

Universidade Federal de Alfenas  
*-Campus Poços de Caldas-*

**Daniel Leite Almeida**

**Manchamento em Rochas Ornamentais:  
Proposição de um novo método de ensaio**

Poços de Caldas/MG

2014

**Daniel Leite Almeida**

**Manchamento em Rochas Ornamentais:  
Proposição de um novo método de ensaio**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Curricular TCC II (ICT318) do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, campus de Poços de Caldas. Área de concentração: Engenharia de Minas. Orientador: Prof. Dr. Fabiano Cabañas Navarro

Poços de Caldas/MG

2014

## FICHA CATALOGRÁFICA

A447m

Almeida, Daniel Leite.

Manchamento em rochas ornamentais: proposição de um novo método de ensaio / Daniel Leite Almeida.

Orientação de Fabiano Cabanãs Navarro. Poços de Caldas: 2014.

41 fls.: il.; 30 cm.

Inclui bibliografias: fls. 37-38

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) –  
Universidade Federal de Alfenas– Campus de Poços de Caldas, MG.

1. Rochas ornamentais. 2. Manchamento. 3. Análise computacional. I. Navarro,  
Fabiano Cabanãs (orient.). II. Universidade Federal de Alfenas - Unifal. III. Título.

CDD 553.5

Daniel Leite Almeida

**Manchamento em rochas ornamentais: Proposição de um novo método de ensaio**

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho apresentado à Unidade Curricular Trabalho de Conclusão de Curso II (ICT218), do curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG), campus de Poços de Caldas, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel e Engenharia de Minas

Aprovada em: 10 de julho de 2014

**Examinador:** Fabiano Cabañas Navarro

**Instituição:** Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG)

**Assinatura:** 

**Examinador:** Ana Olívia Baruf Magalhães

**Instituição:** Unifal-MG

**Assinatura:** 

**Examinador:** Matheus Fernando Ancelmi

**Instituição:** Unifal-MG

**Assinatura:** 

## **Agradecimentos**

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Professor Dr. Fabiano Cabañas Navarro pela orientação, disponibilidade, dedicação e apoio na elaboração deste trabalho e durante todo decorrer do curso. Sua ajuda foi essencial para a finalização deste trabalho.

Agradeço também a Universidade Federal de Alfenas e a seus professores por todo suporte técnico e instrumental que me foi fornecido para a elaboração deste trabalho.

Ao Técnico de laboratório João Eduardo Viera Lima pela disponibilidade e no auxílio nas atividades experimentais realizadas durante todo este ano no laboratório.

À Marmoraria Pirâmide pela doação dos corpos de prova.

À Professora MSc Patrícia Neves Mendes pelas importantes contribuições neste trabalho.

Aos pesquisadores, Geólogo MSc Eduardo Brandau Quitete – IPT e Geóloga Dra. Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá - MHB-Serviço Geológicos Ltda, pelo fornecimento do procedimento de ensaio de manchamento de rochas ornamentais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, e pela oportunidade de colaborar neste trabalho.

À Talita pelo apoio, incentivo, companheirismo e colaboração, que foram essenciais para a concretização deste trabalho.

À todos meus amigos que colaboraram para a finalização deste trabalho, principalmente aos amigos da República Chapa Coco.

E por fim gostaria de agradecer aos meus pais, Regina e José Carlos, que acreditaram em mim desde o início desta caminhada que agora se encerra.

## Resumo

Com o crescimento notório do setor da construção civil no Brasil na última década, o mercado de rochas ornamentais tem grande perspectivas para o futuro. Com isso, vem a necessidade de aumentar a qualidade dos materiais utilizados como revestimento e ornamentação dos ambientes. Para que a qualidade das rochas ornamentais seja respeitada, é necessário que haja técnicas de caracterização bem definidas e objetivas. Por isso, neste presente trabalho foram realizados ensaios de caracterização de manchamento de rochas ornamentais aplicando análises computacionais, a fim de eliminar a subjetividade na análise dos resultados. A técnica utilizada consiste na realização do ensaio de manchamento baseada na norma NBR 13818 e o procedimento de ensaio do IPT, com a inserção de análise das imagens digitalizadas das amostras em cada etapa de limpeza no programa *ImageJ*. Os tipos estéticos selecionados para compor os ensaios foram: Granito Cinza Corumbá e Sienito Ocre Itabira, devido à importância comercial desses na atualidade. Os resultados dos ensaios foram considerados satisfatórios, visto que o método de análise utilizado elimina a subjetividade, comparativamente aos métodos atualmente mais utilizados. Por fim sugeriu-se uma norma de ensaio de manchamento de rochas ornamentais e uma escala de limpabilidade frente aos vários de tipos de agentes manchantes e limpantes usados no trabalho.

**Palavras Chave:** Rochas ornamentais; manchamento; análise computacional.

## Abstract

In the last decade the civil construction sector in Brazil experienced a notorious growth, that give big prospects for the future of the of dimension stones market. With that comes the need to improve the quality of the materials used as covering and ornamentation of environments. To respect the quality of ornamental stone is necessary develop techniques of characterization well-defined and objective. Therefore, in this present study were done tests for the characterization of staining of dimension stones applying computational methods in order to avoid subjectivity in the analysis of the results. The method consists in performing staining tests based on Brazilian standard NBR 13818 and the IPT's test procedure. The analysis was carried out on scanned images from the samples previous and after the staining tests, in ImageJ software. Two aesthetic stone types were selected to the tests: *Cinza Corumbá* granite and *Ocre Itabira* syenite. Those materials are largely used in Brazil. The test results were considered satisfactory, because the method for analyzes write off the subjectivity in comparison with the currently used methods. Finally we suggested a staining test standard for dimension stones and reference for cleanability.

**Key Words:** dimension stones; staining; computational analysis.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Reservas medidas e indicadas de rochas ornamentais no Brasil ( $10^6 \times m^3$ )- 2004- 2009 (DNPM, 2004-2009).....	11
Figura 2 - Fluxograma do ensaio de manchamento e escala de limpabilidade da NBR 18138: anexo G (ABNT,1997).....	14
Figura 3 - Representação gráfica do sistema de cores RGB (SANTOS, 2013).....	19
Figura 4 - Aspecto geral em placa polida do tipo comercial Ocre Itabira usado neste trabalho.....	21
Figura 5 - Aspecto geral em placa polida do tipo comercial Cinza Corumbá usado neste trabalho.....	22
Figura 6 - Fotografia da disposição da amostra no escâner.....	25
Figura 7 - Corpos de prova durante exposição aos agentes manchantes.....	26
Figura 8 - Imagem resultante da operação de subtração de duas imagens de um CP manchado e não manchado de Cinza Corumbá.....	27
Figura 9 - Gráfico comparativo das distribuições normais de frequência dos canais RGB em relação a cada etapa de limpeza.....	28
Figura 10 - Gráfico da evolução de limpeza do CP do granito Cinza Corumbá manchado com vinagre.....	31
Figura 11 - Imagem das subtrações dos CPs. (A) [CC_07 – CC_L1_07]; (B) [CC_07 – CC_L2_07]; (C) [CC_07 – CC_L3_07]; (D) [CC_07 – CC_L4_07].....	32
Figura 12 - Imagens digitalizadas do CP de Granito Cinza Corumbá manchado com vinagre após cada etapa de limpeza. (A) CC_07; (B) CC_L1_07; (C) CC_L2_07; (D) CC_L3_07; (E) CC_L4_07.....	32
Figura 13 - Gráfico da evolução de limpeza do CP do granito Cinza Corumbá manchado com Vinho tinto.....	33
Figura 14 - Imagem das subtrações dos CPs. (A) [CC_08 – CC_L1_08]; (B) [CC_08 – CC_L2_08]; (C) [CC_08 – CC_L3_08]; (D) [CC_08 – CC_L4_08].....	33
Figura 15 - Imagens digitalizadas do CP de Granito Cinza Corumbá manchado com vinho tinto após cada etapa de limpeza. (A) CC_08; (B) CC_L1_08; (C) CC_L2_08; (D) CC_L3_08; (E) CC_L4_08.....	34
Figura 16 - Esquema para medida do comprimento e largura dos CPs.....	34

Figura 17 - Imagem das subtrações dos CPs. (A) [CC\_06] - [CC\_L1\_06]; (B) [CC\_06] - [CC\_L2\_06]; (C) [CC\_06] - [CC\_L3\_06]; (D) [CC\_06] - [CC\_L4\_06].....36

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tabelas de granulometria do óxido de ferro e óxido de cromo da NBR 18138: anexo G (ABNT, 1997).....	15
Tabela 2 - Agentes manchantes conforme procedimentos NBR 13818 e IPT (ABNT, 1997) (IPT, 2009).....	16
Tabela 3 - Comparação entre o procedimento experimental da NBR 13818: Anexo G e o procedimento experimental do IPT, etapa de preparação dos corpos de prova (ABNT, 1997) (IPT, 2009).....	16
Tabela 4 - Comparação entre o procedimento experimental da NBR 13818: Anexo G e o procedimento experimental do IPT, etapa de materiais e métodos experimentais (ABNT, 1997) (IPT, 2009).....	17
Tabela 5 - Comparação entre o procedimento experimental da NBR 13818: Anexo G e o procedimento experimental do IPT, etapa de Método de análise (ABNT, 1997) (IPT, 2009).....	17
Tabela 6 - Agentes manchantes culinários e não culinários utilizados no procedimento de ensaio de manchamento de rochas ornamentais.....	23
Tabela 7 - Comparação entre os agentes de limpeza utilizados na norma da ABNT NBR13181: Anexo G, Procedimento do IPT e o ensaio realizado no presente trabalho (ABNT, 1997) (IPT, 2009).....	23
Tabela 8 - Agentes de limpeza utilizados nos ensaios de manchamento.....	24
Tabela 9 - Tabela da evolução das limpezas dos corpos de prova em escala RGB.....	29
Tabela 10 – Classificação das limpezas dos corpos de prova.....	31
Tabela 11 - Valores das medidas das arestas em centímetros, suas médias e as representações das feições das arestas. O a incerteza relacionada às medidas do paquímetro é de 1/500 cm.....	35

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	11
1.1 <i>Justificativa</i> .....	11
1.2 <i>Caracterização do problema</i> .....	12
<b>2. Objetivo</b> .....	13
<b>3. Revisão Bibliográfica</b> .....	13
3.1 <i>Critérios para avaliação do manchamento</i> .....	18
3.2 <i>Sistema de cores RGB</i> .....	19
<b>4. Materiais e Métodos</b> .....	19
4.1 <i>Ocre Itabira</i> .....	20
4.2 <i>Granito Cinza Corumbá</i> .....	21
4.3 <i>Agentes Manchantes</i> .....	22
4.4 <i>Agentes de limpeza</i> .....	23
4.5 <i>Procedimentos de ensaio</i> .....	24
4.6 <i>Análise dos dados</i> .....	26
<b>5. Resultados e discussão</b> .....	28
<b>6. Conclusão</b> .....	36
<b>Referências bibliográficas</b> .....	37
<b>Apêndice 1</b> .....	39
<b>Apêndice 2</b> .....	40

## 1. Introdução

O mercado de rochas ornamentais desde a década de 90 vem sendo altamente valorizado no Brasil e no mundo, devido ao aumento da busca de novos materiais voltados a construção civil, e também pela criação de novas tecnologias de extração e beneficiamento dos blocos, que viabilizaram a operação de muitos empreendimentos (MOTOKI, 2005).

As reservas brasileiras de rochas ornamentais são constituídas de uma grande variedade de tipos litológicos e vem crescendo exponencialmente o volume medido e indicado disponível para extração, tendo em vista a riqueza do subsolo e o aumento das pesquisas voltadas para rochas ornamentais (DNPM, 2009). A Figura 1 mostra a evolução das reservas indicadas e medidas no Brasil entre os anos de 2004 – 2009.

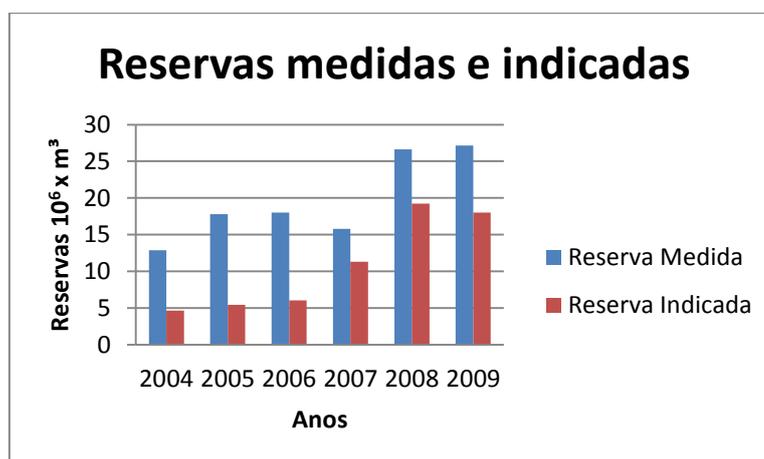


Figura 1 - Reservas medidas e indicadas de rochas ornamentais no Brasil ( $10^6 \times m^3$ )- 2004-2009.

Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, 2005 – 2009.

Pontos importantes como a beleza, sofisticação, requinte, durabilidade e resistência das rochas possuem uma grande relevância neste setor. Por isso, atualmente a caracterização tecnológica vem sendo bastante desenvolvida e aplicada, a fim de melhorar a qualidade do produto oferecido ao consumidor final.

### 1.1 Justificativa

As rochas ornamentais são frequentemente utilizadas como material de revestimento na construção civil, sendo empregadas em ambientes interiores e exteriores de edificações

com usos residenciais, comerciais ou industriais. Em outro segmento menos expressivo, são usadas como peças de mobiliário (mesas e cadeiras, por exemplo) e para acabamento tais como tampos de balcões e pias de cozinha e banheiros. Essa ampla gama de aplicações expõe estes materiais a produtos diversos, ocasionalmente ou periodicamente, em função do tipo de uso do material, ambiente de aplicação e práticas para a manutenção e limpeza.

A somatória desses fatores pode alterar os minerais, a textura e a estrutura da rocha, causando modificações estéticas temporárias ou permanentes.

## **1.2 Caracterização do problema**

O seguimento de rochas ornamentais é constituído por uma grande diversidade de tipos estéticos de rochas, que englobam mármore, granitos, quartzitos, gnaisses, entre outros. Os diferentes tipos de rochas apresentam respostas diferentes ao manchamento, sendo considerada a mineralogia, textura e estrutura das rochas e também os reagentes e produtos nos quais as rochas são expostas (FRASCÁ, 2004).

A caracterização de manchamento em rochas ornamentais é realizada hoje em dia de forma visual, tendo como principal problema a subjetividade e a falta de padronização na execução dos ensaios de identificação de cores. Esta subjetividade se dá por fatores do meio e interpretativo. Os fatores do meio referem-se principalmente à iluminação do ambiente. Já os fatores interpretativos estão relacionados com a percepção de cada pessoa em relação às cores presentes no material.

A simulação de manchamento para rochas ornamentais e a avaliação da susceptibilidade à limpeza não dispõem de norma específica. Visando sanar essa deficiência desde o início dos anos 2000, tem sido realizado no Brasil, com referência No seguimento da indústria cerâmica existe uma norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a NBR 13818, anexo G, que preconiza procedimento para ensaio de manchamento em placas cerâmicas (ABNT, 1997).

Além da norma de manchamento da ABNT para materiais cerâmicos, existe um procedimento utilizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT (IPT, 2009). Este procedimento foi baseado nos ensaios da NBR 13818: anexo G, com várias modificações, a fim de atender as especificidades e características das rochas

ornamentais. Apesar das modificações aplicadas aos ensaios da NBR, o procedimento do IPT manteve a forma de análise visual dos corpos de prova após a ação do agente manchante. Esse aspecto abre possibilidades de obtenção de resultados diferentes em função de quem executa o ensaio, algo muito comum de se verificar durante trabalhos de laboratório para realização desses procedimentos. Essas considerações são feitas fundamentadas na experiência prévia do orientador e da equipe de trabalho do IPT.

Para atingir resultados menos subjetivos é necessário desenvolver procedimentos que padronizem a análise dos corpos de prova, de modo a obter dados com pequena incerteza e livres de interpretações subjetivas dos operadores do ensaio.

## **2. Objetivo**

Propor um procedimento de ensaio para avaliação do manchamento de rochas ornamentais após a exposição controlada à agentes variados usados cotidianamente em aplicações residenciais e comerciais.

O procedimento foca eficiência e facilidade de realização, tendo o uso de programa computacional como maneira de garantir a objetividade nas etapas de avaliação.

## **3. Revisão Bibliográfica**

Os métodos e trabalhos aplicados na área de manchamento no Brasil atualmente são a norma da ABNT para cerâmicas, NBR 18138, anexo G, e o trabalho realizado pelo IPT adaptado para rochas ornamentais, baseado na mesma norma. Há poucos trabalhos na literatura aberta, e maior quantidade de dados está no acervo de relatórios do IPT, cuja leitura é restrita, devido à proteção contratual dos clientes atendidos por esse instituto.

O ensaio normalizado pela NBR 18138, anexo G (ABNT, 1997), tem como princípio induzir a formação de manchas na superfície vidrada de materiais cerâmicos com a utilização de agentes manchantes com ação penetrante, oxidante ou com formação de películas. Em seguida realiza-se tentativas sucessivas de limpeza. A classificação do manchamento nos

materiais cerâmicos se dá pela dificuldade da retirada da mancha, chamada de limpabilidade do material (Figura 2).

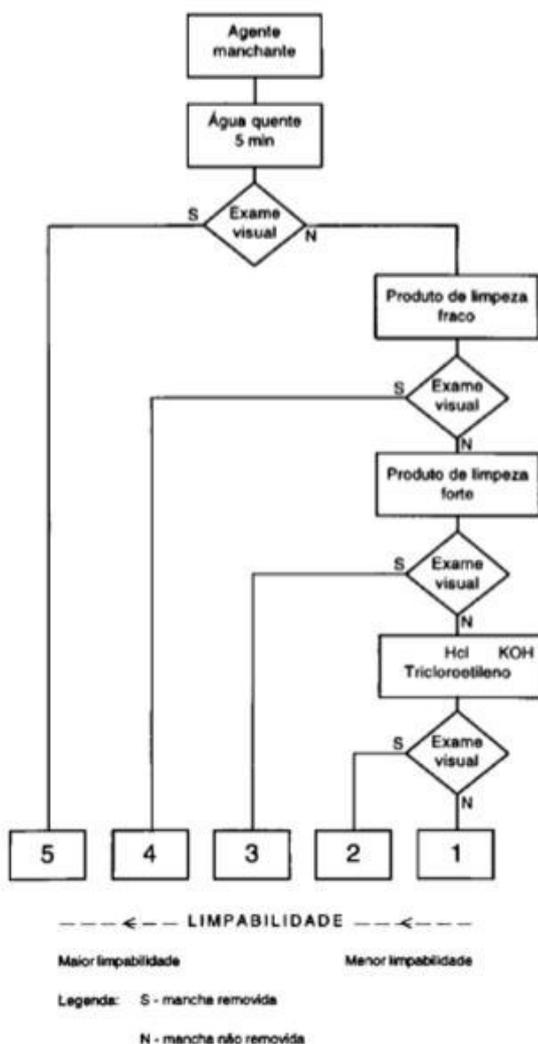


Figura 2 - Fluxograma do ensaio de manchamento e escala de limpabilidade da NBR 18138: anexo G.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997).

Devem ser realizados os experimentos em cinco amostras do mesmo material cerâmico (ABNT, 1997).

Os corpos de prova devem ser devidamente limpos, secos e não podem estar danificados. Os agentes manchantes de ação penetrante utilizados na norma são o óxido de cromo,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , (agente verde), e o óxido de ferro,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , (agente vermelho). O agente manchante de ação oxidante é iodo em solução alcóolica 13 g/l, e o agente manchante com formação de película é óleo de oliva. A norma também recomenda a utilização de outros agentes manchantes previamente entendidos (ABNT, 1997).

De acordo com essa norma as distribuições granulométricas das partículas dos agentes manchantes de ação penetrante (óxido de ferro e óxido de cromo) devem ser controladas, pois a penetração no material cerâmico depende do tamanho das partículas constituintes desses agentes (Tabela 1).

Tabela 1 – Tabelas de granulometria do óxido de ferro e óxido de cromo da NBR 18138: anexo G.

**Tabela G.1 - Distribuição típica do tamanho de partículas**

%	μ
10,0	< 0,5
29,2	< 1,0
43,7	< 2,0
50,0	< 3,0
66,3	< 5,0
78,8	< 10,0
89,6	< 20,0
93,0	< 32,0
97,4	< 64,0
100,0	< 96,0

**Tabela G.2 - Distribuição típica do tamanho de partículas**

%	μ
51,3	< 1,0
53,7	< 2,0
71,0	< 5,0
82,2	< 10,0
88,3	< 15,0
88,8	< 20,0
96,5	< 25,0
96,5	< 41,0
100,0	< 64,0

Fonte: (ABNT, 1997).

Seleciona-se primeiramente o agente manchante que será testado na amostra cerâmica, em seguida aplica-se de três a quatro gotas do reagente na superfície da placa cerâmica, tampando a superfície com um vidro relógio, a fim de evitar o escorrimento do agente manchante e limitar a área manchada. A amostra deve ficar exposta ao agente por aproximadamente 24 horas (ABNT, 1997). Para a limpeza da placa cerâmica são utilizados reagentes com potencial crescente de limpabilidade, sendo aplicados:

- água quente por 5 minutos e a secagem com pano úmido;
- produto de limpeza fraco, não abrasivo, com pH entre 6,5 e 7,5, utilizando uma esponja com água corrente e a secagem é realizada com pano úmido;
- produto de limpeza forte, abrasivo, com pH entre 9 e 10, utilizando uma escova rotativa por 2 minutos com água corrente e a secagem é realizada com pano úmido;
- e por fim a imersão por 24 h de HCl 3% (v/v), Hidróxido de potássio e tricloroetileno com a secagem com pano úmido.

Após cada etapa de lavagem, deve-se levar o material a uma estufa por duas horas e submete-lo a uma temperatura de  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  para uma então realizar o exame visual.

Após a realização dos procedimentos acima citados, classifica-se o material segundo as seguintes classes:

- Classe 1: mancha irremovível;

- Classe 2, 3 e 4: removível, dependendo dos agentes manchantes utilizados e produtos de limpeza;
- Classe 5: Removível com facilidade.

No método desenvolvido para rochas ornamentais no IPT, os procedimentos utilizados são similares ao método preconizado pela NBR 13818: Anexo G, com variações quanto aos agentes manchantes e algumas etapas, conforme as Tabelas 2, 3, 4 e 5.

Tabela 2 – Agentes manchantes conforme procedimentos NBR 13818 e IPT.

<b>Agentes Manchantes</b>		
<b>Procedimento de ensaio NBR</b>	<b>Procedimento de ensaio IPT</b>	
<b>Agente manchante verde</b>	<b>Agentes manchantes não culinários</b>	<b>Agentes manchantes Culinários</b>
Óxido de Cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) em óleo leve	Óxido de Cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) em óleo leve	Café
<b>Agente manchante vermelho</b>	Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) em óleo leve	Coca-Cola®
Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) em óleo leve	Iodo em solução alcóolica a 13 g/l	Ketchup
<b>Agente de oxidação</b>	Óleo lubrificante Automotivo	Maionese
Iodo em solução alcóolica a 13 g/l	Tinta de Caneta esferográfica	Mostarda
<b>Agente de formação de película</b>	Tinta de caneta hidrográfica ou para carimbo	Óleo de cozinha
Óleo de oliva		Vinagre
<b>Outros</b>		Vinho tinto
Utilização de outros agentes manchantes aleatórios		

Fonte: NBR 13818: anexo G e Procedimento de ensaio de manchamento do IPT.

Tabela 3 - Comparação entre o procedimento experimental da NBR 13818: Anexo G e o procedimento experimental do IPT, etapa de preparação dos corpos de prova.

<b>Tabela comparativa - NBR 13818: anexo G e Procedimento de ensaio do IPT</b>			
<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Procedimentos de ensaio NBR</b>	<b>Procedimentos de ensaio IPT</b>
<b>Preparação dos Corpos de Prova (CP)</b>	Nº de CPs por agente manchante	Cinco	Um
	Dimensão dos CPs	Não foi determina as dimensões dos corpos de prova	Superfície polida quadrada (serrada) entre 8 a 10 cm e espessura entre 2 a 3 cm
	Pré-Lavagem	Sim	Sim
	Registro fotográfico dos CPs	Não	Sim (iluminação controlada)

Fonte: NBR 13818: anexo G e Procedimento de ensaio de manchamento do IPT.

Tabela 4 - Comparação entre o procedimento experimental da NBR 13818: Anexo G e o procedimento experimental do IPT, etapa de materiais e métodos experimentais.

**Tabela comparativa - NBR 13818: anexo G e Procedimento de ensaio do IPT**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Procedimentos de ensaio NBR</b>		<b>Procedimentos de ensaio IPT</b>	
<b>Materiais e métodos experimentais</b>	Aparato que limita o agente manchante no CP	Vidro relógio convexo 30,0 ± 0,1 cm de diâmetro		Copos descartáveis de 5 ou 7 cm de diâmetro	
	Agentes manchantes	Ver tabela 2		Ver tabela 2	
	Tempo de exposição ao agente manchante	24 horas		24 Horas	
	Agentes e etapas de limpeza	Água quente	5 minutos de lavagem	Água quente	2 minutos de lavagem manual com esponja manual (água corrente)
		Produto de limpeza fraco (pH entre 6,5 e 7,5)	Lavagem manual utilizando esponja macia ou pedaço de pano	Produto de limpeza fraco (pH entre 6,5 e 7,5)	
		Produto de limpeza forte (pH entre 9 e 10)	2 minutos de lavagem com escova rotativa	Produto de limpeza forte (pH entre 9 e 10)	
	Reagentes de ataque solventes	HCl [3% (v/v)] + KOH [200g/l] + Tricloroetileno	24 horas em imersão e lavagem com água corrente	KOH [200 g/l]	-
Secagem das amostras	- Secagem das amostras com pano úmido; - 2 horas secagem na estufa a temperatura de 110 ± 5° C.		- Secagem das amostras com pano úmido; - 4 horas de secagem a temperatura ambiente com a umidade controlada.		

Fonte: NBR 13818: anexo G e Procedimento de ensaio de manchamento do IPT.

Tabela 5 - Comparação entre o procedimento experimental da NBR 13818: Anexo G e o procedimento experimental do IPT, etapa de Método de análise.

**Tabela comparativa - NBR 13818: anexo G e ensaio IPT**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Procedimentos de ensaio NBR 13818: Anexo G</b>	<b>Procedimentos de ensaio IPT</b>
<b>Método de análise</b>	Verificação dos CP por etapa	Exame visual das amostras, comparando as amostras que foram sujeitadas aos ensaios e os CP de cada tipo.	Exame visual das amostras, comparando a fotografia do CP não manchado e a amostra após cada etapa de limpeza.

Fonte: NBR 13818: anexo G e Procedimento de ensaio de manchamento do IPT.

A modificação mais relevante entre os procedimentos do IPT e da NBR é em relação aos registros fotográficos realizados no ensaio do IPT. Diferentemente das placas cerâmicas, as rochas ornamentais pertencentes aos mesmos tipos litológicos e lotes, não possuem

homogeneidade total de textura, estrutura e mineralogia, devido a fatores naturais de formação, por isso é necessário ter um registro da rocha sã anterior ao manchamento para efeitos de comparação e análise (IPT, 2009).

Outra diferença relevante é em relação à utilização da última etapa de limpeza, que na NBR 13818 utiliza a técnica de imersão das placas cerâmicas em uma solução de hidróxido de potássio, ácido clorídrico e tricloroetileno. No procedimento do IPT não foi utilizada esta técnica, pois foi verificado anteriormente que estes reagentes alteram as características estéticas das rochas ornamentais.

### **3.1 Critérios para avaliação do manchamento**

Alguns trabalhos realizados no Brasil analisam corpos de prova através de imagens digitalizadas em escâneres.

Em MOTOKI (2005), foram analisadas amostras do mármore Bege Bahia através do programa *Wilbur* que gera a designação numérica de cada cor no sistema HBG. As amostras digitalizadas foram devidamente preparadas e foram excluídas as áreas que não possuem interesse e com defeitos com o auxílio do Adobe Photoshop<sup>TM</sup> 7.0 e o CorealDraw<sup>TM</sup> 10. Neste trabalho, MOTOKI (2005) designa valores padrões para a coloração do Bege Bahia.

Em CLEMENTE (2013), foram realizados ensaios e análises de alterabilidade química dos calcários *Mont Charmot* e *Pedra Cariri* através de imagens digitalizadas por escâner dos corpos de prova antes e após os ataques químicos. Os ensaios foram realizados conforme a NBR 13818/97: anexo H.

A cor das imagens dos corpos de prova foram medidas pelo software *ImageJ* no sistema de cores RGB (*red, green e blue*), e expressos nos parâmetros estatísticos média, moda, desvio padrão, máximos e mínimos. A variação das médias das cores entre as rochas sãs e as rochas alteradas quantificou percentualmente o grau de alteração dos corpos de prova. Através de gráficos comparativos, CLEMENTE (2013) ilustrou a variação dos canais de cores. Entretanto, não houve conversão dos dados quantitativos encontrados para valores qualitativos de classes de ataque, conforme é feito na NBR 13818: anexo H.

### 3.2 Sistema de cores RGB

A imagem digital ou matricial consiste em um plano bidimensional inserido em um sistema de coordenadas  $m$ , colunas e  $n$ , linhas, onde cada ponto possui um valor de magnitude particular, este ponto é chamado de pixel (*picture element*). O pixel é o menor elemento da imagem e as dimensões deste ponto pode definir a qualidade da imagem, sendo que quanto menor for às dimensões do pixel característico, maior será a resolução da imagem (SANTOS, 2013).

O sistema RGB consiste em um sistema cúbico o qual são representadas as cores primárias, vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*), em cada eixo do gráfico (x, y, z). A escala RGB corresponde aos valores dos eixos de 0 a 255. A origem (0,0,0) da escala RGB corresponde a cor preta, ou seja, ausência de cor, e os valores máximos das escalas de cor vermelho, verde e azul (255, 255, 255) corresponde a cor branca (SANTOS, 2013).

A combinação dos valores da escala RGB resulta em 16 milhões de cores. O pixel fornece os valores correspondentes de cada canal de cor e a junção destes pixels forma a imagem. As imagens podem ser monocromáticas ou coloridas (SANTOS, 2013). A Figura 3 corresponde a representação do sistema RGB em vetores unitários:

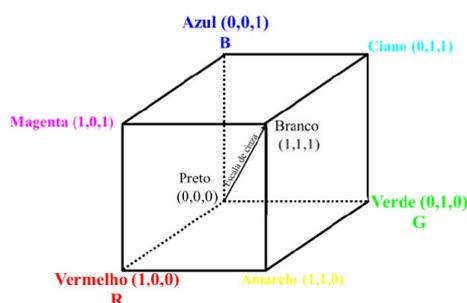


Figura 3 – Representação gráfica do sistema de cores RGB.  
Fonte: (SANTOS, 2013).

## 4. Materiais e Métodos

Os corpos de prova que foram escolhidos para compor os ensaios estão disponíveis nas marmorarias da região de Poços de Caldas - MG e Varginha - MG, e representam os principais tipos estéticos do mercado nacional (comercial e estético).

As principais marmorarias de Poços de Caldas foram visitadas ao longo do trabalho, com o objetivo de conhecer o processo produtivo de beneficiamento das rochas ornamentais e buscar doadores de corpos de prova.

Os tipos estéticos escolhidos para compor os ensaios de manchamento foram: Cinza Corumbá, disponibilizado pela marmoraria Grani Poços, de Poços de Caldas; Ocre Itabira e Mármore Branco, disponibilizado pela Marmoraria Pirâmide, de Varginha. Estes tipos estéticos estão entre os mais vendidos no Brasil, portanto possui uma grande relevância para o presente trabalho.

Para a realização do trabalho foi necessário primeiramente padronizar os corpos de prova quanto as suas dimensões e formas, para obtenção de resultados satisfatórios no momento da digitalização e análise das amostras. Os corpos de provas com superfície polida foram fornecidos pelas marmorarias acima citadas foram serrados nas seguintes dimensões: 10,0 x 10,0 cm com espessura de 3,0 cm.

As dimensões de largura e comprimento foram cortadas com a máxima precisão, respeitando a tolerância máxima de  $\pm 0,2$  cm de variação. Em relação à espessura do corpo de prova, não é grande a relevância desta dimensão.

Outro ponto importante é em relação a regularidade e precisão do corte das arestas da largura e do comprimento das amostras, que devem estar o mais retilíneo possível. Isto porque, quando a amostra for digitalizada, a posição em que a amostra será disposta nos cantos do escâner poderá influenciar no resultado final da imagem, podendo esta ficar distorcida, impossibilitando a utilização desta imagem nas análises.

#### **4.1 Ocre Itabira**

Este tipo estético é extraído de um maciço ígneo da região de Venda Nova do Imigrante, sul do estado do Espírito Santo.

De acordo PAZETO (2011), este tipo litológico corresponde a um hornblenda sienito pórfiro com quartzo. Exibe aspecto homogêneo com coloração predominante tendendo ao acastanhado, textura inequigranular porfirítica serial, com mais de 50% de megacristais de feldspato potássico, e estrutura isotrópica a levemente orientada pelos megacristais (Figura 4).

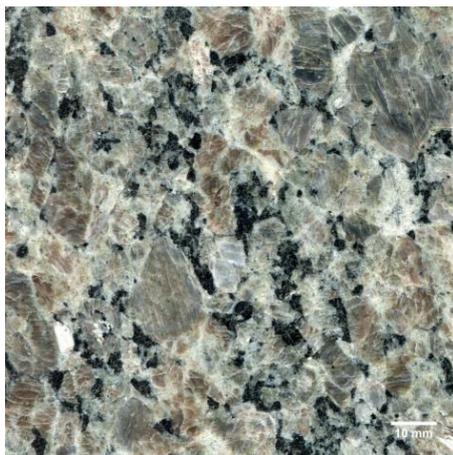


Figura 4 – Aspecto geral de placa polida do tipo comercial Ocre Itabira usado neste trabalho. Fonte: elaboração própria.

De forma geral, o maciço possui uma variação de teor ao longo de todo corpo ígneo, tendo partes do pluton com o volume de 90% modal de megacristais, e em outras porções do mesmo maciço tendo uma distribuição modal em volumes que variam de 40 a 60% de megacristais. Isto mostra a variabilidade dos tipos estéticos que podem ser formados após todos os processos de beneficiamento com o mesmo tipo petrográfico. Em relação ao microfissuramento, PAZETO (2011) observou de forma mais evidente nos megacristais de feldspato potássico, o qual foi classificado com moderado (média de 0,18 fissuras/mm<sup>2</sup>). Existe predomínio de microfissuras do tipo intragrãos (85%), frequentemente preenchidas por minerais filossilicáticos.

A massa específica seca aparente do Sienito Ocre Itabira, segundo PAZETO (2011) é de  $2,705 \pm 0,01 \text{ Kg/m}^3$  e a porosidade aparente é de  $0,73 \pm 0,09\%$ .

#### **4.2 Granito Cinza Corumbá**

O Granito Cinza Corumbá é extraído do Maciço Intrusivo de Castelo, na região de Castelo – ES e possui uma grande aceitação no mercado brasileiro de rochas ornamentais.

Segundo LEÃO (2013), este material é classificado petrograficamente como monzogranito e possui textura fanerítica a porfirítica com cristais brancos a acinzentados com dimensões que variam de 2 mm a 20 mm. Predominam fenocristais euédricos a subédricos de feldspato potássico acinzentados, com brilho perláceo, dimensões de cerca de 20 mm e que marcam a orientação da rocha. Também ocorre disseminado na matriz da rocha (Figura 5).

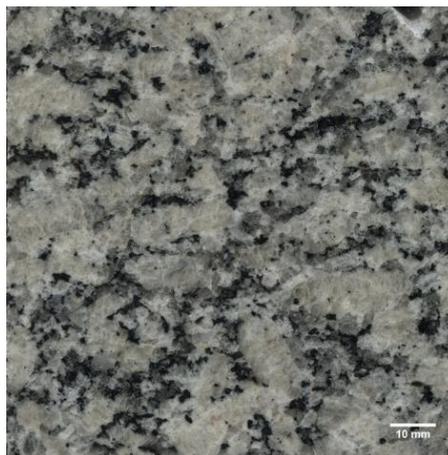


Figura 5 – Aspecto geral de placa polida do tipo comercial Cinza Corumbá usado neste trabalho.

Fonte: elaboração própria.

A matriz da rocha é composta por biotita que se faz presente em forma de placas de cor preta; cristais de plagioclásio subédricos com coloração branca distribuídos na matriz com dimensões que variam de 1 mm a 3 mm; e cristais de quartzo incolores a cinza, xenomórficos com dimensões na ordem de 1 mm a 5 mm. Nesta rocha também ocorre minerais acessórios como: zircão, titanita e pirita (LEÃO, 2013).

Segundo LEÃO (2013), O “Granito Cinza Corumbá” possui um baixo grau de fissuramento. A densidade aparente, a porosidade aparente e absorção de água são respectivamente,  $2,647 \pm \text{Kg/m}^3$ , 0,48 % e 0,18 %.

### 4.3 Agentes Manchantes

A seleção dos agentes manchantes para execução dos ensaios de manchamento baseou-se nos procedimentos da NBR 13818: anexo G e do IPT. Os agentes manchantes selecionados são empregados no cotidiano e são potenciais agentes formadores de manchas permanentes nas rochas ornamentais.

Para melhor organização e análise dos dados os agentes manchantes foram subdivididos em: culinários; e não culinários.

Cada agente manchante recebeu um código padrão que foi utilizado em nos dois conjuntos de rochas (Tabela 6).

Tabela 6 – Agentes manchantes culinários e não culinários utilizados no procedimento de ensaio de manchamento de rochas ornamentais.

<b>Agentes manchantes</b>			
<b>Culinários</b>		<b>Não culinários</b>	
<b>Código</b>	<b>Agente</b>	<b>Código</b>	<b>Agente</b>
01	café	09	óleo lubrificante
02	Coca Cola®	10	álcool iodado 1,3%
03	ketchup	11	óxido de cromo*
04	maionese	12	tinta de caneta esferográfica
05	mostarda		
06	óleo de cozinha		
07	vinagre		
08	vinho tinto		

Fonte: elaboração própria.

\* O óxido de cromo utilizado nos experimentos tem origem de rejeitos de aulas de química experimental, portanto não é conhecido o grau de pureza deste elemento. O óxido de cromo foi dissolvido à glicerina líquida, a fim de transformá-lo em pasta, na proporção 0,2 g de óxido de cromo para 2,0 g de glicerina.

#### 4.4 Agentes de limpeza

Os agentes de limpeza utilizados nesta metodologia de ensaio de manchamento de rochas ornamentais são praticamente os mesmos utilizados nos procedimentos da ABNT e do IPT (Tabelas 7 e 8), entretanto a etapa 4 de limpeza é diferente nos três procedimentos. Como anteriormente mencionado na revisão bibliográfica, no procedimento de ensaio do IPT não é utilizado a imersão com KOH [200 g/l] + HCL [3%(v/v)] + Tricloroetileno, pois o IPT avalia que esta técnica é muito agressiva para as rochas ornamentais, podendo alterar as características originais dos minerais e da rocha.

Tabela 7 – Comparação entre os agentes de limpeza utilizados na norma da ABNT NBR13181: Anexo G, Procedimento do IPT e o ensaio realizado no presente trabalho.

<b>Agentes de Limpeza</b>			
<b>Etapas</b>	<b>ABNT NBR 13818:Anexo G</b>	<b>Procedimento IPT</b>	<b>Este trabalho</b>
1	Água quente	Água quente	Água quente
2	Agente de limpeza fraco	Agente de limpeza fraco	Agente de limpeza fraco
3	Agente de limpeza forte	Agente de limpeza forte	Agente de limpeza forte
4	Imersão de: KOH [200 g/l] + HCL [3%(v/v)] + Tricloroetileno	-	Lavagem com: KOH [30 g/l]

Fonte: NBR 13818: anexo G e Procedimento de ensaio de manchamento do IPT.

Tabela 8 - Agentes de limpeza utilizados nos ensaios de manchamento.

<b>Agentes de Limpeza/ Evolução do pH</b>		
<b>Etapa</b>	<b>Ensaio atual</b>	<b>pH</b>
1 <sup>a</sup>	Água quente	6,50
2 <sup>a</sup>	Agente de limpeza fraco (marca Ypê)	7,00
3 <sup>a</sup>	Agente de limpeza forte (marca Uau!)	11,24
4 <sup>a</sup>	Lavagem com: KOH [30 g/l]	13,54

Fonte: elaboração própria.

Os demais materiais utilizados para a execução dos experimentos foram:

- Escâner (Marca: Epson; Modelo: Perfection V330 Photo);
- Copos Plásticos de  $7,0 \pm 0,1$  cm de diâmetro;
- Luvas;
- Esponja macia;
- Folha de cartolina preta;
- Paquímetro;
- Papel Toalha;
- Estufa de secagem e esterilização (Marca: Nova técnica; Modelo: NT513 - D);
- Computador.

#### **4.5 Procedimentos de ensaio**

O procedimento consiste basicamente em introduzir uma mancha por produtos utilizados no cotidiano no corpo de prova (CP), e em seguida realizar sucessivas tentativas de remoção dos agentes manchantes e de eventuais manchas.

Primeiramente, na fase preparatória, foram verificadas as condições dos CPs, tais como integridade, homogeneidade da face polida, forma e dimensões. Em seguida, os CPs foram lavados em água corrente e secos em estufa a  $60^{\circ}$  C, por aproximadamente duas horas.

O término da etapa de preparação ocorre com a digitalização da face polida de todos os CPs no escâner. Cada CP foi posicionado individualmente sobre o vidro do escâner, sendo a parte restante coberta com cartolina para evitar que a refração e reflexão da luz do equipamento e do próprio ambiente afetasse as imagens obtidas (Figura 6). Para diminuir ainda mais a influência da luz cobriu-se a amostra com uma tampa de caixa de sapato.

Cada CP foi digitalizado sempre na mesma posição durante as várias fases do ensaio, ou seja, um canto foi admitido e marcado como referência e sempre colocado no esquadro do equipamento, garantindo que as imagens após o manchamento estavam na mesma posição das imagens de referência.

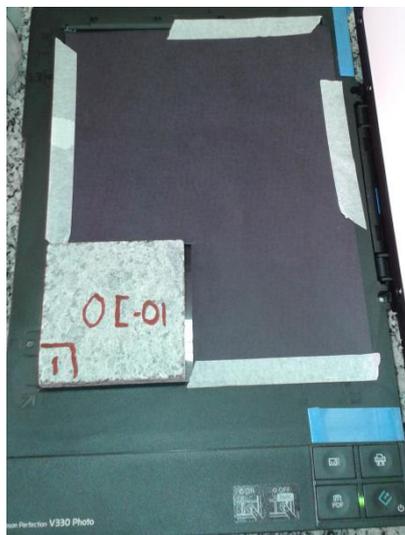


Figura 6 – Fotografia da disposição da amostra no escâner.  
Fonte: elaboração própria.

As configurações do escâner foram padronizadas de tal forma que as digitalizações fossem realizadas sem correção de imagem. A resolução definida como padrão foi de 600 dpi (*dot per inch*).

Ao fim das digitalizações dos CPs são, inicia-se a fase de manchamento. Primeiramente depositaram-se  $\frac{1}{4}$  dos copos plásticos com os agentes manchantes líquidos e posicionaram-se os copos nos CPs invertido, expondo os agentes manchantes aos CPs. Em seguida aplicaram-se os agentes manchantes pastosos nos CPs na área delimitada pelo copo de plástico. No caso dos agentes manchantes pastosos sugere-se que seja feito um corte no fundo do copo com o objetivo de facilitar a aplicação dos agentes manchantes. Os CPs ficaram expostos aos agentes manchantes por aproximadamente 16 horas. Na figura 7 segue a fotografia dos CPs recebendo o ataque dos agentes manchantes:



Figura 7 – Corpos de prova durante exposição aos agentes manchantes.  
Fonte: elaboração própria.

Após as 16 horas de exposição aos agentes manchantes aos CPs, iniciou-se a fase de limpeza. Primeiramente foi aquecida água à temperatura de 60°C. Em seguida as amostras foram lavadas, uma a uma, aplicando-se a água morna sobre a superfície manchada esfregando com a esponja macia por dois minutos.

Lavados e secos com papel toalha, os CPs foram enviados para a estufa pré-aquecida à temperatura de 60° C por duas horas.

Os CPs foram retirados da estufa e distribuídos sobre a bancada para resfriamento e nova etapa de digitalização.

As três outras etapas de limpeza foram realizadas repetindo os procedimentos descritos para a lavagem 1, utilizado seus respectivos agentes de limpeza (vide Apêndice 1).

#### 4.6 Análise dos dados

A análise das imagens dos corpos de prova foram realizadas no software livre *ImageJ*, onde foi possível verificar numericamente as distribuições de cores nos canais RGB, das amostras manchadas e das amostras sãs. O método de análise consiste na avaliação das diferenças das distribuições de cores dos canais RGB entre as amostras manchadas e amostras sãs. O procedimento de subtração das imagens foi realizado no aplicativo “*image calculator*” da plataforma do *ImageJ*.

Para que o procedimento de subtração de imagem seja concretizado com sucesso é necessário que a imagem seja recortada com precisão, ou seja, devem ser respeitadas as áreas

totais dos CPs, sendo recortadas as imagens tendo como pontos de referência os vértices dos CPs. Os resultados das subtrações das imagens são imagens com as colorações próximas aos tons de preto, pois considerando que, como já dito na introdução teórica, o espaço RGB é um espaço tridimensional, sendo cada extremos dos eixos representa valores máximos de 255 e os extremos das diagonais (0,0,0) e (255,255,255) representam respectivamente preto e branco. Por isso, ao subtrair as imagens com distribuição de cores parecidas, os valores resultantes serão próximos a (0,0,0) (Figura 8).

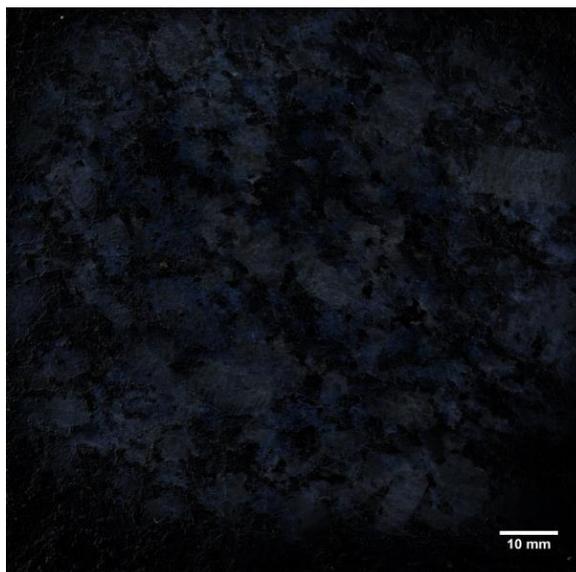


Figura 8 - Imagem resultante da operação de subtração de duas imagens de um CP manchado e não manchado de Cinza Corumbá.

Fonte: elaboração própria.

A ferramenta do *ImageJ* que gera os dados estatísticos em relação a distribuição de cores na subtração das imagens é o “*Color Histogram*”.

Após a realização das análises computacionais em cada etapa de limpeza, acima citados, classifica-se o material segundo as seguintes classes:

- Classe 1: mancha irremovível;
- Classe 2, 3 e 4: removível, dependendo dos agentes manchantes utilizados e produtos de limpeza;
- Classe 5: Removível com facilidade.

O fluxograma presente no Apêndice 1, representa o processo de ensaio de manchamento de rochas ornamentais com o incremento da análise computacional e a escala de limpabilidade.

## 5. Resultados e discussão

Os tipos estéticos selecionados para compor os procedimentos de ensaio de manchamento de rochas ornamentais foram o Ocre Itabira e o Granito Cinza Corumbá.

Os primeiros ensaios foram realizados nos CPs de Ocre Itabira, entretanto, devido às distorções causadas por erros de procedimentos com o uso do escâner e seu software, não foi possível aplicar os procedimentos de análise no *ImageJ* nestes materiais.

Os erros identificados nas imagens digitalizadas de Ocre Itabira foram atribuídos à rotação indevida das imagens por uso errôneo do software de captura de imagens da EPSON®. Assim, a sobreposição das imagens sãs em relação às imagens manchadas não foi possível.

A identificação e a correção dos erros ocorridos no Ocre Itabira foram cruciais para o desenvolvimento do procedimento de ensaio de manchamento de rochas ornamentais utilizando ferramentas computacionais.

O raciocínio de funcionamento do experimento está relacionado com a sobreposição das distribuições normais das cores da escala RGB, ou seja, com a evolução das limpezas, as distribuições normais nos canais RGB devem voltar às condições iniciais de distribuição de frequência das cores, e conseqüentemente as condições da amostra sã.

Os valores dos gráficos da Figura 9 representam as análises de distribuição de frequência das amostras manchadas com Coca Cola em cada fase de limpeza, desde a amostra sã até a amostra na quarta etapa de limpeza.

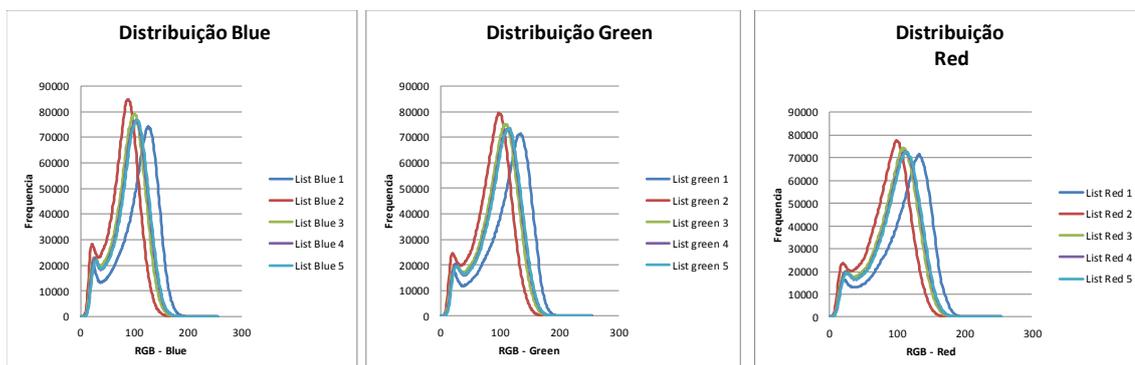


Figura 9 – Gráfico comparativo das distribuições normais de frequência dos canais RGB em relação a cada etapa de limpeza.

Fonte: elaboração própria.

Para verificar qual a influência do posicionamento das amostras do Granito Cinza Corumbá no escâner foi digitalizada uma mesma amostra três vezes, posicionado o CP no

escâner e reposicionando-o. Após análise das imagens no “ImageJ” verificou-se que a diferença de cor absoluta, na escala RGB, entre as três foi inferior a 1%. Esta variação é imperceptível ao olho humano, e, portanto irrelevante para o ensaio.

O ensaio foi realizado utilizando todas as etapas de limpeza nos corpos de prova, a fim de verificar a evolução da limpeza em todas as etapas.

Os valores de média, desvio padrão e porcentagem de evolução da limpeza em relação a primeira etapa de limpeza resultantes dos ensaios realizados com os CPs de Granito Cinza Corumbá estão dispostos nas Tabelas 9.

Tabela 9 – Tabela da evolução das limpezas dos corpos de prova em escala RGB.

<b>Café</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	13	9	12	11	15	12	14	14	20	15	17	17
<b>Desvio Padrão</b>	10	9	13	14	12	11	14	15	15	13	16	17
<b>Evolução</b>	0%	-28%	-3%	-9%	0%	-24%	-7%	-10%	0%	-23%	-12%	-15%
<b>Coca Cola</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	25	17	16	12	27	18	17	13	28	19	18	14
<b>Desvio Padrão</b>	14	13	14	10	15	13	15	10	16	14	15	11
<b>Evolução</b>	0%	-33%	-37%	-50%	0%	-33%	-38%	-50%	0%	-31%	-37%	-49%
<b>Ketchup</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	15	9	8	7	16	11	9	8	17	11	9	8
<b>Desvio Padrão</b>	13	11	8	8	14	12	9	9	14	12	9	9
<b>Evolução</b>	0%	-37%	-44%	-51%	0%	-35%	-45%	-50%	0%	-35%	-45%	-50%
<b>Maionese</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	14	10	12	9	15	11	12	10	16	12	13	11
<b>Desvio Padrão</b>	11	12	12	8	12	12	12	9	12	13	12	10
<b>Evolução</b>	0%	-28%	-18%	-36%	0%	-28%	-19%	-36%	0%	-28%	-22%	-35%
<b>Mostarda</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	13	12	12	9	14	12	12	10	16	14	14	11
<b>Desvio Padrão</b>	15	16	16	12	15	16	16	12	15	16	16	12
<b>Evolução</b>	0%	-11%	-11%	-30%	0%	-11%	-11%	-30%	0%	-14%	-14%	-31%

<b>Óleo de cozinha</b>												(Continuação)
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	24	27	28	25	24	28	29	26	24	28	29	25
<b>Desvio Padrão</b>	22	26	27	22	22	26	27	23	22	26	27	22
<b>Evolução</b>	0%	15%	19%	6%	0%	16%	19%	6%	0%	15%	19%	5%
<b>Vinagre</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	11	9	5	9	11	10	5	10	12	11	6	11
<b>Desvio Padrão</b>	12	13	6	10	13	13	7	11	13	13	7	11
<b>Evolução</b>	0%	-10%	-54%	-11%	0%	-9%	-54%	-10%	0%	-10%	-53%	-7%
<b>Vinho Tinto</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	24	21	20	19	28	23	20	19	21	16	14	14
<b>Desvio Padrão</b>	20	19	17	17	22	20	17	16	17	16	12	13
<b>Evolução</b>	0%	-13%	-17%	-22%	0%	-16%	-27%	-33%	0%	-21%	-34%	-32%
<b>Óleo Lubrificante</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	29	27	25	25	30	28	26	26	30	29	26	26
<b>Desvio Padrão</b>	22	22	20	20	22	23	20	21	21	22	20	20
<b>Evolução</b>	0%	-5%	-12%	-14%	0%	-4%	-12%	-13%	0%	-4%	-12%	-14%
<b>Iodo 1.3%</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	7	5	8	8	8	6	9	8	9	6	9	8
<b>Desvio Padrão</b>	12	9	13	12	12	9	13	13	12	9	13	12
<b>Evolução</b>	0%	-28%	9%	1%	0%	-29%	8%	-1%	0%	-29%	-2%	-10%
<b>Óxido de cromo</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	27	18	16	15	28	19	17	16	28	20	18	16
<b>Desvio Padrão</b>	19	14	16	15	19	15	16	15	19	15	16	15
<b>Evolução</b>	0%	-32%	-39%	-44%	0%	-32%	-38%	-44%	0%	-30%	-37%	-43%
<b>Tinta de Caneta</b>												
<b>Análise Red</b>				<b>Análise Green</b>				<b>Análise Blue</b>				
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
<b>Média</b>	33	31	33	32	32	31	32	31	21	19	21	19
<b>Desvio Padrão</b>	40	40	40	40	39	39	39	38	26	24	24	23
<b>Evolução</b>	0%	-5%	0%	-4%	0%	-5%	0%	-4%	0%	-9%	-1%	-7%

Fonte: elaboração própria.

Em todos os agentes manchantes observou-se uma evolução positiva na retirada da mancha, com exceção do óleo de cozinha que registrou um pequeno aumento nas médias dos canais do RGB na última etapa de limpeza em relação à primeira etapa (aumento de cerca de +6% da escala RGB).

Os resultados das limpezas em relação a cada agente manchante foram classificados como discreta, entre 0 a 25%; notória, entre 25% e 50%; e evidente de 50% e 100%. O valor de 100% de variação entre 1L e 4L considera que a amostra está totalmente limpa, ou seja, voltou ao estado inicial (Tabela 10).

Tabela 10 – Classificação das limpezas dos corpos de prova.

Discreta	Varição máxima de 1L a 4L (%RGB)	Notória	Varição máxima de 1L a 4L (%RGB)	Evidente	Varição máxima de 1L a 4L (%RGB)
Café	-15%	Mostarda	-31%	Coca cola	-50%
Iodo	-10%	Óxido de cromo	-44%	Ketchup	-51%
Tinta de Caneta	-7%	Vinho tinto	-33%		
Óleo de cozinha	6%	Maionese	-35%		
Vinagre	-11%				
Óleo lubrificante	-14%				

Fonte: elaboração própria.

As performances de limpeza foram diferentes também em relação aos diferentes agentes manchantes e os agentes de limpeza utilizados. O caso que se destaca é com o CP CC\_007, manchado com vinagre. Neste caso observou-se uma evolução decrescente da limpeza até a terceira etapa de limpeza com agente de limpeza forte, chegando às médias de (5, 5, 6) em RGB. Quando este CP passou pela última etapa de limpeza, com o hidróxido de potássio, observou-se um aumento nas médias dos canais próximos dos registrados inicialmente na etapa L1, de (9, 10, 11) na escala RGB (Figuras 10 e 11).

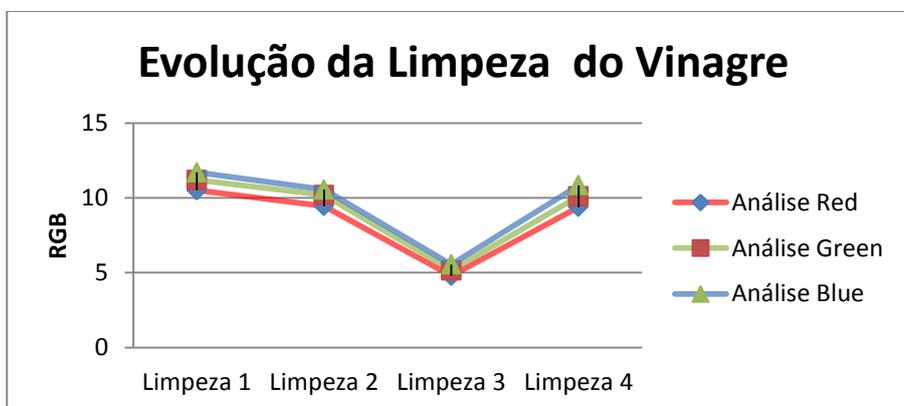


Figura 10 – Gráfico da evolução de limpeza do CP do granito Cinza Corumbá manchado com vinagre.

Fonte: elaboração própria.

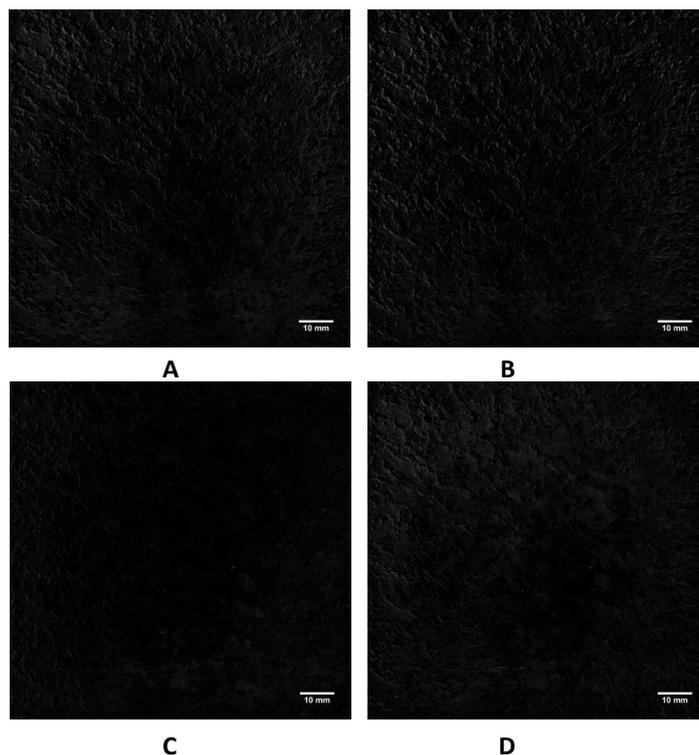


Figura 11 – Imagem das subtrações dos CPs. (A) [CC\_07 – CC\_L1\_07]; (B) [CC\_07 – CC\_L2\_07]; (C) [CC\_07 – CC\_L3\_07]; (D) [CC\_07 – CC\_L4\_07].  
 Fonte: elaboração própria.

A Figura 12 a seguir demonstra as imagens do corpo de prova CC\_07 sã e manchada com vinagre após cada etapa de limpeza. Observa-se um pequeno escurecimento em relação a Figura 12 (D) e a Figura 12 (E).

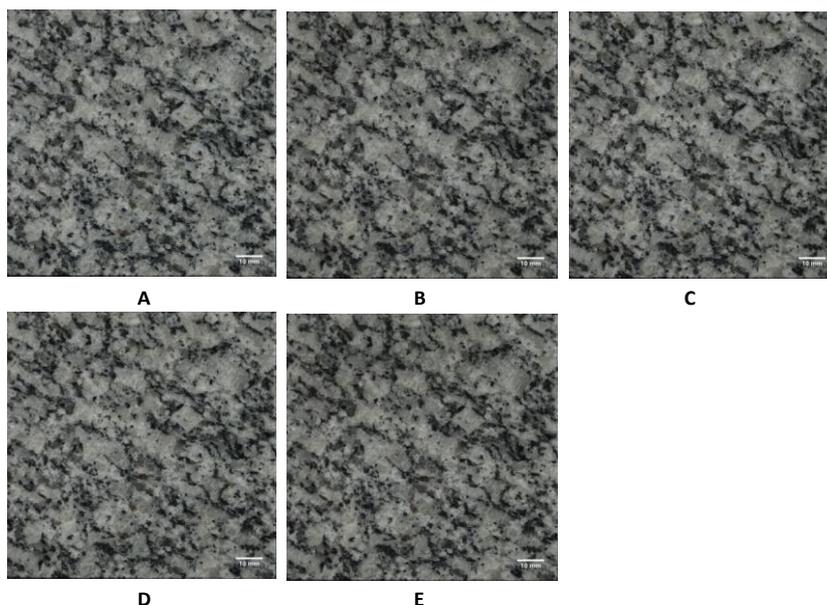


Figura 12 – Imagens digitalizadas do CP de Granito Cinza Corumbá manchado com vinagre após cada etapa de limpeza. (A) CC\_07; (B) CC\_L1\_07; (C) CC\_L2\_07; (D) CC\_L3\_07; (E) CC\_L4\_07.  
 Fonte: elaboração própria.

A mancha produzida com vinho tinto, também merece destaque. Foi observada uma evolução significativa na limpeza da amostra, a qual se reduziu as médias de RGB de (24,28,21) em L1 para (19,19,14) em L4. Visualmente as etapas de limpeza pareceram causar redução considerável da mancha, embora o resultado obtido por análise computacional tenha indicado que a mancha não foi totalmente removida (Figuras 13 e 14).

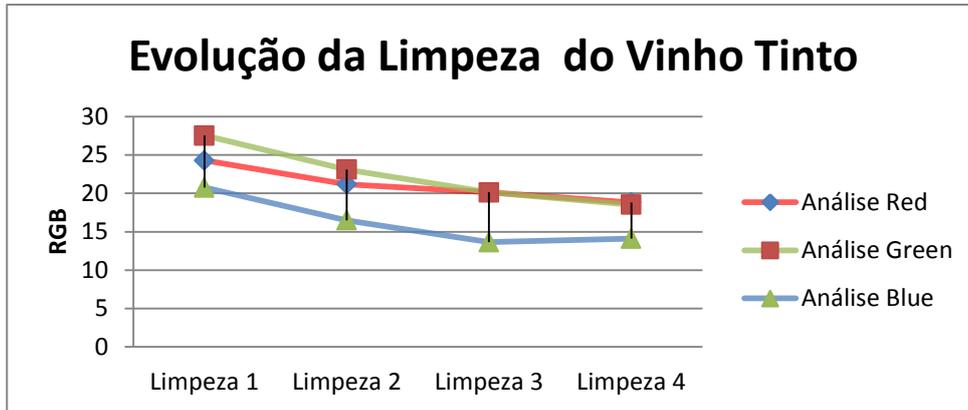


Figura 13 – Gráfico da evolução de limpeza do CP do granito Cinza Corumbá manchado com Vinho tinto.

Fonte: elaboração própria.

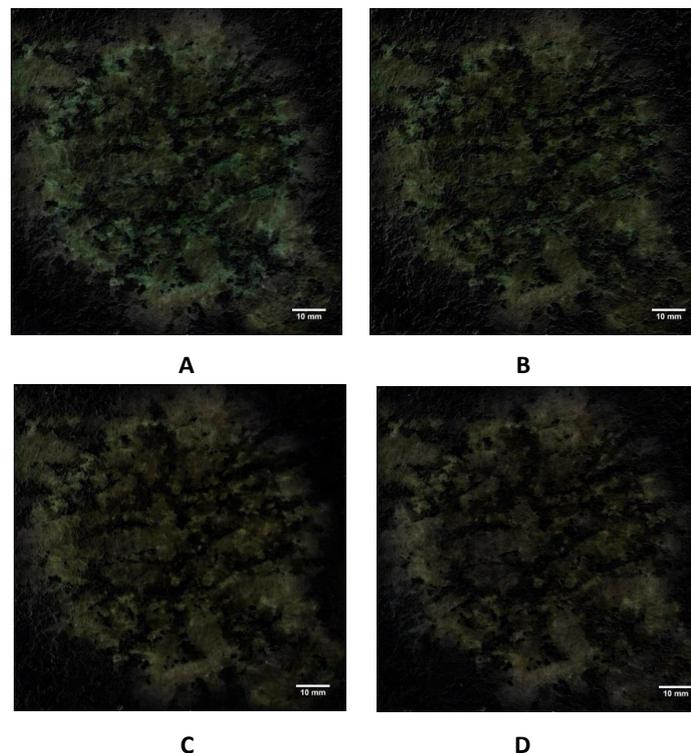


Figura 14 - Imagem das subtrações dos CPs. (A) [CC\_08 – CC\_L1\_08]; (B) [CC\_08 – CC\_L2\_08]; (C) [CC\_08 – CC\_L3\_08]; (D) [CC\_08 – CC\_L4\_08].

Fonte: elaboração própria.

A Figura 15 a seguir demonstra as imagens do corpo de prova CC\_08 sã e manchada com Vinho tinto após cada etapa de limpeza. Observa-se a limpeza gradativa da mancha de vinho das imagens (B) até a (E).

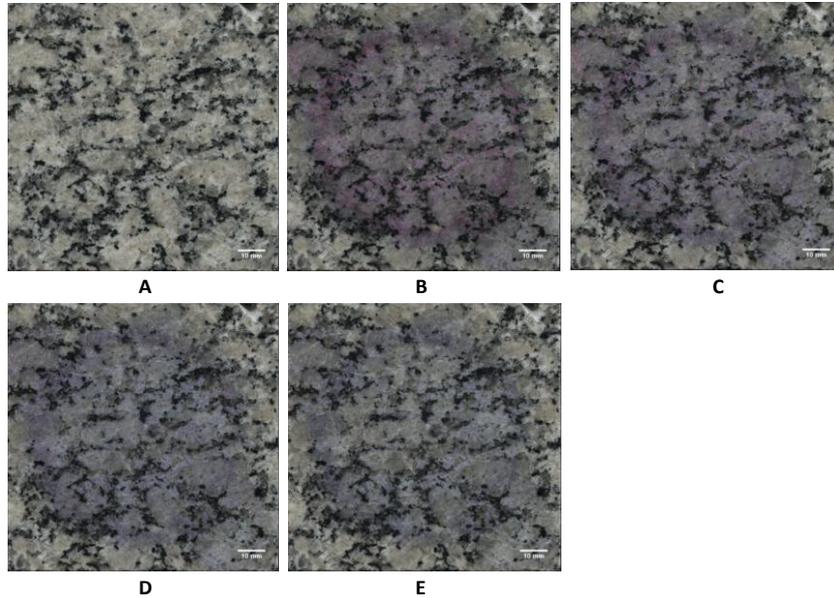


Figura 15 – Imagens digitalizadas do CP de Granito Cinza Corumbá manchado com vinho tinto após cada etapa de limpeza. (A) CC\_08; (B) CC\_L1\_08; (C) CC\_L2\_08; (D) CC\_L3\_08; (E) CC\_L4\_08.

Fonte: elaboração própria.

As arestas dos corpos de prova foram medidas com paquímetro em três pontos da largura e em três pontos do comprimento (Figura 16), a fim de verificar a regularidade das arestas e correlacionar com os valores finais das diferenças de cores RGB. Corpos de prova que não sejam quadrados (“fora de esquadro”) são mais difíceis de posicionar na plataforma de digitalização do escâner e por isso resultam em fonte de erro.

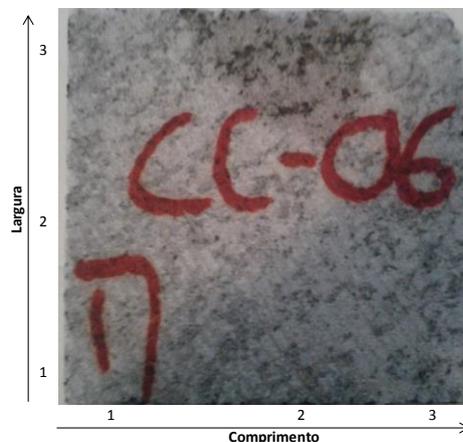


Figura 16 – Esquema para medida do comprimento e largura dos CPs.  
Fonte: elaboração própria.

Observou-se (Tabela 11) que o corpo de prova CC-06 teve a maior e mais relevante variação das medidas da aresta da largura. Esta variação prejudicou notavelmente a qualidade do ensaio neste corpo de prova (Figura 17).

Tabela 11 – Valores das medidas das arestas em centímetros, suas médias e as representações das feições das arestas. O a incerteza relacionada às medidas do paquímetro é de 1/500 cm.

Corpo de Prova		1	2	3	Média	Arestas
CC-001	Comprimento	10,126	10,126	10,140	10,131	
	Largura	10,072	10,086	10,088	10,082	
CC-002	Comprimento	9,986	9,990	10,000	9,992	
	Largura	9,974	9,980	9,980	9,978	
CC-003	Comprimento	9,668	9,608	9,540	9,605	
	Largura	9,994	9,994	9,986	9,991	
CC-004	Comprimento	9,980	9,986	9,962	9,976	
	Largura	10,012	10,010	9,938	9,987	
CC-005	Comprimento	9,972	9,992	9,972	9,979	
	Largura	10,110	10,104	10,098	10,104	
CC-006	Comprimento	10,118	10,124	10,132	10,125	
	Largura	10,200	10,190	10,264	10,218	
CC-007	Comprimento	10,083	10,000	10,118	10,067	
	Largura	10,020	10,000	10,148	10,056	
CC-008	Comprimento	9,980	9,976	9,976	9,977	
	Largura	10,010	10,028	10,030	10,023	
CC-009	Comprimento	9,982	9,986	9,980	9,983	
	Largura	9,992	10,000	9,994	9,995	
CC-010	Comprimento	9,994	10,004	10,011	10,003	
	Largura	9,986	10,010	9,990	9,995	
CC-011	Comprimento	10,000	10,000	9,992	9,997	
	Largura	10,000	9,982	9,960	9,981	
CC-012	Comprimento	9,970	9,986	9,968	9,975	
	Largura	10,000	10,111	10,108	10,073	
CC-013	Comprimento	10,100	10,110	10,100	10,103	
	Largura	9,972	9,990	9,972	9,978	

Fonte: elaboração própria.

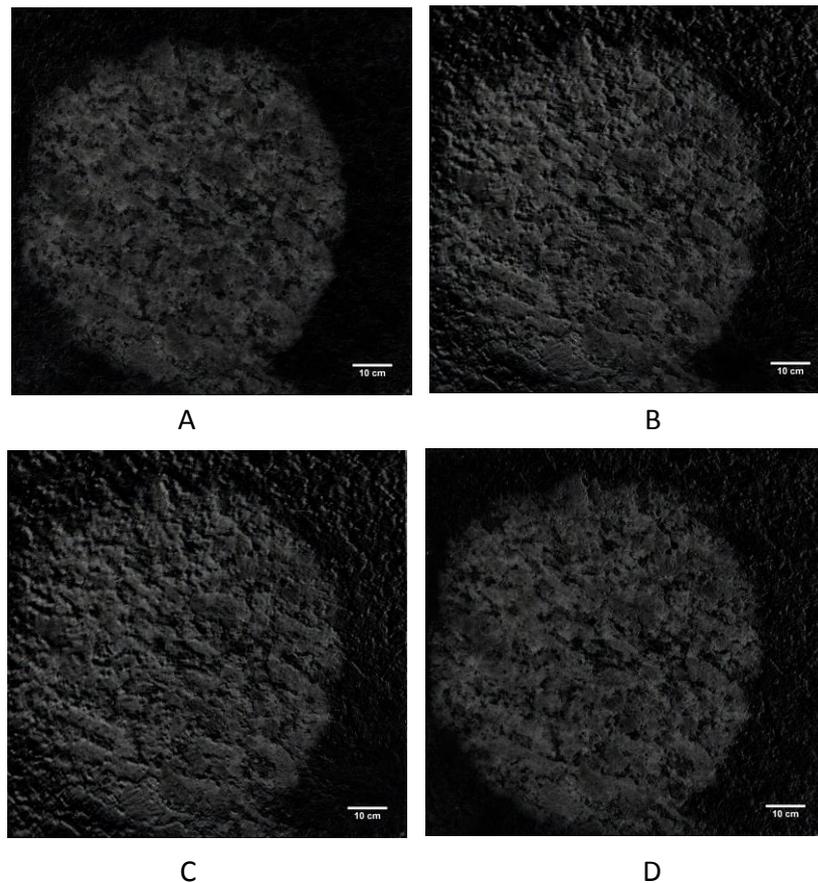


Figura 17 - Imagem das subtrações dos CPs. (A) [CC\_06] – [CC\_L1\_06]; (B) [CC\_06] – [CC\_L2\_06]; (C) [CC\_06] – [CC\_L3\_06]; (D) [CC\_06] – [CC\_L4\_06].  
Fonte: elaboração própria.

As amostras com irregularidade relevantes nas arestas de comprimento ou de largura podem ser consideradas inviáveis para ensaios de manchamento, pois serão gerados resultados com incertezas propagadas e com alto grau de imprecisão. Dito isto, de acordo com as informações da Tabela 11, os ensaios realizados nas amostras CC\_06 (óleo de cozinha), CC\_07 (vinagre) e CC\_12 (caneta) devem ser eliminadas e os ensaios refeitos.

## 6. Conclusão

Através dos dados obtidos nos ensaios de manchamento de rocha ornamentais utilizando recursos computacionais para avaliação do manchamento, observou-se maior confiabilidade e precisão do método proposto. Entretanto, para ter eficiência satisfatória neste método é necessário trabalhar com corpos de provas com geometria e dimensões controladas

visando evitar erros e incertezas do posicionamento das amostras no escâner. Por isso, e com referência nos trabalhos desenvolvidos sugere-se o uso de corpos de prova quadrados com arestas medindo  $10,0 \pm 0,2$  mm.

Constatou-se que em nenhum dos corpos de prova experimentados com os diferentes agentes manchantes houve a total remoção das manchas, o que ocorreu foi a diminuição das manchas nas superfícies dos CPs. Portanto recomenda-se criar um novo conceito de mancha e uma nova definição de remoção de manchas.

Observou-se também que alguns agentes de limpeza podem alterar os aspectos estéticos das rochas, a partir da interação química dos agentes de limpeza e os minerais.

Por fim foi elaborada uma sugestão de procedimentos em forma de norma que está presente no Apêndice 2.

## **Referências bibliográficas**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Placa Cerâmica para revestimento – especificação e métodos de ensaios**. NBR 13818. Rio de Janeiro, 1997.

CLEMENTE, I. M. **Caracterização Petrográfica, físico-mecânica e de alterabilidade dos calcários ornamentais das bacias Pontiguar e do Araripe (RN/CE)**/ Igor Magalhães. –UNESP. Rio Claro, 2013. p. 98 – 106.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Economia Mineral do Brasil**. Coordenação: Antônio Fernando da Silva Rodrigues e Celso Pinto Ferraz. Brasília-DF: Cidade Gráfica e editora LTDA; 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro 2005**. – Brasília-DF: 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro 2006**. – Brasília-DF: 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro 2007**. – Brasília-DF: 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro 2008**. – Brasília-DF: 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro 2009**. – Brasília-DF: 2009.

FRASCÁ, M. H.B.O. Rochas ornamentais e para revestimento: variedades, propriedades, usos e conservação. In: **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2004. Publicação IPT 2995.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Resistência ao manchamento - Procedimento**. São Paulo, 2009.

LEÃO, N. P. O; MEYER, A. P. **Avaliação dos requisitos tecnológicos obtidos em granitos extraídos no complexo intrusivo de Castelo – ES - IFES**. Cachoeiro de Itapemirim, 2013.

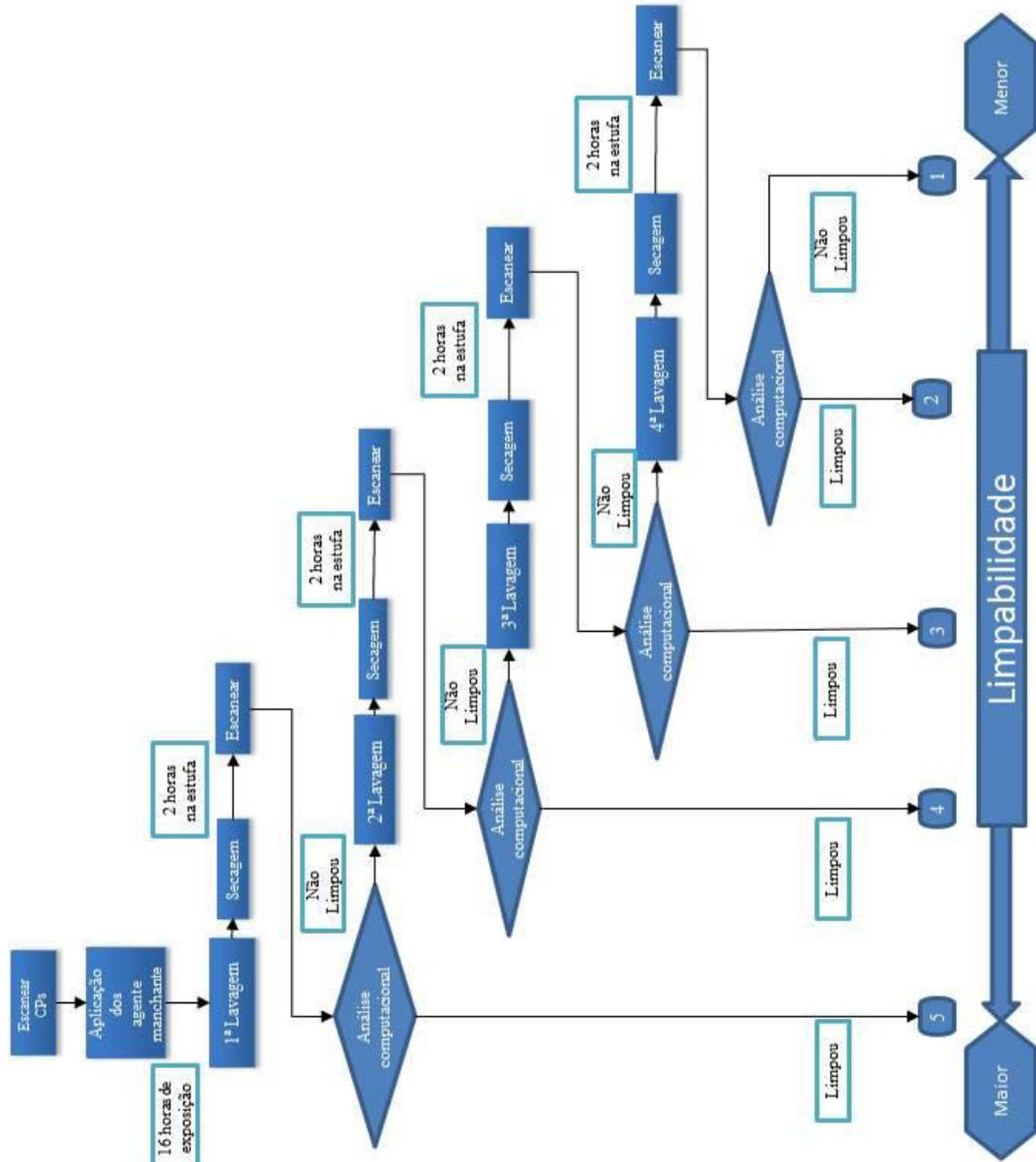
MOTOKI, A. **Quantitative colour analyses using digital specification technique for Mármore Bege Bahia, a representative Brazilian ornamental limestone of breccia-like texture**. *REM*, 2005. p. 113 - 120.

PAZETO, A. A. **Correlação entre propriedades petrográfica e comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas Diamante Negro (BA), Ocre Itabira e Branco Galaxy (ES) – UNESP**. Rio Claro : [s.n], 2011. p. 53 – 57.

SANTOS, P. M. **Aplicação de imagens digitais e técnicas espectroanalíticas combinadas com quimiometria para a detecção e quantificação de adulteração em leite bovino**. São Carlos – SP, 2013. p. 5 – 6.

## Apêndice 1

Apêndice 1 – fluxograma do ensaio de manchamento e escala de limpabilidade utilizando método computacional.



## Apêndice 2

### Determinação da resistência ao manchamento de rochas ornamentais utilizando recursos computacionais

#### 1. Reagentes

##### 1.1 Agentes manchantes

##### 1.1.1 Agentes culinários

Os agentes manchantes culinários são os seguintes:

- a) Café;
- b) Coca Cola<sup>®</sup>;
- c) Ketchup;
- d) Maionese;
- e) Mostarda;
- f) Óleo de cozinha;
- g) Vinagre;
- h) Vinho tinto.

##### 1.1.2 Agentes não culinários

Os agentes manchantes não culinários são os seguintes:

- a) Óleo lubrificante;
- b) Álcool iodado, 1,3%;
- c) Óxido de cromo foi dissolvido à glicerina líquida, a fim de transformá-lo em pasta, na proporção 0,2 g de óxido de cromo para 2,0 g de glicerina.
- d) Tinta de caneta esferográfica.

##### 1.2 Agentes de limpeza

Os agentes de limpeza são os seguintes:

- a) Água quente, aproximadamente 60°C;
- b) Produto de limpeza neutro, com o pH ( $7 \pm 0,5$ );
- c) Produto de limpeza forte, com pH ( $11 \pm 0,5$ );

##### 1.3 Reagente de ataque

O reagente de ataque deve estar na seguinte especificação:

- Solução de hidróxido de potássio (KOH) a 30 g/l, dissolvido em água destilada.

#### 2. Aparelhagem

Os equipamentos necessários para a realização deste ensaio são:

- a) Escâner com resolução superior a 600 dpi;
- b) Computador com processamento mínimo para realizar o tratamento das imagens;
- c) Esponja macia;
- d) Copos Plásticos de  $7,0 \pm 0,1$  cm de diâmetro;
- e) Luvas;
- f) Paquímetro;
- g) Papel toalha
- h) Estufa de secagem e esterilização com circulação de ar.

#### 3. Preparação e aquisição dos corpos de prova

- a) Deve haver um corpo de prova para cada agente manchante ensaiado;
- b) Os CPs devem ter as seguintes dimensões:  $(10,0 \pm 0,2)$  cm x  $(10,0 \pm 0,2)$  cm x  $(3,0 \pm 1,0)$  cm.
- c) Os CPs de prova devem estar limpos e secos previamente;
- d) Os CPs não podem estar danificados ou trincados.
- e) Os CPs devem ser medidos previamente com o auxílio de um paquímetro, a fim de aferir a regularidade das arestas;
- f) Após a secagem dos CPs, estes devem ser digitalizados antes da aplicação do agente manchante.

Nota 1: A espessura do corpo de prova deve ser medida com paquímetro e indicada nos resultados.

Nota 2: Corpos de prova com as variações nas medidas das arestas superiores ao citado no item 3. c devem ser descartados.

#### 4. Procedimento

##### 4.1 Aplicação dos agentes manchantes

#### **4.1.1 Agentes manchantes líquidos:**

Depositar ¼ dos copos plásticos com os agentes manchantes líquidos e posicionar os copos nos CPs invertido, expondo os agentes manchantes aos CPs.

#### **4.1.2 Agentes manchantes pastosos:**

aplicar os agentes manchantes pastosos nos CPs na área delimitada pelo copo de plástico.

**4.1.3** Os CPs devem ficar expostos aos agentes manchantes por  $16 \pm 0,5$  horas.

### **4.2 Operação de limpeza**

4.2.1 Os corpos de prova devem ser lavados respeitando os seguintes procedimentos:

a) Os CPs devem ser lavados, individualmente, aplicando os agentes de limpeza sobre a superfície manchada esfregando com a esponja macia por dois minutos;

b) Cada agente de limpeza deve ser aplicado individualmente, respeitando a sequência:

- Lavagem 1 (1ª etapa): água quente;
- Lavagem 2 (2ª etapa): produto de limpeza neutro;
- Lavagem 3 (3ª etapa): Produto de limpeza forte;
- Lavagem 4 (4ª etapa): Reagente de ataque (KOH).

c) Lavados e secos com papel toalha, os CPs devem enviados para a estufa pré-aquecida à temperatura de  $(60 \pm 5)^\circ \text{C}$  por  $(2,0 \pm 0,1)$  horas.

### **4.3 Digitalização dos CPs**

4.3.1 As configurações do escâner devem ser padronizadas de tal forma que as digitalizações sejam realizadas sem correção de imagem.

**4.3.2** A resolução do escâner deve ser definida previamente, respeitando um valor mínimo de 600 dpi.

**4.3.3** As digitalizações de um mesmo CP devem ser feitas na mesma posição no escâner em todas as etapas.

**4.3.4** Após cada etapa de limpeza, os CP's devem ser digitalizados.

## **5. Análise dos dados**

**5.1** Feita as digitalizações das imagens após cada etapa de limpeza, as imagens geradas deverão passar por uma rotina de subtração de imagens em um software com validação científica;

**5.2** Os valores das médias e desvio padrão resultantes das subtrações das imagens devem ser adquiridos no sistema RGB;

**5.3** O valor que considera as imagens limpa é o (0, 0, 0) em RGB;

## **6. Expressão dos resultados**

**6.1** Após a realização das análises computacionais em cada etapa de limpeza, acima citados, classifica-se o material segundo as seguintes classes:

- a) Classe 1: mancha irremovível;
- b) Classe 2, 3 e 4: removível, dependendo dos agentes manchantes utilizados e produtos de limpeza;
- c) Classe 5: Removível com facilidade.

Nota: O fluxograma presente no Apêndice 1, representa o processo de ensaio de manchamento de rochas ornamentais com o incremento da análise computacional e a escala de limpabilidade.