

ANÁLISE MECÂNICA EM IDADES AVANÇADAS DE CIMENTOS PORTLAND CAPIXABAS

André Fornaciari Ferreira¹, Alessandra Savazzini-Reis¹, Geórgia Serafim Araújo¹

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, Brasil
(affandreferreira@gmail.com)

Resumo: O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) e o cimento Portland de alto-forno (CP III), têm sido muito utilizados em estruturas protendidas e convencionais. Assim, este trabalho avaliou a resistência à compressão axial em idades avançadas dos dois tipos de cimento, verificando os resultados obtidos do rompimento em diferentes idades de 1 dia até 364 dias. Os resultados obtidos mostram a evolução da resistência de cada cimento, evidenciando suas diferenças nas idades avançadas.

Palavras-chave: Cimento Portland; Compressão axial; CP III, CP V-ARI; Resistência em idades avançadas

INTRODUÇÃO

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, constituído principalmente de clínquer e de adições minerais que definem os diferentes tipos de cimento. O cimento Portland de alto-forno – CP III contém escória granulada de alto forno em sua composição em até 75% e é muito utilizado para as construções de estruturas convencionais. Já o cimento CP V-ARI possui de 90% a 100% de clínquer e no máximo 10% de adição na forma de material carbonático em sua composição e apresenta maior finura devido a seu processo de moagem NBR 16697 (ABNT, 2018). Por ser um cimento mais fino adquire alta resistência com maior velocidade do que outros cimentos em idades iniciais, sendo, portanto, uma alternativa indicada nos casos em que se deve obter uma maior resistência em curtas idades, como em casos em que se deseja executar a obra o mais rápido possível (Kihara e Centurione, 2005; Neville, 2016).

O cimento Portland CP V-ARI tem sido aplicado em conjunto com o CP III em obras com estruturas protendidas, em especial, nas lajes dos edifícios de utilização residencial e misto na região da Grande Vitória-ES (Lima *et al.*, 2025) que requerem maior ganho de resistência inicial e em menor tempo possível.

Como o cimento é um dos principais materiais para o desenvolvimento da resistência à compressão nas estruturas de concreto, deve ser levado em consideração que a evolução da resistência leva alguns anos para alcançar a sua totalidade. Fatores relacionadas ao ambiente a ser construído, forma de realização da cura do material cimentício, e

quantitativo dos componentes da mistura, possuem influência direta nas propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido do concreto, alterando valores de resistência e capacidade de carga nas estruturas executadas (Castro, 2021).

A resistência do concreto é definida como a capacidade do material de suportar ações aplicadas sem que ele entre em colapso, ou seja, é a tensão última aplicada ao corpo de prova que provoca a desagregação do material que o compõem. A resistência à compressão é considerada a mais importante propriedade do concreto e seus limites constam em normas nacionais e internacionais (Kihara e Centurione, 2005).

No Brasil, as classes de resistência à compressão do cimento Portland são 25, 32 e 40 MPa avaliadas aos 28 dias de idade de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018). A NBR ainda especifica os valores da resistência mecânica do cimento Portland determinada no ensaio de resistência à compressão axial aos 1, 3, 7 e 28 dias de cura.

Contudo, apesar do cimento apresentar uma evolução significativa até os 28 dias, esta idade pode não representar o comportamento mecânico final, tendo vários fatores que influenciam na previsão da resistência, a exemplo da relação entre resistência e a composição do cimento Portland que possui, em geral, uma aleatoriedade (Neville, 2016). Portanto, é importante o conhecimento e acompanhamento da capacidade de resistência à compressão do cimento em idades maiores que os 28 dias.

Em Lima *et al.* (2025) foi analisada a resistência mecânica dos cimentos CP III 40 RS e CP V-ARI através de ensaios de compressão axial aos 7, 28, 91 e



182 dias seguindo a NBR 7215 (ABNT, 2018). Os valores encontrados para o CP III foram de 28,4 MPa, 32,6 MPa e 35,6 MPa para as idades de 28, 91 e 182 dias, respectivamente. Já para os ensaios com o cimento CP V-ARI, foram obtidos valores de 35,3 MPa (28 dias), 44,0 MPa (91 dias) e 43,2 MPa (182 dias), mostrando uma pequena redução no valor da resistência à compressão com o aumento da idade do cimento CP V.

Morelo e Vieira (2024) realizaram uma análise mecânica de argamassas feitas com baixo teor de cimento CP V-ARI a partir de sua substituição por escória de alto forno e por gesso FGD e encontraram na argamassa de referência, as resistências de 19,93 MPa (7 dias), 23,30 MPa (28 dias) e aos 91 dias 22,53 MPa, mostrando com isso uma pequena redução de resistência em idade mais avançada, o mesmo ocorrendo com outras misturas contendo os resíduos testados.

A resistência mecânica dos cimentos Portland em longas idades começa a ser uma preocupação em função da vida útil de projeto das edificações ser enunciada de 50 anos e em função do não acompanhamento da sua evolução.

Assim, o objetivo da pesquisa consiste em analisar os a resistência à compressão axial dos cimentos de classe CP III 40 RS e CP V-ARI em idades iniciais e avançadas. Para isso, será analisado o comportamento mecânico em 1 dia de cura para o cimento CP V-ARI e nas idades 3, 7, 28, 91, 182 e 364 dias para os cimentos CP III e CP V-ARI.

MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados para o estudo foram o Cimento Portland de alto forno com escoria granular de alto forno (CP III) e o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) que foram comprados em comércio local da região da Grande Vitória – ES.

O cimento CP III contém escória granulada de alto-forno com teores de 35% a 75%, sendo utilizado para construções de grande porte e de alto índice de agressividade do ambiente. Já o cimento CP V-ARI, basicamente contendo clínquer na composição, obtém resistência nas idades iniciais superiores aos outros cimentos, e aos 28 dias permite maior aproveitamento do concreto (Galhardo, 2014).

A areia utilizada foi a areia Normal do IPT em quatro frações distintas: fina 0,3 mm a 0,15 mm (#100), média-fina 0,6 mm a 0,3 mm (#50), média-grossa 1,2 mm a 0,6 mm (#30) e grossa 2,4mm a 1,2 mm (#16).

A água usada é considerada potável e fornecida pela concessionária Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN.

Toda a produção dos ensaios realizados, além da geração dos resultados obtidos foi feito dentro do período de realização da pesquisa desenvolvida no Laboratório de Solos, Betume e Concreto do Instituto Federal do Espírito Santo – *Campus* Vitória.

Foi determinada a finura dos cimentos Portland por meio da NBR 11579 (ABNT, 2012) que consiste em um peneiramento em 3 etapas na peneira ABNT nº 200 com abertura de malha de 75 µm. A NBR 16697 (ABNT, 2018) especifica um máximo de material retido de 8% para o CP III e 6% para o CP V-ARI, assim o cimento a alta resistência inicial deve possuir maior finura. O índice de finura é calculado conforme a Equação 1:

$$IF = \frac{r \cdot F_c}{m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

IF - Índice de Finura (%)

r - Material retido na peneira 75µm (g)

m - Massa da amostra (g)

Fc - Fator de Correção

O ensaio para determinação da massa específica real dos cimentos foi feito seguindo a NBR 16605 (ABNT, 2017), realizando duas amostras para cada tipo de cimento. Assim, seguindo os procedimentos da norma, após feitas as leituras de variação do volume e conhecida a massa de cimento trabalhada no ensaio, é possível calcular as massas específicas que o cimento Portland CP III 40 RS e CP V-ARI possuem, utilizando a relação descrita na Equação 2.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde:

ρ – Massa Específica Real (g/cm³)

m - Massa da amostra (g)

V = (V2 - V1) - Volume deslocado (m³)

Para a execução do ensaio de tempo de início de pega do cimento, foi necessário realizar previamente o ensaio de consistência normal de água, com o objetivo de conhecer a relação a/c ideal para cada cimento. O ensaio de consistência normal de água segue a NBR 16606 (ABNT, 2018) e utiliza a Equação 3 para

determinar a relação de água e cimento para o preparo da pasta de argamassa.

$$A = \frac{ma}{mc} * 100 \quad (3)$$

Onde

A – Quantidade de água (%)

ma - Massa da água (g)

mc = Massa de cimento (g)

Conhecido o valor ideal de relação de água e cimento, foi feito o ensaio de tempo de pega, através dos procedimentos da NBR 16607 (ABNT, 2018), o qual diz que o tempo de pega para os cimentos CP III 40 RS e CP V-ARI deve ser maior que 60 minutos.

A determinação do tempo de início de pega é conseguido na contagem de tempo entre a mistura do cimento com água até o momento em que a agulha de Vicat estaciona a uma distância de (6 ± 2) mm na pasta de cimento.

Desse modo, foi feito a moldagem da pasta de argamassa e realizadas leituras com o aparelho de Vicat para conhecimento do tempo de pega de cada cimento, conforme Figura 1.



Figura 1. Tempo de pega em aparelho de Vicat

Para a análise do comportamento mecânico em idades iniciais e a longo prazo dos cimentos foi realizada a determinação da resistência à compressão axial, através do rompimento dos corpos de prova aos 3, 7, 28, 91, 182 e 364 dias, após a moldagem, para ambos os cimentos, além da determinação de resistência mecânica com 1 dia apenas para o cimento CP V-ARI, conforme exigido pela NBR 16697 (ABNT, 2018).

Foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos de dimensões de 5 x 10 centímetros de diâmetro e altura, respectivamente, para rompimento em cada idade. Logo, foram utilizadas as seguintes quantidades de materiais para a execução do ensaio:

- 624 gramas de cimento ;
- 468 gramas de cada fração de areia Normal do IPT (areia fina, areia média-fina, areia média-grossa e areia grossa) ;
- 300 gramas de água.

Assim, depois de seguir todos os procedimentos indicados pela NBR 7215 (ABNT, 2024), foi realizada a moldagem de 6 corpos de prova cilíndricos para rompimento em diferentes idades de análise da resistência mecânica de cada cimento, como mostra a Figura 2.



Figura 2. Moldagem de corpos de prova

Em sequência, os corpos de prova foram levados à câmara úmida por 24 horas para depois serem desmoldados, identificados e imersos em água com cal e mantidos assim até a respectiva idade de rompimento.

No dia do rompimento do material, aferiu-se os diâmetros dos corpos de prova com paquímetro. Em seguida, todos os corpos de prova foram capeados com enxofre (Figura 3) na parte superior para nivelamento da superfície.



Figura 3. Corpos de prova capeados

Para rompimento dos 6 corpos de prova em cada idade, foi utilizada uma prensa hidráulica de modelo PC 3000 da fabricante EMIC, com carga máxima de 3.000 KN, a uma velocidade de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s, conforme exemplificado na Figura 4.



Figura 4. Rompimento de corpo de prova de cimento CP V-ARI com 364 dias

A resistência à compressão (f_c) em MPa de cada corpo de prova foi calculada dividindo a força de ruptura pela área nominal da seção do corpo de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A finura encontrada para os cimentos foi de 0,2% para o cimento CP III e de 0% para o cimento Portland CP V-ARI. Os valores obtidos possuem grande proximidade além de atenderem a exigência de

normalização, indicando ser o cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI) mais fino.

Para a massa específica encontrada através dos ensaios, foi obtido resultado de $2,88 \text{ g/cm}^3$ para o cimento Portland CP III 40 RS e resultado de $3,07 \text{ g/cm}^3$ para o cimento Portland CP V-ARI, apresentando coerência, indicando CP V-ARI ser mais denso.

Outro valor encontrado dos ensaios físicos do cimento, foi a relação de água/cimento (a/c) da pasta para o preparo da argamassa. Para o cimento Portland CP III 40 RS foi observado valor ideal de 0,40 de a/c, já o cimento Portland CP V-ARI foi obtido valor de 0,38 de a/c.

Os resultados acerca do tempo de início de pega também estão em conformidade com a exigência da NBR 16697 (ABNT, 2018), sendo obtido tempo de 265 minutos para o cimento CP III 40 RS e tempo de 140 minutos para o cimento CP V-ARI, atendendo os 60 minutos mínimos indicado na norma para as duas classes de cimento com menor tempo para o CP V, como era esperado.

Os resultados referentes à resistência à compressão axial média dos ensaios de cada cimento Portland estão apresentados na Tabela 1, conforme as diferentes idades de rompimento.

Tabela 1. Resistência à compressão dos cimentos

Idade (dias)	CPIII 40 RS	CP V ARI	NBR 16697 CP III 40	NBR 16697 CP V-ARI
	Resistência à compressão (MPa)			
1	-	20,5	-	14,0
3	17,3	32,1	12,0	24,0
7	23,3	36,6	23,0	34,0
28	40,8	44,8	40,0	-
91	47,6	50,4	48,0	-
182	48,3	46,3	-	-
364	40,9	45,0	-	-

O cimento CP III 40 RS obteve ganho de resistência atendendo os valores exigidos pela NBR 16697 (ABNT, 2018). Entretanto, para a idade de 91 dias o valor obtido foi inferior aos 48 MPa sugerido pela norma. Já aos 364 dias houve grande redução da resistência, apresentando redução de 15,3% em relação a idade de 182 dias. A curva de crescimento

do cimento CP III em idades maiores parece decrescer ao longo do tempo, em especial, aos 364 dias.

Os resultados obtidos de resistência à compressão axial do cimento CP V-ARI obedecem aos valores mínimos estipulados pela NBR 16697 (ABNT, 2018) em todas as idades, tendo coerência até 91 dias, entretanto, ocorreu uma redução na resistência aos 182 dias (46,3 MPa) de aproximadamente 8% em comparação ao valor na idade de 91 dias (50,4 MPa). E aos 364 dias (45 MPa) a resistência diminuiu novamente em relação ao encontrado na idade anterior. Assim, o CP V-ARI assume uma tendência de queda na resistência a partir de 91 dias.

É apresentado no Gráfico da Figura 5 os resultados gerais dos cimentos estudados em todas as idades analisadas, observando a evolução do comportamento de cada cimento em idades iniciais e avançadas.

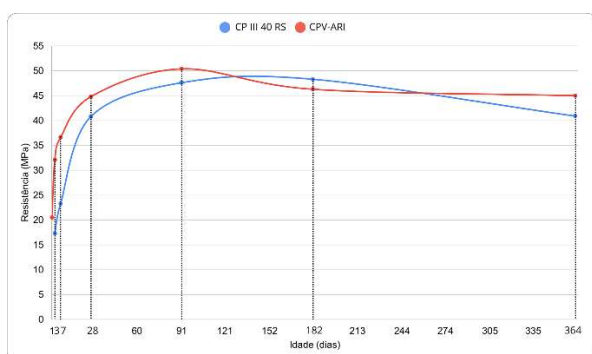


Figura 5 – Gráfico da evolução da resistência mecânica

Dessa forma, devido à pouca informação encontrada em outras pesquisas acerca do comportamento da resistência mecânica em idades avançadas dos cimentos CP III e CP V-ARI estudados, bem como a diminuição da resistência mecânica observada nos ensaios e não atendimento a todos os valores exigidos pela NBR 16697 (ABNT, 2018), é reforçado a necessidade de estudos mais aprofundados acerca do desenvolvimento do comportamento da resistência mecânica dos cimentos CP III e CP V-ARI em idades maiores que 28 dias.

CONCLUSÃO

Sobre a caracterização física dos cimentos, é observado a diferença das propriedades de cada classe de cimento utilizado, sendo o cimento CP V-ARI mais denso e de maior finura e com menor tempo de início de pega em relação ao CP III. Estas propriedades são capazes de alterar o comportamento e resistência do material em idades iniciais e avançadas, logo a escolha e execução das estruturas, baseado nas propriedades

do cimento são importantes para conhecimento do comportamento das construções executadas.

Sabendo que é a vida útil de projeto prevista para a construção de edificações é de 50 anos, é necessário que se utilize um cimento Portland que apresente evolução crescente ou mesmo uma estabilização da resistência ao longo do tempo para que possa suportar uma alta resistência sem apresentar falhas em sua estrutura no decorrer da vida útil projetada.

Ressalta-se também o aumento do uso do cimento CP V-ARI no ES, em especial, em construções com concretos protendidos, bem como o uso de cimento CP III nas construções de estruturas convencionais, mostrando com isso a importância desse estudo nas construções atuais.

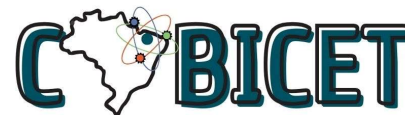
Dessa forma, o estudo realizado acerca das propriedades dos cimentos CP III e CP V-ARI em idades avançadas pode contribuir para melhor compreensão do comportamento de estruturas ao longo do tempo, de maneira a auxiliar o conhecimento das características do material nas obras executadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes pela concessão de bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16606: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607: Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro, 2018.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

CASTRO, V. G. Cimento Portland. *In: Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro*. [s.l.]: EdUFERSA, 2021, p. 13–21. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/8skrw/pdf/castro-9786587108612-02.pdf>>.

GALHARDO, P. G. **Estudo da produção de cimento com ênfase no classe g**. 2014. Tese de Doutorado (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UERJ. 96p. 2014.

KIHARA, Y.; CENTURIONE, S.L. O cimento Portland. In: ISAIA, G.C. **Concreto – ensino, pesquisa e realizações**. Edição 1ª. São Paulo:IBRACON. 2005. 2 volumes, p. 266-295.

LIMA, F.M.; DA SILVA, L.F.D.; SAVAZZINI-REIS, A.; ARAUJO, G.S. Analysis of the mechanical and physical behavior of concrete with Portland Cement type III and Portland Cement ARI. **Revista Ifes-Ciencias**. Vol.11, nº1, 2025. P.01-10. DOI: 10.36524/ric.v11i1.2822.

MORELO, L. P. T.; VIEIRA, G. L., Análises mecânicas e de durabilidade em argamassas produzidas com baixo teor de cimento, **Ambiente Construído**, v. 24, p. 1–23, 2024.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2016. v. 5.