

# INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

DIRETORIA DE PESQUISA

PROJETOS DE PESQUISA/INOVAÇÃO

Chamada 01/2022 - Interconecta - Coordenador de Projeto

## 1 - UNIDADE PROPONENTE

|                             |
|-----------------------------|
| Campus:<br><b>CAMPUS-JP</b> |
|-----------------------------|

## 2 - IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

|                                                                                                                                                                      |                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Título do projeto:<br><b>Influência do volume de pasta/volume de agregado nos parâmetros reológicos de misturas cimentícias para impressão 3D em concreto (3DCP)</b> |                                                  |
| Grande área de conhecimento:<br><b>ENGENHARIAS</b>                                                                                                                   | Área de conhecimento:<br><b>ENGENHARIA CIVIL</b> |
| Área temática:<br><b>Construção civil</b>                                                                                                                            | Tema:<br><b>None</b>                             |
| Período de execução:<br><b>Início: 01/04/2022   Término: 31/12/2022</b>                                                                                              |                                                  |

## 3 - CARACTERIZAÇÃO DOS BENEFICIÁRIOS

| Público alvo | Quantidade |
|--------------|------------|
|--------------|------------|

## 4 - EQUIPE PARTICIPANTE

| PROFESSORES E/OU TÉCNICOS ADMINISTRATIVOS DO IFPB                                  |                                                                                                           |            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| Membro                                                                             | Contatos                                                                                                  | Vínculo    | Titulação |
| Nome:<br><b>Marcos Alyssandro Soares dos Anjos</b><br>Matrícula:<br><b>1372249</b> | Tel.:<br><b>/ (83) 3612-1300 (ramal: 1300)</b><br>E-mail:<br><b>marcos.anjos@ifpb.edu.br</b>              | Bolsista   | DOUTORADO |
| Nome:<br><b>Ulisses Targino Bezerra</b><br>Matrícula:<br><b>274025</b>             | Tel.:<br><b>(83) 3226-7373 / (83) 3612-1300 (ramal: 1300)</b><br>E-mail:<br><b>dartarios@yahoo.com.br</b> | Voluntário | DOUTORADO |

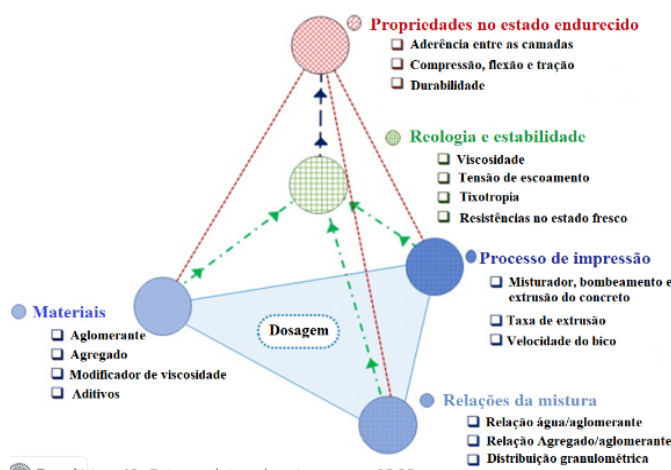
## 5 - DISCRIMINAÇÃO DO PROJETO

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Resumo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Introdução</b><br>A manufatura aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D, vem ganhando espaço e se tornando uma ferramenta intensificadora nos avanços da automação da indústria da construção civil. Essa tecnologia está baseada na junção de materiais para o desenvolvimento de uma estrutura tridimensional a partir de um modelo digital projetado. Especialmente na construção civil, existem diversas vantagens que favorecem a aplicação da impressão 3D com concreto (3DCP) tais como: o aumento da complexidade |

arquitetônica que o sistema proporciona, redução de custos, entre eles os relacionados ao uso de fôrmas e do tempo de produção; condições ligadas à segurança dos trabalhadores; além de fatores de sustentabilidade como a diminuição de desperdícios (DE SCHUTTER et al., 2018; HE et al., 2020). Estima-se que esta tecnologia possa ser capaz reduzir de 30% a 60% dos resíduos de construção, 50% a 80% dos custos de mão de obra e 50% a 70% do tempo de produção (ABOU YASSIN; HAMZEH; AL SAKKA, 2020; ZHANG et al., 2019).

Apesar de promissora a tecnologia de impressão 3D de misturas cimentícias para a construção ainda apresenta muitos desafios no nível técnico e de processamento (DE SCHUTTER et al., 2018; SALET et al., 2018), pois ainda não estão disponíveis normas ou procedimentos para testar misturas e novos materiais, ou para analisar as propriedades estruturais do material cimentício utilizado para a impressão 3D (KAZEMIAN et al., 2017; SALET et al., 2018), nem métodos de dosagem, o que há são diversas pesquisas recentes que tratam desde do estudo de construção de impressora, desenvolvimento de compósitos até análises numéricas para prever o comportamento do material. Sabe-se que diversos fatores afetam a impressão 3DCP como mostra a Figura 1.

Figura 1. Fatores intervenientes na construção 3DCP



Fonte: SALET et al., 2018

O presente projeto trata de uma pesquisa experimental que visa submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas, para observar os resultados que a variável produz no objeto. Neste sentido, visa avaliar quais são os parâmetros reológicos adequadas para impressão 3DCP utilizando materiais regionais e a impressora projetada e montada pelo grupo de pesquisa em materiais e construções sustentáveis.

#### Justificativa

Os principais parâmetros que definem a capacidade de misturas cimentícias de serem impressas são os relacionados com sua reologia, no entanto muitos são os fatores que podem interferir na reologia de misturas 3DCP, desde características internas ao sistema de impressão como mostrado anteriormente na Figura 1. Alguns trabalhos analisaram as propriedades no estado fresco do material para impressão 3DCP através de ensaios de abatimento, mini-slump espalhamento na mesa de consistência e squeeze flow (SHAKOR; NEJADI; PAUL, 2019; TAY; QIAN; TAN, 2019), outros associaram as medidas de tensão de escoamento, viscosidade e tixotropia (ZHANG et al., 2019). No entanto, não há consenso sobre os valores ideais dessas propriedades, pois elas estão relacionadas com o sistema de impressão, bombeamento, capacidade de extrusão, e até temperatura e umidade relativa do ar durante o processo de impressão.

A impressão 3D de concreto tem recebido atenção significativa da indústria da construção e de pesquisadores em todo o mundo e se mostra como uma alternativa promissora e de impacto sobre as

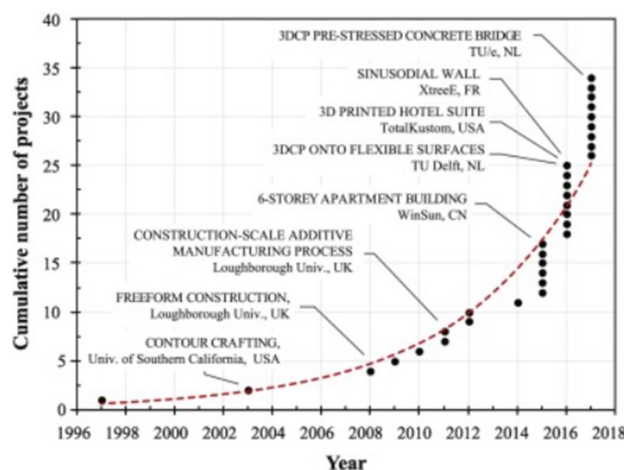
demandas do setor. Vários estudos sobre a temática que abordam as principais tecnologias empregadas na impressão 3D, os aspectos de desenvolvimento das misturas e as propriedades efetivas do material impresso vêm sendo publicadas e reforçam o potencial de aplicação que essa metodologia pode empregar na indústria da construção civil.

Neste sentido, o presente projeto visa contribuir no entendimento da reologia necessária do material cimentício utilizado para a aplicação em construção 3DCP, uma vez que este tipo de método construtivo é totalmente disruptivo, em relação aos atualmente aplicados na construção civil, pois a manufatura aditiva consiste na deposição de camada a camada de material para produzir um objeto tridimensional, no caso paredes, de forma totalmente automatizada e controlada por microcomputador. Esta construção não utiliza fôrmas e, portanto, o material cimentício necessita de um material com viscosidade que apresente fluidez durante o bombeamento e capacidade de manutenção de forma e resistência à deformação após a deposição para construção das paredes.

### Fundamentação teórica

A impressão 3DCP teve seu início no final da década de 90, onde a primeira mistura rudimentar foi impressa empregada, porém vários anos foram preciso para que a ideia inicial conseguisse ser implementada com a real automação e qualidade de impressão. Então, a partir do ano de 2016 com o crescimento do interesse do setor da construção civil na área, muitos grupos de pesquisas e startups se envolveram no desenvolvimento da impressão 3D em concreto, como mostra a Figura 2.

Figura 2. Aumento do número de projetos em manufatura aditiva para aplicações em construção civil desde o início do conceito em 1997.



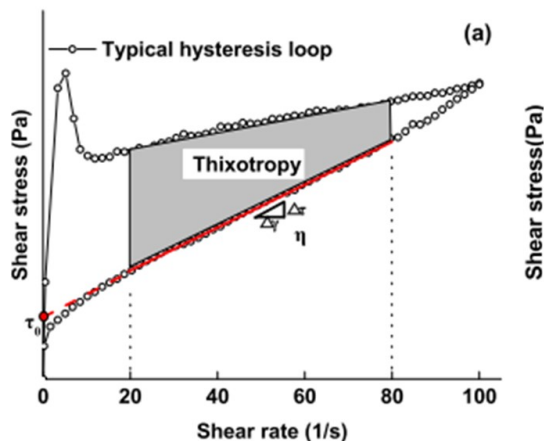
Entre os parâmetros apresentados e levantados na literatura, as atribuições mais representativa são apresentados nos estudos, estão os vinculados: a extrudabilidade, que está ligada a propriedade da mistura ser bombeada e transportada pelos dispositivos associados ao equipamento de impressão até o início da deposição das camadas; a capacidade de construção, relacionada as deformações dos filamentos impressos, mais especificamente a de manter sua forma com a sobreposição das camadas e do seu próprio peso; e o desempenho mecânico, incluindo a adesão entre as faces dos extrudados e resistência a compressão e flexão (PANDA et al., 2019; SOLTAN; LI, 2018). A extrudabilidade e a capacidade de construção estão diretamente ligadas a reologia do material, e que por sua vez depende de propriedades intrínsecas das misturas cimentícias como:

quantidade, tipo, área superficial e composição química do aglomerante e das adições minerais utilizadas;  
 granulometria, densidade, porosidade, composição química e mineralógica dos agregados;  
 tipo, concentração, massa molar e composição química dos aditivos;

proporção (traço) empregado.

As misturas cimentícias utilizadas para impressão 3DCP têm comportamento de um fluido não Newtoniano dependente do tempo, estando na classe de fluido pseudoplástico trixotrópico, com um comportamento que pode ser representado pela Figura 3. No entanto, a capacidade de construção através do método de impressão 3DCP, dependem de características intrínsecas do material cimentício para impressão 3D, de forma a promover a viscosidade e a tixotropia necessárias e depende também do sistema de impressão, o que torna o estudo ainda mais complexo e desafiador para os pesquisadores da área. Neste sentido, diversas pesquisas têm se debruçado sobre o tema de reologia do material cimentício para 3DCP.

Figura 3. Resultado típico do teste de tixotropia



Fonte: ZHANG et al., 2019.

#### Objetivo geral

O presente projeto consiste em um método de pesquisa experimental que visa estudar a influência de diferentes concentrações de cimento na reologia e capacidade de construção de compósitos cimentícios para impressão 3DCP.

#### Objetivos específicos:

- Caracterizar os materiais precursores dos compósitos;
- Realizar a dosagem dos compósitos;
- Determinar e analisar o comportamento reológico dos compósitos;
- Determinar e analisar as propriedades físicas dos compósitos;
- Avaliar a construtibilidade dos compósitos.

#### Metas

- 1 - Caracterizar os materiais precursores dos compósitos
- 2 - Realizar a dosagem dos compósitos;
- 3 - Determinar e analisar o comportamento reológico e as propriedades físicas dos compósitos
- 4 - Determinação da capacidade de construção
- 5 - Relatórios

#### Metodologia da execução do projeto

Para execução do projeto são necessários analisar a viabilidade de uso de diversos materiais, a princípio os materiais selecionados para análise neste trabalho são descritos abaixo:

Cimento Portland CP V - ARI

Adições minerais: Metacaulim e filer calcário

Agregados naturais: Areia de rio

Aditivo químico: Superplastificantes (SP) e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC)

### Métodos e técnicas

#### Etapa 1: Caracterização dos materiais precursores.

Para caracterizar e avaliar as propriedades dos materiais precursores serão utilizados os métodos expostos na Tabela 1. Os equipamentos para os ensaios e análises descritos na Tabela 1 estão disponíveis no IFPB/campus-João Pessoa e reitoria/IFPB.

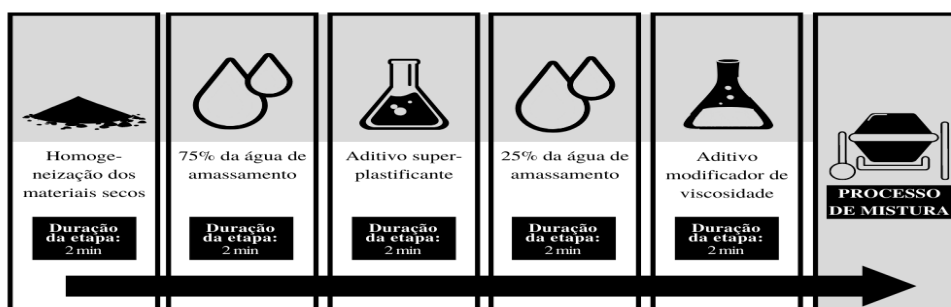
Tabela 1. Ensaios a serem realizados

|                                        | Propriedade                   | Método                       | Laboratório |
|----------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------|
| Agregados, Cimento, adições e minerais | Distribuição granulométrica   | Peneiramento                 | IFPB        |
|                                        | Massa específica (ME)         | Chapman/balança hidrostática | IFPB        |
|                                        | Teor de Material pulverulento | Lavagem dos agregados        | IFPB        |
|                                        | Absorção de água por imersão  | Balança hidrostática         | IFPB        |
|                                        | Área superficial              | BET                          | IFPB        |

#### **Etapa 2: Estudo da dosagem.**

Para o estudo de dosagem será empregado o método proposto por Dias (2022), onde serão definidas misturas variando a relação volume de pasta/volume de agregado ( $V_p/V_{ag}$ ) em cinco níveis diferentes, com duas relações água/materiais secos (A/Ms) diferentes. A partir disto, serão determinadas as relações constitutivas básicas dessas composições, para em seguida realizar a produção das misturas, conforme sequência.

Figura 4. Esquemática do processo de mistura dos compósitos 3DCP



Fonte: Barbosa (2022).

#### **Etapa 3. Avaliação das propriedades reológicas e físicas das misturas cimentícias.**

A tabela 2 apresenta os testes que serão realizados nas misturas cimentícias definidas na etapa anterior, com o intuito de avaliar a reologia e as propriedades físicas das misturas cimentícias em análise.

Tabela 2. Ensaios a serem realizados para a caracterização das propriedades das argamassas, concretos autoadensáveis e protótipo

| Propriedade                                 | Ensaio                               | Laboratório |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Viscosidade aparente                        | Espalhamento na mesa de consistência | IFPB        |
| Viscosidade real                            | Viscosímetro rotacional              | IFPB        |
| Viscosidade em fluxo compressivo            | Squeeze flow                         | UFPB        |
| Densidade de massa e teor de ar incorporado | Método gravimétrico                  | IFPB        |

#### Etapa 4. Determinação da capacidade de construção.

Para a análise de viabilidade da impressão das misturas cimentícias serão moldadas peças por impressão 3D, utilizando a impressora projetada e construída pelo grupo de pesquisa do orientador desse projeto e que está disponível nos laboratórios de engenharia civil do IFPB. A capacidade de impressão será avaliada com base no método proposto em Chen et al. (2020), em que se considera a construção de peças com 400 mm de comprimento e 5 camadas sobrepostas, conforme Figura 5. Para tanto serão realizadas novas misturas dos traços analisados na etapa 3, seguindo a mesma sequência da Figura 4, só que com uma quantidade maior de materiais para que se possa construir as peças nessas dimensões.

Figura 5. Impressão dos compósitos para construção de peças e medição da construtibilidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### Cronograma do Projeto

| ATIVIDADE                                                                                        | INÍCIO DO PLANO | DURAÇÃO DO PLANO | INÍCIO REAL | DURAÇÃO REAL | MESES |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|-------------|--------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
|                                                                                                  |                 |                  |             |              | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |   |   |
| Meta 1: Caracterizar os materiais precursores dos compósitos                                     | 1               | 2                | 1           | 2            | ■     | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
| Meta 2: Realizar a dosagem dos compósitos                                                        | 1               | 2                | 1           | 2            | ■     | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
| Meta 3: Determinar e analisar o comportamento reológico e as propriedades físicas dos compósitos | 3               | 7                | 3           | 7            |       |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■ | ■ |
| Meta 4: Determinação da capacidade de construção                                                 | 5               | 5                | 5           | 5            |       |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■ | ■ |
| Meta 5: Relatórios                                                                               |                 |                  |             |              |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
| Relatório parcial, de acordo com o edital                                                        | 7               | 1                | 7           | 1            |       |   |   |   |   |   |   |   | ■ |    |   |   |
| Relatório final, de acordo com o edital                                                          | 9               | 2                | 9           | 2            |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   | ■ |

## Disseminação dos resultados

### Acompanhamento e avaliação do projeto durante a execução

A avaliação será realizada ao longo da execução do projeto com reuniões semanais entre os participantes e com apresentação dos resultados da pesquisa a cada mês por meio de relatórios para o coordenador do projeto e a partir desses resultados as metas e atividades serão atualizadas no SUAP. Serão produzidos os relatórios, parcial e final, conforme previsto no edital. Durante a execução da pesquisa e com o avanço da obtenção dos resultados serão escritos artigos para divulgação científica em congressos nacionais e/ou internacionais.

#### Atividade: Plano de trabalho da bolsista

##### 1. Identificação

|                                                                                       |                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Nome<br>Ana Beatriz Smith Melo Lins                                                   | Matrícula<br>201912220006                           |
| Orientador<br>Marcos Alyssandro Soares dos Anjos                                      | Unidade Acadêmica<br>UA1                            |
| Área de concentração/ atuação<br>Engenharia civil/ materiais e processos construtivos | Assinatura do orientador                            |
| Instituição /empresa onde realiza o estágio<br>IFPB                                   | Período de duração do projeto:<br>04/2022 a 12/2022 |

##### 2. Descrições do trabalho/pesquisa

|                                            |                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tema<br>Desenvolvimento de novos materiais | Título<br>Influência do volume de pasta/volume de agregado nos parâmetros reológicos de misturas cimentícias para impressão 3D em concreto (3DCP) |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objetivo geral</b><br>Avaliar o comportamento reológico de mistura por impressão 3D | <b>Objetivos específicos</b><br>Realizar ensaios para obtenção dos resultados de caracterização dos materiais precursores;<br><ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar o estudo de dosagem das misturas;</li> <li>▪ Proporcionar os materiais de acordo com a dosagem, pesar e misturar os materiais para obter compósitos cimentícios;</li> <li>▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados das propriedades reológicas dos compósitos cimentícios;</li> <li>▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados de construtibilidade;</li> </ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Atividade: Plano de trabalho dos voluntários

#### 1. Identificação

|                                                                                       |                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Nomes<br>Gustavo de Lima Seixas Cunha<br>Anielle Maria Cruz de Carvalho               | Matrícula<br>202022220033<br>202012220044           |
| Orientador<br>Marcos Alyssandro Soares dos Anjos                                      | Unidade Acadêmica<br>UA1                            |
| Área de concentração/ atuação<br>Engenharia civil/ materiais e processos construtivos | Assinatura do orientador                            |
| Instituição /empresa onde realiza o estágio<br>IFPB                                   | Período de duração do projeto:<br>04/2022 a 12/2022 |

#### 2. Descrições do trabalho/pesquisa

|                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tema<br>Desenvolvimento de novos materiais                                             | Título<br>Influência do volume de pasta/volume de agregado nos parâmetros reológicos de misturas cimentícias para impressão 3D em concreto (3DCP)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Objetivo geral</b><br>Avaliar o comportamento reológico de mistura por impressão 3D | <b>Objetivos específicos</b><br>Realizar ensaios para obtenção dos resultados de caracterização dos materiais precursores;<br><ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar o estudo de dosagem das misturas;</li> <li>▪ Proporcionar os materiais de acordo com a dosagem, pesar e misturar os materiais para obter compósitos cimentícios;</li> <li>▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados das propriedades reológicas dos compósitos cimentícios;</li> <li>▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados de construtibilidade;</li> </ul> |



**Atividade: Plano de trabalho do Orientador****1. Identificação**

|                                                      |                                                     |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Nome<br>Marcos Alyssandro Soares dos Anjos           | Matrícula<br>1372249                                |
| Orientador                                           | Unidade Acadêmica<br>UA1                            |
| Área de concentração/ atuação<br>Construção Civil    | Assinatura do orientador                            |
| Instituição /empresa onde realiza o projeto:<br>IFPB | Período de duração do projeto:<br>04/2022 a 12/2022 |

**2. Descrições do trabalho/pesquisa**

|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tema<br>Desenvolvimento de novos materiais                                                               | Título<br>Influência do volume de pasta/volume de agregado nos parâmetros reológicos de misturas cimentícias para impressão 3D em concreto (3DCP)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Objetivo geral<br>Propor, orientar, treinar, acompanhar os ensaios de laboratório e avaliar os bolsistas | Objetivos específicos <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propor o projeto</li> <li>▪ Propor as matérias-primas</li> <li>▪ Propor e avaliar as dosagens</li> <li>▪ Propor métodos de para avaliação das propriedades</li> <li>▪ Treinar a bolsista para a execução dos ensaios</li> <li>▪ Orientar a execução dos ensaios de laboratório</li> <li>▪ Avaliar e discutir os resultados com os bolsistas</li> <li>▪ Orientar a escrita de artigos e relatórios técnicos</li> </ul> |

**Atividade: Plano de trabalho do Co-orientador****1. Identificação**

|                                                      |                                |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Nome<br>Ulisses Targino Bezerra                      | Matrícula<br>274025            |
| Orientador                                           | Unidade Acadêmica<br>UA1       |
| Área de concentração/ atuação<br>Construção Civil    | Assinatura do orientador       |
| Instituição /empresa onde realiza o projeto:<br>IFPB | Período de duração do projeto: |

## 2. Descrições do trabalho/pesquisa

| Tema                               | Título                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Desenvolvimento de novos materiais | Influência do volume de pasta/volume de agregado nos parâmetros reológicos de misturas cimentícias para impressão 3D em concreto (3DCP)                                                                                                                                                  |
| Objetivo geral                     | Objetivos específicos                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Co-orientar e avaliar os bolsistas | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Treinar a bolsista para a execução dos ensaios</li> <li>▪ Orientar a execução dos ensaios de laboratório</li> <li>▪ Avaliar e discutir os resultados com os bolsistas</li> <li>▪ Orientar a escrita de artigos e relatórios técnicos</li> </ul> |

### Referências bibliográficas

- ABOU YASSIN, A. A.; HAMZEH, F.; AL SAKKA, F. Agent based modeling to optimize workflow of robotic steel and concrete 3D printers. **Automation in Construction**, v. 110, n. September 2018, 2020.
- BARBOSA, M. D. S. **DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS PARA IMPRESSÃO 3D COM CONSUMO DE CIMENTO REDUZIDO**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.
- BUSWELL, R. A. et al. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. **Cement and Concrete Research**, v. 112, n. May, p. 37–49, 2018.
- CHEN, Y. et al. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture. **Cement and Concrete Research**, v. 132, p. 106040, jun. 2020.
- DE SCHUTTER, G. et al. Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials. **Cement and Concrete Research**, v. 112, n. June, p. 25–36, 2018.
- DIAS, L. DE S. **Metodologia de dosagem com base em relações constitutivas básicas de misturas para impressão 3d em concreto (3DCP)**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.
- HE, Y. et al. Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall. **Energy and Buildings**, v. 222, 2020.
- KAZEMIAN, A. et al. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. **Construction and Building Materials**, v. 145, p. 639–647, ago. 2017.
- PANDA, B. et al. Improving the 3D printability of high volume fly ash mixtures via the use of nano attapulgite clay. **Composites Part B: Engineering**, v. 165, n. November 2018, p. 75–83, 2019.
- SALET, T. A. M. et al. Design of a 3D printed concrete bridge by testing\*. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 13, n. 3, p. 222–236, 2018.
- SHAKOR, P.; NEJADI, S.; PAUL, G. A study into the effect of different nozzles shapes and fibre-reinforcement in 3D printed mortar. **Materials**, v. 12, n. 10, 2019.
- SOLTAN, D. G.; LI, V. C. A self-reinforced cementitious composite for building-scale 3D printing. **Cement and Concrete Composites**, v. 90, p. 1–13, jul. 2018.
- TAY, Y. W. D.; QIAN, Y.; TAN, M. J. Printability region for 3D concrete printing using slump and slump flow test. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, p. 106968, out. 2019.
- ZHANG, Y. et al. Rheological and harden properties of the high-thixotropy 3D printing concrete. **Construction and Building Materials**, v. 201, p. 278–285, mar. 2019.

ABOU YASSIN, A. A.; HAMZEH, F.; AL SAKKA, F. Agent based modeling to optimize workflow of robotic steel and concrete 3D printers. **Automation in Construction**, v. 110, n. September 2018, 2020.

BARBOSA, M. D. S. **DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS PARA IMPRESSÃO 3D COM CONSUMO DE CIMENTO REDUZIDO**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

BUSWELL, R. A. et al. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. **Cement and Concrete Research**, v. 112, n. May, p. 37–49, 2018.

CHEN, Y. et al. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture. **Cement and Concrete Research**, v. 132, p. 106040, jun. 2020.

DE SCHUTTER, G. et al. Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials. **Cement and Concrete Research**, v. 112, n. June, p. 25–36, 2018.

DIAS, L. DE S. **Metodologia de dosagem com base em relações constitutivas básicas de misturas para impressão 3d em concreto (3DCP)**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

HE, Y. et al. Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall. **Energy and Buildings**, v. 222, 2020.

KAZEMIAN, A. et al. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. **Construction and Building Materials**, v. 145, p. 639–647, ago. 2017.

PANDA, B. et al. Improving the 3D printability of high volume fly ash mixtures via the use of nano attapulgite clay. **Composites Part B: Engineering**, v. 165, n. November 2018, p. 75–83, 2019.

SALET, T. A. M. et al. Design of a 3D printed concrete bridge by testing\*. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 13, n. 3, p. 222–236, 2018.

SHAKOR, P.; NEJADI, S.; PAUL, G. A study into the effect of different nozzles shapes and fibre-reinforcement in 3D printed mortar. **Materials**, v. 12, n. 10, 2019.

SOLTAN, D. G.; LI, V. C. A self-reinforced cementitious composite for building-scale 3D printing. **Cement and Concrete Composites**, v. 90, p. 1–13, jul. 2018.

TAY, Y. W. D.; QIAN, Y.; TAN, M. J. Printability region for 3D concrete printing using slump and slump flow test. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, p. 106968, out. 2019.

ZHANG, Y. et al. Rheological and harden properties of the high-thixotropy 3D printing concrete. **Construction and Building Materials**, v. 201, p. 278–285, mar. 2019.

## 6 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

| Meta | Atividade | Especificação                                                                                                                                         | Indicador(es) qualitativo(s)                                                   | Indicador físico |      | Período de execução                               |                                                    |
|------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|      |           |                                                                                                                                                       |                                                                                | Unid.de Medida   | Qtd. | Início                                            | Término                                            |
| 1    | 1         | Realizar ensaios de Distribuição granulométrica, Massa específica (ME), Teor de Material pulverulento, Absorção de água por imersão, Área superficial | Valores das características físicas dos materiais precursores                  |                  | 100  | Previsto para 01/04/2022   Iniciado em 01/04/2022 | Previsto para 31/05/2022   Concluído em 31/05/2022 |
| 2    | 1         | Empregar o método proposto por Dias (2022)                                                                                                            | Definir 10 misturas (formulações ou traços) para análise da reologia           |                  | 100  | Previsto para 01/04/2022   Iniciado em 01/04/2022 | Previsto para 31/05/2022   Concluído em 31/05/2022 |
| 3    | 1         | Determinar e analisar o comportamento reológico dos compósitos Ensaio realizado e dados coletados                                                     | Determinação dos parâmetros reológicos básicos das misturas em análise         |                  | 100  | Previsto para 01/06/2022   Iniciado em 01/06/2022 | Previsto para 31/12/2022   Concluído em 31/12/2022 |
| 3    | 2         | Determinar e analisar as propriedades físicas dos compósitos                                                                                          | Avaliação das propriedades físicas dos compósitos (misturas em análise) e suas |                  | 100  | Previsto para 01/06/2022                          | Previsto para 31/12/2022                           |

| Meta | Atividade | Especificação                                                                 | Indicador(es) qualitativo(s)                                                                                                                                          | Indicador físico |      | Período de execução                               |                                                    |
|------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|      |           |                                                                               |                                                                                                                                                                       | Unid.de Medida   | Qtd. | Início                                            | Término                                            |
|      |           | (misturas em análise) Ensaios realizados e dados coletados                    | relações com a reologia e a construtibilidade por impressão em 3D                                                                                                     |                  |      | Iniciado em 01/06/2022                            | Concluído em 31/12/2022                            |
| 4    | 1         | Determinação da capacidade de construção Ensaios realizados e dados coletados | Avaliação da construtibilidade das misturas analisadas na Etapa 3, através da impressão em 3D de peças, para correlação com as propriedades reológicas dos compósitos |                  | 100  | Previsto para 01/08/2022   Iniciado em 01/08/2022 | Previsto para 31/12/2022   Concluído em 31/12/2022 |
| 5    | 1         | Apresentação de Relatório Parcial                                             | Entrega do relatório parcial                                                                                                                                          |                  | 100  | Previsto para 01/08/2022   Iniciado em 01/08/2022 | Previsto para 31/08/2022   Concluído em 31/08/2022 |
| 5    | 2         | Relatório final e artigo Atividade realizada                                  | Entrega do relatório final e submissão do artigo                                                                                                                      |                  | 100  | Previsto para 01/01/2023   Iniciado em 01/01/2023 | Previsto para 31/01/2023   Concluído em 31/01/2023 |

## 7 - PLANO DE APLICAÇÃO

| Classificação da despesa | Especificação                      | PROEX (R\$) | DIGAE (R\$) | Campus proponente (R\$) | Total (R\$)     |
|--------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------------------|-----------------|
| 339018                   | Auxílio Financeiro a Estudantes    | 0           | 0           | 3600.00                 | 3600.00         |
| 339020                   | Auxílio Financeiro a Pesquisadores | 0           | 0           | 6000.00                 | 6000.00         |
| 449020                   | Auxílio Financeiro a Pesquisadores | 0           | 0           | 6000.00                 | 6000.00         |
| <b>TOTAIS</b>            |                                    | <b>0</b>    | <b>0</b>    | <b>15600.00</b>         | <b>15600.00</b> |

## 8 - CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO

| Despesa                                     | Mês 1   | Mês 2  | Mês 3  | Mês 4  | Mês 5  | Mês 6  | Mês 7  | Mês 8  | Mês 9  | Mês 10 | Mês 11 | Mês 12 |
|---------------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 339018 - Auxílio Financeiro a Estudantes    | 400.00  | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 0      | 0      | 0      |
| 339020 - Auxílio Financeiro a Pesquisadores | 6000.00 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 449020 - Auxílio Financeiro a Pesquisadores | 0       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

## Anexo A

## MEMÓRIA DE CÁLCULO

| CLASSIFICAÇÃO DE DESPESA                    | ESPECIFICAÇÃO                  | UNIDADE DE MEDIDA | QUANT. | VALOR UNITÁRIO | VALOR TOTAL     | ATIVO |
|---------------------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------|----------------|-----------------|-------|
| 339020 - Auxílio Financeiro a Pesquisadores | Despesas de custeio do projeto | mês               | 1      | 6000.00        | 6000.00         | Sim   |
| 339018 - Auxílio Financeiro a Estudantes    | pagamento de bolsas            | mês               | 9      | 400.00         | 3600.00         | Sim   |
| <b>TOTAL GERAL</b>                          |                                |                   |        |                | <b>9.600,00</b> |       |