

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

DIRETORIA DE PESQUISA

PROJETOS DE PESQUISA/INOVAÇÃO

Edital nº 33/2023 - Vagas Remanescentes do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBITI/CNPq

1 - UNIDADE PROPONENTE

Campus: CAMPUS-JP

2 - IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título do projeto: Estudo da reologia de argamassas para impressão 3DCP	
Grande área de conhecimento: ENGENHARIAS	Área de conhecimento: ENGENHARIA CIVIL
Área temática: Construção civil	Tema: None
Período de execução: Início: 11/09/2023 Término: 31/08/2024	

3 - CARACTERIZAÇÃO DOS BENEFICIÁRIOS

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

4 - EQUIPE PARTICIPANTE

PROFESSORES E/OU TÉCNICOS ADMINISTRATIVOS DO IFPB			
Membro	Contatos	Vínculo	Titulação
Nome: Marcos Alyssandro Soares dos Anjos Matrícula: 1372249	Tel.: /(83) 3612-1300 (ramal: 1300) E-mail: marcos.anjos@ifpb.edu.br	Voluntário	DOUTORADO
Nome: Cícero Marciano da Silva Santos Matrícula: 1851158	Tel.: (83) 3217-3338 / (83) 3612-1300 (ramal: 1300) E-mail: cicero.silva@ifpb.edu.br	Voluntário	MESTRE+RSC-III (LEI 12772/12 ART 18)

5 - DISCRIMINAÇÃO DO PROJETO

Resumo
Introdução As inovações tecnológicas na construção civil desenvolvidas pela indústria 4.0, permitiram a introdução de mudanças nos processos tradicionais e uma tendência de valor ao canteiro de obras, visando a melhoria da eficiência e produtividade deste setor. Entre essas inovações cita-se a manufatura aditiva, especificamente a impressão em concreto (3DCP), cujo sistema permite a produção de um elemento previamente definido por um modelo digital, através da deposição dos materiais em cam sobrepostas utilizando uma impressão em pórtico ou braço robótico. Esta técnica possibilita uma maior liberdade de projetos contendo geometrias complexas, constr livre de fôrmas, redução da necessidade de mão de obra e da geração de resíduos, além de permitir o uso de uma variedade de materiais (OLSSON et al., 2021). Um dos desafios do 3DCP consiste em desenvolver composições que atendam ao comportamento tixotrópico, de forma que possam ser facilmente extrudadas e mantenham a sua forma após a deposição. Em vista disso, é de suma importância a análise reológica e a capacidade de construção da mistura para avaliar o comportar

desta ao que tange o processo de impressão 3D (PANDA et al., 2019; ZHANG et al., 2019b), a Figura 1a mostra uma mistura tixotrópica capaz de construir e uma mi com baixa capacidade de construir (Fig.1b).

Figura 1. Capacidade de construção (Chen et al., 2021)



b)

No contexto dos materiais imprimíveis, a reologia está relacionada à tensão de escoamento, viscosidade e tixotropia de um material para atingir boa capacidade construção, resistência à segregação e capacidade de impressão. Esta propriedade está associada à dosagem da mistura, incluindo a fração volumétrica dos aglomerantes, presença de materiais cimentícios suplementares e as características dos agregados (distribuição granulométrica e morfologia) (MARCHON et al., 2018). A viscosidade, por sua vez, consiste no grau de dificuldade da destruição do sistema coloidal quando a mistura se encontra em repouso e é inevitavelmente afetado pelo aumento do tempo em aberto da mistura, a relação areia/cimento, tipo e quantidade de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade (LONG et al., 2017; ZHANG et al., 2019b).

Justificativa

A impressão 3D na construção civil consiste na deposição de camadas de um material cimentício, de modo que ao final de sua extrusão seja possível obter um material monolítico e resistente o suficiente para que seja utilizável. Para o funcionamento do sistema de extrusão existem algumas ferramentas indispensáveis ao uso, como o dispositivo de armazenamento, além de um dispositivo de transporte e outro de extrusão (geralmente um bico). Tal sistema definirá as características que a mistura cimentícia deverá apresentar.

Nesse contexto, alguns parâmetros - diferentes da construção tradicional - são fundamentais para garantir os resultados esperados ao fim da impressão. Portanto, para que esse sistema seja executável, é necessário considerar, principalmente: capacidade de construção da mistura, capacidade de extrusão e sua bombeabilidade (KHAN, 2017), além do formato e tamanho de bico satisfatórios.

A tecnologia de impressão 3D em concreto não está plenamente desenvolvida, pois depende de vários fatores como tipo e tecnologia de máquina (impressora) atrelados a fatores de material como tipo de cimento, adições minerais, aditivos, entre outros. Ademais não há no Brasil uma tecnologia própria e disponível em meio comercial, nem de máquina (impressora), nem de produto (misturas cimentícias). O grupo de pesquisa em materiais e construções sustentáveis do IFPB com auxílio de projeto de fomento oriundos do SETEC/MEC-FACTO, CNPQ, IFPB e FAPESQ desenvolveram uma impressora com tecnologia própria e vem realizando pesquisas na área de 3D com o intuito de entender os fenômenos envolvidos nessa nova tecnologia. Outra dificuldade para desenvolver impressão 3DCP é a disponibilidade de materiais regionais como cimentos e adições minerais e principalmente aditivos superplastificante e modificadores de viscosidade com disponibilidade regional, ou pelo menos fornecimento contínuo na nossa região. Portanto, verifica-se que é urgente ter mais de um fornecedor de materiais para que se possa ter oferta constante e custo justificados para os aditivos.

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 e de construtibilidade adequadas para impressão 3DCP utilizando diferentes tipos de superplastificante e modificadores de viscosidade utilizando uma impressora projetada e montada pelo grupo de pesquisa em materiais e construções sustentáveis.

Fundamentação teórica

A construção civil possui um papel impactante no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa, geração de resíduos sólidos e consumo de recursos naturais. Essa atividade requer alto custo com fôrmas para concreto, mão de obra e superexploração dos recursos naturais, apresentando influência direta na mitigação da sustentabilidade. De acordo com Khan, Koç e Al-Ghamdi (2021), a construção civil atua em cerca de 38% das emissões de gases de efeito estufa, 40% dos resíduos sólidos e 12% do uso da água.

Sendo assim, é de suma importância a procura pela redução dos impactos por meio de tecnologias inovadoras e com prática sustentável. Dentro desse contexto, o sistema de manufatura aditiva, especificamente a impressão 3D, se torna uma resposta a essa problemática. Visto que, no sistema em que filamentos são extrudados e depositados por meio de um modelo digital definido, há a dispensa do uso de fôrmas, redução da maior necessidade de mão de obra e minimização do tempo de construção. Outro ponto é que o sistema 3DCP também permite o desperdício mínimo, em conjunto com a liberdade de impressão de projetos com geometrias complexas (KHAN; KOÇ; AL-GHAMDI, 2021).

No entanto, estudos contidos na literatura acerca de misturas 3DCP fazem uso de alto consumo de cimento para atender aos aspectos reológicos requisitados, tornando preponderante no que diz respeito aos impactos ambientais, visto que a produção do cimento Portland requer grande quantidade de energia e emite alto teor de gases de efeito estufa (CHEN; VEER; ÇOPUROĞLU, 2017).

Portanto, para que o sistema de impressão 3D corrobore com o fator sustentável, pesquisadores buscam atentar às composições de misturas com baixo teor de cimento, mas que sejam tecnicamente capazes de atender ao desempenho necessário e não comprometam a sustentabilidade. Atrelado a isso, a utilização de materiais cimentícios suplementares (SCMs) em substituição parcial ao cimento Portland, se torna uma prática com viés ambientalmente adequado para extrusão do 3DCP (CHEN et al., 2021). Entretanto, a maioria dos SCMs presentes nas pesquisas de 3DCP consistem em alto custo de aquisição e, também, estão em vias de esgotamento. Portanto é importante a utilização de SCMs de fácil obtenção regional, a exemplo, do filer calcário e alternativas de mais de um tipo de aditivo superplastificante e modificadores de viscosidade visto que sem estes aditivos é impossível obter impressão 3D em concreto, ademais que estes aditivos minimizam o uso de água potável para a construção, e, portanto, contribui para o uso sustentável deste bem tão importante para vida humana, a água, que é muito utilizado na construção civil.

Objetivo geral

O presente projeto consiste em um método de pesquisa experimental que visa estudar a influência de dois tipos de superplastificantes e dois tipos de modificadores de viscosidade 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 com diferentes tipos de aditivos;
- Determinar e analisar as propriedades físicas dos compósitos;
- Avaliar a capacidade de construir peças em 3D com diferentes tipos de aditivos.

Metas

- 1 - Caracterizar os materiais precursores dos compósitos
- 2 - Dosagem e produção das misturas
- 3 - Determinação das propriedades reológicas
- 4 - 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 (material de referência)
- Agregados naturais: Areia de rio
- Aditivo químico: Superplastificantes (SP) e modificadores de viscosidade (VMA)

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 de planejamento experimental de experimentos, onde serão definidas misturas com uma relação volume de pasta/volume de agregado (V_p/V_{ag}) e água/cimentos (a/c) que já se sabe o comportamento, e assim será analisado a influência de dois tipos de superplastificante diferentes e dois tipos de modificador de viscosidade diferentes de acordo com o método estatístico de análise de experimentos, utilizando a composições de 3DCP descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Planejamento experimental – composição das misturas de análise

Cimento	Agregado	A/C	VMA (%) - tipo1	SP (%) - tipo 1
1,000	2,150	0,385	0,000	0,800
1,000	2,150	0,385	2,000	0,800
1,000	2,150	0,385	1,000	0,800
1,000	2,150	0,385	0,000	1,600
1,000	2,150	0,385	2,000	1,600
1,000	2,150	0,385	1,000	1,600

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

A tabela 3 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 3. 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	Lab3DCP-IFPB
Viscosidade real	Viscosímetro rotacional	Lab3DCP-IFPB
Densidade de massa e teor de ar incorporado	Método gravimétrico	Lab3DCP-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 deste 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.

Metodologia da execução do projeto

Disseminação dos resultados

Acompanhamento e avaliação do projeto durante a execução

avaliação será realizada ao longo da execução do projeto com reuniões semanais entre os participantes, 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.

Cronograma

ATIVIDADE	INÍCIO DO PLANO	DURAÇÃO DO PLANO	PERÍODOS													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Meta 1: Caracterizar os materiais precursores dos compósitos	1	2														
Meta 2: Estudo de dosagem	2	11														
Meta 3: Produção dos compósitos por impressão 3DCP	2	11														
Meta 4: Determinação das propriedades reológicas	2	11														
Meta 5: Relatórios																
Relatório parcial, de acordo com o edital	7	1														
Relatório final, de acordo com o edital	12	1														

Referências bibliográficas

CHEN, Y.; VEER, F.; ÇOPUROĞLU, O. A critical review of 3D concrete printing as a low CO₂ concrete approach. *Heron*, v. 62, p. 167–194, 1 jan. 2017.

CHEN Y., et al. 3D printing of calcined clay-limestone-based cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, v. 149, p. 106553, 2021.

KHAN, S. A.; KOÇ, M.; AL-GHAMDI, S. G. Sustainability assessment, potentials and challenges of 3D printed concrete structures: A systematic review for environmental applications. *Journal of Cleaner Production*, v. 303, p. 127027, 2021.

LONG, W.-J. et al. Rheological approach in proportioning and evaluating prestressed self-consolidating concrete. *Cement and Concrete Composites*, v. 82, p. 105–2017.

MARCHON, D. et al. Hydration and rheology control of concrete for digital fabrication: Potential admixtures and cement chemistry. *Cement and Concrete Research*, v. 112, p. 96–110, 2018.

OLSSON, N. O. E. et al. Industry 4.0 in a project context: Introducing 3D printing in construction projects. *Project Leadership and Society*, v. 2, p. 100033, 2021.

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, p. 75–2019.

ZHANG, C. et al. Design of 3D printable concrete based on the relationship between flowability of cement paste and optimum aggregate content. *Cement and Concrete Composites*, v. 104, p. 103406, 2019a.

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

6 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Meta	Atividade	Especificação	Indicador(es) qualitativo(s)	Indicador físico		Período de execução	
				Unid.de Medida	Qtd.	Início	Término
1	1	Caracterizar os materiais precursores dos compósitos	Obtenção de dados para a produção das misturas		0	11/09/2023	11/10/2023
2	1	Dosagem das misturas	Obtenção de traços para análise de produção		0	11/10/2023	11/11/2023
2	2	Produção dos compósitos por impressão 3DCP	Construção de peças por impressão 3D em concreto		0	11/10/2023	31/08/2024
3	1	Realização de ensaios reológicos	Caracterização reológica e de construção das misturas 3DCP		0	11/10/2023	31/08/2024
4	1	Relatório parcial	Entrega de relatório parcial		0	01/04/2024	30/04/2024
4	2	Relatório final	Entrega de relatório final		0	01/08/2024	30/09/2024

7 - PLANO DE APLICAÇÃO

Classificação da despesa	Especificação	PROEX (R\$)	DIGAE (R\$)	Campus proponente (R\$)	Total (R\$)
339018	Auxílio Financeiro a Estudantes	0	0	0	0
TOTAIS		0	0	0	0

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	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00

Anexo A

MEMÓRIA DE CÁLCULO

CLASSIFICAÇÃO DE DESPESA	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE DE MEDIDA	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	ATIVO
339018 - Auxílio Financeiro a Estudantes	Pagamento de bolsas	mês	12	700.00	8400.00	Sim
TOTAL GERAL					8.400,00	