

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND E GEOPOLÍMERO

Eude Júnior Silva Zahn¹

Mateus Fernandes de Melo²

Vinícius Ribeiro Braga²

Yves Alencar Sampaio²

Aedjota Matos De Jesus³

RESUMO: Tem-se buscado materiais alternativos para diminuir ou até substituir o seu consumo de cimento Portland. Tal que novos materiais cimentícios estão sendo estudados, por exemplo, o geopolímero. O geopolímero é um tipo de cimento amorfo obtido de materiais que contém aluminossilicatos que foi misturado com uma solução alcalina. Neste sentido, este trabalho tem o objetivo de comparar as propriedades das argamassas obtidas a partir do cimento Portland e de geopolímero. Para tanto, adotou-se um planejamento experimental que variou apenas o tipo de cimento empregado para dosagem das argamassas. Na produção da argamassa geopolimérica foram empregados a metacaulinita, hidróxido de sódio, sílica ativa e areia fina, já a argamassa convencional foi constituída a partir de areia fina e cimento Portland CII-32-F. Foram avaliadas as propriedades de massa específica, absorção de água e resistência à compressão, bem como análise estatística desta última propriedade. Constatou-se que a menor massa específica associada à maior resistência significativa da argamassa geopolimérica, quando comparada com a argamassa convencional, torna o geopolímero um material promissor para se utilizar na construção civil e substituir o cimento convencional.

Palavras chaves: Argamassa geopolimérica. Ativação alcalina. RStudio.

COMPARATIVE STUDY OF THE PROPERTIES OF PORTLAND AND GEOPOLYMER CEMENT MORTARS

ABSTRACT: Alternative materials have been sought to reduce or even replace their consumption of Portland cement. Such that new cementitious materials are being studied, for example, the geopolymer. Geopolymer is a type of amorphous cement obtained from materials containing aluminosilicates that has been mixed with an alkaline solution. In this sense, this work aims to compare the properties of mortars obtained from Portland cement and geopolymer. For that, an experimental design was adopted that varied only the type of cement used for the mortar dosage. In the production of geopolymetric mortar, metakaolinite, sodium hydroxide, silica fume and fine sand were used, whereas conventional mortar was made from fine sand and Portland cement CII-32-F. The properties of specific mass, water absorption and resistance to compression were evaluated, as well as statistical analysis of the latter

¹ Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Rondônia.

² Acadêmicos dos Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade Panamericana de Ji-Paraná.

³ Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amazonas. Especialista em Docência do Ensino Superior pela Faculdade de Rondônia. Graduado em Engenharia Civil pela Faculdade de Rondônia. Professor da Faculdade Panamericana de Ji-Paraná. E-mail: aedjota@gmail.com

property. It was found that the lower specific mass associated with the greater significant resistance of the geopolymeric mortar, when compared with conventional mortar, makes the geopolymer a promising material to be used in civil construction and to replace conventional cement.

Keywords: Geopolymeric mortar. Alkaline activation. RStudio.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem buscado nos últimos anos novos materiais tanto para reduzir os impactos ambientais gerados, onde estima-se que só a produção de cimento Portland lança cerca de 5% do valor mundial de CO₂ na atmosfera, quanto um produto para melhorar o desempenho das estruturas com um melhor custo benefício. Nesta perspectiva, novos materiais têm sido estudados e entre estes têm-se destacados os cimentos amorfos obtidos a partir da mistura de materiais ricos em aluminossilicatos com uma solução alcalina, também denominado de cimento geopolimérico (DAVIDOVITS, 2017).

Também denominados de geopolímero, cerâmica alcalina, hidrocerâmica e cimentos ativados por álcalis, este novo cimento pode ter sua estrutura simplificada por como um polímero inorgânico de estrutura tetraédrica de silício, alumínio e oxigênio. Esta estruturada do geopolímero é oriunda do processo de ativação alcalina de um material rico em aluminossilicato (DUXSON et al., 2007).

Diversos estudos internacionais recentes tem apontados que as propriedades físicas e mecânicas dos geopolímeros são superiores as propriedades do cimento Portland, tanto no desenvolvimento de concretos (ALBITAR et al., 2017; MA et al., 2018), quanto no desenvolvimento de argamassas (AL-MAJIDI et al., 2016; ZHANG et al., 2018). Tal que Zhang et al. (2018) destacam que os resultados do seu estudo indicam que a argamassa geopolimérica apresentam significativa viabilidade e perspectiva de aplicação para ser usada como material de construção sustentável, e conseqüentemente, pode ser um substituto adequado da argamassa de cimento tradicional no futuro.

Todavia, para empregar o geopolímero enquanto material de construção ainda se faz necessário aprofundar os estudos sobre o tema principalmente no Brasil, visto que a literatura nacional sobre a argamassa geopolimérica é escassa.

Neste sentido, o objetivo deste estudo é comparar as propriedades físicas e mecânica das argamassas obtidas a partir do cimento Portland e de geopolímero, com enfoque principal na resistência à compressão das argamassas e análise estatística desses resultados.

2 METODOLOGIA

Este estudo é composto por três etapas, conforme definido na Figura 1, no qual na primeira etapa ocorre a escolha dos materiais, na segunda etapa tem-se o planejamento experimental adotado no estudo, e na última etapa faz-se a caracterização das argamassas desenvolvidas.

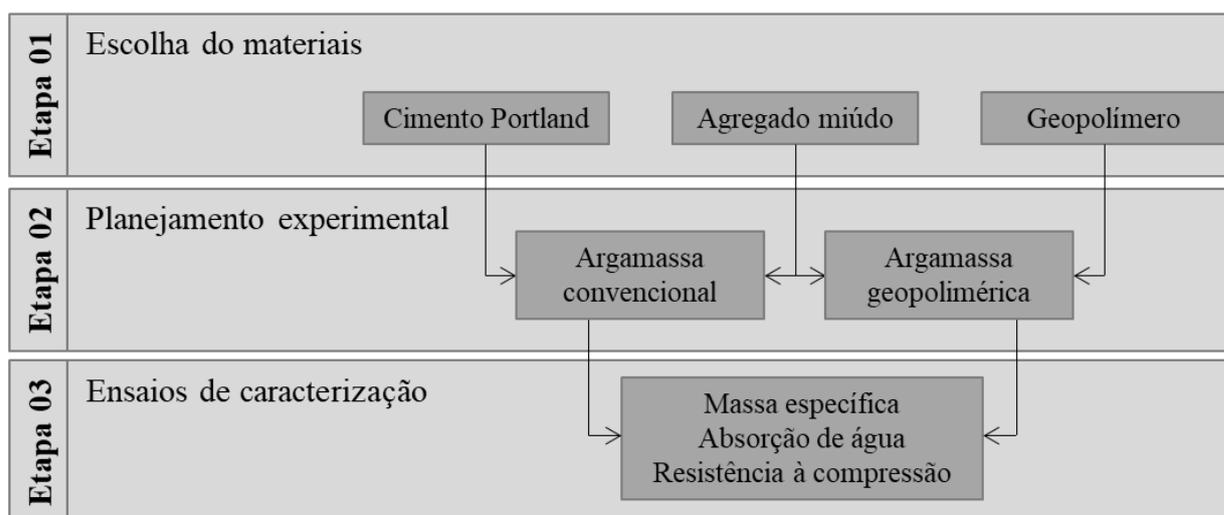


Figura 1 – Etapas da metodologia deste estudo.

Observa-se que neste estudo são avaliados dois tipos de argamassas: uma convencional obtida a partir de cimento Portland e outra geopolimérica, obtida a partir de geopolímero. E nas próximas subseções são descritas as atividades desenvolvidas em cada etapa.

2.1 Materiais

Para preparo das argamassas foram utilizados cimento Portland, cimento geopolimérico, agregado miúdo e água do sistema de abastecimento da Faculdade

UNIJIPA. O cimento Portland foi do tipo CII-32-F e o agregado miúdo utilizado foi do tipo areia fina, ambos adquiridos na região comercial de Ji-Paraná.

O cimento geopolimérico foi preparado, no Laboratório de caracterização e resistência de materiais da faculdade Unijipa, a partir da mistura de metacaulinita e solução ativadora alcalina a base de hidróxido de sódio. A metacaulinita foi doada pela Universidade Federal do Amazonas. A solução ativadora foi preparada a partir da dissolução de sílica ativa em solução de hidróxido de sódio com concentração de 10 molar.

2.2 Planejamento experimental, dosagem e preparo das argamassas

Neste estudo adotou-se como variável o tipo de aglomerante: cimento Portland e cimento geopolimérico, enquanto os demais parâmetros foram fixos. Portanto, produziram-se dois tipos de argamassa, uma argamassa com cimento Portland e outra argamassa com cimento geopolimérico.

Para a dosagem das argamassas adotou-se a proporção em massa de 1:3:0,685 (cimento: areia: relação água/cimento), que representa uma dosagem comumente utilizada na construção civil e na literatura, no qual os componentes foram pesados em uma balança com precisão de 0,1 gramas.

O preparo das misturas das argamassas foi realizado de acordo com procedimentos descrito da norma NBR 13276 (ABNT, 2005), no qual foi utilizando o misturador mecânico (argamassadeira) de eixo vertical. Para tanto, a argamassa de cimento Portland foi realizada primeiramente com adição do aglomerante e agregado previamente homogeneizado manualmente na cuba do misturador. Em seguida foi adicionado água e acionado o misturador por um período de 2 minutos com baixa rotação (20 Hz) e 5 minutos com alta rotação (60 Hz).

Já para o preparo da argamassa de cimento geopolimérico, inicialmente preparou-se a pasta de cimento geopolimérico pela mistura mecanicamente da metacaulinita e a solução ativadora por um período de cinco minutos em baixa rotação. Em seguida foi adicionado o agregado miúdo e acionado o misturador por um período de 5 minutos com alta rotação.

2.3 Ensaio de caracterização

Para caracterizar as argamassas foram realizados ensaios com argamassa no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco foi determinado a massa específica, enquanto que no estado endurecido foram determinadas a absorção de água e a resistência à compressão. Para tanto, todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Resistências do Materiais da Faculdade UNIJIPA.

A determinação da massa específica foi realizada sem replicata conforme orienta a norma NBR 13278 (ABNT, 2005), no qual foi utilizado um recipiente cilíndrico de PVC com volume conhecido para determinar esta propriedade.

A determinação da absorção de água das argamassas foi realizada por imersão conforme orienta a norma NBR 9778 (ABNT, 2005), no qual utilizou-se corpo de prova cilíndrico com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura e o ensaio foi realizado aos 28 dias de cura.

A determinação de resistência à compressão, bem como a confecção dos corpos de provas cilíndrico, foram realizadas conforme orienta a NBR 7215 (ANBT, 2019), no qual determinou-se a capacidade resistiva dos corpos de provas cilíndricos por meio uma prensa hidráulica manual da Solotest com capacidade de 100 toneladas e indicador de força digital. Para isto, foram confeccionados em triplicatas corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura e o ensaio foi realizado aos 28 dias de cura realizada em condições ambientais normais a seco.

2.4 Tabulação, gráficos e análise estatística dos dados

A tabulação dos dados de resistência à compressão e análise estatística, bem como a criação de gráficos foram realizadas no software RStudio, que é domínio público e livre e utiliza linguagem de programação R. Para tanto, foi analisado a normalidade dos dados por meio do teste Shapiro-Wilk, e em seguida avaliado a existência de diferença significativa entre as médias por meio do teste t de Welch

considerando as amostras independentes, tal que ambas análises foram feitas com nível de significância (α) de 5%, que representa um intervalo de confiança 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 tem-se o gráfico com os valores das massas específicas das argamassas estudadas, no qual observa-se que a argamassa geopolimérica apresenta menor valor ($2,03 \text{ g/cm}^3$).

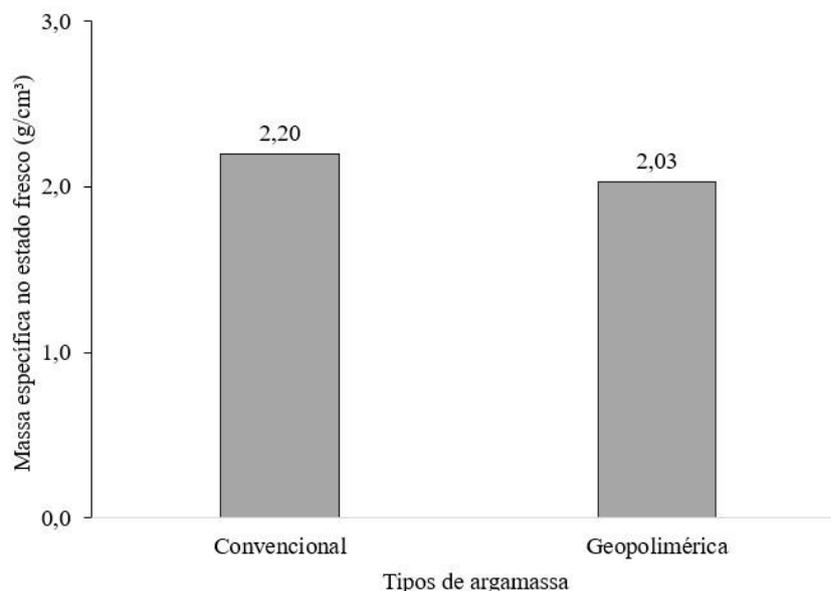


Figura 2 – Massas específicas no estado fresco das argamassas de cimento Portland e cimento geopolimérico.

Observa-se que a argamassa convencional possui massa específica ($2,20 \text{ g/cm}^3$) cerca de 7,84% maior do que a argamassa geopolimérica. Baseando-se na NBR 13281 (ABNT, 2005) que especifica os requisitos exigíveis para argamassas e classifica a argamassa em função da densidade massa no estado fresco, constata-se que ambas argamassas se enquadram na classe D6, que possui densidade no estado fresco maior que $2,00 \text{ g/cm}^3$.

Na Figura 3 tem-se o gráfico com os valores de absorção de água das argamassas, onde observa-se que a argamassa convencional apresenta menor capacidade de absorção de água.

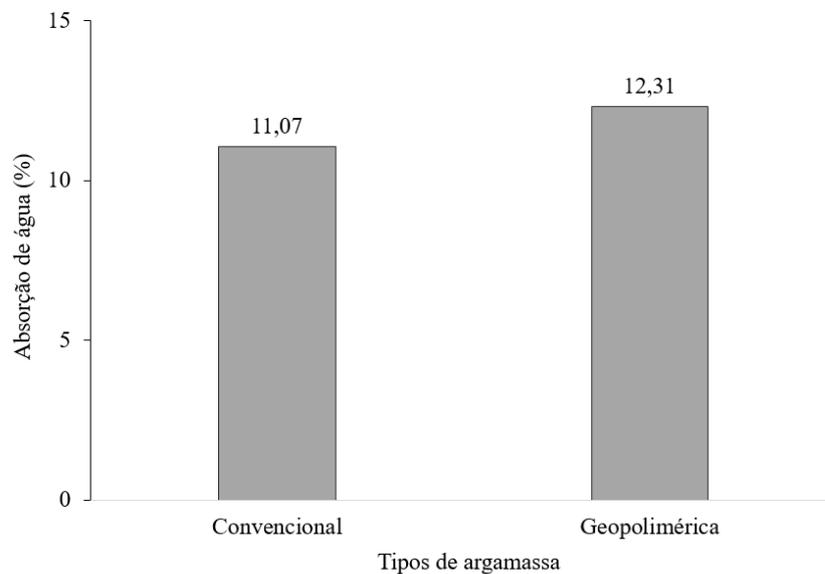


Figura 3 – Absorção de água das argamassas de cimento Portland e cimento geopolimérico.

Ao analisar a absorção de água com a massa específica, verifica-se que existe uma relação que quanto maior a massa específica menor é a absorção. Isto pode estar associado a quantidade de índice de vazios, no qual quanto maior o índice de vazios menor é a massa específica e conseqüentemente maior tende de ser a capacidade de absorver água, conforme já relatado por Santana, Aleixo e Joffily (2017). Os autores observaram em argamassa para revestimento que quanto maiores os índices de vazios, mais as argamassas absorveram água.

Na Figura 4 tem-se o gráfico com os valores da resistência média à compressão dos corpos de provas cilíndricos das argamassas desenvolvidas neste estudo, em que é possível notar que a argamassa geopolimérica apresenta maior resistência à compressão.

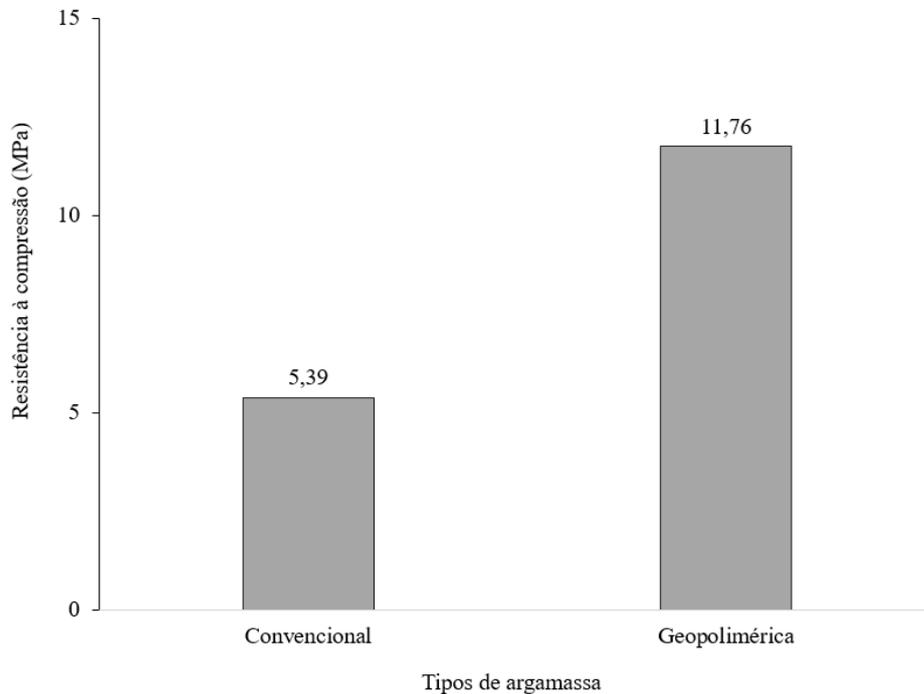


Figura 4 – Resistência média à compressão das argamassas de cimento Portland e cimento geopolimérico.

Antes de avaliar a resistência à compressão, fez o teste de normalidade para as amostras, cuja Tabela 1 apresenta o resultado obtido no Software R.

Tabela 1 – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para as amostras de resistências à compressão das argamassas desenvolvidas neste estudo.

| Tipos de argamassa | Resistência à compressão (MPa) | | | p-valor de Shapiro-Wilk |
|-------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------------|
| | CP1 | CP2 | CP3 | |
| Argamassa convencional | 5,92 | 5,39 | 5,42 | 0,09627 |
| Argamassa geopolimérica | 11,78 | 11,76 | 12,35 | 0,05702 |

Considerando um intervalo de confiança de 95% e nível de significância de $\alpha = 0,05$, constata-se que tanto o p-valor da argamassa convencional quanto o p-valor da argamassa geopolimérica são maiores que o valor de α , conseqüentemente não se rejeita a hipótese nula, cujos dados seguem uma distribuição normal. Portanto, pode-se afirmar com nível de significância de 5% que as amostras analisadas provêm de uma distribuição normal.

Visto que os dados obtidos apresentam distribuição normal, fez-se o teste t de Welch, cujos resultado obtidos no R encontram-se na tabela 2.

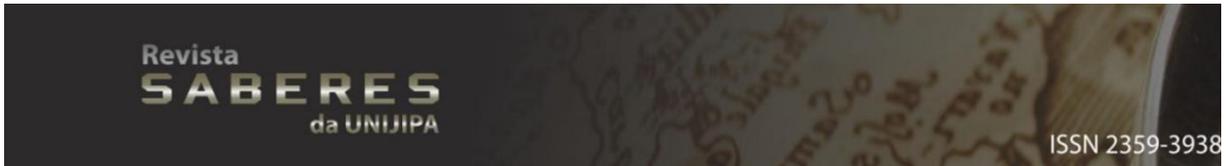


Tabela 2 – Resultado do teste de t de Welch comparando as médias da resistência à compressão das argamassas desenvolvidas neste estudo

| Tipos de argamassa | Resistência média à compressão (MPa) | Grau de liberdade | p-valor de Welch |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Argamassa convencional | 5,58 | | |
| Argamassa geopolimérica | 11,96 | 3,9455 | 1,796.10 ⁻⁵ |

Considerando um intervalo de confiança de 95% e nível de significância de $\alpha = 0,05$, constata-se que tanto o p-valor calculado é menor que o valor de α , conseqüentemente rejeita-se a hipótese nula, cujas médias são iguais. Portanto, pode-se inferir estatisticamente com nível de significância de 5% que as resistências médias das argamassas são diferentes.

A composição química dos materiais influencia diretamente as propriedades dos materiais e esta diferença de comportamento entre argamassa de cimento Portland e argamassa de geopolímero pode estar associada a composição química das matrizes cimentícias, já que o cimento Portland é constituído de aluminatos de cálcio e silicatos de cálcio (CALLISTER JUNIOR; RETHWISCH, 2018), enquanto que o geopolímero é composto por silicatos de alumínio, silicato de sódio e silicato de potássio (DUXSON et al., 2007).

Baseando-se na NBR 13281 (ABNT, 2005) que especifica os requisitos exigíveis para argamassas, constata-se que argamassa convencional se enquadra na classe de resistência P5, cuja resistência é de 5,50 a 9,0 MPa. Enquanto que a argamassa geopolimérica se enquadra na classe de resistência P6, cuja resistência é maior que 8,0 MPa.

Ao associar a resistência à compressão a absorção de água, Mehta, Monteiro e Carmona Filho (1994), que discutem sobre as propriedades dos materiais de cimento Portland, apontam que quanto maior a resistência do material, menor tende ser o índice de vazios e maior a capacidade de absorção de água. Porém, foi observado o oposto, pois a argamassa geopolimérica apresentou maior resistência à compressão e maior absorção de água. E isto pode estar associada a uma propriedade intrínseca do geopolímero, todavia não foi analisada neste estudo.

Zhang et al. (2018) destacam que a resistência à compressão de argamassas de geopolímero variam entre 22 e 42 MPa aos 28 dias de cura em temperatura ambiente quando a relação molar entre NaSiO_3 e NaOH é igual à 2, que são os

mesmos parâmetros utilizados neste estudo. Logo, nota-se que a resistência à compressão da argamassa geopolimérica desenvolvida neste estudo é menor que ao encontrado na literatura. Entretanto, isto pode estar associada a quantidade de areia utilizada na dosagem, uma vez que a quantidade de areia afeta diretamente a resistência à compressão de argamassas geopoliméricas, conforme pontuado pelos mesmo autores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo comparou as propriedades físicas e mecânica da argamassa obtidas de cimento Portland e cimento geopolimérico. E a partir dos resultados obtidos observou-se que o desempenho físico e mecânica da argamassa geopolimérica é diferente daquele da argamassa convencional produzida a partir de cimento Portland.

Assim, a argamassa geopolimérica desenvolvida neste estudo apresentou resistência à compressão cerca de 118,18% maior, massa específica no estado fresco em torno de 7,73% menor e absorção de água aproximadamente 11,20% maior, quando comparada as propriedades da argamassa convencional.

Destaca-se ainda que existe uma diferença estatisticamente significativa entre as resistências à compressão das argamassas, tal que a argamassa geopolimérica apresentou uma resistência superior a duas vezes a resistência da argamassa convencional de cimento Portland. Isto associada à baixa massa específica da argamassa geopolimérica abre perspectiva para aplicação na construção civil no desenvolvimento de estruturas mais duráveis e mais leves, bem como para substituição do cimento convencional por geopolímero.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.
- ALBITAR, M. et al. Durability evaluation of geopolymer and conventional concretes. **Construction and Building Materials**, v. 136, p. 374-385, 2017.
- AL-MAJIDI, Mohammed Haloob et al. Development of geopolymer mortar under ambient temperature for in situ applications. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 198-211, 2016.
- CALLISTER JR, Willian D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**, 9ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- DAVIDOVITS, J. Geopolymers: Ceramic-like inorganic polymers. **Journal Ceram. Sci. Technol**, v. 8, n. 3, p. 335-350, 2017.
- DUXSON, Peter et al. Geopolymer technology: the current state of the art. **Journal of materials science**, v. 42, n. 9, p. 2917-2933, 2007.
- MA, Chau-Khun et al. Structural and material performance of geopolymer concrete: A review. **Construction and Building Materials**, v. 186, p. 90-102, 2018.
- MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo JM; CARMONA FILHO, Antônio. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** Pini, 1994.
- SANTANA, Bruna Vieira; ALEIXO, Isabella Venâncio; JOFFILY, Irene de Azevedo Lima. Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimento com diferentes aditivos impermeabilizantes. **Programa de Iniciação Científica-PIC/UniCEUB - Relatórios de Pesquisa**, v. 2, n. 1, 2018.
- ZHANG, Peng et al. A review on properties of fresh and hardened geopolymer mortar. **Composites Part B: Engineering**, v. 152, p. 79-95, 2018.