

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



**Felipe Mello dos Reis**

**DESENVOLVIMENTO DE CIMENTO ATIVADO  
ALCALINAMENTE MONOCOMPONENTE COM  
PRECURSORES SÓLIDOS DE BAIXO TEOR DE  
CÁLCIO E FONTES ALCALINAS ALTERNATIVAS.**

Trabalho de Graduação  
2025

**Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica**

**Felipe Mello dos Reis**

**DESENVOLVIMENTO DE CIMENTO ATIVADO  
ALCALINAMENTE MONOCOMPONENTE COM  
PRECURSORES SÓLIDOS DE BAIXO TEOR DE  
CÁLCIO E FONTES ALCALINAS ALTERNATIVAS.**

Orientador

Prof. Dr. João Cláudio Bassan de Moraes (ITA)

Coorientadora

Pamela Rodrigues Passos Severino (ITA)

**ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA**

**SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Divisão de Informação e Documentação**

dos Reis, Felipe Mello

Desenvolvimento de cimento ativado alcalinamente monocomponente com precursores sólidos de baixo teor de cálcio e fontes alcalinas alternativas. / Felipe Mello dos Reis.

São José dos Campos, 2025.

30f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2025. Orientador: Prof. Dr. João Cláudio Bassan de Moraes. Coorientadora: Pamela Rodrigues Passos Severino.

1. Cimento. 2. Geopolímero. 3. Monocomponente. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

DOS REIS, Felipe Mello. **Desenvolvimento de cimento ativado alcalinamente monocomponente com precursores sólidos de baixo teor de cálcio e fontes alcalinas alternativas..** 2025. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Felipe Mello dos Reis

TÍTULO DO TRABALHO: Desenvolvimento de cimento ativado alcalinamente monocomponente com precursores sólidos de baixo teor de cálcio e fontes alcalinas alternativas..

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2025

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

---

Felipe Mello dos Reis  
Rua H8A, Ap. 113  
12.228-460 – São José dos Campos–SP

# **DESENVOLVIMENTO DE CIMENTO ATIVADO ALCALINAMENTE MONOCOMPONENTE COM PRECURSORES SÓLIDOS DE BAIXO TEOR DE CÁLCIO E FONTES ALCALINAS ALTERNATIVAS.**

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

---

Felipe Mello dos Reis

Autor

---

João Cláudio Bassan de Moraes (ITA)

Orientador

---

Pamela Rodrigues Passos Severino (ITA)

Coorientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cláudia Azevedo Pereira

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 26 de maio de 2025.

Aos amigos da Graduação e Pós-Graduação do ITA por motivarem tanto a criação deste template pelo Fábio Fagundes Silveira quanto por motivarem a mim e outras pessoas a atualizarem e aprimorarem este excelente trabalho.

# Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Dr. Donald E. Knuth, por ter desenvolvido o T<sub>E</sub>X.

Ao Dr. Leslie Lamport, por ter criado o L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, facilitando muito a utilização do T<sub>E</sub>X, e assim, eu não ter que usar o Word.

Ao Prof. Dr. Meu Orientador, pela orientação e confiança depositada na realização deste trabalho.

Ao Dr. Nelson D'Ávila, por emprestar seu nome a essa importante via de trânsito na cidade de São José dos Campos.

Ah, já estava esquecendo... agradeço também, mais uma vez ao T<sub>E</sub>X, por ele não possuir vírus de macro :-)

*"If I have seen farther than others,  
it is because I stood on the shoulders of giants."*

— SIR ISAAC NEWTON

# Resumo

Na busca por alternativas mais sustentáveis ao cimento Portland, os cimentos ativados alcalinamente têm sido amplamente estudados. No entanto, a maioria dos processos de mistura ocorre em duas etapas, o que impacta a viabilidade e a eficiência construtiva. Um avanço importante nessa área é o desenvolvimento de sistemas monocomponentes, que simplificam a produção e tornam a tecnologia mais acessível e prática. Ainda assim, os estudos atuais se concentram em precursores ricos em cálcio, enquanto o uso de fontes alcalinas tradicionais apresenta desafios relacionados à segurança e ao custo. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um cimento ativado alcalinamente monocomponente utilizando precursores sólidos de baixo teor de cálcio, como sílica ativa e metacaulim, e fontes alcalinas mais seguras e acessíveis, como carbonato de potássio e hidróxido de cálcio, garantindo resistência mecânica adequada e maior viabilidade para aplicação na construção civil.



# Abstract

In the search for more sustainable alternatives to Portland cement, alkali-activated cements have been extensively studied. However, most mixing processes occur in two separate steps, limiting their feasibility and constructive efficiency. A significant advancement in this field is the development of one-part (just-add-water) systems, which simplify production and make the technology more accessible and practical. Nonetheless, current studies mainly focus on calcium-rich precursors, while the use of conventional alkaline activators raises concerns related to safety and cost. This work proposes the development of a one-part alkali-activated cement using low-calcium solid precursors, such as silica fume and metakaolin, along with safer and more affordable alkaline sources, such as potassium carbonate and calcium hydroxide. The goal is to ensure adequate mechanical performance while enhancing the viability of these materials for application in the construction industry.

# Lista de Figuras

FIGURA A.1 –Uma figura que está no apêndice . . . . . 29

# Lista de Tabelas

TABELA 2.1 – Exemplo de uma Tabela . . . . .	17
TABELA 3.1 – Propriedades químicas dos reagentes sólidos. . . . .	19
TABELA 3.2 – Resultados de requisitos físicos e químicos da areia de quartzo padronizada. . . . .	19
TABELA 3.3 – Composição granulométrica das frações da areia de quartzo padronizada. . . . .	19
TABELA 3.4 – Composições das argamassas geopoliméricas produzidas. . . . .	21

# Lista de Abreviaturas e Siglas

$CO_2$	dióxido de carbono
GHG	greenhouses gases
AAM	alkali-activated materials
$SiO_2$	sílica
$Al_2O_3$	alumina
NASH	sodium-alumino-silicate hydrate
CASH	calcium-alumino-silicate hydrate
$K_2CO_3$	carbonato de potássio
$Ca(OH)_2$	hidróxido de cálcio
MK	metakaolin
SF	silica fume
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
EDS	Energy dispersive X-ray spectroscopy
XRD	X-ray diffraction
$OH^-$	hidroxila
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ASTM	American Society for Testing and Materials

# Lista de Símbolos

$a$	Distância
$\mathbf{a}$	Vetor de distâncias
$\mathbf{e}_j$	Vetor unitário de dimensão $n$ e com o $j$ -ésimo componente igual a 1
$\mathbf{K}$	Matriz de rigidez
$m_1$	Massa do cumpim
$\delta_{k-k_f}$	Delta de Kronecker no instante $k_f$

# Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .	17
2.1	templates . . . . .	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	18
3.1	Materiais e caracterização . . . . .	18
3.2	Produção do metacaulim . . . . .	20
3.3	Caracterização físico-químico dos precursores sólidos . . . . .	20
3.4	Produção das argamassas e pastas geopoliméricas . . . . .	20
3.4.1	Formulação das misturas . . . . .	20
3.4.2	Procedimento de mistura . . . . .	22
3.4.3	Moldagem e cura dos corpos de prova . . . . .	22
3.5	Caracterização das misturas geopoliméricas . . . . .	23
3.5.1	Ensaio no estado endurecido . . . . .	23
3.5.2	Análises microestruturais . . . . .	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	25
5	CONCLUSÃO . . . . .	27
	REFERÊNCIAS . . . . .	28
	APÊNDICE A – TÓPICOS DE DILEMA LINEAR . . . . .	29
A.1	Uma Primeira Seção para o Apêndice . . . . .	29
	ANEXO A – EXEMPLO DE UM PRIMEIRO ANEXO . . . . .	30

---

**A.1 Uma Seção do Primeiro Anexo . . . . . 30**

# 1 Introdução

Cimento é um dos principais materiais na construção civil, sendo utilizado desde a construção de residências e edifícios, até pontes e rodovias. Em países em desenvolvimento como o Brasil, o cimento é amplamente utilizado devido à sua baixa complexidade e custo, que permite seu uso em escala em qualquer local. O aumento exponencial da produção de cimento, 10 vezes maior que o crescimento populacional mundial (DIVISION, 1995) veio acompanhado de uma parcela expressiva da emissão de gases de efeito estufa (GHG), devido ao processo de calcinação do calcário que transforma o carbonato de cálcio em óxido de cálcio de gás carbônico em fornos de alta temperatura. A produção do Cimento Portland gera em média 842 kg de  $CO_2/t$  de clinker produzido (ANDREW, 2018), representando 5% das emissões antropogênicas de GHG (IEA; WBCSD, 2009).

Neste contexto, surge a necessidade do desenvolvimento de novos materiais cimentícios que apresentem três propriedades principais: baixa emissão de GHG, baixo custo e alta resistência/durabilidade (SCRIVENER *et al.*, 2018).

Nos últimos anos, os materiais ativados alcalinamente (AAM) - precursores sólidos ricos em sílica ( $SiO_2$ ) e alumina ( $Al_2O_3$ ), capazes de formarem géis aglomerantes constituídos de sódio-alumino-silicato hidratado (NASH) e cálcio-alumino-silicato hidratado (CASH) - ganharam destaque devido ao seu potencial para substituir parcial ou totalmente o cimento Portland, reduzindo significativamente as emissões de GHG associadas à produção de cimento convencional.

Existem duas maneiras que os AAM podem ser produzidos, misturando o precursor sólido com um ativador alcalino líquido, ou com uma fonte alcalina sólida e água. Os sistemas de duas partes foram amplamente empregados no desenvolvimento inicial deste mercado devido ao elevado desempenho mecânico, durabilidade e resistência química, no entanto, os sistemas de uma parte são uma tecnologia mais escalável devido ao menor risco de manuseio e armazenamento dos ativadores sólidos (PROVIS, 2018).

Os precursores sólidos ricos em cálcio são mais utilizados por diversos fatores, como o rápido ganho de resistência (PROVIS; BERNAL, 2014), menor dependência de cura térmica (KE *et al.*, 2021), além de que os produtos da reação CASH tendem a formar uma matriz mais densa e menos porosa que os géis de NASH (BERNAL *et al.*, 2014). Neste sentido,



existe uma lacuna técnica e científica na formulação e caracterização de geopolímeros monocomponentes de baixo teor de cálcio.

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um cimento ativado alcalinamente monocomponente com foco em precursores sólidos de baixo teor de cálcio, especificamente metacaulim e sílica ativa, combinados a fontes alcalinas alternativas mais seguras e acessíveis, como carbonato de potássio ( $K_2CO_3$ ) e hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ). Essa abordagem visa contribuir para a formulação de ligantes mais sustentáveis, seguros e com desempenho adequado para aplicações na construção civil, alinhando-se às diretrizes contemporâneas de construção de baixo impacto ambiental.

## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 templates

Exemplo de uma tabela.

TABELA 2.1 – Exemplo de uma Tabela

Parâmetro	Unidade	Valor da simulação	Valor experimental
Comprimento, $\alpha$	$m$	8,23	8,54
Altura, $\beta$	$m$	29,1	28,3
Velocidade, $v$	$m/s$	60,2	67,3

Exemplo de uma equação

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}}\right) - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau^T. \tag{2.1}$$

## 3 Materiais e métodos

### 3.1 Materiais e caracterização

Para o desenvolvimento das argamassas geopoliméricas monocomponentes, utilizaram-se os seguintes componentes:

- Metacaulim (MK) fornecido pela empresa XXX;
- Sílica ativa (SF) fornecida pela empresa XXX;
- Carbonato de potássio sólido da empresa XXX;
- Hidróxido de cálcio da empresa XXX;
- Areia padronizada de quartzo da empresa XXX;
- Água destilada.

Os aglomerantes utilizados foram a sílica ativa e o metacaulim. Entretanto, a pureza encontrada no mercado do metacaulim não é suficiente para garantir precisão na caracterização das amostras cimentíceas. Portanto, ele foi produzido a partir do caulim comercial, conforme detalhado na Seção 3.2. Já as fontes alcalinas são encontradas no mercado com alta pureza, portanto foi utilizado a composição físico-química fornecida pelo fabricante.

A composição química dos materiais empregados na formulação das argamassas é apresentada na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Propriedades químicas dos reagentes sólidos.

Material	Composição química	Especificação (%)
Sílica ativa	$SiO_2$	XX,X
	$Al_2O_3$	XX,X
	$MgO$	XX,X
	$CaO$	XX,X
	$Fe_2O_3$	XX,X
Carbonato de potássio	$K_2CO_3$	XX,X
Hidróxido de cálcio	$Ca(OH)_2$	XX,X

Além disso, a areia de quartzo utilizada segue os padrões estabelecidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), representados na Tabelas 3.2 e 3.3.

TABELA 3.2 – Resultados de requisitos físicos e químicos da areia de quartzo padronizada.

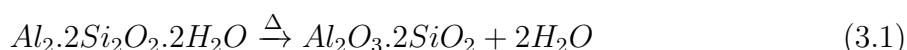
Propriedade	Resultado	Requisito ABNT NBR 7214:2015
Teor de sílica (ABNT NBR 14656:2001)	96,5%	$\geq 95\%$ , em massa
Umidade (ABNT NBR 7214:2015)	0,0%	$\leq 0,2\%$ , em massa
Matéria orgânica (ABNT NBR 17053:2022)	Mais clara ou igual à cor da solução padrão	Cor da solução padrão de ácido tânico a 2%

TABELA 3.3 – Composição granulométrica das frações da areia de quartzo padronizada.

Fração	Intervalo entre peneiras	Porcentagem em massa (%)	
		Resultado	Requisito ABNT NBR 7214:2015
16	(2,4 mm e 2,0 mm)	0	$\leq 10$
16	(2,0 mm e 1,2 mm)	97	$\geq 90$
30	(1,2 mm e 0,6 mm)	99	$\geq 95$
50	(0,6 mm e 0,3 mm)	96	$\geq 95$
100	(0,3 mm e 0,15 mm)	95	$\geq 95$

## 3.2 Produção do metacaulim

O metacaulim foi obtido a partir da calcinação do caulim a 700°C por 1 hora, em um forno elétrico da marca XXX. O tempo de calcinação e temperatura ótimos foram determinados a partir de ensaios prévios, onde foi avaliado o rendimento da calcinação. Para garantir a homogeneidade do material, foram utilizadas duas formas rasas com altura máxima de XX mm. A transformação da caulinita cristalina em metacaulinita amorfa é representada pela Equação 3.1.



## 3.3 Caracterização físico-químico dos precursores sólidos

A caracterização físico-química dos precursores sólidos foi realizada nos laboratórios do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), localizado em São José dos Campos-SP.

A espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) permitiu determinar a proporção dos elementos químicos, realizada juntamente com a microscopia eletrônica de varredura (SEM) para avaliação da morfologia dos precursores sólidos.

Além disso, a difração de raios-X (XRD) foi utilizada para determinar a fase cristalina dos metacaulim e da sílica ativa.

A fim de verificar a remoção dos grupos hidroxilas ( $OH^-$ ) e a presença das ligações  $Al-Si-O$ , foi realizada a espectroscopia de infravermelho (FTIR) em um espectrômetro da marca XXX.

Por fim, a distribuição do tamanho de partícula dos sólidos empregados foi realizada através do ensaio de granulometria a laser. Partículas menores e mais irregulares tendem a apresentar maior área superficial específica e, portanto, maior reatividade em contato com a fonte alcalina, o que pode influenciar diretamente no desempenho mecânico e nas propriedades reológicas das argamassas geopoliméricas.

## 3.4 Produção das argamassas e pastas geopoliméricas

### 3.4.1 Formulação das misturas

O desenvolvimento das argamassas geopoliméricas monocomponentes seguiu um planejamento experimental sistemático, visando avaliar o efeito das diferentes composições nas propriedades físico-químicas e mecânicas.

As variáveis consideradas no estudo foram:

- Proporção entre os precursores sólidos (metacaulim e sílica ativa);
- Teor de ativadores alcalinos ( $K_2CO_3$  e  $Ca(OH)_2$ );
- Relação água/sólidos (a/s);
- Relação areia/material cimentício (ar/c).

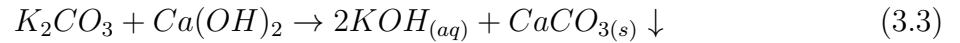
A variável de estudo deste experimento é a relação  $Si/Al$ , que será variada de 1,0 até 5,0, sendo a relação  $Si/Al$  calculada com base na proporção de metacaulim e sílica ativa.

Inicialmente, a proporção de água/sólidos foi determinada de maneira análogo a [ref xxxx](#), visando garantir a trabalhabilidade adequada das pastas.

Além disso, devido ao balanço estequiométrico, a relação  $Al/K$  será constante e igual a 1, conforme a formula empírica 3.2 (DAVIDOVITS, 1991), onde  $M$  é um cátion de sódio ou potássio.

$$M_n \{(SiO_2)_z AlO_2\}_n \cdot wH_2O \quad (3.2)$$

Ademais, a relação  $K/Ca$  será constante e igual a 2, respeitando a reação de precipitação do carbonato de potássio com o hidróxido de cálcio, conforme a Equação 3.3.



Tendo as proporções da pasta bem definidas, a produção das argamassas manteve a proporção de 1:3 entre o aglomerante e a areia, conforme a literatura [ref XXXX](#).

A Tabela 3.4 apresenta as diferentes formulações produzidas, com as respectivas proporções em massa dos componentes.

TABELA 3.4 – Composições das argamassas geopoliméricas produzidas.

Amostra	Precursores (%)		Ativadores (%)		a/s	ar/c	Si/Al
	MK	SF	$K_2CO_3$	$Ca(OH)_2$			
AGP1	XX	XX	X,X	X,X	X,XX	X,X	1,0
AGP2	XX	XX	X,X	X,X	X,XX	X,X	2,0
AGP3	XX	XX	X,X	X,X	X,XX	X,X	3,0
AGP4	XX	XX	X,X	X,X	X,XX	X,X	4,0
AGP5	XX	XX	X,X	X,X	X,XX	X,X	5,0

### 3.4.2 Procedimento de mistura

A produção das misturas seguiu os procedimentos normatizados. Para a produção das argamassas e ensaio de compressão, seguiu-se os procedimentos da norma brasileira (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019), já para a produção das pastas, optou-se pela norma americana (ASTM International, 2006), uma vez que a norma brasileira não especifica o procedimento de mistura para pastas cimentícias sem agregado miúdo. Ambos os procedimentos foram adaptados para o preparo de amostras de volume reduzido.

### 3.4.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para o ensaio de compressão, os corpos de prova foram preparados em moldes prismáticos de dimensões  $XX \times XX \times XX$  mm, previamente lubrificados com desmoldante à base de óleo.

Para cada composição, foram moldados 9 corpos de prova, destinados aos ensaios nas idades de 1, 3 e 7 dias (3 corpos de prova para cada idade). Não foi necessário realizar os testes com 28 dias pois a cura térmica dos aglomerantes empregados apresenta alto ganho de resistência inicial, conforme demonstrado na literatura [ref XXX](#).

Optou-se por realizar a cura térmica em uma estufa mantida a  $(60 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa mínima de 95% por 24 horas, conforme recomendado na norma [\(??\)](#), para garantir a ativação dos aglomerantes e acelerar o processo de cura. Vale ressaltar que o desmolde foi feito 24 horas após o início do processo de cura.

A desmoldagem foi realizada após 24 horas da moldagem, e os corpos de prova foram imediatamente transferidos para as condições de cura correspondentes até a idade de ensaio.

Para as análises microestruturais, pequenas amostras foram separadas, tendo a hidratação interrompida por imersão em álcool etílico e filtragem a vácuo, seguido de secagem em estufa a  $40^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Tais amostras foram armazenadas em recipientes herméticos para evitar a uma nova hidratação.

## 3.5 Caracterização das misturas geopoliméricas

### 3.5.1 Ensaios no estado endurecido

#### 3.5.1.1 Resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de provas foram inseridos em uma prensa hidráulica da marca XXX, modelo XXX, aplicando-se carga com velocidade de XXX N/s até a ruptura. A resistência foi calculada pela equação:

$$R_c = \frac{F_c}{A_t} \quad (3.4)$$

Onde:

- $R_c$  é a resistência à compressão, em MPa;
- $F_c$  é a carga máxima aplicada, em N;
- $A_t$  é a área da seção transversal, em mm<sup>2</sup>.

Para análise estatística, realizou-se o teste de Tukey, permitindo identificar diferenças significativas entre os grupos de amostras, considerando um nível de significância de XXX%.

### 3.5.2 Análises microestruturais

#### 3.5.2.1 Difração de raios-X (XRD)

As análises de difração de raios-X foram realizadas em amostras moídas das pastas, com granulometria inferior a 75 µm, nas idades de 7 e 28 dias. Utilizou-se um difratômetro da marca XXX, modelo XXX.

#### 3.5.2.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho foi realizada em amostras moídas das pastas, com granulometria inferior a 45 µm, nas idades de 1, 3 e 7 dias. Utilizou-se um espectrômetro da marca XXX, modelo XXX, na faixa de XXX a XXX cm<sup>-1</sup>, com resolução de XXX cm<sup>-1</sup> e XXX varreduras.



### 3.5.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (SEM)

A análise microestrutural das pastas foi realizada por microscopia eletrônica de varredura, utilizando um microscópio da marca **XXX**, modelo **XXX**, acoplado a um espectrômetro de energia dispersiva de raios-X (EDS). As amostras foram preparadas a partir de fragmentos cilíndricos das pastas moldadas em um canudo de plástico descartável.

## 4 Resultados e discussão

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed sit amet magna auctor, consectetur orci eu, mattis enim. Nulla vulputate ligula odio, nec cursus lacus rhoncus nec. Vivamus laoreet rutrum quam, ut pharetra dui dapibus quis. Etiam vel malesuada mi. Ut turpis massa, sodales ac turpis vel, varius laoreet sapien. Ut imperdiet, velit laoreet placerat pellentesque, arcu erat elementum elit, ut tempus nulla nibh sit amet purus. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus.

Aenean ipsum ex, hendrerit et dapibus ut, imperdiet eu tellus. Duis tincidunt orci non fermentum rhoncus. Aenean nec sapien ultrices, lobortis nisl vel, ornare odio. Cras feugiat, erat sed gravida pellentesque, massa massa eleifend dolor, eget efficitur libero lacus nec diam. Morbi quis accumsan erat, et laoreet tortor. Etiam eu dolor fringilla, commodo est in, suscipit nunc. Fusce sit amet iaculis eros, cursus accumsan leo. Praesent pellentesque tortor ac tortor gravida fermentum. Praesent sed enim orci. Sed tincidunt hendrerit vulputate. Maecenas vitae purus vitae lorem semper malesuada sed ut ipsum. Curabitur ac justo vel turpis mattis tincidunt. Nulla at imperdiet dolor. Morbi faucibus eget tellus interdum auctor.

Donec aliquam interdum ipsum vitae bibendum. Praesent vitae aliquam purus. Fusce non nunc in diam consectetur tristique. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia curae; Cras porta metus mauris, in congue leo molestie vitae. Duis tincidunt, neque nec vulputate aliquam, purus sapien luctus neque, id molestie nunc velit non dolor. Curabitur lacinia libero ut egestas congue. Aenean ut tellus id erat volutpat dictum at nec massa. Cras ullamcorper cursus risus ac sodales. Nunc enim tellus, malesuada dapibus accumsan ac, auctor finibus lorem. Aliquam erat volutpat. Curabitur eget suscipit neque. Quisque interdum sem eu rutrum gravida. In hac habitasse platea dictumst. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.

Mauris luctus euismod purus vitae volutpat. Ut aliquam posuere nibh vitae consequat. Nam ultricies maximus orci, ac placerat enim ornare ac. Fusce condimentum metus tellus, pharetra ultricies sem semper pellentesque. Integer leo metus, finibus sed tempor nec, cursus ultricies augue. Nunc vel convallis diam. Proin nec elit nisl. Etiam justo tortor, condimentum eu sagittis vitae, iaculis quis erat. Donec vulputate et nibh non consequat.

Suspendisse a lobortis justo.

Sed non ipsum id nulla facilisis bibendum non sit amet purus. Integer non tristique neque. In id bibendum enim. Phasellus condimentum finibus augue, ut ultrices nulla tincidunt ac. Vivamus eget mauris sed velit dapibus dictum scelerisque nec nisl. Curabitur mollis sapien a odio vulputate ultricies. Aenean facilisis eget ipsum non vestibulum. Sed tortor odio, mollis pulvinar mi id, rhoncus facilisis eros. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In urna turpis, euismod non fringilla a, sagittis id libero. Fusce vulputate feugiat nunc vel dictum. Quisque vestibulum ex non faucibus vehicula. Proin vel vulputate tortor. Sed a leo sollicitudin, ultrices sapien at, rutrum dui. Curabitur lectus libero, rhoncus nec posuere ut, porttitor id mauris.

## 5 Conclusão

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam venenatis augue id augue ultrices, et gravida magna vehicula. Cras volutpat suscipit iaculis. Praesent varius ac orci sed ultrices. Vivamus vestibulum molestie lorem. Maecenas id congue tortor. Aliquam erat volutpat. Nullam ornare tortor et nunc sagittis laoreet. Sed at turpis et quam facilisis elementum. Nullam ultrices elit ut accumsan ultricies. Nulla sit amet tellus lacus. Vestibulum ac lectus velit. Donec nunc odio, mattis nec orci sed, porta lobortis lectus.

Proin ultricies elit vitae mi efficitur eleifend. Nulla non lorem consectetur, placerat dui quis, feugiat urna. Quisque sed ligula massa. Donec finibus placerat orci, eget mollis justo rutrum a. Sed luctus feugiat congue. Phasellus libero felis, tempor quis rutrum pretium, porttitor ac nisi. Praesent euismod malesuada enim a rhoncus. Aliquam gravida fringilla aliquam. Proin nunc lorem, convallis fringilla eleifend et, tempus quis orci. Phasellus bibendum, tellus eu elementum posuere, odio lacus maximus eros, nec lobortis lectus nisi a turpis. Vivamus viverra felis et dolor viverra interdum. Nulla convallis nisi eu sapien egestas aliquet sit amet eget risus. Phasellus vel quam vel lacus commodo lacinia.

Donec ultrices ac nisi nec elementum. Aenean pellentesque pellentesque pulvinar. Ut aliquet nulla vitae porttitor hendrerit. Nullam venenatis nisl nec ipsum malesuada ultricies. Curabitur massa erat, auctor in ipsum non, semper ornare nunc. Donec non felis eget diam porta rhoncus. Mauris id lectus sed arcu iaculis dictum et vitae velit. Cras sit amet neque vel sapien interdum fermentum sit amet eu lorem. Fusce urna sem, pretium a facilisis id, aliquet at mi. Etiam elementum eget est et porttitor. Morbi ultricies lorem a arcu mattis, eget egestas ex ultrices. Pellentesque bibendum sed est ac imperdiet.

# Referências

ANDREW, R. M. Global co 2 emissions from cement production. **Earth System Science Data**, Copernicus GmbH, v. 10, n. 1, p. 195–217, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 7215: Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, Brasil, 2019. Segunda edição. Publicada em 28/02/2019.

ASTM International. **ASTM C305: Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency**. West Conshohocken, PA, USA, 2006. Designação oficial: ASTM C305-06.

BERNAL, S. A.; GUTIÉRREZ, R. M. de; PROVIS, J. L. Engineering and durability properties of alkali-activated slag concretes. **Construction and Building Materials**, Elsevier, v. 33, p. 99–108, 2014.

DAVIDOVITS, J. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 37, p. 1633–1656, 08 1991.

DIVISION, U. N. P. **World population prospects: The 1994 revision**. [S.l.]: UN, 1995.

IEA; WBCSD. **Cement Technology Roadmap 2009: Carbon Emissions Reductions up to 2050**. Paris, France and Geneva, Switzerland, 2009. Available at: <https://www.iea.org/reports/cement-technology-roadmap-2009>.

KE, X.; BERNAL, S. A.; PROVIS, J. L. One-part alkali-activated materials: State-of-the-art and perspectives. **Cement and Concrete Research**, Elsevier, v. 140, p. 106336, 2021.

PROVIS, J. L. Alkali-activated materials. **Nature Reviews Materials**, Nature Publishing Group, v. 3, n. 6, p. 276–277, 2018.

PROVIS, J. L.; BERNAL, S. A. Geopolymers and related alkali-activated materials. **Annual Review of Materials Research**, Annual Reviews, v. 44, p. 299–327, 2014.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-co2 cement-based materials industry. **Cement and concrete Research**, Elsevier, v. 114, p. 2–26, 2018.

# Apêndice A - Tópicos de Dilema Linear

## A.1 Uma Primeira Seção para o Apêndice

A matriz de Dilema Linear  $M$  e o vetor de torques inerciais  $b$ , utilizados na simulação são calculados segundo a formulação abaixo:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \quad (\text{A.1})$$



FIGURA A.1 – Uma figura que está no apêndice

# **Anexo A - Exemplo de um Primeiro Anexo**

## **A.1 Uma Seção do Primeiro Anexo**

Algum texto na primeira seção do primeiro anexo.

## FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 26 de maio de 2025	3. DOCUMENTO Nº DCTA/ITA/DM-018/2025	4. Nº DE PÁGINAS 30
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Desenvolvimento de cimento ativado alcalinamente monocomponente com precursores sólidos de baixo teor de cálcio e fontes alcalinas alternativas.			
6. AUTOR(ES): <b>Felipe Mello dos Reis</b>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Cupim; Cimento; Estruturas			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Cupim; Dilema; Construção			
10. APRESENTAÇÃO: (X) Nacional ( ) Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação. Programa de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Departamento de Estruturas e Edificações. Orientador: Prof. Dr. João Cláudio Bassan de Moraes . Coorientadora: Pamela Rodrigues Passos Severino. Defesa em 26/05/2025. Publicada em 26/05/2025.			
11. RESUMO: Na busca por alternativas mais sustentáveis ao cimento Portland, os cimentos ativados alcalinamente têm sido amplamente estudados. No entanto, a maioria dos processos de mistura ocorre em duas etapas, o que impacta a viabilidade e a eficiência construtiva. Um avanço importante nessa área é o desenvolvimento de sistemas monocomponentes, que simplificam a produção e tornam a tecnologia mais acessível e prática. Ainda assim, os estudos atuais se concentram em precursores ricos em cálcio, enquanto o uso de fontes alcalinas tradicionais apresenta desafios relacionados à segurança e ao custo. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um cimento ativado alcalinamente monocomponente utilizando precursores sólidos de baixo teor de cálcio, como sílica ativa e metacaulim, e fontes alcalinas mais seguras e acessíveis, como carbonato de potássio e hidróxido de cálcio, garantindo resistência mecânica adequada e maior viabilidade para aplicação na construção civil.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO ( ) RESERVADO ( ) SECRETO			