

CAPÍTULO 6

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E ALTERABILIDADE DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

*Roberto Carlos da Conceição Ribeiro¹; Julio César Guedes Correia;
Adriano Caranassios & Juliana Maceira Moraes*

RESUMO

O padrão cromático é o principal atributo considerado para qualificações de uma rocha na sua utilização como material para revestimento, mas outro parâmetro igualmente importante é a alterabilidade. O tipo litológico, a presença de fraturas e o clima podem ser considerados os fatores que mais influenciam a taxa de intemperismo físico e químico (alterabilidade) em rochas para revestimento. Por isso o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas usadas como pedras de revestimento são fatores econômicos que influenciam na formação de preço de mercado, além da estética e beleza do material. Sendo assim, todo o material empregado como rocha ornamental, deve possuir certas características técnicas que permitam sua aplicação. Tais características são índices determinados em laboratórios através de ensaios específicos que orientam o uso principal da rocha. O presente trabalho apresenta os resultados de ensaios de caracterização tecnológica, realizados em seis tipos litológicos, conhecidos comercialmente como Branco Caravelas, Branco Itaúnas, Branco Hymalaia, São Francisco, Verde Esmeralda e Mont Blanc, que foram submetidos à câmaras de névoa salina, SO₂ e umidade, além de ensaios de compressão e gelo-degelo. Pode-se perceber que a maioria das amostras apresentaram-se enquadradas às normas vigentes, com exceção do granito branco itaúnas e verde esmeralda, devido, possivelmente, às suas composições química e mineralógica diferenciadas.

1. INTRODUÇÃO

A definição de rocha ornamental estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética. A rocha para revestimento é definida pela ABNT, como rocha natural que, submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil (Frasca, 2002).

A caracterização tecnológica dessas rochas é realizada por meio de ensaios e análises, com o objetivo de obter parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos do material, garantindo assim, a qualificação, estabilidade e segurança da rocha para uso no revestimento de edificações.

¹ Engenheiro Químico, Ph.D. Centro de Tecnologia Mineral. E-mail: rcarlos@cetem.gov.br

Os ensaios são realizados para reproduzir as condições às quais a rocha estará submetida durante todo o processamento até seu uso final. Estes ensaios são normatizados por entidades nacionais e estrangeiras como a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, American Society for Testing and Materials - ASTM e Comissão Europeia de Normalização - CEN.

O estudo petrográfico de uma rocha implica uma série de observações rigorosas que pretendem, em geral, descrever a composição mineralógica, a forma, dimensões e relações mútuas dos constituintes (textura), a alteração e deformações sofridas, etc. Os estudos mineralógicos e petrográfico são importantes, pois, com base neles, muitas vezes, pode-se compreender melhor o comportamento das rochas em relação a algumas propriedades físico-mecânicas. A análise petrográfica está regulamentada pela Norma NBR12768.

2. OBJETIVO

Verificar o comportamento das rochas Branco Caravelas, Branco Itaúnas, Branco Hymalaia, São Francisco, Verde Esmeralda e Mont Blanc frente à condições de névoa salina, umidade e SO₂, além das mudanças nos valores de resistência à compressão após variações bruscas de temperatura.

3. METODOLOGIA

3.1) Ataque de SO₂

Utilizou-se 3 placas polidas com as dimensões 10cm x 10cm x 2cm, e reservou-se um corpo-de-prova padrão para avaliação visual da degradação por comparação com os que foram expostos. Inicialmente procedeu-se a lavagem e secagem dos corpos-de-prova em estufa por 24 horas à 70°C, mediu-se os valores iniciais de brilho e realizou-se a pesagem dos mesmos.

Colocou-se os corpos-de-prova na câmara (figura 3.7), suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de nylon, ajustou-se a temperatura para 40°C e adicionou-se o SO₂. Devido a presença de água na câmara, há formação de um ambiente ácido, capaz de atacar as rochas e simular o efeito da chuva ácida. As rochas ficam em exposição a este ambiente durante 8 horas. Passado este tempo, desliga-se o aparelho, abri-se a câmara para ventilação do seu interior, permanecendo, assim, por 16 horas o que caracteriza a conclusão de 1 ciclo.

Para o procedimento com rochas, realiza-se um total de 30 ciclos, perfazendo 720 horas de ensaio. Por fim retiram-se os corpos-de-prova, lava-se, seca-se, mede-se o brilho e realiza-se a pesagem final.

O ensaio por exposição ao SO₂ baseia-se na norma ABNT/ NBR 8096/83 para a execução do mesmo em materiais metálicos revestidos e não-revestidos.

3.2) Resistência à Compressão Uniaxial

Para este ensaio 6 cubos (7,5 cm x 7,5 cm x 7,5 cm) de cada rocha foram submetidos à ação da compressão em uma prensa Modelo HD 200 T da CONTENCO na condição seca, a fim de se obter a média da resistência à compressão em MPa, seguindo-se a norma ABNT 12.767/92.

3.3) Congelamento e Degelo conjugado à Compressão Uniaxial

Para o ensaio de congelamento e degelo utilizou-se a norma ABNT/NBR 12769. Segundo a norma, 10 corpos de prova nas dimensões 7,5 cm x 7,5 cm x 7,5 cm são saturados em água, com 5% de álcool etílico, por 24 h. Posteriormente os corpos de prova são colocados em geladeira, a -15°C, por 5 horas, e em temperatura ambiente por 24 horas (figura 3.3). Esse processo é repetido por 25 vezes (ciclos). Ao final desses ciclos, realiza-se o ensaio de compressão uniaxial.

3.4) Ataque de umidade

Inicialmente pesou-se os corpos-prova, após secagem em estufa por 24 horas à 70°C e mediu-se o brilho inicial. Reservou-se um corpo-de-prova padrão para avaliação visual da degradação por comparação com os que foram expostos. Os corpos-de-prova ficaram suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de nylon na câmara de umidade. Ao fim dos 10 ciclos (ou mais) de 24 horas, retiram-se os corpos-de-prova e realiza-se o procedimento de secagem. Posteriormente, mede-se o brilho e realiza-se a pesagem final e observam-se possíveis alterações superficiais, comparando-se com o corpo-de-prova padrão. Até o presente momento não existe em aplicação norma específica para o referido ensaio com rochas ornamentais. Dessa forma, utiliza-se a norma ABNT/NBR 8095/83 que avalia a degradação após condensação na superfície dos materiais metálicos revestidos e não revestidos.

3.5) Ataque de Névoa Salina

Primeiramente, os corpos de prova, de dimensões 5 cm x 5 cm x 5 cm, foram lavados com água destilada para a remoção de resíduos provenientes da operação de serragem. A secagem foi realizada em torno de $70 \pm 5^\circ \text{C}$, até que se obtivesse uma massa constante. Isto é alcançado quando a diferença entre as duas últimas pesagens no intervalo de 24 horas não exceder 0,1%.

Após a retirada dos corpos-de-prova da estufa proceder a colocação dos corpos-de-prova devidamente preparados no suporte correspondente dentro da câmara (figura 3.6), sendo submetidos a diferentes ciclos. Durante os ciclos a temperatura da câmara é mantida em $(40 \pm 5)^\circ \text{C}$. O ensaio consiste em 30 ciclos (perfazendo 540 horas), contudo é possível finalizar antes de completado este número de ciclos, se a perda de massa do corpo-de-prova for maior que 50%.

A cada 15 ciclos, os corpos-de-prova são retirados da câmara para um exame visual.- Ao término do ensaio, os corpos-de-prova são imersos em água deionizada de modo que todos os sais depositados sejam removidos. Este processo é muito lento, e a água deve ser trocada periodicamente até que a remoção do sal esteja completa.

A remoção é considerada completa após uma semana da imersão, ou quando a condutividade da solução em contato com os corpos-de-prova, durante pelo menos 12 horas, não exceder duas vezes o valor da água original (destilada).

Após essa lavagem os corpos-de-prova devem foram secos em estufa a temperatura de $70 \pm 5^\circ$ C por 24 h. Após a secagem foram esfriados em dessecador, para evitar a absorção de umidade, e finalmente pesados para obtenção do peso final (Mn) além da inspeção visual. Os resultados serão representados em termos da perda de massa e/ou existência maciça de fissuras. Para realização deste ensaio utiliza-se a norma ABNT 8094/83.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resistência ao ataque de SO₂

Em relação aos resultados do ataque de SO₂ pode-se verificar na tabela 4.1 os valores percentuais da perda de brilho para cada amostra estudada. Pode-se verificar uma pequena perda de brilho para a amostra de granito verde esmeralda, chegando-se a um valor em torno de 0,5%. Porém, as demais amostras apresentaram uma perda de brilho na fixa entre 3 e 4,5 %, com exceção da amostra de granito branco Itaúnas, que apresentou a perda de brilho mais significativa, chegando-se a valores em torno de 10%. Em relação a perda de massa, pode-se verificar na tabela 4.2 que os granitos sofreram uma baixa perda de massa percentual. Porém, observa-se que os granitos, branco itaúnas e Himalaia,sofreram as maiores perdas de massa, chegando-se a valores em torno de 0,1%. Já o granito Mont Blanc apresentou a menor perda de massa.

Tabela 4.1 - Variação do brilho das rochas após ataque com SO₂.

Granitos	Brilho inicial	Brilho após ao ataque	Perda de Brilho (%)
Verde Esmeralda	82,5	82,1	0,5
Mont Blanc	88,8	85,5	3,7
São Francisco	83,9	79,9	4,7
Branco Caravelas	87,5	84,6	3,3
Branco Himalaia	85,0	81,4	4,2
Branco Itaúnas	64,1	57,8	9,8

Tabela 4.2: Variação de massa das rochas após ataque com SO₂.

Granitos	Massa inicial (g)	Massa após ao ataque (g)	Perda de Massa (%)
Verde Esmeralda	1091,9	1091,44	0,042
Mont Blanc	515,3	515,17	0,025
São Francisco	519,2	518,88	0,062
Branco Caravelas	1209,9	1208,82	0,089
Branco Himalaia	502	501,48	0,104
Branco Itaúnas	515,7	515,01	0,134

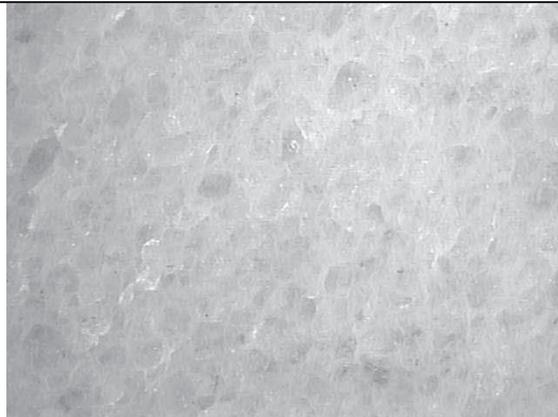
A fim de se verificar a variação estrutural dos granitos em estudo, foram retiradas fotografias em lupa binocular após o ataque de SO₂ (figura 4.1) e os resultados foram comparados com as amostras isentas da ação química.



(a) Verde Esmeralda antes



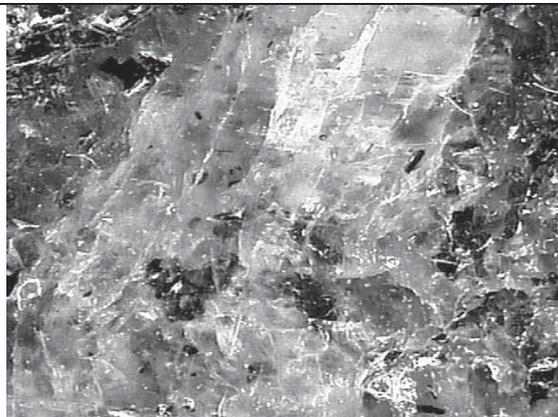
(a) Verde Esmeralda após



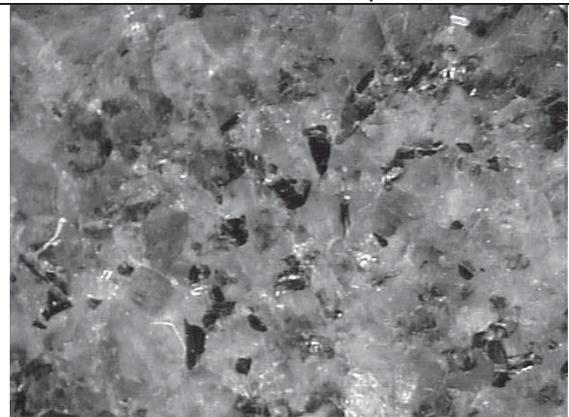
(c) Mont Blanc antes



(c) Mont Blanc após



(c) São Francisco antes



(c) São Francisco após

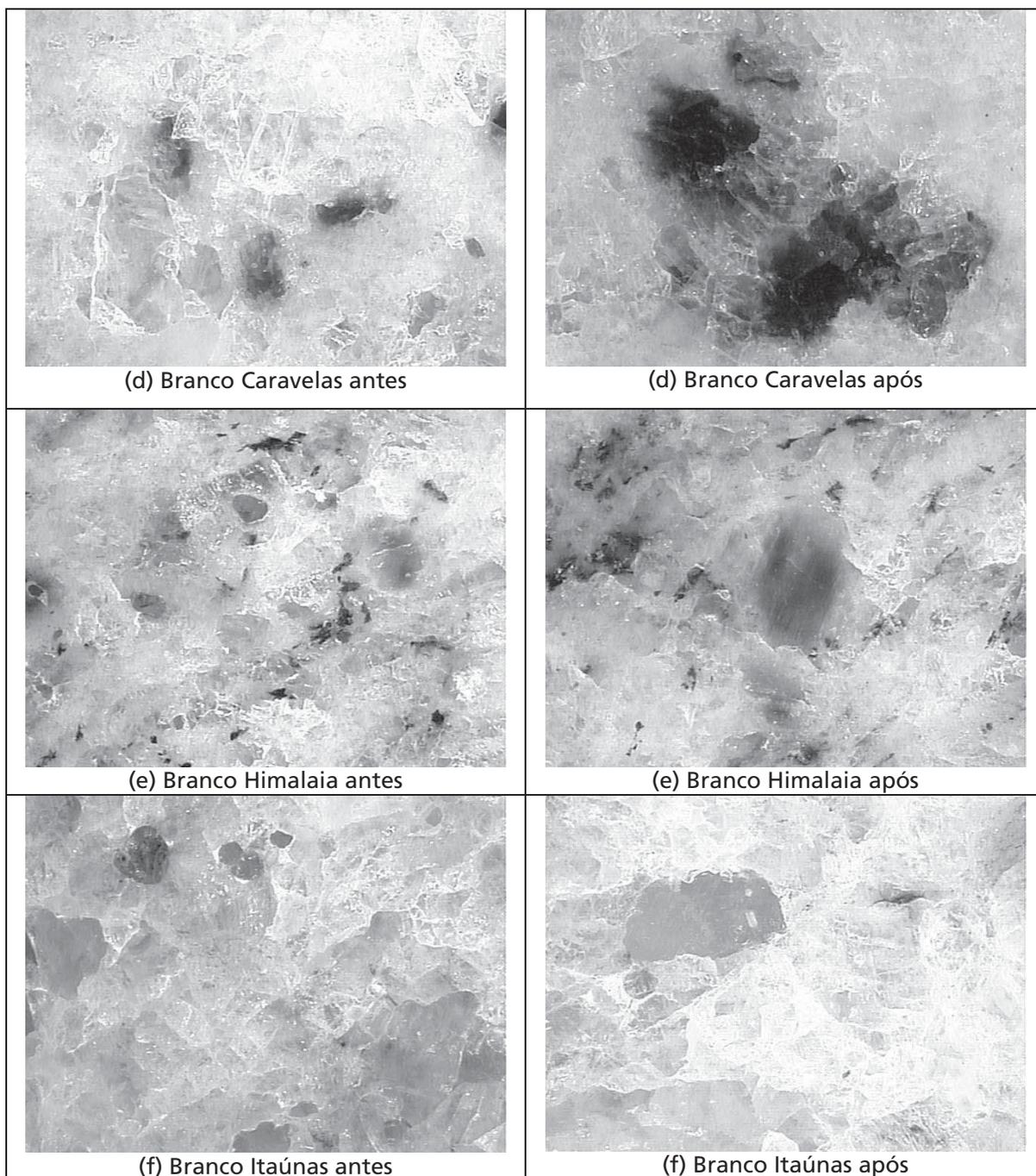


Figura 4.1: Granitos antes e após ataque com SO_2

4.2 – Compressão Uniaxial

Na tabela 4.3 pode-se verificar os resultados de compressão dos granitos em estudo na sua forma seca, sem os efeitos da variação da temperatura.

Tabela 4.3: Valores de Resistência à Compressão (MPa) dos granitos em estudo.

Granitos	Resistência à Compressão (MPa)
Verde Esmeralda	104,89
Mont Blanc	178,61
São Francisco	142,24
Branco Caravelas	125,10
Branco Himalaia	163,07
Branco Itaúnas	112,68

Segundo as normas da ASTM C 615, os granitos, geralmente, devem apresentar valores de resistência à compressão superiores a 131 MPa. Dessa forma, verifica-se que os granitos Mont Blanc, São Francisco e Branco Himalaia apresentam-se enquadrados às normas estabelecidas. Já os demais granitos encontram-se com valores inferiores ao estabelecido pela ASTM C 615.

4.3. Congelamento e Degelo conjugado à Compressão Uniaxial

Na tabela 4.4 pode-se verificar os resultados de compressão dos granitos após sofrerem variação brusca de temperatura (-15°C e 40°C). Comparando-se tais resultados com os apresentados na tabela 4.3, verifica-se que os granitos verde esmeralda e branco itaúnas foram os únicos que apresentaram uma redução considerável na resistência à compressão após a variação de temperatura. Em relação aos demais granitos, observa-se um aumento na resistência à compressão, indicando a pouca influência da variação brusca de temperatura na resistência dos mesmos.

Tabela 4.4: Valores de Resistência à Compressão (MPa) dos granitos em estudo.

Granitos	Resistência à Compressão (MPa)
Verde Esmeralda	65,50
Mont Blanc	190,53
São Francisco	159,30
Branco Caravelas	132,75
Branco Himalaia	170,85
Branco Itaúnas	84,05

4.4. Ensaio de Umidade

Pode-se perceber na tabela 4.5 que os corpos de prova das amostras dos diferentes litotipos apresentaram perda de massa insignificante e, portanto, foram pouco afetados pelo ensaio de exposição à umidade.

Tabela 4.5: Resultados do ensaio de Umidade

Amostra		Peso Inicial	Peso Final	Perda peso	Perda de Peso (%)
Branco Himalaia	BH3	513	512,65	0,35	0,068
	BH4	517,2	516,83	0,37	0,072
	BH5	515,7	515,36	0,34	0,066
	BH6	517,5	517,27	0,23	0,044
Média:					0,063
Branco Itaúnas	Bl1	513,6	513,35	0,25	0,049
	Bl2	529,4	529,22	0,18	0,034
	Bl3	513	512,87	0,13	0,025
	Bl4	534,8	534,48	0,32	0,060
	Bl5	520,4	520,15	0,25	0,048
	Bl6	514,8	514,61	0,19	0,037
Média:					0,042
São Francisco	SF1	500,8	500,57	0,23	0,046
	SF2	492,2	492,11	0,09	0,018
	SF3	483,5	483,24	0,26	0,054
	SF4	506,4	506,18	0,22	0,043
	SF5	486,1	485,81	0,29	0,060
	SF6	479,6	479,21	0,39	0,081
Média:					0,050
Mont Blanc	MB1	498,9	498,64	0,26	0,052
	MB2	509,4	509,26	0,14	0,027
	MB3	497,8	497,49	0,31	0,062
	MB4	528,8	528,64	0,16	0,030
	MB5	500,4	500,23	0,17	0,034
	MB6	526	525,77	0,23	0,044
Média:					0,042

4.5 Exposição à Nevoa Salina

Por meio dos resultados expostos nas tabelas de 4.6 a 4.11, pode-se observar que as amostras Mont Blanc e Verde Esmeralda apresentaram as maiores perdas de massa em relação às demais amostras de granito, porém, não se caracterizou uma perda significativa, uma vez que os valores não representam 0,1% da massa total da amostra.

Tabela 4.6: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do Branco Itaúnas.

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Branco Itaúnas	Bl1	299,5	299,4	0,1
	Bl2	316,7	316,5	0,2
	Bl3	311,9	311,8	0,1
	Bl4	314,9	314,7	0,2
	Bl5	330,5	330,3	0,2
	Bl6	339,9	339,8	0,1
Média:				0,15

Tabela 4.7: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do Branco Himalaya.

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Branco Himalaya	BH1	377,8	377,6	0,2
	BH2	377,3	377,2	0,1
	BH3	364,8	364,7	0,1
	BH4	361,8	361,7	0,1
	BH5	366,9	366,6	0,3
	BH6	363,3	363,1	0,2
Média:				0,17

Tabela 4.8: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do Branco Caravelas

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Branco Caravelas	BC1	336,4	336,3	0,1
	BC2	334,8	334,7	0,1
	BC3	334	333,9	0,1
	BC4	327	326,7	0,3
	BC5	342,6	342,4	0,2
	BC6	336,4	336,2	0,2
Média:				0,17

Tabela 4.9: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do São Francisco

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
São Francisco	SF1	355,7	355,5	0,2
	SF2	359,3	359,1	0,2
	SF3	359,7	359,6	0,1
	SF4	357,6	357,4	0,2
	SF5	357,2	357,1	0,1
	SF6	359,2	359	0,2
Média:				0,17

Tabela 4.10: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do Verde Esmeralda.

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Verde Esmeralda	VE1	331,7	331,4	0,3
	VE2	339,7	339,3	0,4
	VE3	340,2	339,9	0,3
	VE4	328,4	328	0,4
	VE5	341,4	341,1	0,3
	VE6	341,5	341,4	0,1
Média:				0,3

Tabela 4.11: Resultados do ensaio de exposição à névoa salina do **Mont Blanc**.

Amostra	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)
Mont Blanc	MB1	333,9	333,7	0,2
	MB2	358,9	358,7	0,2
	MB3	387,9	387,5	0,4
	MB4	358,2	357,8	0,4
	MB5	354,2	353,9	0,3
	MB6	358,1	357,8	0,3
Média:				0,3

4.6 – Resistência à flexão a 4 pontos

Por meio da tabela 4.12 pode-se verificar os resultados de resistência à flexão das amostras em estudo. Pode-se observar que as amostras Verde esmeralda e São Francisco apresentaram os menores resultados de flexão, quando comparadas às demais, porém, todas as amostras apresentaram valores de tensão e força dentro do que se considera, normativamente, como satisfatório para aplicação como rocha de revestimento.

Tabela 4.12: Resultados de resistência à flexão.

Amostras	Força (kN)	Tensão (MPa)
Branco caravelas	4,71	24,29
Branco itaúnas	3,68	19,31
Branco himalaya	4,61	24,20
São francisco	2,06	11,15
Verde esmeralda	2,21	11,59
Mont blanc	5,26	27,63

5. CONCLUSÕES

- Pode-se concluir que entre os granitos em estudo o Mont Blanc apresentou os maiores resultados de compressão e flexão, o que pode ser causado pelo maior percentual de sílica em sua estrutura.
- Em relação aos resultados de compressão conclui-se ainda que, além do granito Mont Blanc, apenas os granitos Verde São Francisco e Branco Himalaia apresentaram resultados compatíveis com as exigências mínimas da ASTM C615.
- Em termos de exposição ao ataque de SO₂, verificou-se uma perda de brilho em torno de 3 - 4% para todos, porém a mais significativa foi para o granito itaúnas, que chegou a valores, em torno de 10%, devido, possivelmente, ao ataque do SO₂ (ácido) nas regiões alcalinas da rocha (K, Ca e Na), que constituem os feldspatos.
- Em termos de variação da compressão após mudanças bruscas de temperatura, pôde-se verificar que apenas os granitos itaúnas e verde esmeralda sofreram essa alteração.

- Em termos de umidade, observou-se que nenhum dos granitos sofreu alteração de brilho ou massa, porém, quando avaliados em termos de ataque de névoa salina observou-se uma perda de massa para os granitos Mont Blanc e Verde Esmeralda, devido, possivelmente, a oxidação acelerada de alguns elementos (Fe, K, Ca ou Na) que passaram para solução na forma de íons.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, NBR 12.767/92: rochas para revestimento, determinação da resistência à compressão uniaxial, Rio de Janeiro.
- 2) _____. (1983) NBR 8094/83: Material metálico revestido e não revestido, corrosão por exposição à névoa salina, Rio de Janeiro.
- 3) _____. (1983) NBR 8095/83: Material metálico revestido e não revestido, corrosão por exposição à atmosfera úmida saturada, Rio de Janeiro.
- 4) _____. (1983) NBR 8096/83: Material metálico revestido e não revestido, corrosão por exposição ao dióxido de enxofre, Rio de Janeiro.
- 5) _____. (1992) NBR 12763/92: Rochas para Revestimento, Determinação da Resistência à Flexão, Rio de Janeiro.
- 6) _____. (1992) NBR 12769/92: Rochas para Revestimento – Ensaio de Congelamento e Degelo conjugados a verificação da resistência à compressão, Rio de Janeiro.
- 7) ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1990, C 170/90: standard method for compressive strength of dimension stone, Philadelphia.
- 8) Frascá, M. H. B. O., Estudos Experimentais de Alteração Acelerada em Rochas Graníticas para Revestimento, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São paulo, 2003.