

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 22/2022 - 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: Avaliação do comportamento estrutural de blocos produzidos por impressão 3D em concreto (3DCP) | |
| Grande área de conhecimento: ENGENHARIAS | Área de conhecimento: ENGENHARIA CIVIL |
| Área temática: Construção civil | Tema: None |
| Período de execução: Início: 06/09/2022 Término: 31/08/2023 | |

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 |

5 - DISCRIMINAÇÃO DO PROJETO

| |
|---|
| Resumo |
| <p>Introdução</p> <p>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 sendo utilizada para o desenvolvimento de uma estrutura tridimensional a partir de um modelo digital projetado. Na construção civil, existem diversas vantagens que favorecem a aplicação da impressão 3D com concreto (3DCP), como o aumento da complexidade arquitetônica que o sistema proporciona, redução de custos, entre eles os relacionados às formas e do tempo de produção; condições ligadas à segurança dos trabalhadores; além de fatores de sustentabilidade e diminuição de desperdícios (DE SCHUTTER et al., 2018; HE et al., 2020). Estima-se que esta tecnologia</p> |

reduzir de 30% a 60% dos resíduos de construção, 50% a 80% dos custos de mão de obra e 50% a 70% do ter (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 : desafios no nível técnico e de processamento (DE SCHUTTER et al., 2018; SALET et al., 2018), pois disponíveis normas ou procedimentos para testar misturas e novos materiais, ou para analisar as propriedad material cimentício utilizado para a impressão 3D (KAZEMIAN et al., 2017; SALET et al., 2018). O materiais e a criação de elementos estruturais em particular são de fundamental importância para os pró: tecnologia de produção 3DCP entregar aplicações reais.

O presente projeto trata de uma pesquisa experimental que visa submeter os objetos de estudo à infl variáveis, em condições controladas e conhecidas, para observar os resultados que a variável produz no objeto visa avaliar comparativamente impressão 3DCP de blocos com uma configuração específica, ou seja, formato 1 com o uso da impressora projetada e montada pelo grupo de pesquisa em materiais e construções sustentáveis, com blocos de concreto utilizando em alvenaria estrutural.

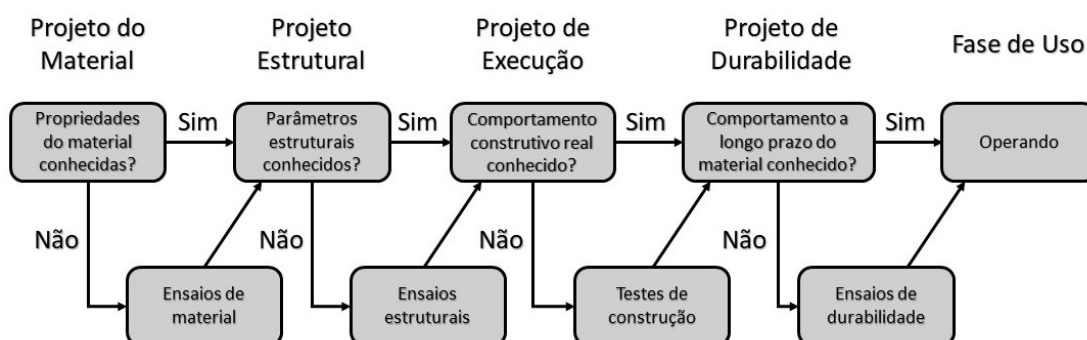
Justificativa

A impressão 3D de concreto tem recebido atenção significativa da indústria da construção e de pesquisa mundo e se mostra como uma alternativa promissora e de impacto sobre as demandas do setor. Vários estudos que abordam as principais tecnologias empregadas na impressão 3DCP, os aspectos de desenvolvimento d propriedades efetivas do material impresso vêm sendo publicadas e reforçam o potencial de aplicação que e pode empregar na indústria da construção civil.

Recentemente no congresso 3rd RILEM *International Conference on Concrete and Digital Fabri Concrete 2022*) reuniu 101 organizações de 27 países, entre os quais estavam o grupo de pesquisa em 3DCP única instituição brasileira a participar desse evento, e assim pode-se constatar que várias discussões são e desenvolvimento da impressão 3D em concreto (3DCP), e grande parte das pesquisas mundiais visam análise capacidade de impressão e suas intervenientes no estado fresco, como reologia da mistura 3DCP e a sinergia c impressão, mas também tem ganhado força as pesquisa que visam analisar o comportamento estrutural das imp

O primeiro passo na garantia da qualidade das novas técnicas de inovação pode ser encontrado por específicos, como sugere o princípio 'Design by Testing' (DBT), descrito no Eurocódigo 0 - NEN PT 1990, este uma determinação elaborada das diferentes propriedades dos materiais com base em testes padronizados, se programas de teste para mapear os parâmetros estruturais e uma simulação das condições da vida real e do cc construção, e pode ser resumido no fluxograma mostrado na Figura 1 (VAN DER PUTTEN et al., 2022).

Figura 1. Fluxograma de desenho por teste (DBT) para 3DCP (adaptado de VAN DER PUTTEN et al.



Neste sentido, o presente projeto visa contribuir no entendimento do comportamento estrutural de peças em fê construídas por meio 3DCP e comparadas com blocos pré-moldados em concreto comercializados no Bras aditiva consiste na deposição de camada a camada de material para produzir um objeto tridimensional, no forma totalmente automatizada sem a interferência humana e controlada por microcomputador. Esta constr

fôrmas e, portanto, o material cimentício para construção das paredes precisa ser avaliado levando em consideração a ser utilizada, e assim comparada com materiais usuais e métodos de dimensionamento adaptados.

Fundamentação teórica

A impressão 3D apresenta vasta utilização destinada à produtos de pequena escala. No entanto, um sistema existente à produção em grande escala, visto que este requer a adaptação da mistura de modo que apresente estabilidade de forma e baixa deformação (SOUZA et al., 2020). Análises dos projetos 3DCP em grande escala para garantir maior maturidade na liberdade de utilização dessa tecnologia.

Uma das geometrias mais utilizadas em 3DCP de grande escala, a ConPrint3D® (Figura 2), apresenta estabilidade de forma com baixo volume de materiais, sendo benéfico por diminuir o nível de requisitos na taxa de deformação e o módulo de elasticidade para impedir a flambagem, além de contribuir nas propriedades estruturais (ROUSSEL et al., 2018).

Figura 2. Geometria ConPrint3D®



Fonte: ROUSSEL (2018).

Estudos como o de Han et al. (2022) contribuem nas investigações do desempenho estrutural do 3DCP em grande escala. Os autores produziram 3DCP com a geometria contendo uma treliça interna tipo W (similar ao concreto armado) e verificaram que esta garante maior estabilidade do ponto de vista estrutural.

Objetivo geral

O presente projeto consiste em um método de pesquisa experimental que visa estudar a da construção em impressão 3DCP em comparação com blocos de alvenaria estrutural em concreto.

Objetivos específicos:

Caracterizar os materiais precursores dos compósitos cimentícios para construção 3DCP;

Realizar a formulação das misturas dos compósitos cimentícios para construção 3DCP;

Construir blocos 3DCP utilizando a impressora 3DCP/IFPB/UFRN;

Determinar e analisar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos 3DCP em comparação com bloco de concreto;

Avaliar a construtibilidade dos blocos 3DCP.

Metas

- 1 - Caracterizar os materiais precursores dos compósitos cimentícios para construção 3DCP;
- 2 - Determinação das formulações a serem analisadas e produção dos blocos
- 3 - Avaliação das propriedades físicas e mecânicas das misturas cimentícias
- 4 - Relatórios

Metodologia da execução do projeto

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

Cimento Portland CP V - ARI

Adições minerais: Metacaulim e filler 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. Os equipamentos para os ensaios e análises descritos na Tabela 1 estão disponíveis no IFPB/campus reitoria/IFPB.

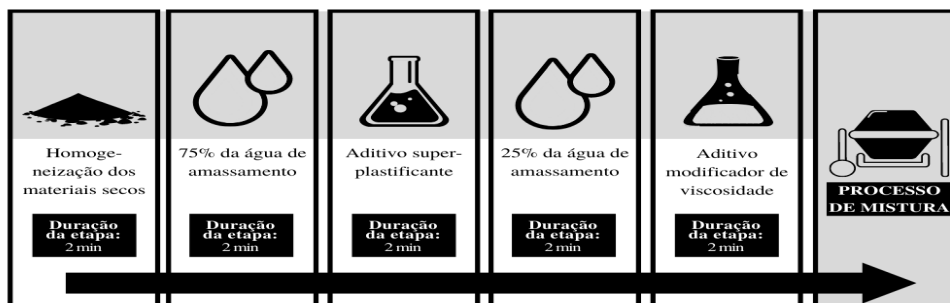
Tabela 1. Ensaios a serem realizados

| | Propriedade | Método | Local |
|--|-------------------------------|------------------------------|-------|
| 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: Determinação das formulações a serem analisadas e produção dos blocos.

Para a determinação das formulações será empregado o método proposto por Dias (2022), onde se variam as misturas variando o consumo de cimento a partir do uso de filler. A partir disto, serão determinadas as relações básicas dessas composições, para em seguida realizar a produção das misturas, conforme sequência (Fig. 3), dos blocos.

Figura 3. 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, avaliar a reologia e as propriedades físicas das misturas cimentícias em análise.

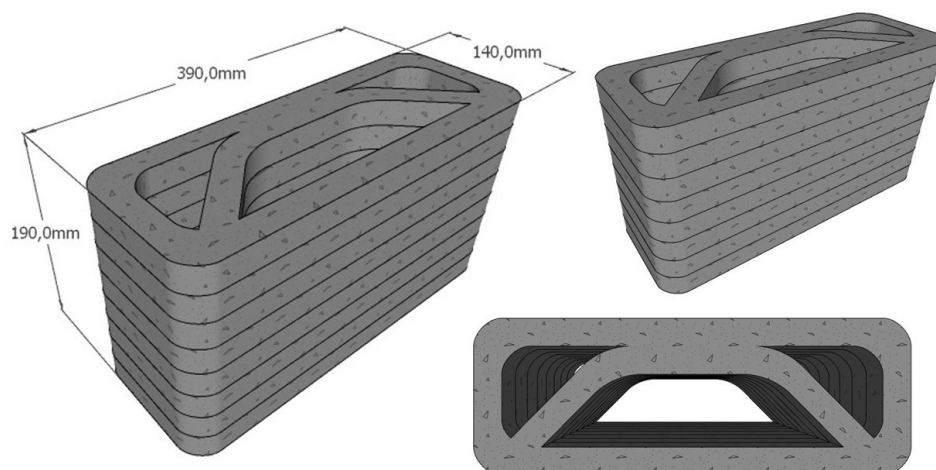
Tabela 2. Ensaios a serem realizados para a caracterização das propriedades das argamassas

| Propriedade | Ensaio | Lab |
|---|--------------------------------------|-----|
| Viscosidade aparente | Espalhamento na mesa de consistência | |
| Viscosidade real | Viscosímetro rotacional | |
| Densidade de massa e teor de ar incorporado | Método gravimétrico | |

Determinação da capacidade de construção ensaios de compressão nos blocos.

Para a análise de viabilidade da impressão das misturas cimentícias serão moldadas peças por impressora 3D projetada e construída pelo grupo de pesquisa do orientador desse projeto e que está disponível no departamento de engenharia civil do IFPB. A capacidade de impressão será avaliada com base no método proposto em Chen (2018), que se considera a construção de peças, conforme Figura 4.

Figura 4 - Geometria do bloco 3DCP que serão produzidos (dimensões em mm).



Fonte: autores

O ensaio de resistência à compressão será realizado em conformidade com o estabelecido na NBR 2704 (ABNT, 2014), em 3 blocos 3DCP, após 28 (REF 1:2) e 45 dias (FC30, FC30MK10 e FC40) dias de cura submersas em água. O resultado do ensaio realizado nos blocos de concreto. Neste ensaio, a ruptura do material será avaliada em termos de deformação deste por meio de LVDTs, no qual 1 transformador será colado em cada face do bloco. Durante o ensaio, a tensão aplicada levará em consideração a resistência característica do bloco: 0,15 MPa/s para resistência característica ≥ 8 MPa e 0,05 MPa/s para resistência característica < 8 MPa. Após a realização do ensaio, a resistência à compressão será calculada por meio da NBR 6136 (ABNT, 2016).

Disseminação dos resultados

Acompanhamento e avaliação do projeto durante a execução

Cronograma de atividades

| ATIVIDADE | INÍCIO DO PLANO | DURAÇÃO DO PLANO | INÍCIO REAL | DURAÇÃO REAL | MESES | | | | | | | | | |
|---|-----------------|------------------|-------------|--------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|--|--|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | |
| Meta 1: Caracterizar os materiais precursores dos compósitos | 1 | 2 | 1 | 2 | | | | | | | | | | |
| Meta 2: Definição das formulações e produção dos blocos | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | |
| Meta 3: Determinar e analisar das propriedades físicas dos compósitos | 3 | 7 | 3 | 7 | | | | | | | | | | |
| Meta 4: Determinação do comportamento mecânico | 6 | 6 | 6 | 6 | | | | | | | | | | |
| Meta 5: Relatórios | | | | | | | | | | | | | | |
| Relatório parcial, de acordo com o edital | 8 | 1 | 8 | 1 | | | | | | | | | | |
| Relatório final, de acordo com o edital | 11 | 2 | 11 | 2 | | | | | | | | | | |

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

Atividade: Plano de trabalho do bolsista

1. Identificação

| | |
|---|---|
| Nome José Vinícius Rodrigues Maia | Matrícula 202012220028 |
| Orientador Marcos Alyssandro S. doas Anjos | Unidade Acadêmica UA1 |
| Área de concentração/ atuação Engenharia civil/ materiais e processos construtivos | |
| Instituição /empresa onde realiza o estágio IFPB | Período de duração 09/2022 a 08/2023 |

2. Descrições do trabalho/pesquisa

| | |
|--|--|
| Tema Desenvolvimento de novos materiais | Título Avaliação do comportamento estrutural de blocos produzidos por em concreto (3DCP) |
|--|--|

| | |
|--|---|
| Objetivo geral Avaliar o comportamento reológico de mistura par impressão 3D | Objetivos específicos Realizar ensaios para obtenção dos resultados de caracterização precusores; <ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar o estudo de determinação das composições 3DCP; ▪ Proporcionar os materiais de acordo com a dosagem, pesar e mistu para obter compósitos cimentícios 3DCP; ▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados das propriedades fisi dos compósitos cimentícios 3DCP; ▪ Realizar ensaios para obtenção dos resultados de construtibilidade; |
|--|---|

Atividade: Plano de trabalho do Orientador

1. Identificação

| | |
|---|---|
| Nome Marcos Alyssandro S. doas Anjos | Matrícula 1372249 |
| Orientador | Unidade Acadêmica UA1 |
| Área de concentração/ atuação Construção Civil | Assinatura do orientad |
| Instituição /empresa onde realiza o projeto: IFPB | Período de duraçã 09/2022 a 08/2023 |

2. Descrições do trabalho/pesquisa

| | |
|---|--|
| Tema Desenvolvimento de novos materiais | Título Avaliação do comportamento estrutural de blocos produzidos por em concreto (3DCP) |
| Objetivo geral Propor, orientar, treinar, acompanhar os ensaios de laboratório e avaliar os bolsistas | Objetivos específicos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Propor o projeto ▪ Propor as matérias-primas ▪ Propor e avaliar as dosagens ▪ Propor métodos de para avaliação das propriedades ▪ Treinar a bolsista para a execução dos ensaios ▪ Orientar a execução dos ensaios de laboratório ▪ Avaliar e discutir os resultados com os bolsistas ▪ Orientar a escrita de artigos e relatórios técnicos |

Referências bibliográficas

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples e Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 201

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

CHEN, Y. et al. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using visc 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 po 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 i concreto (3DCP)**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

HAN, X. et al. Experimental study on large-scale 3D printed concrete walls under axial compression. **Construction**, v. 133, p. 103993, jan. 2022.

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

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

ROUSSEL, N. Rheological requirements for printable concretes. **Cement and Concrete Research**, v. 112, n. 1 2018.

SALET, T. A. M. et al. Design of a 3D printed concrete bridge by testing*. **Virtual and Physical Prototypir** 222–236, 2018.

SOUZA, M. T. et al. 3D printed concrete for large-scale buildings: An overview of rheology, printing para admixtures, reinforcements, and economic and environmental prospects. **Journal of Building Engineering**, v. 2020.

VAN DER PUTTEN, J. et al. 3DCP Structures: The Roadmap to Standardization. In: [s.l.: s.n.], p. 50–55.

ZHANG, Y. et al. Rheological and harden properties of the high-thixotropy 3D printing concrete. **Constructio 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 | Caracterização dos materiais para realiação do estudo de formação das misturas | | 100 | Previsto para 06/09/2022 Iniciado em 06/09/2022 | Previsto para 31/10/2022 Concluído em 31/10/2022 |
| 2 | 1 | Determinação das formulações e produção dos blocos. | Definição das composições e blocos produzidos | | 100 | Previsto para 01/11/2022 Iniciado em 01/11/2022 | Previsto para 31/01/2023 Concluído em 31/01/2023 |
| 3 | 1 | Determinação das propriedades físicas | Ensaio realizados: Espalhamento na mesa de consistência, Viscosímetro rotacional, Densidade de massa e teor de ar incorporado | | 100 | Previsto para 01/11/2022 Iniciado em 01/11/2022 | Previsto para 31/05/2023 Concluído em 31/05/2023 |
| 3 | 2 | Determinação do comportamento estrutural dos blocos | Ensaio realizados: Resistência à compressão, módulo de elasticidade | | 100 | Previsto para 01/02/2023 | Previsto para 31/07/2023 |

| Meta | Atividade | Especificação | Indicador(es) qualitativo(s) | Indicador físico | | Período de execução | |
|------|-----------|--------------------------|------------------------------|------------------|------|--|---|
| | | | | Unid.de Medida | Qtd. | Início | Término |
| | | | | | | Iniciado em 01/02/2023 | Concluído em 31/07/2023 |
| 4 | 1 | Relatório parcial | Entrega de relatório | | 100 | Previsto para 01/04/2023 Iniciado em 01/04/2023 | Previsto para 30/04/2023 Concluído em 30/04/2023 |
| 4 | 2 | Relatório final | Entrega de relatório | | 100 | Previsto para 01/07/2023 Iniciado em 01/07/2023 | Previsto para 31/08/2023 Concluído em 31/08/2023 |

7 - PLANO DE APLICAÇÃO

| Classificação da despesa | Especificação | PROEX (R\$) | DIGAE (R\$) | Campus proponente (R\$) | Total (R\$) |
|--------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|
| 339018 | Auxílio Financeiro a Estudantes | 0 | 0 | 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 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 | 400.00 |

Anexo A

MEMÓRIA DE CÁLCULO

| CLASSIFICAÇÃO DE DESPESA | ESPECIFICAÇÃO | UNIDADE DE MEDIDA | QUANT. | VALOR UNITÁRIO | VALOR TOTAL | ATIVO |
|--|----------------------|-------------------|--------|----------------|-----------------|-------|
| 339018 - Auxílio Financeiro a Estudantes | bolsas dos discentes | mês | 12 | 400.00 | 4800.00 | Sim |
| TOTAL GERAL | | | | | 4.800,00 | |