



**RODRIGO JOSÉ CRISTIANO GAZOLA**

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA DE CIMENTO  
PARA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

BAURU

2021

**RODRIGO JOSÉ CRISTIANO GAZOLA**

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA DE CIMENTO  
PARA IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia de Iniciação Científica  
apresentado ao Centro Universitário  
UNISAGRADO, sob orientação da Prof.  
M.e Ricardo Ramos da Rocha

BAURU  
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de  
acordo com ISBD

G291d	<p>Gazola, Rodrigo José Cristiano</p> <p>Desenvolvimento de argamassa de cimento para Impressão 3D na construção civil / Rodrigo José Cristiano Gazola. -- 2021. 24f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. M.e Ricardo Ramos da Rocha</p> <p>Monografia (Iniciação Científica em Engenharia Civil) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Impressão 3D. 2. Construção Civil. 3. Argamassa. I. Rocha, Ricardo Ramos da. II. Título.</p>
-------	--

## RESUMO

Essa proposta trata do desenvolvimento de argamassa a base de cimento e agregado para a viabilização da impressão 3D na área da Construção Civil, esta pesquisa teve como objetivo geral o estudo e desenvolvimento de material cimentício de extrusão para impressoras tridimensionais voltadas a construção civil. A revisão de literatura foi realizada no período de agosto de 2020 a janeiro de 2021. Foram observados tópicos considerados pertinentes para o desenvolvimento do projeto, e que norteassem os estudos e ensaios a serem desenvolvidos em laboratório nas etapas metodológicas. Foi desenvolvida uma metodologia de ensaio, para obtenção do traço, baseada nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Após a realização dos ensaios e análise dos resultados, observou-se um traço ideal para as aplicações objetivadas.

**Palavras-chave:** Impressão 3D, Construção Civil, Argamassa

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1: Materiais, siglas e quantidade obtida.....</b>	<b>16</b>
<b>Quadro 2: Caracterização do Cimento “C”.....</b>	<b>17</b>
<b>Quadro 3: Caracterização do Aditivo acelerador de pega “A”.....</b>	<b>17</b>
<b>Quadro 4: Caracterização do Aditivo Plastificante “P”.....</b>	<b>17</b>
<b>Quadro 5: Quantidade de água referente ao traço da argamassa.....</b>	<b>20</b>
<b>Quadro 6: Quantidade de agregado e aditivo em relação a massa de cimento</b>	<b>21</b>
<b>Quadro 7: Resultados de tempo de pega para cada combinação.....</b>	<b>21</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
1.2	PROBLEMA E HIPÓTESE.....	7
1.3	OBJETIVOS.....	8
1.3.1	Objetivo geral.....	8
1.3.2	Objetivos específicos.....	8
1.4	JUSTIFICATIVA.....	8
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>10</b>
2.1	CIMENTO PORTLAND.....	10
	TIPOS DE CIMENTO PORTLAND.....	12
2.2	ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND.....	13
2.3	PEGA.....	13
2.4	ADITIVOS.....	14
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
3.1	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	15
3.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	18
3.3	MATRIZ DE ENSAIO.....	18
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÕES.....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>22</b>
	REFERÊNCIAS.....	23

## 1 INTRODUÇÃO

*Caementu* era o nome dado na Roma antiga para uma pedra natural de rochedos, daí se originaria o nome cimento. Grandes obras romanas como, o Panteão e o Coliseu, foram construídos com o uso de um mineral extraído da ilha de Santorino. Podia-se observar que ao entrar em contato com a água esse mineral sofria endurecimento.

Porém, segundo Battagin (2009), somente em 1756 o inglês John Smeaton e em 1818 o francês Vicat, obtiveram um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. A mistura após seca, era tão resistente quanto pedras naturais já utilizadas nas construções. Diferentemente do material argiloso a mistura não se dissolvia com ação da água e foi batizada com o nome de cimento Portland.

Desde então a utilização desse material abundante e prático vem sido utilizado amplamente na construção civil no Brasil e em todo mundo. Surgiram aditivos que melhoram suas propriedades físico-químicas, concedendo a mistura trabalhabilidade, resistência, impermeabilidade e alteração do tempo de endurecimento.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O alvo deste trabalho é o desenvolvimento de um tipo de argamassa de cimento fluida, que possa escoar através de duto de menor diâmetro possível, com tempo de endurecimento rápido o suficiente para que possa ser sobreposto rapidamente por camadas subsequentes, possibilitando assim a técnica da impressão computadorizada de objetos de argamassa de cimento Portland. A ideia principal é desenvolver esse tipo de argamassa mediante a pesquisa e utilização de aditivos que proporcionem as propriedades físicas desejáveis na argamassa.

### 1.2 PROBLEMA E HIPÓTESE

Seria possível o desenvolvimento de uma espécie de argamassa de cimento Portland, com fluidez necessária para escoamento por dutos de pequenos diâmetros,

porém com tempo de pega reduzido suficientemente para que se possa sobrepor diversas camadas de argamassa rapidamente?

O desafio principal desse projeto é encontrar dosagens de água e aditivos para que se possa obter os resultados esperados, uma vez que à medida que se adiciona água a argamassa de cimento, aumenta-se sua fluidez, porém aumenta-se também o seu tempo de endurecimento e diminui-se sua resistência.

Trabalhou-se com aditivos hiperplastificantes para diminuir a quantidade de água empregada na argamassa sem prejudicar sua fluidez. Porém, o foco principal do projeto é a utilização de aditivos “aceleradores de tempo de pega” que tem como principal objetivo a diminuição do tempo de endurecimento da argamassa.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

Objetivou-se com este trabalho o estudo e desenvolvimento de material cimentício de extrusão para impressoras tridimensionais voltadas a construção civil.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

Para além do objetivo geral, especificado anteriormente, para que houvesse melhor compreensão de todos os processos envolvidos neste estudo, destacam-se os seguintes objetivos complementares:

- Testar dosagens de aditivos aceleradores de tempo de pega em argamassa de cimento Portland.
- Estudar a influência da temperatura no tempo de pega de argamassa de cimentos Portland.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A impressão 3D surgiu no final da década de 1980, como alternativa para agilizar a prototipagem de produtos industriais. A partir dos anos 2000 essa prática se difundiu largamente com a chamada fabricação aditiva, que viabilizou sua utilização nos mais diversos setores industriais.

Segundo Pacheco (2017), a Impressão 3D é um processo para criar um objeto físico tridimensional camada por camada, a partir da projeção digital desse mesmo objeto, consiste em depósitos de diversas camadas de um determinado material em uma base específica.

Essa prática é capaz de transformar indústria em geral, principalmente a da construção, reduzindo significativamente o desperdício, o investimento financeiro e principalmente, reduzindo o tempo de construção em até 70% (Ambar, 2019).

Um belo exemplo de emprego da tecnologia de impressão tridimensional na construção civil é a empresa startup Cazza, de Dubai, que tem um plano de construção de um prédio de 80 andares, utilizando a grua de impressão. O equipamento tem capacidade de impressão de 200 metros quadrados por dia, quando finalizado, ainda este ano, o edifício terá 1.375 metros de altura.

No Brasil, a impressão 3D na construção civil está voltada, quase exclusivamente, à área de prototipagem de maquetes arquitetônicas e estruturais. Por outro lado, tratando-se de uma tendência mundial, o futuro desta tecnologia é promissor, principalmente pela adoção da filosofia do lean thinking, um sistema de gestão de negócios voltado a gerar mais recursos com menos desperdício e utilizando menos energia.

Estudando um pouco mais a fundo essa tecnologia, apesar da distância da realidade atual, podemos perceber que o processo de impressão tridimensional não é muito diferente daquele usado nas demais indústrias, o diferencial nessa área seria o tamanho do equipamento e o material utilizado. Comparativamente, pode-se imaginar que a base para a impressão de uma obra seria o terreno, já preparado e devidamente nivelado de acordo com o projeto. Já o material de deposição, ou material de adição, seria a argamassa de cimento, produto já bem conhecido na área.

O maior desafio na impressão tridimensional em argamassa de cimento, seria então, o desenvolvimento de um material de extrusão que possa ser depositado camada por camada e tenha seu processo de endurecimento em determinado tempo específico. Grandes empresas vêm desenvolvendo esse tipo de material desde os anos 80 e muitas delas tratam a composição desses aditivos como segredo industrial, protegidos por inúmeras patentes. Assim o material para extrusão acaba se transformando em uma barreira muito alta para quem pensa em utilizar a impressão 3D na construção Civil.

Os dispositivos tradicionais que utilizam polímeros como material de impressão contam com ajuda da temperatura para a modelagem, impressoras de argamassa também devem utilizar a temperatura nesse processo, não como fonte de modelagem do material, mas como meio de endurecimento do mesmo, assim como os aditivos específicos, como plastificantes e redutores de tempo de pega.

Muito do que se encontra em material, nacional, de pesquisa atualmente trata sobre os impactos, melhorias, que a tecnologia de impressão 3D teria sobre a construção civil, como o de Silva et. Al. (2018). Também se encontra muito sobre a aplicabilidade da técnica na área, como o trabalho de Porto (2016). Também pode-se citar trabalhos, como o de Grenzel (2019), Corrêa (2016) e o de Santos (2018) em que se fazem análises comparativas entre as principais técnicas de fabricação aditiva existentes ou simplesmente uma análise da bibliografia existente na área.

Então, pode -se perceber que apesar dos trabalhos, anteriormente citados, terem uma grande importância, pois servem como base para o início de qualquer pesquisador que se aventure por essa área, os mesmos não apresentam nenhum esforço aplicabilidade factual da tecnologia, ou mesmo de desenvolvimento de material para a mesma.

Assim, o grande diferencial dessa pesquisa será a experimentação de material por uma área a ser desbravada, pelo menos em âmbito nacional.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 CIMENTO PORTLAND**

Cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou Ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, não se decompõe quando submetido novamente a ação da água (ABCP, 2002).

Segundo Bauer (2000), o cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente adições que modificam suas propriedades. Para Neville e Brooks (2013), o cimento Portland é o nome dado ao cimento resultado da mistura de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro.

De acordo com Isaia (2007), o cimento Portland é o mais importante material estrutural e da construção civil da atualidade. Pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história, descoberto no fim do século XIX e o seu uso intensivo no século XX. Os constituintes fundamentais do cimento Portland são a calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), o óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), certa proporção de magnésia ( $\text{MgO}$ ) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Tem-se ainda, como constituintes menores, impurezas, óxidos de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e outras substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento (BAUER, 2000).

Seu processo de fabricação é sucintamente descrito em três etapas:

- Moagem de pedra calcária e material argiloso.
- Cliquerização (queima do material a  $1400^\circ\text{C}$ )
- Adição de gesso e moagem do clínquer em pó fino

Além disso aditivos são amplamente empregados durante o processo de fabricação do Cimento Portland, tais como:

- Escória – é obtida como subproduto em processos metalúrgicos industriais (siderurgias).
- Material pozolânico – são materiais silicosos ou sílico – aluminosos que podem ou não possuir propriedades cimentantes

Segundo NEVILLE (1997), o processo de mistura e moagem pode ser feito com água e a seco, dependendo do teor de umidade e da natureza da matéria prima.

Ainda segundo NEVILLE (1997), no processo “úmido”, a moagem e a homogeneização da mistura de matérias-primas são executadas em forma de lama com teor de 30,0 a 40,0 % de água. No processo “seco”, a matéria-prima é britada e lançada em proporções adequadas em um moinho onde é secada e reduzida a um pó fino, denominado farinha crua.

## TIPOS DE CIMENTO PORTLAND

De acordo com a ABCP (2017), existem no Brasil oito principais tipos de cimento Portland, atendendo aos mais variados tipos de obras. Esses oito tipos de cimento são divididos em duas categorias, o cimento Portland Comum e o cimento Portland composto.

Segundo a NBR 5732 (1991), os cimentos Portland comuns são designados por siglas abaixo, que correspondem às adições presentes, ou não, e às suas classes de resistência, sendo:

CP I - Cimento Portland comum

CP I-S - Cimento Portland comum com adição

Já os cimentos Portland compostos são designados pela NBR 11578 por siglas que correspondem às adições e às suas classes de resistência.

CP II, que se subdivide em três categorias:

CP II-E - Cimento Portland composto com escória

CP II-Z - Cimento Portland composto com pozolana

CP II-F - Cimento Portland composto com fíler

CP III - Cimento Portland de Alto-Forno

CP IV - Cimento Portland Pozolânico

CP V-ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

RS - Cimento Portland Resistente a Sulfatos

BC - Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação

CPB - Cimento Portland Branco

Além dos tipos de cimentos Portland citados acima, e de muita importância para esse estudo, tem-se os cimentos de pega e endurecimento rápido. Tais cimentos são utilizados em juntas com vazamento e concreto jateado. Para essa necessidade geralmente são utilizadas misturas de cimento Portland e gesso ou cimento de aluminato de cálcio (CA), que segundo Neville (1997), tem tempo de pega em torno de 10 min.

Ainda segundo Neville (1997), também existem os chamados cimentos de pega regulada ou cimento de tamponamento, seu clínquer é produzido com a adição de Alita e fluoraluminato de cálcio, isso proporciona pega entre 3,0min a 5,0 min.

## 2.2 ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND

Segundo a NBR 13529 (2013), a argamassa é “um composto homogêneo de agregado (s) miúdo, aglomerante (s) inorgânico e água, contendo ou não aditivo ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”.

Existem vários tipos de argamassa, cada um preparado de acordo com a especificação acima, com diferenças que variam entre o tipo de agregado e os aditivos incorporados.

## 2.3 PEGA

Segundo Neville (1997), pega é o termo referente a mudança do estado fluido para o estado sólido. O autor ainda salienta que, embora durante a pega a pasta adquira certa resistência, para efeitos práticos, é importante distinguir pega de endurecimento, que se refere ao aumento de resistência da pasta de cimento depois da pega.

Além disso, para Bauer (2000), a pega é uma transformação nas propriedades mecânicas da pasta em fase inicial de endurecimento, consequentes de processo químico de hidratação. É um fenômeno arbitrariamente definido, ou seja, foi definido por pesquisadores, como o momento a pasta adquire determinada e estipulada rigidez, tornando-a imprópria ao trabalho. Essa conceituação se aplica tanto à argamassa quanto aos concretos nos quais a pasta de cimento está presente e como missão aglutinadora dos agregados.

### 2.4.1 - Tempos de pega

Em geral, pode-se dividir o fenômeno da pega em dois períodos distintos, o início e o fim.

A NM 65:2002, define tempo de início de pega, em condições de ensaio Normalizados, como o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao Cimento até o momento em que a agulha do aparato de Vicat penetra à pasta até uma profundidade de  $(4,0 \pm 1,0)$  mm da placa base. E o tempo de fim de pega, é o intervalo de tempo decorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha do aparato de Vicat penetra até uma profundidade de 0,5 mm na pasta.

Em geral, o início da pega ocorre a perda parcial da plasticidade da mistura. Já no fim da pega é o tempo que a mistura leva para adquirir resistência suficiente para suportar determinada pressão.

#### 2.4.2 - Fatores que influenciadores do tempo de pega

Para Coutinho (1973), o tempo de pega pode ser afetado por vários fatores, tais como, umidade do ar, agitação, temperatura e relação água/cimento.

Neville (1997) defende que para temperaturas baixa a pega é retardada, diminuindo com o aumento da temperatura, porém acima dos 30°C o efeito é inverso, ou seja, o tempo de pega volta a aumentar.

Além disso a composição química do cimento Portland também pode interferir no tempo de pega, devido a diferentes teores de aluminato tricálcio, silicato tricálcio, sulfatos, álcalis e impurezas.

## 2.4 ADITIVOS

Para Adriolo e Sgarboza, (1993), aditivos são substâncias introduzidas nas misturas de concretos ou argamassas com a finalidade de melhorar certas

Propriedades da mistura básica ou evitar algumas deficiências que não são

Possíveis de contornar com os materiais básicos. Aditivos são usualmente

Utilizados com os seguintes objetivos:

- Melhorar a trabalhabilidade;
- Retardar a pega;
- Acelerar a pega e conseqüentemente o endurecimento;
- Melhorar a durabilidade;
- Reduzir a água da mistura;
- Melhorar a cura;
- Melhorar a impermeabilidade do concreto;
- Causar expansão do concreto;
- Alterar a cor.

#### 2.4.1 - Aditivos modificadores de pega

Para Coutinho (1973), os aceleradores e retardadores são aditivos solúveis em água que atuam modificando a velocidade de dissolução dos constituintes químicos do cimento.

Mehta, (1994), relata que existem várias substâncias que podem ser utilizadas como aditivos retardadores e aceleradores do tempo de pega. Existem até substâncias que quando utilizadas em pequenas quantidades agem como retardadores, porém quando sua dosagem é aumentada elas passam a agir como aceleradores de pega.

#### 2.4.2 Aceleradores de tempo de pega

São aditivos que aceleram, tanto o início, quanto o fim da pega, podem, ou não, proporcionar alta resistência em idades iniciais da argamassa. A composição química básica desses aditivos são o aluminato, silicato e carbonato de cálcio. Tais substâncias atuam facilitando a dissolução da sílica e da cal. Geralmente a relação de proporção da quantidade dessas substâncias com a massa de cimento são diretamente proporcionais ao tempo de endurecimento da mistura.

Segundo a Vedacit (2005), quanto maior for a proporção de cimento no traço da massa, maior será a eficácia dos aditivos, portanto menor será o tempo de pega. idades iniciais. A empresa também alerta que existe risco de corrosão de armaduras devido a utilização de aditivos a base de cloreto e possível fissuração devido ao elevado calor de hidratação (reação exotérmica).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a determinação do tempo inicial e final de pega de pasta ou argamassa de cimento Portland é necessária uma padronização da relação água/cimento, ou seja, a quantidade de água e de cimento utilizada em todos os ensaios deve ser a mesma.

#### **3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Com intuito de organizar melhor o trabalho de pesquisa, foi elaborado um programa experimental que consiste de três etapas básicas fundamentais, das quais

se originam todo o trabalho experimental da pesquisa. O esquema a seguir ilustra tais etapas.

**Figura 1: Esquema do programa experimental elaborado**



**Fonte: O autor.**

Conforme explicitado na figura 1, A “Etapa A” consistiu na coleta de materiais para a realização da pesquisa. Tratam-se dos componentes da argamassa de cimento tais como: cimento, agregados e aditivos.

O quadro a seguir traz um detalhamento dos materiais obtidos durante a coleta, bem como, a quantidade obtida do mesmo.

**Quadro 1: Materiais, siglas e quantidade obtida.**

<b>Material</b>	<b>Sigla</b>	<b>Quantidade obtida</b>
Cimento CII F-32	C	50kg
Aditivo Acelerador de Pega	A	2kg
Aditivo Plastificante	P	1l
Aditivo Superplastificante	SP	600ml
Areia fina	Am	0,25m <sup>3</sup>

A “Etapa B”, tratou da caracterização do material obtido na “Etapa A”, ou seja, na obtenção e organização de dados sobre o material, como por exemplo: fórmula química, temperatura de fusão e outras características, dispostas no quadro 2 abaixo.

**Quadro 2: Caracterização do Cimento “C”.**

Característica	
Nomenclatura comercial	CPII-F32
Clínquer +Gesso	75 a 89%
Material Carbonático	11 a 25%
Estado físico	Pó cinza
pH em Solução Aquosa	$12 \leq \text{pH} \leq 14$
Massa Específica Aparente	0,9 a 1,2 g/cm <sup>3</sup> a 20°C
Massa Específica Absoluta	$2,8 \leq \gamma_r \leq 3,2$ g/cm <sup>3</sup> a 20°C
Solubilidade em Água	até 1,5g/l a 20°C

Fonte: Votorantim (2020).

**Quadro 3: Caracterização do Aditivo acelerador de pega “A”.**

Característica	
Nomenclatura comercial	Acelerador de pega
Composição	Sulfato de alumínio
Fórmula Química	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
Estado físico	Pó branco
pH em Solução Aquosa	$12 \leq \text{pH} \leq 14$
Densidade	2.672 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: <https://www.quimicacredie.com.br/>.

**Quadro 4: Caracterização do Aditivo Plastificante “P”.**

	<b>Característica</b>
Nomenclatura comercial	ADB-POLYPLAST 146
Composição	Lignina
Fórmula química	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>
Estado físico	Líquido castanho escuro
pH em Solução Aquosa	10,00
Massa Específica Aparente	1,20 kg/L

Fonte: ADIBLOCK (2018).

Já na “Etapa C” foram realizados os ensaios experimentais propriamente ditos, no caso deste trabalho, ensaios de tempo de pega inicial e final. Tais ensaios serão descritos detalhadamente, mais adiante, na seção 3.2 desse capítulo.

### 3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

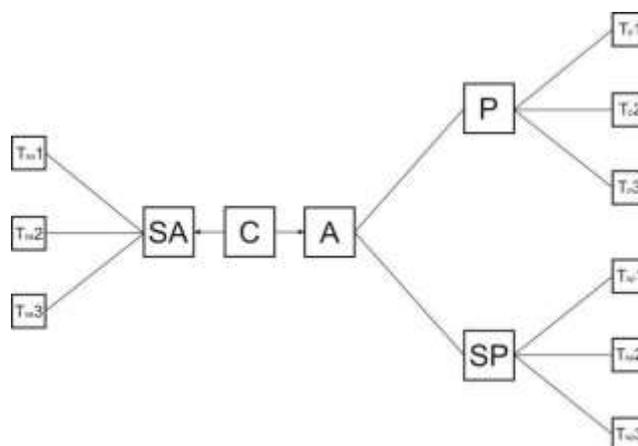
Em continuidade com o programa experimental deste trabalho, descrito na seção anterior, realizou-se a “Etapa C” que consiste nos ensaios laboratoriais de tempo de pega da argamassa de cimento Portland. Tais ensaios foram realizados segundo as normas da ABNT (2018) e (2017). Para realização de tais procedimentos foram utilizados os seguintes aparatos:

- Balança com resolução de 0,01g
- Misturador
- Espátula metálica;
- Cronômetro;
- Tigelas de vidro;
- Aparelho de Vicat com sonda de Tetmajer, e agulhas de início e fim de pega,
- Molde tronco – cônico;
- Proveta;
- Béquer;

### 3.3 MATRIZ DE ENSAIO

No intuito de organizar o procedimento de ensaio, foi elaborada uma matriz de ensaios que sintetiza as combinações experimentais almejadas. A matriz possui dois ramos principais o ramo da esquerda trata da combinação da mistura do cimento e areia sem aditivos, já o ramo da direita trata das combinações com o uso de aditivos. Essa matriz está esquematizada na figura 2:

**Figura 2: Matriz de ensaios.**



**Fonte: O autor.**

Onde:

C – Cimento + Areia fina lavada

AS – Sem aditivos

A – Aditivo acelerador de Pega.

P – Aditivo plastificante.

SP- Aditivo hiperplastificante.

T<sub>p</sub>1 a T<sub>sp</sub>3 – Combinações com aditivos.

T<sub>sa</sub>1 a T<sub>sa</sub>3 - Combinações sem aditivos.

Assim, de acordo com a matriz de ensaios, para cada uma das combinações de aditivos (T<sub>x</sub>Y), foram feitas três tentativas para a determinação da quantidade de água na mistura da argamassa, mantendo-se sempre a mesma quantidade de aditivos. Para o aditivo plastificante, foram utilizadas as quantidades mínimas estabelecidas pelo fabricante, já para o aditivo acelerador de pega, foram utilizadas as quantidades máximas estabelecidas.

É importante deixar claro que, o intuito desse trabalho é buscar um tipo de argamassa com bastante fluidez, portanto não foi definido um traço de argamassa com consistência normal, segundo a norma da ABNT (2017), simplesmente adicionaremos água aos poucos até que a fluidez necessária fora atingida e assim, foi determinado o tempo de pega da mesma, este sim, de acordo com a norma ABNT (2018).

#### **4 RESULTADOS**

Após a aplicação do procedimento descrito na seção anterior, foram obtidos dados sobre a quantidade de água e o tempo de pega de cada amostra testada. Esses dados foram organizados nas tabelas 5,6 e 7.

O quadro 5 mostra a relação entre água e cimento utilizada em cada ensaio. Observa-se que, para cada ensaio a massa de cimento foi mantida constante (500g), variando-se a quantidade de água na medida em que se obteve uma argamassa suficientemente fluída.

**Quadro 5: Quantidade de água referente ao traço da argamassa.**

<b>Combinação</b>	<b>Tentativa</b>	<b>Massa de água (g)</b>	<b>Massa de cimento(g)</b>
T <sub>p1</sub>	01	250	500
	02	240	500
	03	230	500
T <sub>p2</sub>	01	250	500
	02	240	500
	03	230	500
T <sub>p2</sub>	01	250	500
	02	240	500
	03	230	500
T <sub>sp1</sub>	01	180	500
	02	170	500
	03	160	500
T <sub>sp2</sub>	01	180	500
	02	170	500
	03	160	500
T <sub>sp3</sub>	01	180	500
	02	170	500
	03	160	500
T <sub>sa1</sub>	01	300	500
T <sub>sa2</sub>	01	290	500
T <sub>sa3</sub>	01	280	500

**Fonte: O autor**

No Quadro 6 são apresentados, a massa de cimento, areia e aditivo utilizado para os ensaios de uma forma geral. Também foi apresentado no quadro 7 a proporção de aditivo utilizado em relação a massa de cimento.

**Quadro 6: Quantidades de agregado e aditivo em relação a massa de cimento**

<b>Aditivo</b>	<b>Massa de cimento (g)</b>	<b>Massa de areia fina lavada (g)</b>	<b>Massa de aditivo (g)</b>	<b>Porcentagem do aditivo em relação ao cimento (%)</b>
<b>A</b>	500	568	15	3
<b>P</b>	500	568	5	1
<b>SP</b>	500	568	5	1

Fonte: O autor

Finalmente, no quadro 7, é apresentado o resultado de cada um dos ensaios de tempo de pega, realizados por meio do aparelho de Vicat. Foram verificados tempos iniciais e finais de pega para cada amostra identificada na matriz de ensaios.

**Quadro 7: Resultados de tempo de pega para cada combinação.**

<b>Matriz</b>	<b>Tempo (min)</b>							
	<b>1º Ensaio</b>		<b>2º Ensaio</b>		<b>3º Ensaio</b>		<b>Média</b>	
	<b>Início</b>	<b>Fim</b>	<b>Início</b>	<b>Fim</b>	<b>Início</b>	<b>Fim</b>	<b>Início</b>	<b>Fim</b>
T <sub>sa1</sub>	125	205	130	195	140	205	131	202
T <sub>sa2</sub>	120	210	125	200	115	200	120	203
T <sub>sa3</sub>	110	200	130	190	105	195	115	195
T <sub>p1</sub>	30	100	25	100	35	105	30	102
T <sub>p2</sub>	30	95	25	90	25	90	27	92
T <sub>p3</sub>	25	90	20	85	15	85	20	87
T <sub>sp1</sub>	150	NO*	160	NO*	150	NO*	153	NO*
T <sub>sp2</sub>	150	NO*	130	NO*	135	NO*	138	NO*
T <sub>sp3</sub>	135	NO*	140	NO*	135	NO*	136	NO*

\*Não observado

Fonte: O autor

## 5 DISCUSSÕES

Após a realização dos ensaios, observou-se cuidadosamente o Quadro 8, de resultados de tempo de pega. Conforme já mencionado este quadro apresenta o tempo de pega final e inicial de todas as amostras ensaiadas. A partir desses resultados pode-se observar que a utilização de aditivos muda significativamente o tempo de pega da argamassa, sendo que o aditivo hiperplastificante aumenta de tal forma o tempo de pega que, para os fins determinados neste trabalho, não seria interessante a sua utilização. Já o aditivo plastificante a base de lignina aumenta um pouco o tempo de pega, porém fornece a argamassa fluidez interessante para os fins estudados. O aditivo acelerador de pega se mostrou eficiente e sua utilização aparenta ser muito interessante para esse tipo de argamassa. De volta ao quadro de resultados de tempo de pega, fora destacado em amarelo a linha do ensaio que se mostrou de maior interesse para esse estudo. O ensaio  $T_{p3}$  mostra um tempo médio de início de pega de 20 minutos e de final de pega de 87 minutos, coerentes com os resultados de Grenzel (2019).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alguns dos traços utilizados neste trabalho ( $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$ ,  $T_{p3}$ ) apresentaram tempos de pega dentro dos limites de utilização para a manufatura aditiva (impressão 3D). Não foi possível a realização do estudo da influência da temperatura nos traços, devido as condições sociais causadas pela pandemia que acomete a sociedade neste momento.

Vale salientar que o projeto desenvolvido não visa esgotar todas as possibilidades da construção do dispositivo em questão. Sendo este um pequeno aporte para a área no intuito de contribuir para futuros projetos.

## REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – **Versatilidade do cimento brasileiro**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro>. Acesso em: 10/02/2021.

ADRIOLO, F. R.; SGARBOZA, B. **Inspeção e controle de qualidade do concreto**. São Paulo: News work, 1993. 572p.

AMBAR. Custo da construção civil: inovação é a chave para reduzir gastos. **Ambartech**, 2019. Disponível em: <https://ambar.tech/2019/06/27/custo-da-construcao-civil-inovacao-e-a-chave-para-reduzir-gastos/>. Acesso em: 10/02/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **Cimento Portland comum – Especificação: NBR 5732**. Rio de Janeiro, 1991

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **Cimento Portland – Determinação do tempo de pega: NBR NM 65**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia: NBR 13529**. Rio de Janeiro, 2013

BATTAGIN, A.F. Uma breve história do cimento Portland. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, 2009. Disponível em: < <https://abcp.org.br/basico-sobre->

cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/ >. Acesso em: 20 mai. de 2021.

BAUER, Luiz A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC – v.1 - 2000.

COUTINHO, A. de S. **Fabrico e propriedades do betão**, vol.I. Lisboa, 1973. 489p.

GRENZEL, L. Y. S. **Estudo das técnicas de fabricação aditiva (impressão 3d) e da sua aplicação na construção civil**. Tese de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2019.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997. 828p.

NEVILLE, Adam; Brooks, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: Editora Bookman - 2013.

PACHECO A. **Mais engenharia** 2017 Disponível em: <http://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/impressao-3d-mercado-da-construcao-civil/> Acesso em: 25/03/2020

SANTOS, I. M. O. **Análise bibliográfica da aplicação de manufatura aditiva no ensino de engenharia**. Tese de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Hermínio Ometto, Araras, 2018.

SILVA, G de C. SILVA, J. V. L. de O. CASTRO, S. B. M. N. OLIVEIRA, T.P. Estudo sobre o uso da impressão 3d na construção civil. **VI Semana de Engenharia do Maranhão**. Anais. São Luís, 2018.

VEDACIT. **Manual Técnico**, 5ª Edição-2005. Disponível em: <http://www.vedacit.com.br> Acesso em: 02/11/2020.