

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS**  
**ENG 017 – CIÊNCIA DOS MATERIAIS CERÂMICOS**

**Aula prática Geopolímero**

**Materiais utilizados:** Metacaulim 1, Metacaulim 2, hidróxido de sódio P.A., Silicato de sódio alternativo, água destilada e deionizada.

Davidovits (2011) sugere as seguintes relações molares como forma de se garantir durabilidade e resistência mecânica em geopolímeros produzidos a partir de metacaulim:

$$0,20 < Na_2O/SiO_2 < 0,48$$

$$3,30 < SiO_2/Al_2O_3 < 4,50$$

$$0,80 < Na_2O/Al_2O_3 < 1,60$$

$$10 < H_2O/ Na_2O < 25$$

Dosagem utilizada:

**Metacaulim I**

$$Na_2O/SiO_2 = 0,28$$

$$SiO_2/Al_2O_3 = 3,40$$

$$Na_2O/Al_2O_3 = 0,94$$

$$H_2O/ Na_2O = 12,53$$

Traço	Metacaulim (g)	Silicato (g)	NaOH (g)	Areia (g)
Metacaulim	420	399	210	1260

### Metacaulim II

$$Na_2O/SiO_2 = 0,30$$

$$SiO_2/Al_2O_3 = 3,00$$

$$Na_2O/Al_2O_3 = 0,89$$

$$H_2O/Na_2O = 12,53$$

Traço	Metacaulim (g)	Silicato (g)	NaOH (g)	Areia (g)
Metacaulim	420	399	210	1260

### Metacaulim I – com sílica ativa dissolvida no hidróxido de sódio

$$Na_2O/SiO_2 = 0,20$$

$$SiO_2/Al_2O_3 = 4,08$$

$$Na_2O/Al_2O_3 = 0,83$$

$$H_2O/Na_2O = 9,32$$

Traço	Metacaulim (g)	Sílica ativa (g)	NaOH (g)	Areia (g)	Água livre (g)
Metacaulim	420	231	264,6	1260	79,8

### Metacaulim II – com sílica ativa dissolvida no hidróxido de sódio

$$Na_2O/SiO_2 = 0,22$$

$$SiO_2/Al_2O_3 = 3,69$$

$$Na_2O/Al_2O_3 = 0,81$$

$$H_2O/Na_2O = 9,32$$

Traço	Metacaulim (g)	Sílica ativa (g)	NaOH (g)	Areia (g)	Água livre (g)
Metacaulim	420	235,20	271,74	1260	82,74

### Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado

A determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado das argamassas foi realizada de acordo com a NBR 13278 (ABNT:2005).

O ensaio consiste na utilização de um recipiente cilíndrico, rígido, de material não absorvente, calibrado com capacidade aproximada de 481,15 cm<sup>3</sup>, sendo a altura aproximada de 85 mm e o diâmetro de 80 mm. A argamassa é introduzida no recipiente em três camadas sucessivas, adensadas com 20 golpes de espátula na posição vertical. Ao final, o recipiente é rasado e é aferida a sua massa. A densidade de massa ( $d$ ), em Kg/cm<sup>3</sup>, é obtida por meio da equação 5.

$$d = \left( \frac{m_c - m_v}{v_r} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Em que  $m_c$  é a massa do recipiente contendo a argamassa,  $m_v$  é a massa do recipiente vazio, em gramas, e  $v_r$  é o volume do recipiente em cm<sup>3</sup>.

O teor de ar incorporado na argamassa ( $A$ ) é, em porcentagem, calculado por meio da equação 6.

$$A(\%) = 100 \cdot \left( 1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (6)$$

Sendo que  $d$  é a densidade de massa da argamassa e  $d_t$  é a densidade de massa teórica da argamassa, em g/cm<sup>3</sup>, calculado conforme equação 7 abaixo:

$$d_t = \frac{m_s + m_{\text{água}}}{\frac{m_s}{\gamma_s} + m_{\text{água}}} \quad (7)$$

, em que :  $m_s$  é a massa da argamassa anidra, em gramas;  $m_{\text{água}}$  é a massa da argamassa que compõe a argamassa fresca e;  $\gamma_s$  é a massa específica da argamassa anidra, determinada conforme ABNT NM 23.

### Índice de consistência (*flow table*),

Ensaio determinado segundo a NBR 13276 (ABNT, 2005). O método *flow-table* consiste em medir o espalhamento horizontal de uma argamassa moldada na forma de um cone padrão, onde o material é submetido a sucessivos impactos (30) após a retirada do cone.

Esse método apresenta a vantagem de ser dinâmico, e avaliar a consistência e a plasticidade das argamassas, medindo o seu espalhamento horizontal no estado fresco, além de avaliar, também, qualitativamente, a tendência de segregação de fases, em decorrência da energia aplicada (impactos).

### Ensaio de Tração na flexão e compressão

Este ensaio tem como base a Norma NBR 13279:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Resistência à tração na flexão e à compressão) para análise de comportamento com relação à resistência à tração na flexão e compressão, os corpos de prova devem apresentar dimensão 4x4x16 cm.

O limite de resistência à compressão axial ( $R_c$ ) é dado pela razão entre a carga máxima ( $P$ ) suportada pelo corpo de prova e a área da sua secção original ( $A$ ), de acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**:

$$R_c = \frac{P}{A} \quad (8)$$

A resistência à tração na flexão ( $R_T$ ) é dada conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**:

$$R_T = \frac{1,5 \times P \times L}{B \times D^2} \quad (9)$$

Sendo:

P = carga máxima aplicada, em N.

L = distância entre cutelos de suporte, em mm

B = largura do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm

D = altura do corpo-de-prova, na seção de ruptura, em mm

### Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por ascensão capilar é determinada utilizando-se as prescrições da NBR 9779:2012 (“Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade”). Para a realização do ensaio são utilizados 3 corpos de prova aos 28 dias de idade, que são colocados em estufa por um período de aproximadamente 24h, a uma temperatura de  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ , até que se verifique constância de massa. Ao sair da estufa, as amostras são resfriadas em dessecador, à temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , e suas respectivas massas secas ( $m_s$ ) são determinadas. A seguir, são colocadas sobre suportes dentro de um recipiente com o nível de água constante e igual a  $(5 \pm 1)$  mm em relação à sua face submersa, evitando a molhagem de outras superfícies do corpo de prova.

Durante o ensaio, determina-se a massa saturada ( $m_{sat}$ ) dos corpos de prova com intervalos de tempo normalizados pela NBR 9779:2012 (“Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção da água por capilaridade”). Assim, a absorção de água por capilaridade (C) pode ser calculada com o auxílio da Equação 10, em que (S) representa a área da seção transversal do corpo de prova, expresso em  $\text{cm}^2$ . A absorção (C) é expressa em  $\text{g}/\text{cm}^2$ .

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (10)$$

### Determinação do Módulo Elástico Dinâmico por ultrassom

A passagem de uma onda ultrassônica por um sólido baseia-se no princípio da propagação das ondas elásticas, segundo a qual a velocidade de propagação ( $v$ ) depende das propriedades elásticas do meio e está relacionada com o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ).

O módulo de elasticidade dinâmico ( $E_d$ ) foi determinado de acordo com a norma BS-1881 Part 203:1986, que prescreve o ensaio de forma similar à norma NBR 15630:2008.

$$E_d = \rho V^2 \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \quad (11)$$

onde:

$\rho$  = densidade de massa no estado endurecido (em  $\text{kg/m}^3$ );

$V$  = velocidade que a onda ultrassônica leva para percorrer o corpo-de-prova no sentido longitudinal (em  $\text{km/s}$ );

$\mu$  = coeficiente de Poisson (adotado igual a 0,2 na norma brasileira.), que é a razão entre a deformação transversal e longitudinal quando um corpo-de-prova é submetido a uma carga de compressão axial.