed multi-functional foamed concrete building components**: material properties, component design, and 3D printing application, Developments in the Built Environment, 2024.

ZAID, Osama., OUNI, Mohamed H.. **Advancements in 3D printing of cementitious materials**: A review of mineral additives, properties, and systematic developments, Construction and Building Materials, V. 427, 2024.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Trabalho de Conclusão de Curso

<b>Assunto:</b>	Trabalho de Conclusão de Curso
<b>Assinado por:</b>	Guilherme Costa
<b>Tipo do Documento:</b>	Anexo
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Guilherme Costa de Araujo, ALUNO (20191610011) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 17/10/2024 11:53:14.

Este documento foi armazenado no SUAP em 17/10/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1281663

Código de Autenticação: 6dedb12205

