

AVALIAÇÃO DO USO DO RESÍDUO DE LAMA DE MARMORARIA NA DURABILIDADE DO CONCRETO APLICANDO OS PARÂMETROS DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL E VOLUMÉTRICA

Evaluation of the use of marble of slurry residue on the durability of the concrete applying the parameters of surface and volumetric electrical resistivity

ARAÚJO, Fabiana Madeira de¹, CHAHUD, Eduardo²

¹UFMG, Belo Horizonte, Brasil, fabianamadeira@gmail.com

²UFMG, Belo Horizonte, Brasil, echahud@gmail.com

Resumo:

Em vários municípios brasileiros é gerado um resíduo dentro das empresas de marmoraria que provém do beneficiamento úmido de rochas ornamentais, sendo denominado de lama de marmoraria. O estudo do reaproveitamento dessa lama torna-se importante pois pode colaborar para a redução do volume destinado ao aterro sanitário e ao descarte ilegal, uma vez que a disposição inadequada provoca danos ao meio ambiente. O presente artigo tem como objetivo avaliar a influência do uso do resíduo da lama de marmoraria no concreto e analisar a durabilidade através dos ensaios de resistividade elétrica superficial e volumétrica do concreto nas idades 7 e 28 dias. Foram confeccionados dois traços de concreto: o primeiro de referência e o segundo produzido com substituição de 20% do peso do cimento por resíduo de lama em pó. Os corpos de prova de (15 x 30) cm foram saturados a água potável em um recipiente sobre as mesmas condições de cura, sendo submetidos aos ensaios de resistividade elétrica. Em relação ao ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova encontravam-se em câmara úmida até os dias do rompimento. Os resultados indicam que a substituição mostrou uma redução em torno de 18% e 16% respectivamente, para as idades comparado ao concreto de referência, apesar disso, conseguiu atingir uma resistência acima de 25MPa aos 28 dias. Em relação à resistividade elétrica, os resultados demonstraram que a substituição por lama de marmoraria aumenta o valor da resistividade elétrica superficial e volumétrica devido a evolução de hidratação do cimento e o endurecimento progressivo do concreto, porém os resultados de resistividade diminuem comparado ao concreto de referência.

Palavras-chave: Concreto, Resíduo de lama de marmoraria, Resistividade elétrica superficial e volumétrica.

Abstract:

In several municipalities is generated waste within the marble factory companies coming from the wet processing of ornamental rocks, being called marble factory mud. The study of this sludge recycling becomes important because it could contribute to the reduction of the volume intended for landfill disposal and illegal, since improper disposal causes damage to the environment. This article aims to evaluate the influence of the use of marble mud residue in the concrete and analyze the durability test using the surface resistivity and the volume of the concrete ages 7 and 28 days. They were made two concrete mixtures: the first reference and the second replacement produced with 20% by weight of the cement powder mud residue. The specimens of (15 x 30) cm were saturated drinking water in a container under the same curing conditions, being subjected to the electrical resistivity tests. With regard to compressive strength testing, the test samples were in a humid chamber until the days of disruption. The results indicate that replacement showed a reduction of around 18% and 16% respectively for ages compared to the reference concrete, nevertheless managed to achieve a resistance greater than 25MPa at 28 days. Regarding the resistivity, the results showed that the substitution of marble slurry increases the value of the surface resistivity and volume due to increase of the cement hydration and progressive hardening of the concrete, but the resistivity results decreased compared to the reference concrete.

Key words: Concrete, marble factory waste sludge, surface and volumetric electric resistivity.

1. INTRODUÇÃO

Diversas atividades industriais como empresas de marmoraria de pequeno e médio porte instaladas nos municípios brasileiros geram diversos tipos de resíduos e um deles merece destaque, podendo ser chamado de lama de marmoraria resultante do beneficiamento de rochas ornamentais, que provém do pó em conjunto com a água para refrigeração das máquinas. Essas empresas no segmento de rochas ornamentais nos últimos anos apresentaram um crescimento no mercado nacional e internacional visando o setor da construção civil, e em consequência um aumento da geração de resíduo em vários municípios pelo país e a dificuldade do destino correto desses resíduos vem apresentando alto crescimento. Esse resíduo ao ser descartado inadequadamente e sem nenhum tratamento, compromete o meio ambiente [8; 9; 13; 17].

A aplicação da lama de marmoraria na produção do concreto, em relação a substituição parcial do cimento ou agregados finos, contribui para um menor impacto ambiental [16], seja na redução do consumo do cimento e agregados finos e também no direcionamento apropriado do resíduo, contribuindo assim para o crescimento sustentável do setor da construção civil [18].

Inúmeros estudos analisaram os efeitos do uso da lama de marmoraria no concreto. Os trabalhos de [4; 9; 16; 18], avaliaram as propriedades mecânicas e observaram que os resultados da resistência mecânica tendem a sofrer um decréscimo comparado com o espécime padrão (sem resíduo) à medida que o teor de porcentagem do resíduo aumenta em relação a substituição.

Nos trabalhos [1; 10; 12] retrataram a correlação entre os ensaios de resistência à compressão e resistividade elétrica superficial, e os resultados mostraram que a resistividade aumenta à medida que a resistência mecânica à compressão eleva, podendo ser recorrência da hidratação da pasta. Ao adicionar minerais ao clínquer, mudanças acontecem entre os elementos do cimento com a água e essa reação química pode impactar nas propriedades elétricas do concreto [7].

As adições minerais no concreto interferem tanto no estado fresco quanto no estado endurecido [14]. E ao utilizá-lo como *filler*, os vazios existentes tendem a ser preenchidos, especialmente na zona de transição, e como consequência a força do concreto tende a diminuir ou aumentar. Porém, ao aplicar o resíduo em maior quantidade, valores de resistência tendem a reduzir quando comparado com o espécime de referência. A perda de resistência à compressão pode estar associada a diluição de C_2S e C_3S , elementos esses, que compõem o CSH no processo de hidratação [19].

Neste trabalho, o emprego do resíduo da lama de marmoraria é analisado quanto aos seus efeitos nas propriedades mecânicas e parâmetros de durabilidade, pois alguns estudos demonstram melhorias nestas propriedades. E neste caso, o volume de resíduo produzido pode acarretar em produtos sustentáveis para o setor da construção civil, trazendo possibilidades positivas para a sociedade e meio ambiente.

Diante dos fatos, encontram-se poucos artigos relacionados a influência da incorporação do resíduo da lama na resistividade elétrica na produção do concreto. Este artigo tem como objetivo analisar a influência do resíduo de lama de marmoraria (em pó) na resistividade elétrica superficial e volumétrica em corpos de prova de concreto com dimensão (15 x 30) cm.

2. RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL E VOLUMÉTRICA

A resistividade elétrica é uma propriedade que está relacionada com a capacidade em resistir à passagem da corrente elétrica e o ensaio visa avaliar a durabilidade do concreto à penetração de agentes nocivos a estrutura, condições de cura da microestrutura do concreto e o desenvolvimento da hidratação da matriz cimentícia com adições minerais [9; 11; 15].

A resistividade elétrica superficial consiste no posicionamento de quatro eletrodos alinhados e em contato com a superfície do concreto, sendo o resultado fornecido através da leitura da corrente elétrica gerada por uma diferença de potencial aplicada entre os eletrodos externos e internos, conhecido também como método de Wenner [10; 11].

A resistividade elétrica volumétrica conhecida como o método de dois eletrodos, consiste na aplicação de corrente através do eletrodo externo, e por meio do eletrodo interno é apurado a diferença

de potencial ocorrida. É uma medida de oposição do material a passagem da corrente [5; 9]. A Figura 1 apresenta os métodos de dois e quatro eletrodos,

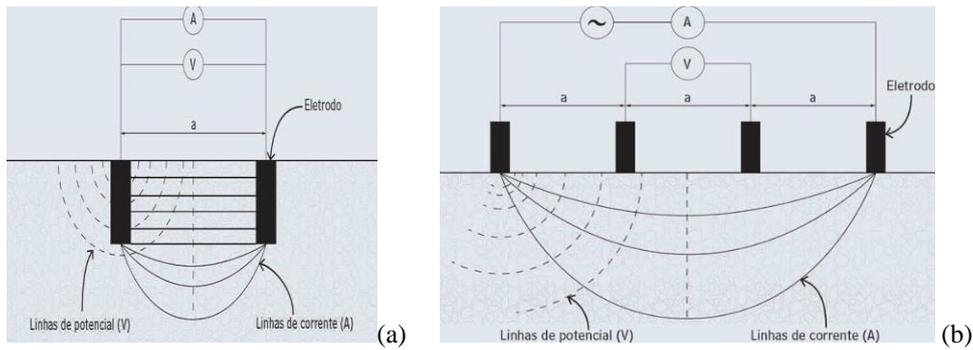


Figura 1: (a) Método dos dois eletrodos e (b) Método dos quatro eletrodos. Araújo (2014)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho refere a uma pesquisa experimental onde foram confeccionados duas famílias distintas, a primeira foi produzida com substituição do peso do cimento em 20% pelo resíduo de lama de marmoraria em pó (T20%Cs), e a outra com intuito de comparar a influência do material foi realizado a família sem adição do resíduo (TRf).

3.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova foram:

- Resíduo de lama de marmoraria em pó;
- Agregados miúdo e graúdo de gnaiss;e
- Cimento Portland CPV Ari;
- Água potável.

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização dos agregados

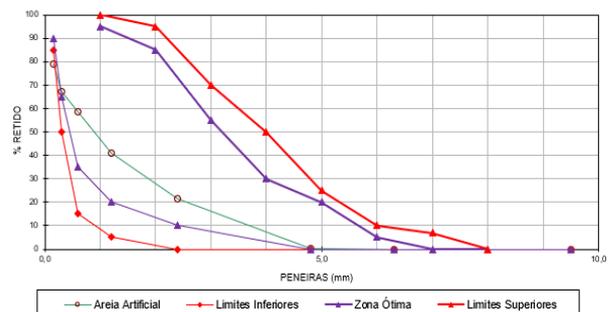
O agregado miúdo empregado no trabalho foi areia artificial de gnaiss originada por processo de britagem industrial. A caracterização do agregado foi realizada baseado em normas e informações contidas na Tabela 1 e no Gráfico 1 apresentadas abaixo.

Tabela 1: Caracterização do agregado miúdo

1. Peneiramento das Amostras:								
Peneiras	Abertura em (mm)	1ª Determinação		2ª Determinação		Média		Faixa Granulométrica NBR 7211:2009
		Material Retido						
		Peso (g)	% Acum.	Peso (g)	% Acum.	Peso (g)	% Acum.	
4"	100							
3"	76							
2.1/2"	64							
2"	50							
1.1/2"	38							
1.1/4"	32	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	
1"	25	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	
3/4"	19	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	
1/2"	12,5	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	
3/8"	9,5	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0 - 0
1/4"	6,3	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0 - 7
4	4,8	0,61	0,1	0,08	0,1	0,35	0,1	0 - 10
8	2,4	122,00	15,8	15,69	15,8	68,85	15,8	0 - 25
16	1,2	165,00	37,0	21,22	37,0	93,11	37,0	5 - 50
30	0,6	121,52	52,6	15,63	52,6	68,58	52,6	15 - 70
50	0,3	112,34	67,1	14,45	67,1	63,40	67,1	50 - 95
100	0,150	109,43	81,2	14,08	81,2	61,76	81,2	80 - 100
200	0,075	66,41	89,7	8,54	89,7	37,48	89,7	
Fundo		80,13	0,2	10,31	100,0	11,50	50,1	
Total		777,44		100,00		438,72		

2. Dimensão Máxima Característica: 4,8 mm
3. Módulo de Finura (MF): 2,54
4. Zona (MF): ÓTIMA 2,20 a 2,90 - UTILIZÁVEL INFERIOR 1,55 A 2,20 - UTILIZÁVEL SUPERIOR 2,90 A 3,50
5. O material está sendo enquadrado na faixa de areia apenas para visualização de parâmetros

Gráfico 1: Gradação de agregados miúdos



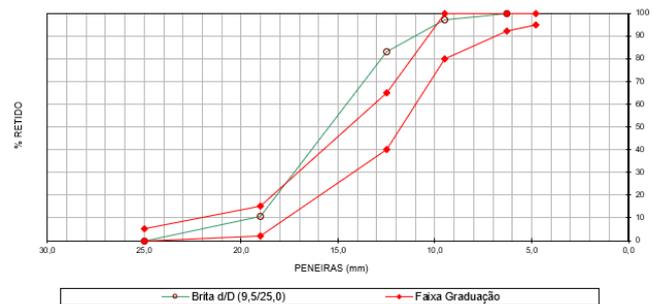
Mediante a análise do gráfico 1, a curva de distribuição do agregado miúdo está dentro da zona utilizável (zona ótima). Destaca que a dimensão máxima da areia artificial é de 4,80 mm, módulo de finura de 2,68, conforme NBR NM248 (ABNT, 2003), massa específica de 2,629 g/cm³, baseada na NBR NM52 (ABNT, 2009).

O agregado graúdo empregado foi brita n° 1 de gnaiss. A caracterização dos agregados graúdos foi realizada conforme as normas e as informações constam na Tabela 2 e no Gráfico 2.

Tabela 2: Caracterização do agregado graúdo

1. Peneiramento das Amostras:		1ª Determinação		2ª Determinação		Média		Faixa Granulométrica Brita 1 - NBR 7211
Peneiras	Abertura em (mm)	Material Retido		Material Retido		Material Retido		
		Peso (g)	% Acum.	Peso (g)	% Acum.	Peso (g)	% Acum.	
4"	100							
3"	76							
2 1/2"	64							
2"	50							
1 1/2"	38							
1 1/4"	32	0,00		0,00		0,00	0,0	
1"	25	0,00		0,00		0,00	0,0	0 - 5
3/4"	19	642,00	10,6	659,00	10,8	650,50	10,7	2 - 15
1/2"	12,5	4404,00	83,0	4381,00	82,8	4392,50	82,9	40 - 65
3/8"	9,5	864,00	97,3	877,00	97,2	870,50	97,2	80 - 100
1/4"	6,3	156,00	99,8	160,00	99,8	158,00	99,8	92 - 100
4	4,8	0,00	99,8	0,00	99,8	0,00	99,8	95 - 100
8	2,4	0,00	99,8	0,00	99,8	0,00	99,8	
16	1,2	0,00	99,8	0,00	99,8	0,00	99,8	
30	0,6	0,00	99,8	0,00	99,8	0,00	99,8	
50	0,3	0,00	99,8	0,00	99,8	0,00	99,8	
100	0,150	0,00	99,8	0,00	99,8	0,00	99,8	
200	0,075	0,00	99,8	0,00	99,8	0,00	99,8	
Fundo		10,00	100,0	13,00	100,0	11,50	100,0	
Total		6076,00		6090,00		6083,00		
2. d/D:		6,3/25mm						
3. Dimensão Máxima Característica		12,5mm						

Gráfico 2: Gradação de agregados graúdo



A distribuição granulométrica do agregado graúdo atendeu a norma NBR 7211 (ABNT, 2009) e NBR NM248 (ABNT, 2003), apresentando seus limites próximo da zona granulométrica 6,3/25mm. As principais características físicas do agregado graúdo correspondem a dimensão máxima igual a 19mm, módulo de finura de 6,95 e massa específica de 2,62 g/cm³.

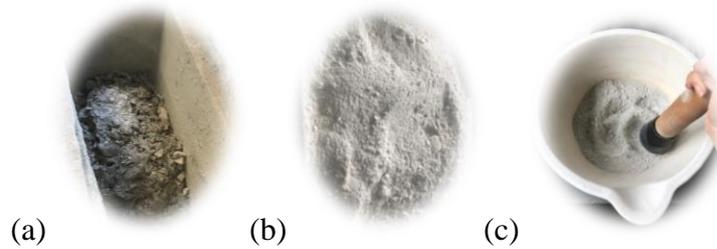
3.2.2 Caracterização do cimento

O Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, CP V-ARI utilizado e escolhido contém menor teor de adições ativas entre os disponíveis no mercado local. A caracterização do cimento consiste de massa específica 3,09 g/m³, área específica – BET de 4,906 cm²/g, módulo de finura #200 de 0,20% e #325 de 2,20%.

3.2.3 Preparação e caracterização do resíduo de lama de marmoraria

Na empresa de marmoraria, a lama retirada do tanque passou por um processo de tratamento através da utilização da máquina filtro prensa, no qual passa por uma redução do volume de água contida no material. Posteriormente, no laboratório da UFMG, o material coletado foi submetido a um processo de secagem na estufa à temperatura de (100 ± 5)°C por 24 horas. Em seguida, o material resfriado naturalmente passou pelo processo do destorroamento manual resultando em um pó muito fino e por fim, foi acondicionado em saco plástico. A massa específica 2,62 g/m³ foi determinado por meio do equipamento *Auto density*, e o módulo de finura de #200 de 3,20% e #400 de 20,40% foi baseado pela NBR 11579:2013.

Figura 2: (a) Lama no tanque da marmoraria; (b) resíduo da lama em pó após a secagem; (c) Processo do destorroamento do resíduo em pó



3.2.4 Dosagens e preparação dos corpos de prova

De acordo com a NBR 5738:2015, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de concreto de dimensão (15 x 30) cm. O traço padrão estabelecido foi de 1: 2,04: 2,34, com relação água cimento de 0,53, para uma resistência característica de 25MPa aos 28 dias.

A partir do traço de referência (TRf) executou-se mais uma dosagem experimental de substituição de 20% do peso do cimento por resíduo do pó da lama de marmoraria (T20%Cs), mantendo sem alteração todos os outros elementos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Dosagens

Descrição	Nomenclatura	Cimento	Resíduo	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Relação a/c
Referência	TRf	1,00	0,00	2,04	2,34	0,53
Substituição de 20% pelo peso do cimento	T20%Cs	0,80	0,20	2,04	2,34	0,53

Foram confeccionados 6 corpos de prova de cada dosagem, totalizando 12 corpos de prova, os quais foram desenformados com 24 horas, identificados, retificados e submetidos ao processo de cura. Seis deles foram colocados dentro de um recipiente com água no laboratório aguardando os dias estabelecidos para o ensaio de resistividade elétrica e três deles, colocados em uma câmara úmida para o ensaio de resistência.

3.2.5 Ensaios

Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão e resistividade elétrica superficial e volumétrica aos 7 e 28 dias de idade.

3.2.5.1 Resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão axial nas idades de 7 e 28 dias, foram utilizados 3 corpos de prova de cada idade para cada traço referenciado, conforme especificações da norma NBR 5739 (ABNT, 2018).



Figura 3: Prensa Hidráulica

3.2.5.2 Resistividade elétrica superficial

O ensaio de resistividade elétrica superficial foi realizado através do equipamento baseado no sistema de quatro pontos projetado para medir a resistividade elétrica do concreto. Os corpos de prova encontravam saturados em um recipiente com água potável durante todo o período da pesquisa. Para o ensaio nas idades 7 e 28 dias, foram utilizados 3 corpos de prova de dimensão (15 x 30) cm para cada traço determinado, conforme especificações da norma americana T358-17 (AASHTO, 2017), utilizando o equipamento comercial Resipod da marca Proceq, conforme Figura 4.



Figura 4: Aparelho do ensaio de resistividade elétrica superficial

3.2.5.3 Resistividade elétrica volumétrica

O equipamento de resistividade elétrica volumétrica encontrava dentro do laboratório da UFMG onde foi realizado o ensaio, conforme mostrado na Figura 5. O modelo desenvolvido baseia no sistema de dois eletrodos, e entre o contato dos eletrodos com a superfície do espécime de concreto retificado é usado esponja de lã de aço úmida. Os corpos de prova para este ensaio são os mesmos para o ensaio de resistividade elétrica superficial que se encontravam saturados em um recipiente com água potável, sendo realizados os ensaios nas idades 7 e 28 dias, baseado na norma NBR 9204 (ABNT, 2012).



Figura 5: Aparelho do ensaio de resistividade elétrica volumétrica

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resistência à compressão axial

Observa-se no Gráfico 3, que os valores médios de resistência à compressão axial na idade de 7 e 28 dias, à medida que aumenta a idade de cura das amostras de concreto, a resistência à compressão aumenta. Os resultados apontam que a dosagem de substituição parcial do peso do cimento pelo resíduo da lama de marmoraria em pó identificou uma força reduzida em torno de 18% para a idade de 7 dias e 16% para a idade de 28 dias em relação a família de concreto de referência.

Em virtude da redução da resistência, pode estar atrelada a diluição de C2S e C3S, elementos esses, que geram o CSH no processo de hidratação, conforme colocado nos trabalhos [18; 19] e acrescentam que após substituir 10% do cimento pelo resíduo, a quantidade de C3A e C2S se torna indispensável para a redução do processo de hidratação. O Gráfico 3 e Tabela 4 apresentam os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão axial.

Gráfico 3: Resultados do ensaio de resistência à compressão axial

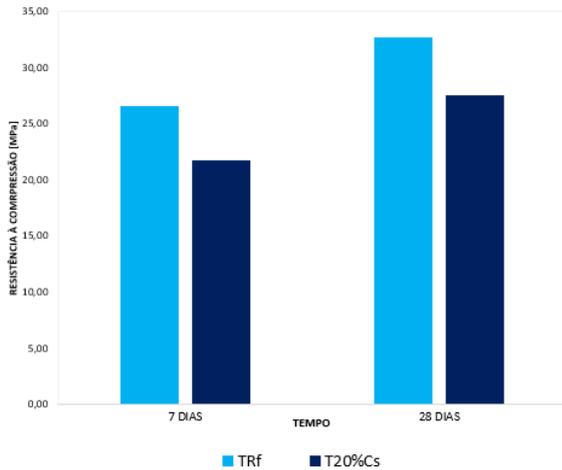


Tabela 4: Média dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial

NOMENCLATURA	7 DIAS	28 DIAS
TRf	26,52	32,65
T20%Cs	21,68	27,45

4.2 Resistividade Elétrica Superficial

Quanto aos valores de resistividade elétrica superficial, os valores médios do Gráfico 4 demonstram que a família da dosagem de substituição da lama de marmoraria em pó no concreto não mostra aumento nos valores de resistividade elétrica aos 7 e 28 dias comparado com o concreto de referência.

Porém os resultados aumentam o valor da resistividade elétrica superficial devido a evolução de hidratação do cimento e o endurecimento progressivo do concreto.

Destaca-se então que na dosagem que houve substituição parcial do peso do cimento pelo resíduo identificou uma redução cerca de 17% para a idade de 7 dias e 16% para a idade de 28 dias. O Gráfico 4 e Tabela 5 apresentam os resultados obtidos do ensaio de resistividade elétrica superficial.

Gráfico 4: Resultados do ensaio de resistividade elétrica superficial

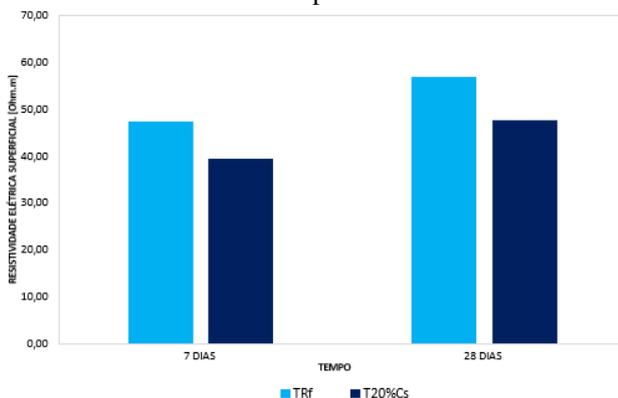


Tabela 5: Média dos resultados do ensaio de resistividade elétrica volumétrica

NOMENCLATURA	7 DIAS	28 DIAS
TRf	47,25	56,75
T20%Cs	39,42	47,50

4.3 Resistividade Elétrica Volumétrica

Em relação aos valores médios de resistividade elétrica volumétrica, o Gráfico 5 indica que a família de substituição do peso do cimento pela lama de marmoraria em pó no concreto apresenta valores menores comparado com a família de referência. Destaca-se que os valores apresentam crescimento ao longo da idade, devido à hidratação do cimento e endurecimento progressivo do concreto.

Observa-se que para a idade de 7 dias, apresentou um resultado em torno de 17% e para a idade de 28 dias, cerca de 8% comparado com o concreto de referência.

Nota-se que os valores de resistividade elétrica volumétrica não aumentam com o teor de percentual do resíduo da lama de marmoraria na dosagem, podendo tal fato ser ocasionado pela influência da alta finura do resíduo podendo provocar na matriz cimentícia um preenchimento dos poros existentes e redução dos espaços disponíveis para a água, colaborando na redução da condutividade elétrica do sistema, conforme mencionado por [6]. O Gráfico 5 e Tabela 6 apresentam os resultados obtidos do ensaio de resistividade elétrica volumétrica.

Gráfico 5: Resultados do ensaio de resistividade elétrica volumétrica

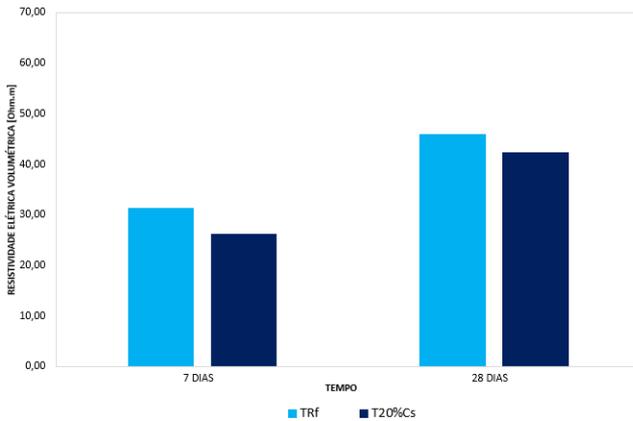


Tabela 6: Média dos resultados do ensaio de resistividade elétrica volumétrica

NOMENCLATURA	7 DIAS	28 DIAS
TRf	31,33	45,80
T20%Cs	26,13	42,27

5. CONCLUSÃO

A influência da lama de marmoraria na produção do concreto foi avaliada quanto à resistência à compressão e resistividade elétrica superficial e volumétrica.

- Quanto à resistência à compressão, para as idades de 7 e 28 dias, a substituição contribuiu para uma redução de 18% e 16% em relação ao concreto de referência.
- Quanto à resistividade elétrica superficial, a substituição do peso do cimento pela lama de marmoraria diminuiu cerca de 17% e 16% em relação aos valores do concreto referência.
- Quanto à resistividade elétrica volumétrica, a substituição do peso do cimento pela lama de marmoraria em pó para as idades 7 e 28 dias, apresentaram uma redução de 17% e 8% comparado com o concreto de referência.
- Considerando os resultados, ressalta que substituição do peso do cimento pela lama de marmoraria impactou a resistência a compressão, porém conseguiu atingir uma resistência acima de 25MPa.
- Pode-se dizer que a resistividade elétrica superficial é maior que a resistividade elétrica volumétrica para as idades analisadas. E o concreto encontra-se protegido superficialmente da corrosão comparado no seu interior.
- Em relação à resistividade elétrica, os resultados demonstraram que a substituição por lama de marmoraria aumenta o valor da resistividade elétrica superficial e volumétrica devido a evolução de hidratação do cimento e o endurecimento progressivo do concreto, porém os resultados de resistividade diminuem comparado ao concreto de referência.
- Em relação a substituição do volume do cimento pelo resíduo, pode considerar que o custo do cimento por ser um dos elementos mais elevados na produção do concreto, a incorporação desse resíduo pode ser uma possibilidade para economia do produto e impacto ambiental, podendo contribuir com o descarte adequado dessa lama de marmoraria no meio ambiente

REFERÊNCIAS

- AASHTO – American Association of State and Highway Transportation Officials. T358-17: **Standard method of test for surface resistivity indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration**, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2017, 10p.
- ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Informe 05/2018. Brasília, 2018.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, Maio, 2001.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, Maio, 2001.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, Julho, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49**: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, Novembro, 2001.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, Julho, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, Julho, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, Julho, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015, 6p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 20018.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, Abril, 1982.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9204**: Concreto endurecido – Determinação da resistividade elétrica-volumétrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G 57**: Standard Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method. West Conshohocken, Philadelphia, 5p, 2006.
- [1] ANDRADE, C., D'ANDRÉA, R. La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. **Revista ALCONPAT**, V.1, No. 2, p. 93-101, 2011.
- [2] ARAÚJO A. DE; PANOSSIAN Z.; OLIV K. J.; FILHO M. L. P. **Técnicas de medição da resistividade elétrica em estruturas atmosféricas de concreto convencional**. *Téchne Educação*, Edição 210 – Setembro, 2014.
- [3] AREL, H. S. **Recyclability of waste marble inconcrete production**. *Journal of Cleaner Production*, v. 131, p. 179-188, September, 2016.
- [4] ARUNTAS, H.Y.; GÜRÜ, M.; DAYI, M.; TEKIN, I. Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. **Materials & Design**, v. 31, n.8, p. 4039-4042. DOI:10.1016/j.matdes.2010.03.036, 2010.
- [5] CHEN, C.T; CHANG, J.J; YEIH, W. C. **The effects of specimen parameters on the resistivity of concrete**. *Construction and Building Materials*, November, v.71, p.35-43, 2014.
- [6] DOTTO, J.M.R; ABREU, A.G.; DAL MOLIN, D.C.C.; MÜLLER, I.L. Influence of silica fume addition on concretes physical properties and on corrosion behavior of reinforcement bars. **Cement & Concrete Composites**. V. 26, p. 31-30, 2004.
- [7] GANS, P. S.; MEDEIROS-JUNIOR, R. A.; LIMA, M. G. **Efeito da escória de alto forno na resistividade elétrica superficial do concreto**. 2º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções, p. 14-23, 2017.

- [8] HANIEH, A. A.; ABDELALL, S.; HASAN, A. Sustainable development of stone and marble sector in Palestine. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 581- 588, 2014.
- [9] KHODABAKHSHIAN, Ali et al. Mechanical, environmental and economic performance of structural concrete containing silica fume and marble industry waste powder. **Construction and Building Materials**, v. 169, p.237-251, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.192>.
- [10] LÜBECK, A. **Resistividade elétrica de concretos de cimento Portland branco e elevados teores de escória de alto forno**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.
- [11] McCARTER, W J et al. **Two-point concrete resistivity measurements: interfacial phenomena at the electrode–concrete contact zone**. Measurement Science and Technology, [s.l.], v. 26, n. 8, p.85-98, 10 jul. 2015. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/26/8/085007>.
- [12] MEDEIROS-JUNIOR, R. A.; LIMA, M. G. Investigação da resistência à compressão e da resistividade elétrica de concretos com diferentes tipos de cimento. **Revista ALCONPAT**, v. 4, n. 2, p 116-132, 2014.
- [13] MOTHÉ FILHO, H. F., POLIVANOV, P., MOTHÉ, C. G. **Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ Vol. 28-2 p.139-151, 2005.
- [14] PETRY, N. S.; DELONGUI, L.; MULLER, A. L.; MASUERO A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação do uso de resíduos de marmoraria na produção de concretos. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 6, n. 2, p. 71-92, Jul.a Dez., 2017.
- [15] POLDER, R. B. Test methods for *on site* measurement of resistivity of concrete – a RILEM TC – 154 technical recommendation. **Construction and Building Materials**, v. 15, p. 125-131, 2000.
- [16] RANA, Aditya; KALLA, Pawan; CSETENYI, Laszlo J. **Sustainable use of marble slurry in Concrete**. Journal of Cleaner Production, [s.l.], v. 94, p.304-311, maio 2015.
- [17] SANTOS, M. A.; DESTEFANI A. Z.; HOLANDA.J.N.F. **Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento**. Revista Matéria. V. 18 n. 04 – artigo 11514, pp. 1442-1450, Rio de Janeiro, 2013.
- [18] SINGH, M., SRIVASTAVA, A.; BHUNIA, D. An investigation on effect of partial replacement of cement by waste marble slurry. **Construction and Building Materials**, p. 471, Mar., 2017a.
- [19] TÜRKER, P., ERDOGAN, B., ERDOGDU, K. Influence of marble powder on microstructure and hydration of cements. **Cement Concrete World Journal**. TÇMB Turk, v. 7, p. 38 e 89, 2002.