

**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.

25f.

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. 25f. 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'Ávilla, 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 2.1 – Cupim cibernético. . . . . 16

FIGURA A.1 –Uma figura que está no apêndice . . . . . 24

# Lista de Tabelas

TABELA 2.1 – Exemplo de uma Tabela . . . . . 16

# 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

# 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 . . . . .	14
2	REVISÃO DA LITERATURA . . . . .	16
2.1	templates . . . . .	16
3	METODOLOGIA . . . . .	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	20
5	CONCLUSÃO . . . . .	22
	REFERÊNCIAS . . . . .	23
	APÊNDICE A – TÓPICOS DE DILEMA LINEAR . . . . .	24
A.1	Uma Primeira Seção para o Apêndice . . . . .	24
	ANEXO A – EXEMPLO DE UM PRIMEIRO ANEXO . . . . .	25
A.1	Uma Seção do Primeiro Anexo . . . . .	25

# 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 Revsião da literatura

## 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 imagem.

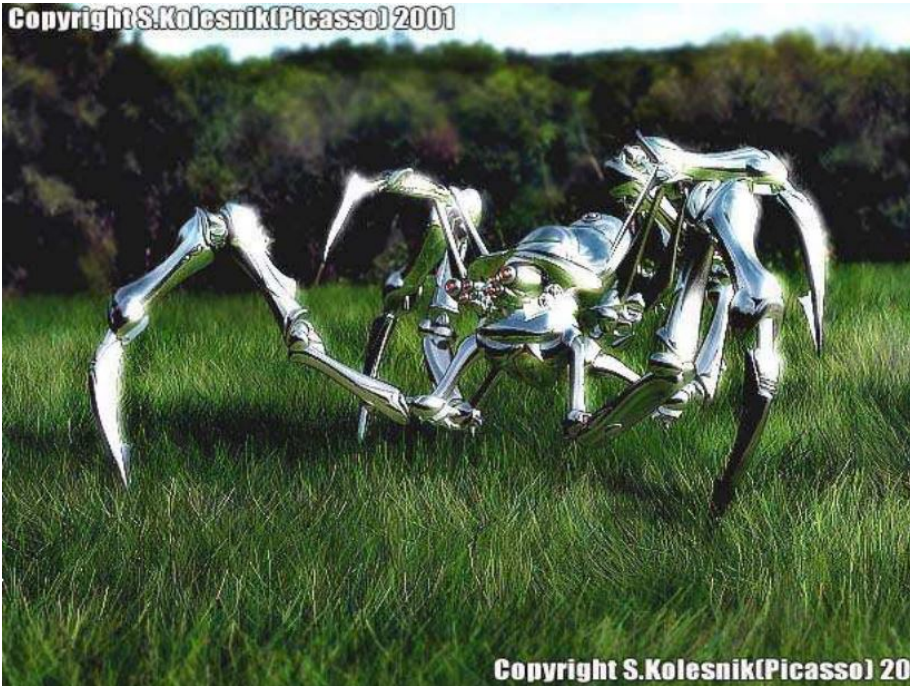


FIGURA 2.1 – Cupim cibernético.

Exemplo de uma equação

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

### 3 Metodologia

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed vel gravida nisi. Aenean nisl ipsum, consequat quis suscipit et, finibus nec nibh. Mauris elementum ullamcorper tortor, sit amet elementum ante. Proin sed dapibus nibh. Integer pellentesque odio ut odio tristique tincidunt. Proin bibendum risus vitae auctor imperdiet. Praesent scelerisque purus eu metus pharetra, vel ornare elit sagittis. Quisque id massa urna. Etiam in sodales sapien. Vivamus quam leo, vulputate vel arcu non, sagittis tincidunt lacus. Aliquam sit amet ligula vel risus rutrum porttitor lacinia id magna. Nunc laoreet neque nec iaculis mattis. Fusce fermentum congue tortor sed condimentum. Sed id nunc ante. Sed blandit sem vitae justo fringilla, ut blandit elit lacinia.

Suspendisse sit amet erat et orci eleifend suscipit ut eu tortor. Fusce imperdiet pellentesque leo a rhoncus. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Donec ut ex leo. Aenean nec lectus eu lacus tincidunt semper id eu tellus. In tristique odio eget purus placerat egestas. Aliquam erat volutpat. Duis vel odio in neque tincidunt bibendum eget eu lorem. Pellentesque volutpat tristique aliquet. Nam consequat dui quis metus posuere varius id quis turpis. Proin vel nisl in purus vestibulum volutpat. Nullam elementum ante non mi venenatis eleifend.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis sollicitudin placerat rutrum. Donec semper fermentum tellus, vitae accumsan elit accumsan ut. Fusce pellentesque interdum purus, non consequat libero posuere a. Mauris tincidunt tellus ut aliquam fringilla. Etiam lobortis, dui at congue condimentum, urna lorem condimentum enim, in porta mauris tellus eget enim. Pellentesque nulla diam, bibendum quis elit nec, luctus congue nibh. Pellentesque et odio a libero pharetra dapibus id sed arcu. Integer tempor quam nec ante hendrerit, et finibus dui malesuada. Nullam feugiat ullamcorper nulla, at lobortis massa scelerisque nec. Suspendisse luctus odio rutrum nulla condimentum gravida.

Phasellus et nunc laoreet, lobortis sapien ut, porta nisi. Nulla eleifend orci erat, at euismod lectus molestie vel. Integer eu risus in risus venenatis bibendum. Proin condimentum ante vel lacus elementum, eu vehicula justo fermentum. Vestibulum ut mi ac ex porta laoreet. Nunc scelerisque pretium quam. Curabitur dui mi, lacinia a accumsan

---

id, tempus a metus.

## 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<sub>2</sub> emissions from cement production. **Earth System Science Data**, Copernicus GmbH, v. 10, n. 1, p. 195–217, 2018.

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.

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-co<sub>2</sub> 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 25
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			