

**MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL-
PPGEMINAS-UFPE
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ROCHAS ORNAMENTAIS**

*ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA COM ÊNFASE EM
ALTERABILIDADE DOS TIPOS COMERCIAIS DO “GRANITO” MARROM
IMPERIAL*

por

**Thaíse Maria Fontes Kalix
Geóloga**

Recife, 2011

**MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL -
PPGEMINAS-UFPE
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ROCHAS ORNAMENTAIS**

*ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA COM ÊNFASE EM
ALTERABILIDADE DOS TIPOS COMERCIAIS DO “GRANITO” MARROM
IMPERIAL*

Thaíse Maria Fontes Kalix
Geóloga

Orientadora: Profa. Dra. Felisbela Maria da Costa Oliveira
Engenheira Civil

Co-Orientador: Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo
Geólogo

Trabalho realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral- PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco.

Recife, 2011.

*ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA COM ÊNFASE EM
ALTERABILIDADE DOS TIPOS COMERCIAIS DO “GRANITO” MARROM
IMPERIAL*

DISSERTAÇÃO

Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da
Universidade Federal de Pernambuco - PPGEMinas, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de

MESTRE EM ENGENHARIA MINERAL

Thaíse Maria Fontes Kalix
Geóloga

Catologação na fonte
Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

K14e

Kalix, Thaíse Maria Fontes.

Estudo de caracterização tecnológica com ênfase em alterabilidade dos tipos comerciais do Granito Marrom Imperial / Thaíse Maria Fontes Kalix. - Recife: O Autor, 2011.
xvi, 94 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Felisbela Maria da C. Oliveira.

Co-orientador: Prof. Dr. Evenildo Bezerra de Melo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2011.

Inclui Referências.

1. Engenharia Mineral. 2. Rochas Ornamentais.
3. Caracterização Tecnológica. 4. Alterabilidade. 5. Granito Marrom Imperial. I. Oliveira, Felisbela Maria da Costa (orientadora). II. Título.

622.35 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2011-257

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientadora Dra Felisbela Maria da Costa Oliveira

Co-Orientador Dr. Evenildo Bezerra de Melo

Drº Francisco Wilson Hollanda Vidal

Drº Eldemar Albuquerque Menor

AGRADECIMENTOS

À Deus e à toda espiritualidade superior, pela vida, oportunidade e merecimento em estar realizando mais um sonho.

Aos meus avós, aos meus pais Lúcio Kalix e Liliana Fontes pelos incentivos, dedicação e auxílio; aos meus irmãos Antônio, Camila e Luciana; ao Nilson Moura e parentes por estarem sempre presentes, por todo apoio, amor e carinho;

À família Teixeira Cavalcanti, especialmente ao meu querido Tiago pelo companheirismo e carinho.

Ao Estado de Pernambuco, que me acolheu tão bem;

À Universidade Federal de Pernambuco, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, pela oportunidade;

À secretaria da Pós-Graduação em Engenharia Mineral e a todos os funcionários da Universidade Federal de Pernambuco, especialmente Voleide, Edna e Ezequiel.

À CAPES, pelo auxílio financeiro;

Aos meus orientadores Dr^a Felisbela Maria da Costa Oliveira, e especialmente ao Dr^o Evenildo Melo, pelo profissionalismo e ensinamentos;

Aos professores doutores, Eldemar Menor, Júlio César, Sandra Brito, Márcio Barros, Ignês Guimarães, Maurício Rangel, Marcelo Reis, Maria Angélica, Hartmut Beurlen e aos demais professores do Departamento de Engenharia de Minas e Geologia que contribuíram com seus conhecimentos para engrandecer o trabalho.

Ao Wagner Ribeiro, a quem registro os sinceros agradecimentos pelo apoio e colaboração químico-laboratorial.

Aos meus amigos que me incentivaram nos momentos difíceis, pela amizade e auxílio na realização deste trabalho, especialmente ao Wagner Ribeiro, Suely Andrade, Lamartine, Tamille Alves, Marcel Sena, Márcio Mazza, Waldízia Albuquerque, Farah Diba e Miguel Arraes pelo carinho e amizade;

Agradeço a todos que contribuíram na minha formação e na realização deste trabalho.

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares, especialmente aos meus avós Dejanira Fontes e José Francisco Marques Fontes (*in memoriam*).

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	I
DEDICATÓRIA	II
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XIII
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUÇÃO	1
1.1- ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO	1
1.2- CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	3
1.3- CAUSAS DE DEGRADAÇÕES DE ROCHAS	5
1.4- OBJETIVOS	7
CAPÍTULO II	9
MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS	9
2.1- “GRANITO” MARROM IMPERIAL	9
2.2- ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	10
CAPÍTULO III	21
RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
3.1- PETROGRAFIA	21
3.2- ENSAIO DE ALTERABILIDADE - ATAQUES QUÍMICOS ASSOCIADOS AO BRILHO	28
3.3- PETROGRAFIA APÓS ATAQUE QUÍMICO	62
3.3.1- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- TRADICIONAL, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO NÍTRICO	63
3.3.2- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO, APÓS O ATAQUE COM ÁCIDO SULFÚRICO	64
3.3.3- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO	65
3.3.5- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ROSADO, APÓS ATAQUE COM CLORETO DE AMÔNIO	67
3.3.6- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ROSADO, APÓS ATAQUE COM AZEITE DE OLIVA	68

3.3.7- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-TRADICIONAL, APÓS ATAQUE COM AZEITE DE OLIVA	69
3.3.8- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO NÍTRICO	69
3.3.9- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-TRADICIONAL, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO.....	70
3.3.10- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ROSADO, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO	71
3.3.11- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO, APÓS ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO	72
3.3.12- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ROSADO, APÓS ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO	72
3.3.13- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO, APÓS ATAQUE COM ÁGUA SANITÁRIA	73
3.3.14- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO, APÓS ATAQUE COM SODA CÁUSTICA	73
3.3.15- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO, APÓS ATAQUE COM AGUARRÁS MINERAL	74
3.3.16- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO, APÓS ATAQUE COM SABÃO EM PÓ.....	74
3.3.17- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO, APÓS ATAQUE COM VINAGRE	75
3.3.18- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-TRADICIONAL, APÓS ATAQUE COM DESINFETANTE	76
3.4- ÍNDICES FÍSICOS	78
3.5- COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES	81
3.6- ENSAIO CONGELAMENTO/ DEGELO ASSOCIADO À COMPRESSÃO UNIAXIAL	82
3.7- DESGASTE <i>AMSLER</i>	85
CAPÍTULO IV	87
CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Aspectos macroscópicos em placas polidas dos tipos comerciais do GMI.	10
Figura 2.2- Placas polidas com dimensões de 10 x 10 x 2 cm e 5 x 5 x 1 cm.	12
Figura 2.3- Placas do “granito” Marrom Imperial e os insumos utilizados no ensaio de alterabilidade.	12
Figura 2.4- Corpos-de prova após a secagem em estufa.	16
Figura 2.5- Corpos-de-prova imersos em água.	16
Figura 2.6- Corpos-de prova submersos em água para pesagem.	16
Figura 3.7- Presença de auréolas (plagioclásio+K-feldspato+quartzo) circundando os grandes cristais de microclínio, com intercrescimento pertítico. (nicóis // e nicóis x) (4x).	25
Figura 3.8- Grande cristal de microclínio com intercrescimento pertítico em estágio de alteração para carbonatos, e associado à hornblenda (Hn), biotita (Bt), opacos (Op) e titanita (Tit) (nicóis // e nicóis x) (4x).	25
Figura 3.9- Cristal de piroxênio (Eg-ag) alterando-se para hornblenda (Hn) da borda para o centro, com inclusões de opacos (Op), e apatita (Ap). Nas bordas ocorre também biotita. (nicóis // e nicóis x) (10x).	25
Figura 3.10- Grandes cristais de albita com intercrescimento antipertítico. Nota-se a ausência de auréolas feldspáticas e contato reto entre os grãos. (nicóis // e nicóis x) (4x).	26
Figura 3.11- Cristais de piroxênio (Eg-ag) inclusos em anfibólio (Hn), e este comumente transformando-se em biotita. Associa aos minerais opacos e ao microclínio, com intercrescimento pertítico. (nicóis // e nicóis x) (4x).	26
Figura 3.12- Cristal de hornblenda (Hn) com inúmeras inclusões de minerais opacos (Op) provavelmente, apatita (Ap) e ortoclásio (Kf) com intercrescimento pertítico. (nicóis // e nicóis +) (10x).	26
Figura 3.13- Cristal de ortoclásio com intercrescimento pertítico e inúmeras inclusões de apatita, biotita, turmalina, e minerais opacos. (nicóis // e nicóis x) (10x).	
Figura 3.14- Presença de hornblenda (Hn) com relíquias de piroxênio (Eg-ag), concentrados principalmente no centro do cristal. Inclusões de apatita (Ap) e opacos (Op) paralelogramáticas, sugerindo presença de ilmenita (nicóis // e nicóis x) 10x).	
Figura 3.15- Cristal de piroxênio (Eg-ag) alterando-se para hornblenda (Hn). Exibe	

inclusões de apatita (Ap), opacos (Op) e apresenta-se incluso em um grande cristal de albita com intercrescimento antipertítico (nicóis // e nicóis x) (10x).....	27
Figura 3.16- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do ácido nítrico. Notam-se covas milimétricas após os 50 dias de ataque.	30
Figura 3.17- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do cloreto de amônio.	30
Figura 3.18- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do azeite de oliva.	31
Figura 3.19- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do ácido clorídrico.	31
Figura 3.20- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do ácido sulfúrico.	32
Figura 3.21- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do hipoclorito de sódio.	32
Figura 3.22-. Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação da aguarrás mineral.....	33
Figura 3.23- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação da água sanitária.	33
Figura 3.24- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação da soda cáustica.	34
Figura 3.25- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, durante o processo inicial e final da aplicação do ácido cítrico.	34
Figura 3.26- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do vinagre.	35
Figura 3.27- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação da limpeza pesada.....	35
Figura 3.28- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do sabão em pó.	36
Figura 3.29- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do desinfetante.....	36
Figura 3.30- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do multiuso com álcool.....	37
Figura 3.31- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do ácido nítrico.....	39

Figura 3.32- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do ácido sulfúrico.	39
Figura 3.33- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do ácido clorídrico.	40
Figura 3.34- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do cloreto de amônio.	40
Figura 3.35- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do azeite de oliva.	41
Figura 3.36- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação da soda cáustica.	41
Figura 3.37- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do vinagre.	42
Figura 3.38- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do hipoclorito de sódio.	42
Figura 3.39- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação da água sanitária.	43
Figura 3.40- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação da aguarrás mineral.	43
Figura 3.41- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do sabão em pó.	44
Figura 3.42- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do ácido cítrico.	44
Figura 3.43- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do desinfetante.	45
Figura 3.44- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do limpeza pesada.	45
Figura 3.45- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do multiuso com álcool.	46
Figura 3.46- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do cloreto de amônio.	48
Figura 3.47- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do azeite de oliva.	48
Figura 3.48- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do ácido clorídrico.	49

Figura 3.49- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do ácido nítrico.	49
Figura 3.50- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do ácido sulfúrico.	50
Figura 3.51- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do hipoclorito de sódio.	50
Figura 3.52- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação da água sanitária.	51
Figura 3.53- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do vinagre.	51
Figura 3.54- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação da aguarrás mineral.	52
Figura 3.55- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação da soda cáustica.	52
Figura 3.56- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação da limpeza pesada.	53
Figura 3.57- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do sabão em pó.	53
Figura 3.58- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do ácido cítrico.	54
Figura 3.59- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do desinfetante.	54
Figura 3.60- Placas do granito Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do multiuso com álcool.	55
Figura 3.61- Evidências de produtos de reação em cristais de piroxênio, tipo aegerina-augita (Px) originalmente alterado para hornblenda (Hn). Observa-se que o ácido nítrico atuou principalmente nos piroxênios. Na parte isotrópica (escura) (sob nicóis x), nota-se a provável precipitação de minerais secundários. (nicóis // e nicóis x) (4x).	63
Figura 3.62- GMI tradicional, exibindo os minerais félsicos essenciais e os principais acessórios máficos. A parte isotrópica (sob nicóis +) representa provavelmente nitratos formados pela reação sobre os minerais ferromagnesianos, principalmente o piroxênio (Eg-ag) e sobre parte do hospedeiro ortoclásio no intercrescimento pertítico (nicóis // e nicóis x) (4x).	63

Figura 3.63- GMI Escuro, exibindo cristais submilimétricos de piroxênio (Eg-ag) se alterando para anfibólio (Hn), parcialmente dissolvidos pela ação do ácido sulfúrico. Ainda cristais de félsicos feldspáticos com dimensão milimétrica a mais. (nicóis // e nicóis x) (4x).....	64
Figura 3.64- Detalhe da parte dissolvida do cristal de piroxênio (Eg-ag) e hornblenda (Hn) da fotomicrografia anterior e a provável precipitação de minerais secundários. (nicóis // e nicóis x) (aumento 200x).	64
Figura 3.65- Exibindo em detalhe minerais secundários gerados por alteração com limite difuso, em seção prismática original de piroxênio (Eg-ag) transformada em hornblenda (Hn) (nicóis // e nicóis x) (aumento 500x).	64
Figura 3.66- Cristais de hornblenda (Hn) cedo-cristalizados em relação ao microclínio com intercrescimento pertítico. Nota-se sob nicóis cruzados, a parte isotrópica refere-se a um cristal que estava em equilíbrio com a hornblenda (nicóis paralelos) podendo tratar de plagioclásio ou piroxênio, totalmente dissolvido pela ação do ácido sulfúrico.(nicóis // e nicóis x) (10x).....	65
Figura 3.67- Cristais de microclínio e ortoclásio, ambos com intercrescimento pertítico. Nota-se a ocorrência de microfissuras intragrãos, tanto nos feldspatos quanto na hornblenda (Hn) e piroxênio (Eg-ag), preenchidas provavelmente por óxido ou hidróxido de ferro, devido à coloração característica. (nicóis // e nicóis x) (4x).	65
Figura 3.68- Cristal de piroxênio em estágio avançado de alteração para hornblenda (Hn). Nota-se que a parte isotrópica (nicóis x), refere-se à parte dos cristais de piroxênio totalmente alterados/ dissolvidos. (nicóis // e nicóis x) (10x).	66
Figura 3.69- Detalhe da alteração do piroxênio da fotomicrografia anterior, evidenciando a formação de precipitado (mineral secundário)(nicóis // e nicóis x) (aumento 500x).....	66
Figura 3.70- Cristal de piroxênio (Eg-ag), transformando-se em anfibólio (Hn), do centro para as bordas. A atuação do ácido cítrico é incipiente, alterando inicialmente as bordas das clivagens do piroxênio. Não houve alterações relevantes nos feldspatos (nicóis // e nicóis x) (10x).....	66
Figura 3.71- Cristais de feldspatos pertitizados e substancialmente antipertitizados, parcial e totalmente alterados devido ao ataque pelo cloreto de amônio, com consequentes precipitações de minerais secundários. (nicóis // e nicóis x) (4x).....	67

Figura 3.72- Cristais de hornblenda (Hn) parcialmente alteradas com consequente precipitação de minerais secundários. E microclina inalterada (nicóis // e nicóis x) (10x).	67
Figura 3.73- Evidenciando as microfissuras como ducto da solução e <i>locus</i> de precipitação de produto de alteração. (nicóis // e nicóis x) (10x).	67
Figura 3.74- Evidências de preenchimento de azeite de oliva em microfissuras no cristal de albita com intercrescimento antipertítico. Nota-se que as microfissuras encontram-se preenchidas pelo azeite de oliva. (nicóis // e nicóis x) (4x).	68
Figura 3.75- Evidenciando a deposição do azeite de oliva sobre os minerais constituintes da rocha (nicóis // e nicóis x) (4x).	68
Figura 3.76- Evidências de azeite de oliva percolado em microfissuras intergranulares (observado em nicóis paralelos, de coloração amarelo claro, e em nicóis cruzados, escuro), existentes nos cristais de ortoclásio com intercrescimento pertítico (nicóis // e nicóis x) (4x).	68
Figura 3.77- Evidências de azeite de oliva percolado em microfissuras existentes em cristal de microclínio com intercrescimento pertítico (nicóis // e nicóis x) (4x).	69
Figura 3.78- Evidências de azeite de oliva depositado sobre os minerais (nicóis // e nicóis x) (4x).	69
Figura 3.79- Cristal de piroxênio (Eg-ag) totalmente dissolvido e a provável formação de minerais secundários (nicóis // e nicóis x) (10x).	69
Figura 3.80- Parte do cristal de microclínio com intercrescimento pertítico, este de difícil reconhecimento devido ao estágio avançado de alteração, acelerado pelo ácido nítrico (nicóis // e nicóis x) (10x).	70
Figura 3.81- Microfissuras em cristal de albita com intercrescimento antipertítico, alteradas pela ação do ácido nítrico (nicóis // e nicóis x) (4x).	70
Figura 3.82- Evidências de cristais de quartzo (Qzo), microclínio com intercrescimento pertítico, titanita (Tit), minerais opacos (Op), plagioclásio (Pl) e piroxênio se transformando hornblenda (Hn). O ácido clorídrico atuou <i>a priori</i> no piroxênio e no plagioclásio, em asterisco (*). Observam-se os mesmos devidamente alterados (sob nicóis x, parte isotrópica) (nicóis // e nicóis +) (4x).	70
Figura 3.83- Microfissuras intragranulares em cristal de albita com intercrescimento antipertítico. Nota-se que a parte alterada ocorreu principalmente devido ao microfissuramento da rocha, pois este serviu como ducto do ácido clorídrico (nicóis // e nicóis x) (4x).	71

Figura 3.84- Cristais de aegerina-augita (Eg-ag) se alterando para hornblenda (Hn). Partes encontram-se totalmente dissolvidos devido à ação do ácido clorídrico (nicóis // e nicóis x) (4x).....	71
Figura 3.85- Grande cristal de microclínio com intercrescimento pertítico alterando-se devido à ação do ácido clorídrico (nicóis // e nicóis x) (10x).....	71
Figura 3.86- Grande cristal de albita com intercrescimento antipertítico, em estágio avançado de alteração, acentuado pela ação do hipoclorito de sódio. (nicóis // e nicóis x) (4x).	72
Figura 3.87- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico e cristais de aegerina- augita se alterando para hornblenda e esta para biotita. Partes dos cristais ferromagnesianos encontram-se dissolvidos e com a provável precipitação de minerais secundários. (nicóis // e nicóis x) (4x).....	72
Figura 3.88- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico, intensas microfissuras servindo como ductos para percolação do insumo (nicóis // e nicóis x) (4x).	73
Figura 3.89- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico, albita com intercrescimento antipertítico, e cristais de aegerina-augita (Eg-ag) se alterando para hornblenda (Hn). Nota-se que a parte inferior (isotrópica, nicóis x) do cristal ferromagnesiano encontra-se parcialmente dissolvido (nicóis // e nicóis x) (4x).	73
Figura 3.90- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico em estágio de alteração, acentuado devido a ação da aguarrás mineral. Observa-se também cristal de aegerina-augita (Eg-ag) se transformando em hornblenda (Hn) e encontra-se parcialmente dissolvido. (nicóis // e nicóis x) (4x).....	74
Figura 3.91- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico em estágio avançado de alteração, devido a ação do sabão em pó. (nicóis // e nicóis x) (4x).....	74
Figura 3.92- Cristal de ortoclásio com intercrescimento pertítico em estágio de alteração devido a ação do vinagre, este veiculado principalmente através das microfissuras. (nicóis // e nicóis x) (4x).	75
Figura 3.93- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico, e cristais de aegerina-augita (Eg-ag) se transformando em hornblenda e em estágio inicial de alteração, devido a ação do vinagre, principalmente ao longo das clivagens (nicóis // e nicóis x) (4x).....	75
Figura 3.94- Cristais de aegerina-augita (Eg-ag) transformando-se em hornblenda (Hn) das bordas para o centro, e esta em biotita. Nota-se que os cristais de aegerina-augita	

foram parcialmente dissolvidos devido a ação do desinfetante. (nicóis // e nicóis x) (4x).	76
Figura 3.95- Relação de massa específica dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial e os valores estabelecidos pela norma ASTM e sugerido por Frazão & Farjallat.	78
Figura 3.96- Relação da Porosidade e Absorção de água dos tipos comerciais do GMI e os valores estabelecidos pela norma ASTM e sugeridos por Frazão & Farjallat.	80
Figura 3.97- Relação dos valores de compressão Uniaxial dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial e os valores estabelecidos pela norma ASTM e sugerido por Frazão & Farjallat.	82
Figura 3.98- Relação dos valores de congelamento/ degelo associado à compressão uniaxial simples dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.	83
Figura 3.99- Representação da variação da resistência após o ensaio gelo/degelo.	84
Figura 3.100- Relação dos valores médios do desgaste abrasivo Amsler dos tipos comerciais do “granito” marrom Imperial e o sugerido por Frazão & Farjallat.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Normas técnicas para caracterização de rochas ornamentais.	4
Tabela 1.2- Valores especificados pela ASTM e sugeridos no Brasil	4
Tabela 2.3- Insumos/ reagentes utilizados no ensaio de alterabilidade – ataques químicos.	11
Tabela 3.4- Valores percentuais dos constituintes mineralógicos existente em cada tipo comercial do GMI.	24
Tabela 3.5- Valores médios percentuais do brilho do GMI tipo Tradicional, com a utilização de vários insumos/ reagentes, em relação ao tempo de ataque.	29
Tabela 3.6- Valores médios percentuais do brilho do GMI tipo Escuro, com a utilização de vários insumos/ reagentes, em relação ao tempo de ataque.	38
Tabela 3.7- Valores médios percentuais do brilho do “granito” Marrom Imperial, tipo Rosado, com a utilização de vários insumos/ reagentes, em relação ao tempo de ataque.	47

Tabela 3.8- Representação gráfica dos comportamentos do GMI após os 50 dias de ataque químico.....	56
Tabela 3.9- Insumos/ reagentes, tipos comerciais e seus respectivas avaliações, referentes às alterações após ataque.	77
Tabela 3.10- Média dos valores de massa específica seca e saturada dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.....	78
Tabela 3.11- Média dos valores da porosidade e absorção de água dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.....	79
Tabela 3.12- Valores médios da compressão uniaxial na condição seca dos 3 tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.	81
Tabela 3.13- Valores médios da compressão uniaxial na condição seca, antes e após o ensaio congelamento/ degelo, coeficiente de enfraquecimento (K) e a variação da resistência.	83
Tabela 3.14- Valores médios do desgaste <i>Amsler</i> dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AENOR	<i>Asociación Española de Normalización y Certificación</i>
AFNOR	<i>Association Française de Normalization</i>
Ap	Apatita
ASTM	American for Testing and Materials
BS	<i>British Standart</i>
Bt	Biotita
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
DIN	<i>Deutsch Institut für Normung</i>
Eg-ag	Egerina-augita
GMI	“granito” Marrom Imperial
Interesc.	Intercrecimento
k	Coeficiente de enfraquecimento

K-f	Feldspato potássico
Kgf	Quilograma força
KN	Kilonewton
MPa	Megapascal
N.d	Não disponível
N.e	Não especificado
NBR	Normas Brasileiras
Nicóis //	Nicóis paralelos
Nicóis +	Nicóis cruzados
Op	Minerais opacos
Pl	Plagioclásio
Px	Piroxênio
Qz	Quartzo
SEG	Sienito Marrons muito Grossos
Tit	Titanita
UNI	<i>Enti Nazionali in Unificazion Normazione di Italia</i>

RESUMO

Os estudos conduziram à priorização da alterabilidade e sua relação com características petrográficas e tecnológicas dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial. Foram direcionados à qualificação e aplicação desses materiais pétreos como material ornamental e de revestimento.

Os experimentos de ataque químico foram procedidos utilizando-se insumos preparados e disponíveis no mercado, bem como soluções especificamente preparadas com os seus princípios ativos.

Ensaio químicos comprovaram que os produtos de alteração estão compatíveis com a mobilidade dos componentes moleculares dos minerais constituintes.

Macroscopicamente e sob microscopia óptica foram verificados aspectos texturais das alterações, destacando-se a isotropia dos produtos secundários amorfos e isométricos. Outrossim, hidróxidos e outros produtos coloridos puderam ser observados sob luz paralela.

A petrografia explorou relação textural entre as espécies minerais dos três tipos comerciais do “granito”, na busca de identificar o mais susceptível à alteração, bem como a ordem de alterabilidade semi-quantitativa dos diversos insumos.

Valores de medição do brilho expressam a qualidade da refletância que o polimento transmite ao medidor. Portanto, quanto maior a agressão na mesma peça maior será a perda do brilho, o que pôde ser observado nas placas atacadas principalmente por ácidos e bases fortes.

Enquanto os valores médios encontrados para índices físicos e desgaste Amsler estão dentro dos limites aceitáveis, o mesmo não acontece para compressão uniaxial e gelo-degelo, significando referências para a aplicabilidade otimizada.

Portanto os três tipos comerciais de Marrom Imperial têm aplicações distintas com finalidades específicas.

Palavras-chaves: Caracterização Tecnológica, Alterabilidade e “Granito” Marrom Imperial.

ABSTRACT

The studies led to the prioritization of otherness and its relation to petrographic and technological characteristics of commercial types of granite Imperial Brown. Were directed towards the qualification and application of stone materials such as dimension stones.

The chemical attack experiments were carried using inputs prepared and available, as well as solutions specifically designed for their active ingredients.

Chemical tests proved that the alteration products are compatible with the mobility of the molecular components of the mineral constituents.

Macroscopically and were observed under light microscopy aspects of textural changes, emphasizing the isotropy of amorphous secondary products and isometrics. Moreover, hydroxides and other colored products were observed in parallel light.

The petrography explored textural relationship between the mineral species of the three commercial types of "granite" in the search to identify the most susceptible to alterability.

Measuring the brightness values express the quality of the reflectance polishing transmits to the meter. Therefore, the higher the aggression on the same piece the greater the loss of brightness, which could be observed on the plates attacked mainly by strong acids and bases.

While the mean values for indices and physical Amsler wear are within acceptable limits, the same is not true for uniaxial compression and freeze-thaw, meaning references to the applicability optimized.

So the three commercial types of Imperial Brown have distinct applications for specific purposes.

Keywords: Technological Characterization, Alterability, "Granite" Imperial Brown.

1.1- ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO

O uso das rochas ornamentais pela Humanidade começou na aurora da civilização humana. Atualmente, a colocação de mármore e granitos na arquitetura moderna, aumenta no mundo inteiro. A produção de rochas ornamentais, extração e beneficiamento tornaram-se uma indústria de grande expansão.

Rochas para revestimento segundo a NBR (15012/03) são rochas naturais que, submetidas a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, são utilizadas no acabamento de superfícies, especialmente em pisos e fachadas, em obras de construção civil. Essa definição pode ser considerada similar à que a American Society for Testing and Materials (ASTM, 2001) propõe para *dimension stone*: pedra natural que foi selecionada, regularizada ou cortada em tamanhos e formas especificados ou indicados, com ou sem uma ou mais superfícies mecanicamente acabadas. Ou seja, é toda rocha natural mais ou menos tratada/beneficiada (bruta, aparelhada, flamejada ou polida), utilizada no acabamento de superfície de obras civis.

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadreamento, polimento, lustro etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras etc. (Chiodi Filho, 1995).

Segundo Frascá (2003), pode-se fazer uma distinção entre rochas de revestimento e ornamentais, onde as primeiras seriam aquelas que foram submetidas a diversos processos e graus variados de desdobramentos e beneficiamento, sendo utilizadas no acabamento de superfícies, em especial pisos e fachadas; enquanto as ornamentais seriam aquelas submetidas a diferentes graus e tipos de beneficiamento ou aperfeiçoamento, utilizados para exercer uma função estética.

As duas grandes categorias comerciais de rochas ornamentais e de revestimento são os “granitos”, que comercialmente englobam rochas silicáticas (ígneas ácidas e intermediárias plutônicas/vulcânicas, charnockitos, gnaisses e migmatitos) e os “mármore”, comercialmente entendidos como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar, como metamórfica, passível de polimento. Também são consideradas rochas ornamentais e de revestimento os travertinos, ardósias, quartzitos, conglomerados e outros (Frasca, 2001).

No Brasil, informes da Abirochas (2011) indicam que os “granitos” correspondem a 49,4% da produção nacional de rochas ornamentais e 16,9% são relativos aos “mármore e travertinos”. As demais categorias, também importantes, representados pelos basaltos, quartzitos, ardósias, serpentinitos, esteatitos, arenitos, conglomerados e a pedra Miracema, correspondem a 33,7% da produção nacional. Esses percentuais são referentes às placas com 2,0 cm de espessura.

Os mármore representam na atualidade aproximadamente 45 % da produção mundial, com 40% atribuídos aos granitos, 5% aos quartzitos e similares, e 5% às ardósias. Cerca de 80% da produção mundial é atualmente transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% desdobrada em peças para arte funerária e 5% para outros campos de aplicação. Aproximadamente 60% dos revestimentos referem-se a pisos, 16% a fachadas externas, 14% a interiores e 10% a trabalhos especiais de acabamento.

Em relação ao consumo interno aparente de rochas ornamentais no Brasil, por estados e regiões, destaca-se o estado de São Paulo com participação de aproximadamente 46%, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais com 24 %, região Sul 14%, regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste 16%.

Geralmente, a utilização das rochas como material ornamental se faz pelo seu padrão estético que lhe é conferido pelos constituintes mineralógicos, pela coloração que estes exibem, e pela textura e estrutura da rocha.

Em função das características cromáticas, os materiais são enquadrados como clássicos, comuns ou excepcionais. Os clássicos não sofrem influência de modismos, incluindo mármore vermelhos, brancos, amarelos e negros, bem como granitos negros e vermelhos. Os materiais comuns, de largo uso em obras de revestimentos, incluem mármore beges e acinzentados, além de granitos acinzentados, rosados e

amarronzados. Os materiais excepcionais são normalmente utilizados para peças isoladas e pequenos revestimentos, abrangendo mármore azuis, violetas e verdes, além de granitos azuis, amarelos, multicores e brancos (Abirochas).

Os mármore mais categorizados são os de textura fina, tanto os brancos quanto os desenhados coloridos, muito apreciados para arte statuária e outras peças isoladas de acabamento e mobiliário. Entre os granitos verifica-se, atualmente, melhor aceitação para os amarelos movimentados (tipo Juparaná), brancos (tipo *Bianco Cardinale*, *Cotton*, *Cashmere*) e movimentados multicores (tipo Sul de Minas e Bahia) além, é claro, dos azuis (Azul Bahia e Azul Macaúbas).

Além das feições estéticas desejáveis para as rochas ornamentais e de revestimento, a escolha e uso dos materiais deve levar em conta suas características tecnológicas, de modo a indicar qual a sua melhor utilização.

1.2- CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

As rochas ornamentais, pelo fato de serem aplicadas em locais com características diferentes daquelas onde foram formadas, ficam sujeitas a condições “agressivas”, antrópicas (atrito ou desgaste, choques, contato com produtos de limpeza domésticos e industriais) ou naturais (variações de temperatura, exposição solar, água e gelo) (DUARTE, 2003).

A caracterização tecnológica de rochas ornamentais possibilita a correlação qualitativa das características das rochas e suas melhores aplicações, seguindo procedimentos padronizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *Deutsches Institut für Normung (DIN)*, *Association Française de Normalization (AFNOR)*, *Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)*, *Enti Nazionali in Unificazione Normazione di Italia (UNI)* e *British Standard (BS)*. No Brasil adotam-se as normas ABNT e ASTM (Tabela 1.1). Tais características são obtidas em laboratório através de ensaios como massa específica (densidade), absorção de água, porosidade, desgaste abrasivo *Amsler*, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, petrografia, alterabilidade, dentre outros, e seus resultados são comparados com os fixados pela norma. (Tabela 1.2)

Tabela 1.1- Normas técnicas para caracterização de rochas ornamentais.

Ensaio	Norma ASTM	Norma ABNT
Análise Petrográfica	C-295	12768
Índices Físicos	C-97	12766
Resistência à Flexão	C-99/ C-880	12763
Resistência ao Impacto de Corpo Duro	C-170	12764
Resistência à Compressão Uniaxial	D-2938 C-170	12767
Coefficiente de Dilatação Térmica Linear	E-228	12765
Congelamento e Degelo Conjugado à Compressão	n.d	12769
Desgaste <i>Amsler</i>	C-241	12042
Módulo de Deformabilidade Estática	D-3148	n.d

Fontes: *American Society for Testing and Materials* - ASTM e Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Legenda: n.d - não disponível.

Tabela 1.2- Valores especificados pela ASTM e sugeridos no Brasil

Propriedades	Valores fixados pela ASTM	Valores sugeridos por Frazão & Farjallat
Massa específica Aparente (Kg/cm ³)	≥ 2.560,00	≥ 2.550
Absorção D'água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤ 1,0
Flexão (módulo de ruptura) (MPa)	≥ 10,34	≥ 10,0
Desgaste <i>Amsler</i> (mm)	n.e.	≤ 1,0
Dilatação Térmica Linear (10 ³ /mm.°C)	n.e.	≤ 12,0
Compressão Uniaxial (MPa)	≥ 131,0	≥ 100,0
Impacto de Corpo Duro (m)	n.e.	≥ 0,4
Módulo de Deformabilidade Estático (GPa)	n.e.	≥ 30,0

Fontes: *American Society for Testing and Materials* - ASTM. Frazão & Farjallat (1995). Legenda: n.e. = não especificado.

1.3- CAUSAS DE DEGRADAÇÕES DE ROCHAS

A *American Association for Testing and Materials* (ASTM, 2001), define durabilidade como a medida da capacidade da rocha ornamental de suportar e manter as características essenciais e distintivas diante das condições de uso, que lhe solicitem resistências e lhe imponham degradação à aparência. A durabilidade é baseada no período de tempo em que a rocha pode manter suas características intactas em uso. Este tempo dependerá do meio ambiente e do uso da rocha em questão (exemplo, como revestimento exterior ou interior).

Aires-Barros (2001) aponta três tipos principais de degradação de rochas ornamentais e de revestimento:

- Químico: considera as reações químicas que se processam na superfície e nas descontinuidades das rochas, com a formação de minerais secundários;
- Físico: resulta de fenômenos de expansão e/ou retração diferencial dos minerais, provocados por variações térmicas, abalos físicos de várias origens, e ainda por expansões decorrentes da geração de minerais secundários (hidratação de minerais argilosos expansivos, ação da tensão superficial da água no decurso de processos naturais de saturação e secagem, e ação das forças de expansão de cristalização de sais);
- Biológico: provocado pelo crescimento de microorganismos sobre as rochas.

Além dessas, podemos atribuir à deterioração das edificações e seus materiais, causas relacionadas a fatores humanos, incluindo a poluição ambiental, vibrações, vandalismo e outros.

A susceptibilidade do material pétreo à alteração depende de fatores intrínsecos, como textura (homogênea ou heterogênea, maciça ou orientada), composição química (sobretudo associada com a mobilidade do conteúdo molecular da espécie mineral) e composição mineralógica (propriedades físicas dos minerais como a falta de clivagem que acentua o microfissuramento da espécie durante a extração até a produção de placas e polimento), além de permeabilidade, porosidade, presença de tensões

confinadas, de microfissuras, planos de fraqueza, dimensão média dos grãos (a alterabilidade aumenta com a granulometria mais fina, pois varia diretamente com a superfície específica), depende também de fatores extrínsecos como intensidade e tempo de duração de agentes naturais externos e/ou internos, processos de extração e beneficiamento (serragem, polimento e brilho influenciam na resistência e na alterabilidade do material, podem ocasionar ou amplificar microfissuras pré-existentes). Aires-Barros (2001), modificado por Kalix T. (2011).

Petrucci (1998) afirmou que alterações de uma rocha correspondem às modificações de suas características e propriedades decorrentes da ação de vários agentes agressivos que podem atuar através de processos físicos e químicos. Portanto, esta alterabilidade poderá ser deflagrada e estimulada desde a extração e cortes das rochas, atuando de forma negativa sobre a resistência mecânica, durabilidade e efeito estético do material rochoso. É o caso da presença de quartzo em rochas, cuja absorção de umidade aumentará em função do microfissuramento resultante da sua baixa resistência ao impacto, graças à falta de clivagem. No entanto, muitas alterações sofridas pelos materiais pétreos acrescentam à rocha valorização devido ao aspecto estético que o corpo rochoso adquire após ação destes processos. Exemplo é a coloração dos “granitos amarelos”, decorrente do processo de alteração, sendo este aspecto muito valorizado pelos “*designers*” e arquitetos.

A escolha de um material pétreo como revestimento utilizado em ambientes internos e ou externos deve estar baseada não somente nas características estéticas, mas também associada às suas propriedades físico-químicas e mecânicas. Estas são fatores técnicos que podem afetar o preço do produto, nas opções de uso e na valorização do material mediante as exigências do mercado.

Os ensaios de alterabilidade em condições aceleradas ainda estão dentre os poucos meios disponíveis para se obter respostas acerca dos materiais pétreos sob às mais diversas condições, inclusive as influências antrópicas diretas ou indiretas, constituindo-se ferramenta importante para decisões dos profissionais do setor de ornamentais e de revestimento.

1.4- OBJETIVOS

1.4.1- OBJETIVO GERAL

A proposta de trabalho tem como objetivo estudo qualitativo para avaliação do desempenho de placas polidas do “granito” Marrom Imperial, usadas como revestimento interno como: pisos, balcões e pias. Através da realização de conjuntos de ensaios e análises laboratoriais, visando à determinação dos parâmetros físicos, mecânicos e mineralógicos da rocha e dos aspectos condicionantes de alterabilidade desencadeadas pela exposição da rocha a agentes químicos de usos domésticos e industriais. Visando preencher um dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mineral, área de concentração em rochas ornamentais, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco.

1.4.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliação preliminar do material pétreo através de estudos petrográficos para determinação da composição mineralógica, textura e microfissuras inter e intragranulares, aplicando norma NBR 12768/1992.
- Caracterização tecnológica da rocha através dos ensaios de resistência de compressão uniaxial (NBR 12767/1992); Determinação do desgaste abrasivo Amsler (NBR 12042/1992); Determinação dos índices físicos (massa específica aparente seca e saturada, porosidade e absorção de água aparente (NBR 12766/1992). Determinação à resistência ao gelo e degelo associado à compressão uniaxial (NBR 12769/1992).
- Avaliação qualitativa da resistência ao ataque químico a reagentes comumente utilizados em produtos de limpeza de uso doméstico para verificação da susceptibilidade da rocha ao ataque, através do controle macroscópico e microscópico das mudanças sofridas pelo material, comparando-as com corpos

de prova são, não submetidos aos ciclos de agressão (NBR 13818, anexo H e NBR 12768/1992);

- Controle das alterações de brilho sofridas pelo material decorrente dos ciclos de alteração, através da utilização do aparelho *Glossmeter*.
- Também é proposta deste estudo desenvolver comparações dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica com os sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) e com os fixados pela ASTM, geralmente exigidos na qualificação dos materiais quando de sua aplicação no setor de rochas ornamentais e de revestimento para comercialização nos mercados interno e externo.

2.1- “GRANITO” MARROM IMPERIAL

A litologia estudada corresponde a um dos cinco fácies maiores do Complexo Bom Jardim, mapeado e classificado como sienito marrom muito grossos (SEG), por Guimarães & Silva (1992) em “Evolução Petrológica e Geoquímica do Complexo Bom Jardim, Pernambuco.”

O corpo rochoso do sienito Marrom Imperial ocorre sob a forma de lentes de mela-sienitos, pertencentes à Suíte Shoshonítica de idade Neoproterozóica (Mendes, V.A, 2008). Aflora nas localidades da Pedra do Navio e Fazenda das Pedras no município de Bom Jardim, este inserido na mesorregião Agreste e na Microrregião Médio Capibaribe do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Orobó e Machados, a sul com João Alfredo, a leste com Vicência e Limoeiro, e a oeste com Surubim e Casinhas. Dista aproximadamente 110 km da capital. O acesso é feito pela PE-005; BR-408, e PE-090/088.

Este material é classificado geologicamente como sienito, porém neste trabalho a designação utilizada é a comercial, ou seja, os litotipos são denominados de “Granito” Marrom Imperial (Tradicional, Escuro ou Rosado).

Macroscopicamente, o “granito” Marrom Imperial (GMI) é heterogranular ou inequigranular, exibe granulação média a grossa, com cristais variando de 0,4 a 3 cm, comumente exibindo iridescência. Apresenta-se em três tipos comerciais distintos, onde o primeiro é formado essencialmente por grandes cristais de feldspatos marrons com auréolas finas de coloração variando de branco a bege, formadas principalmente por minerais feldspáticos. Este tipo é classificado comercialmente como GMI tipo Tradicional; o segundo é formado por grandes cristais de feldspatos marrons com auréolas feldspáticas incipientes e/ou ausentes. Este tipo é classificado comercialmente como GMI tipo Escuro; e o terceiro é formado por grandes cristais de feldspatos marrons com auréolas também feldspáticas de coloração variando de rósea a laranja, apresentando-se mais espessas quando comparadas com os demais tipos. Este último tipo é classificado comercialmente como GMI tipo Rosado. Estes três litotipos são mostrados na figura 2.1.

Existem duas frentes de lavra em atividade, cujos titulares são Minérios de Bom Jardim S/A e Granitos Brasileiros S/A (arrendado a Corcovado Granitos Ltda). O método de lavra é em forma de bancadas, utilizando-se de fio diamantado, furação contínua, explosivos de baixa carga, *quarrybar* e *jet-flame*, ocasionalmente. O Marrom Imperial possui reconhecida aceitação no mercado internacional ao preço de US\$ 700,00/m³. (Souza, V.C. *et.al*, 2008)

Para a realização deste trabalho, as amostras do “granito” Marrom Imperial (placas polidas e blocos) foram adquiridas em marmorarias e na pedreira Minérios de Bom Jardim S/A.

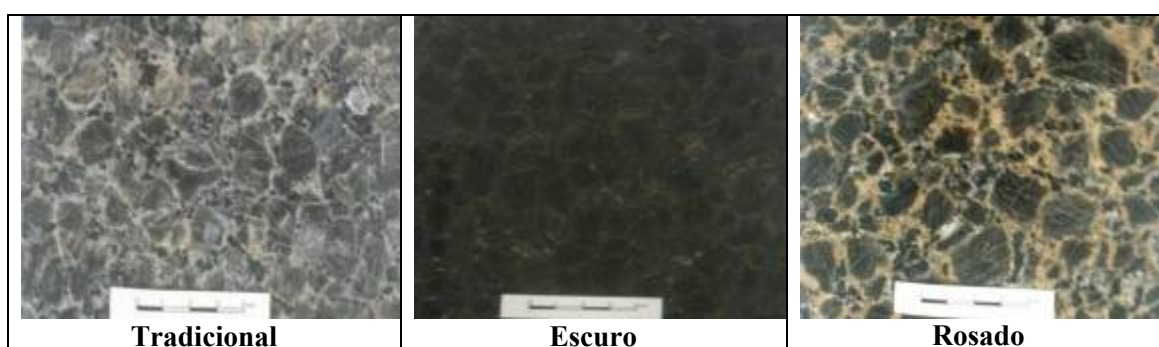


Figura 2.1- Aspectos macroscópicos em placas polidas dos tipos comerciais do GMI.

2.2- ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Ensaio e análises laboratoriais visaram o conhecimento de parâmetros físicos, mecânicos, mineralógicos e os aspectos condicionantes da alterabilidade observáveis em condições quimicamente agressivas.

Os ensaios de caracterização tecnológica incluíram análises petrográficas, resistência à alterabilidade química; determinações da densidade seca e saturada, absorção de água e porosidade, resistência à compressão uniaxial simples, resistência ao congelamento e degelo, e resistência ao desgaste abrasivo *Amsler*.

2.2.1- ENSAIO DE ALTERABILIDADE- ATAQUE QUÍMICO

A resistência a ataques químicos foi determinada através dos procedimentos contidos no anexo “H” da norma NBR 13818 (ABNT, 1997), e foram realizados principalmente, em amostras comercializadas para utilização em pias e bancadas. Estes ataques podem causar, além de perda de brilho, alterações de cor e

mineralógicas, bem como perda de massa. Foram utilizadas substâncias comuns em ambiente doméstico ou de trabalho, com determinadas concentrações que simulam, em velocidade acelerada, algumas situações possivelmente agressivas.

Os insumos e reagentes (tabela 2.3) são conhecidos e comercializados nacionalmente.

Tabela 2.3- Insumos/ reagentes utilizados no ensaio de alterabilidade – ataques químicos.

INSUMOS/ REAGENTES	CONCENTRAÇÃO
Hipoclorito de sódio- Água Sanitária	11 %
Ácido Acético- Vinagre	4 %
Amina Etoxilada Quaternizada- Limpeza Pesada	-
Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio- Multiuso com álcool	-
Aguarrás Mineral	-
Azeite de oliva	Acidez máxima 0,3
O-benzil p-clorofenol- Desinfetante	-
Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio- Sabão em Pó	1g/ 200 ml
Hidróxido de sódio- Soda Cáustica	100g/ L; pH 9
Ácido Sulfúrico	3%, v/v; pH 3
Ácido Nítrico	3%, v/v; pH 3
Ácido Cítrico	100 g/L; pH
Ácido Clorídrico	100 g/L; pH 3
Cloreto de Amônio	100 g/L; pH 5
Hipoclorito de Sódio	4- 6 %

Para a realização destes ensaios foram selecionadas 45 placas polidas com dimensões de 10 x 10 x 2 cm e 45 placas polidas com dimensões de 5 x 5 x 1 cm (figura 2.2). Destas, separaram-se em partes iguais para cada tipo comercial do “granito” Marrom Imperial. As placas polidas de 5 x 5 x 1 cm destinaram-se exclusivamente à confecção de lâminas petrográficas.

A sistemática dos ensaios incluiu a aplicação diária, separadamente para cada grupo de amostras, de 1 ml das substâncias supostamente “agressivas” sobre a

superfície de cada placa polida de 10 x 10 x 2 cm e 0,5 ml sobre a superfície de cada placa polida de 5 x 5 x 1 cm (figura 2.3). Para tanto foram utilizadas pipetas volumétricas de 1,0 ml, além de pêra e pincéis para o espalhamento das substâncias. Após 24 horas, retiraram-se as substâncias com o auxílio de um pano úmido, reservando as placas por aproximadamente uma hora até a secagem completa ao ar. O ataque foi refeito na forma acima descrita e este ciclo (ataque/ limpeza) repetiu-se durante 50 dias consecutivos.

As soluções (ácidos e bases) foram preparadas utilizando-se água purificada por osmose, com eletrodeionização marca Millipore - modelo ELIX 5, pertencente ao Laboratório de Química Experimental do IFPE (Instituto Federal de Pernambuco). O pH das soluções foi devidamente aferido e acompanhado com pHmetro de marca Digimed, modelo DN2.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geoquímica do Departamento da Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.



Figura 2.2- Placas polidas com dimensões de 10 x 10 x 2 cm e 5 x 5 x 1 cm.



Figura 2.3- Placas do “granito” Marrom Imperial e os insumos utilizados no ensaio de alterabilidade.

2.2.2- DETERMINAÇÃO DO BRILHO DAS PLACAS POLIDAS

A perda de brilho, alterações da cor original são formas de deterioração que afetam a estética da rocha, porém processos de alteração mais extensos geram a redução da resistência mecânica e a durabilidade do revestimento. As substâncias supostamente “agressivas” em contato com a rocha podem gerar significativas alterações no brilho, na textura, na coloração, comprometendo toda a estética.

Inicialmente, foram realizadas medições do brilho nas placas naturais, ou seja, antes do ataque químico com a finalidade de estabelecer um padrão para verificar eventuais perdas do brilho ao longo do ensaio de alterabilidade.

A cada 10 dias foram realizadas 15 medições do brilho ao longo de cada placa polida de 10 x 10 x 2 cm, para cada tipo comercial do GMI com o auxílio do aparelho *Glossmeter*, BYK da marca Gardner. Os ensaios foram realizados no laboratório de Geoquímica do Departamento da Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

Os resultados quantitativos correspondem à média da perda de brilho medido em porcentagem (%) e os resultados qualitativos às observações sob vista desarmada e ao microscópio petrográfico, ambos determinados no Laboratório de Mineralogia Óptica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

2.2.3- ANÁLISE PETROGRÁFICA

A análise fundamenta-se na observação de seções delgadas das rochas com espessura de 30 µm ao microscópio óptico de luz transmitida, segundo as normas de caracterização petrográfica de rochas de revestimento.

As primeiras contribuições a nível nacional para o setor de rochas ornamentais, a respeito da importância dos estudos petrográficos, foram feitas por Frazão & Farjallat (1995), Rodrigues *et al.* (1996) e Navarro (1998), que abordam de modo qualitativo a importância dos estudos petrográficos e do nível de informações detalhadas que são possíveis obter por meio dessa técnica, e com isso aprimorar a compreensão dos resultados tecnológicos, assegurando uma melhor aplicação da rocha.

Esse procedimento envolve o estudo dos constituintes mineralógicos das rochas ao microscópio petrográfico, considerando a mineralogia, a forma, dimensões e relações

mútuas dos constituintes (textura), a alteração, etc. Os estudos mineralógicos e petrográficos são importantes, pois com base neles, pode-se compreender melhor o comportamento textural-mineralógico das rochas em relação a algumas propriedades físico-mecânicas.

Inicialmente foram confeccionadas 4 (quatro) lâminas petrográficas de cada tipo comercial do GMI, para estudos preliminares.

Após o ensaio de ataque químico foram selecionadas as amostras que possivelmente seriam as mais susceptíveis a alteração, inclusive considerando-se critérios provocáveis de alterabilidade vinculados com a composição químico-molecular e superfície específica, principalmente aquelas do GMI tipo Escuro. Posteriormente, as amostras foram destinadas à confecção de lâminas petrográficas.

As lâminas petrográficas foram confeccionadas no setor de Laminação do Departamento da Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

As análises petrográficas foram desenvolvidas no Laboratório de Mineralogia Óptica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

2.2.4- ÍNDICES FÍSICOS

São designados índices físicos as propriedades de massa específica aparente (densidade) seca e saturada que podem ser expressas nas seguintes unidades, g/cm^3 , kg/m^3 ou t/cm^3 , a porosidade aparente (%) e a absorção de água (%). Estes índices definem relações básicas entre a massa e o volume das amostras de um determinado tipo de rocha. Os ensaios foram realizados segundo as normas NBR 12766 (ABNT, 1992b).

A massa específica aparente e a porosidade aparente mostram relação direta com a resistência físico-mecânica das rochas mediante esforços compressivos e de flexão; e o índice de absorção d'água, com a possibilidade de infiltração de líquidos.

Essas propriedades permitem avaliar indiretamente o estado de alteração das rochas, já que a maioria das patologias observadas em rochas de revestimento como manchas e escamações estão associadas à percolação e/ou acumulação de soluções nos ladrilhos de rocha (Frasca, 2001).

Para a realização desse ensaio, foram confeccionados 30 (trinta) corpos- de-provas de cada tipo comercial do “granito” Marrom Imperial, nas dimensões de 5 x 5 x 2 cm e aproximadamente com 120 (cento e vinte) gramas de massa.

Os corpos foram lavados com água deionizada, secos em estufa a 50 ° por 24 horas, e posteriormente, determinados seus pesos secos (“A”) (figura 2.3).

A seguir, os corpos de prova foram imersos em água por 24 horas, a temperatura ambiente. Retiraram-se os corpos-de-prova da água, bem como o excesso de água com um pano absorvente e os mesmos foram pesados, para determinação do peso saturado (“B”) (figura 2.4).

Para a determinação do peso submerso (“C”) realizou-se a pesagem dos corpos-de-prova submersos em água com auxílio de balança hidrostática (figura 2.5). Para a pesagem foi utilizada uma balança de precisão 0,01 g., Marconi, modelo AS500C, com capacidade máxima 500g e precisão de duas casas decimais, pertencente ao Laboratório de Rochas Ornamentais, da Pós-Graduação em Engenharia Mineral da UFPE.

Os valores finais das propriedades físicas de cada tipo comercial correspondem a média de 3 (três) leituras.

Após a obtenção dos pesos seco, saturado e submerso, calcularam- se as propriedades da massa específica seca e saturada das amostras, absorção de água e porosidade, através das seguintes equações:

- Massa Específica Seca

$$P_{\text{sec}} = A / (B-C) \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

- Massa Específica Saturada

$$P_{\text{sat}} = B / (B-C) \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

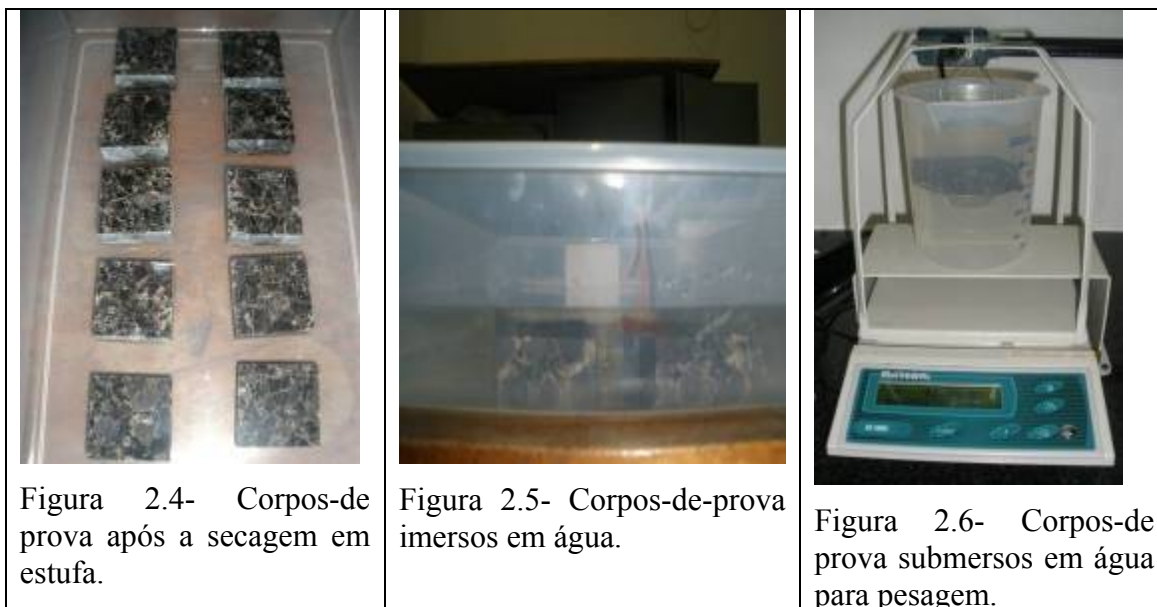
- Porosidade

$$n = (B-A) / (B-C) \times 100 \text{ (\%)}$$

- Absorção de água

$$\alpha = (B-A) / A \times 100 \text{ (\%)}$$

O ensaio dos índices físicos foram realizados no laboratório de Rochas Ornamentais do PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco.



2.2.5- COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES

O ensaio de compressão uniaxial é exigível para todas as utilizações possíveis de uma rocha ornamental (revestimentos verticais, pisos, degraus e tampos).

Este ensaio foi realizado segundo as diretrizes da norma NBR 12767 (ABNT, 1992). Tem como objetivo a determinação da tensão que provoca ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos.

A tensão suportada varia de acordo com a composição mineralógica, a textura, o estado de alteração e a porosidade do material.

Foram confeccionados 03 (três) cubos com dimensões de 7 x 7 x 7 (± 5 cm) de cada tipo comercial do “granito” Marrom Imperial que foram submetidos a ação da compressão, sob uma taxa de 200 kN/min, em prensa da marca WPM, na condição seca.

A determinação da compressão uniaxial foi obtida através da seguinte fórmula:

$$T = (F / A) \quad \text{onde, } T = \text{tensão (carga de ruptura- MPa);}$$

F= força exercida no corpo de prova (kN);

A= área de aplicação da carga (mm²);

Ao final, obtiveram-se as médias da resistência à compressão em MPa ao natural para cada tipo comercial do “granito” Marrom Imperial.

Os resultados foram comparados com os estabelecidos pela ASTM e sugeridos por Frazão & Farjallat (1995).

O ensaio de compressão uniaxial simples foi realizado no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

2.2.6- CONGELAMENTO E DEGELO ASSOCIADO À COMPRESSÃO UNIAXIAL

O GMI, devido à sua textura e coloração, tem grande aceitação no mercado internacional, sendo comercializado para países como Estados Unidos, Canadá, Japão e Países- membros da Comunidade Européia. Desta forma, é mister a caracterização do coeficiente K, relação entre a resistência a compressão antes e depois de ciclos de congelamento, pois a utilização deste material em revestimentos externos em obras nos países acima citados depende do seu desempenho frente às quedas de temperaturas durante o inverno.

Este ensaio foi desenvolvido segundo os procedimentos previstos na norma NBR 12769 (ABNT, 1992).

O ensaio de congelamento e degelo consiste em submeter a amostra em 25 (vinte e cinco) ciclos de congelamento e degelo, verificando-se a eventual queda de resistência por meio da execução de ensaios de compressão uniaxial ao natural e após os ensaios de congelamento e degelo.

O congelamento da água retida nos poros, vazios, e microfissuras das rochas, desencadeiam tensões que produzem o seu enfraquecimento progressivo, resultando numa diminuição de sua resistência, ou até mesmo numa degradação mineralógica.

O coeficiente de enfraquecimento (K) é calculado pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural. Valores de K próximo a 1 (um) são indicativos de que a rocha não sofreu modificações significativas pela ação do congelamento/degelo (Frasca, 2003).

Para verificação do efeito da temperatura nas rochas, corpos- de- prova equivalentes aos submetidos à compressão foram saturados e submetidos ao processo de congelamento e degelo, em freezer, com temperatura de aproximadamente -15° C.

Os corpos-de-prova foram colocados em recipientes com água deionizada e álcool etílico e mantidos no interior do freezer por 24 horas. Posteriormente, os corpos-de-prova foram retirados do freezer e mantidos em temperatura ambiente por 24 horas. Foram realizados 25 ciclos (congelamento/degelo). Após esses ciclos, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio da compressão uniaxial simples, dessa forma, pôde-se avaliar o comportamento da resistência à compressão das rochas antes e após a variação da temperatura.

Calculou-se a tensão da ruptura através da expressão utilizada para o ensaio de compressão uniaxial simples:

$$T = (F / A) \times g \quad \text{onde, } T = \text{tensão (carga de ruptura- MPa);}$$

F= força exercida no corpo de prova (kN);

A= área de aplicação da carga (mm²);

g= aceleração da gravidade (9,80665 m/s²).

O coeficiente de enfraquecimento para as rochas ensaiadas foi calculado com base na seguinte fórmula:

$$K = \sigma_{cd} / \sigma_{nat}, \quad \text{onde:}$$

K = coeficiente de enfraquecimento;

σ_{cd} = valor médio da resistência à compressão das amostras após congelamento e degelo;

σ_{nat} = valor médio da resistência à compressão das amostras no estado natural (seco ou saturado).

Para este ensaio foi calculado o valor médio da resistência à compressão no estado seco para o cálculo de enfraquecimento (K).

O ensaio de congelamento e degelo foi realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do PPGEMinas e no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil, ambos da Universidade Federal de Pernambuco.

2.2.7- DESGASTE POR ABRASÃO AMSLER

Este ensaio foi executado segundo a norma NBR 12042 (ABNT, 1992e), mede a resistência dos materiais frente à solicitação abrasiva (areia quartzosa seca, n° 50) por meio da verificação na redução de espessura (em mm) que placas de rochas apresentam após um percurso abrasivo de 500 metros e/ou 1000 metros, medidas em equipamento apropriado denominado “Máquina *Amsler*”. Este ensaio tem como objetivo determinar os ambientes nos quais as placas possam ser aplicadas.

Foram confeccionados 3 (três) corpos- de- prova com dimensões de 7 x 7 x 2 cm, para cada tipo comercial do GMI.

Os cálculos da redução de espessura (em mm) para cada amostra são efetuados de acordo com as fórmulas a seguir:

$d = a - b$
$e = a - c$

sendo:

a = Altura inicial média das quatro (4) faces (mm);

b = Altura média das quatro (4) faces (mm) após 500 metros;

c = Altura média das quatro (4) faces (mm) após 1000 metros;

d = Desgaste médio após quinhentos (500) metros (mm);

e = Desgaste médio após hum mil (1000) metros ou Desgaste *Amsler* (mm).

O resultado obtido do desgaste é um reflexo da mineralogia, do grau de irregularidade da superfície, do estado de agregação dos minerais e da orientação da rocha e do tamanho dos grãos.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

3.1- PETROGRAFIA

3.1.1- SIENITO MARROM IMPERIAL

Os litotipos estudados são denominados comercialmente como GMI, exibindo textura inequigranular, fanerítica, estrutura maciça e granulação fina a média. A observação em lâminas dos vários tipos do “Marrom Imperial” revela as seguintes informações:

O feldspato alcalino é o principal constituinte mineralógico, representado principalmente por grandes cristais de ortoclásio e subordinadamente por microclínio. Exibe geminações Carlsbad e/ou albita+periclina gerando aspecto axadrezado e com presença de pertitas (exsolução), onde a fase sódica dispõe-se em filetes e/ou chamás, e ocorre também como hóspede no plagioclásio de composição albitica (antipertita). Comumente seus cristais exibem zonamento oscilatório. Ocorre predominantemente na forma de grandes cristais ripiformes, subédricos, com dimensões médias de 15 mm x 12,5 mm, e aspecto turvo devido ao processo de alteração. São frequentemente circundados por grãos menores (auréolas) de feldspato alcalino, plagioclásio, minerais máficos e raramente quartzo. Estas auréolas ocorrem principalmente nos tipos tradicional e rosado. No tipo escuro, as auréolas são incipientes e/ou ausentes.

O plagioclásio é representado pela albita e oligoclásio. Comumente ocorrem como hóspedes no feldspato potássico, formando pertitas em filetes e/ou chamás e também como hospedeiros em feldspato potássico, formando antipertitas. Apresenta-se também como grandes cristais ou como constituinte das auréolas. Exibe geminações polissintéticas do tipo albita e periclina, com dimensões médias de 12,5 mm x 10 mm.

Em suma, há um predomínio de intercrescimentos pertíticos nos três tipos comerciais do GMI, porém os intercrescimentos antipertíticos são substancialmente encontrados.

Fortes correlações entre $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$ (todas com $R > 0,70$) refletem a presença de feldspatos potássicos (Kf), como principal mineral silicático destes fácies “comerciais” (Ribeiro, 2011).

Os intercrescimentos contêm inúmeras inclusões de apatita, biotita, hornblenda, rutilo, turmalina e minerais opacos. Segundo Guimarães & Silva (1992), a coloração cinza-chumbo iridescente dos cristais feldspáticos, observada em amostra de mão é devido à presença das inúmeras inclusões aciculares de minerais opacos.

Os minerais máficos estão representados pela biotita, piroxênio e anfibólio; titanita, apatita e opacos como acessórios e sericita, argilominerais e epidoto, como minerais secundários.

O anfibólio (clinoanfibólio) é representado pela hornblenda, que se apresenta com pleocroísmo verde-oliva a verde-claro, dimensões médias de 0,875 mm x 0,400 mm, ocorrendo como agregados ou em prismas anédricos e subédricos contendo inclusões de minerais opacos, apatita e biotita. Ocorre frequentemente substituindo o piroxênio e substituído pela biotita. Está associado também aos cristais de epidoto, este com dimensão máxima de 0,250 mm x 0,400 mm.

A biotita ocorre comumente subédrica, cor castanha com tonalidade avermelhada, e dimensões médias de 1,6 mm x 1,0 mm. Associa-se aos anfibólios e piroxênios. Costuma ser produto de alteração do anfibólio (hornblenda). Ocorre principalmente como inclusões nos feldspatos.

O piroxênio (clinopiroxênio) é representado pela aegerina-augita. Subédrico, dimensões médias de 1,4 mm x 1,1 mm, tons variando de verde-amarelado a castanho. Exibe intensas microfissuras e avançado processo de alteração para anfibólio, o que indica o processo de uralitização.

A apatita é um dos acessórios mais frequentes, mostrando hábito prismático e acicular, e se apresentando como inclusões nos feldspatos e nos minerais máficos, com dimensão $\leq 0,3$ mm e 0,45 mm x 0,20 mm; enquanto a titanita apresenta-se subédrica, com dimensão média de 0,5 mm, e em proporção. Associa-se aos anfibólios e aos minerais opacos.

Os minerais opacos são primários e ocorrem dispersos em grãos paralelogrâmicos ou cúbicos, e dimensões médias de 0,10 mm. Provavelmente trata-se de cristais de ilmenita e magnetita.

O quartzo raramente ocorre e mostra-se anédrico com extinção ondulante, disposto em zonas concêntricas nos intercrescimentos, com dimensões de até 2 mm x 0,75 mm. Foi observado apenas nos tipos Tradicional e Rosado.

Há microfissuras inter e intragranulares preenchidas com produtos de alteração (sericita, argilominerais e/ou carbonatos).

Os contatos entre os grãos são do tipo plano, quando entre cristais de feldspatos (predominantemente no tipo escuro) e côncavo-convexos, quando entre minerais máficos e félsicos.

As alterações minerais variam de incipiente a moderada associadas aos cristais de anfíbólio, piroxênio e feldspatos, concentradas ora nas bordas ora no centro do grão e ao longo dos planos de clivagens. São representadas pela sericita, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro.

A principal distinção entre os tipos comerciais do GMI é basicamente a proporção mineralógica, estado microfissural e a granulometria (tabela 3.4) (figuras 3.7 a 3.15).

Tabela 3.4- Valores percentuais dos constituintes mineralógicos existente em cada tipo comercial do GMI.

Síntese dos parâmetros petrográficos observados (%)	Tipo Tradicional	Tipo Escuro	Tipo Rosado
Plagioclásio (albita e oligoclásio ácido) + Antipertita	25%	27%	24%
Feldspatos alcalinos (microclínio + ortoclásio) + Pertita	50%	42%	55%
Anfibólio (hornblenda)	12%	16%	8%
Biotita	4%	6%	4%
Piroxênio (aegerina-augita)	3%	3%	2%
Apatita	3%	3%	3%
Minerais Opacos	2%	2%	3%
Titanita + Epidoto/ Quartzo	<1%	<1%	<1%
Sericita/ argilominerais/ carbonato	Incipiente a moderada	Incipiente a moderada	Incipiente a moderada
Estrutura	Maciça	Maciça	Maciça
Textura e Variação média granulométrica	Inequigranular Feldspatos 1:1 Intercresc. 1:6	Inequigranular Feldspatos 1:1 Intercresc. 1:5	Inequigranular Feldspatos 1:2 Intercresc. 1:8
Frequência média de microfissuras em campo da objetiva de 4X	7/ 20mm ²	6/ 20 mm ²	10/20mm ²
Distância média entre as microfissuras mais próximas	Mín: 0,050 mm Máx: 3,0 mm	Mín: 0,075 mm Máx: 4,5 mm	Mín: 0,045mm Máx: 2,5 mm
Microfissuras intergranulares	45 %	60 %	35 %
Microfissuras intragranulares	55%	40 %	65 %

3.1.1.2- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL TIPO TRADICIONAL

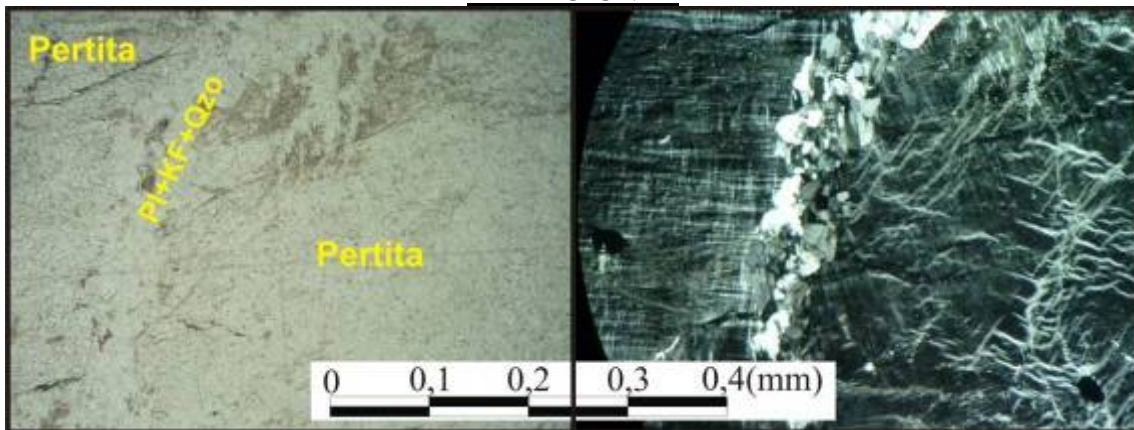


Figura 3.7- Presença de auréolas (plagioclásio+K-feldspato+quartzo) circundando os grandes cristais de microclínio, com intercrescimento pertítico. (nicóis // e nicóis x) (4x).

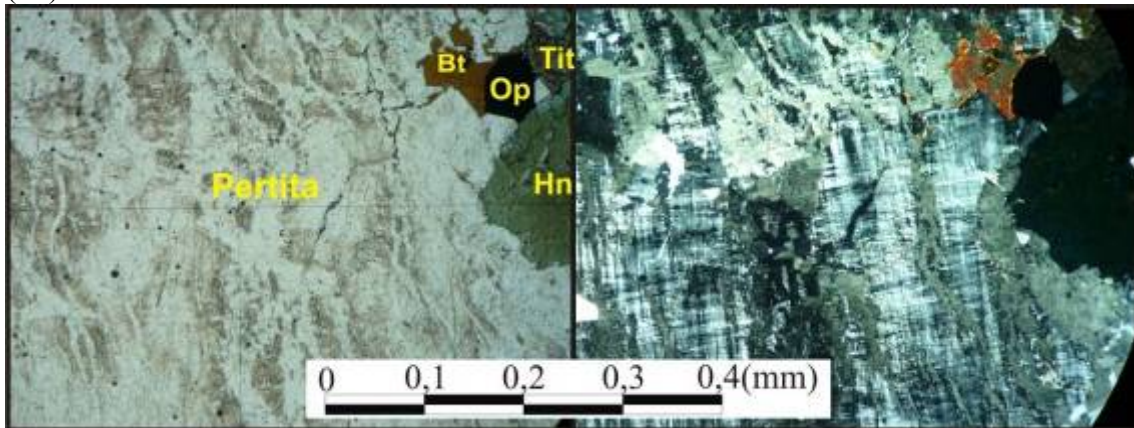


Figura 3.8- Grande cristal de microclínio com intercrescimento pertítico em estágio de alteração para carbonatos, e associado à hornblenda (Hn), biotita (Bt), opacos (Op) e titanita (Tit) (nicóis // e nicóis x) (4x).

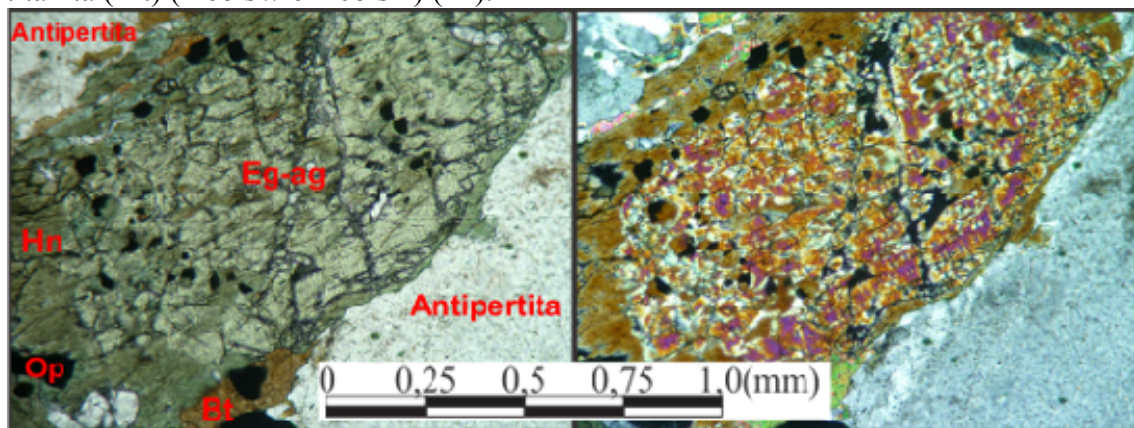


Figura 3.9- Cristal de piroxênio (Eg-ag) alterando-se para hornblenda (Hn) da borda para o centro, com inclusões de opacos (Op), e apatita (Ap). Nas bordas ocorre também biotita. (nicóis // e nicóis x) (10x).

3.1.1.3- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL TIPO ESCURO

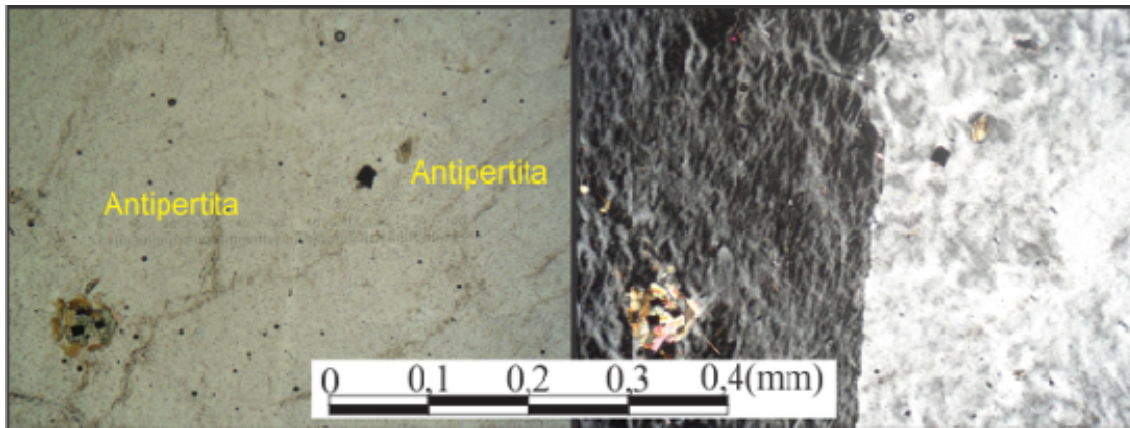


Figura 3.10- Grandes cristais de albita com intercrescimento antipertítico. Nota-se a ausência de auréolas feldspáticas e contato reto entre os grãos. (nicóis // e nicóis x) (4x).

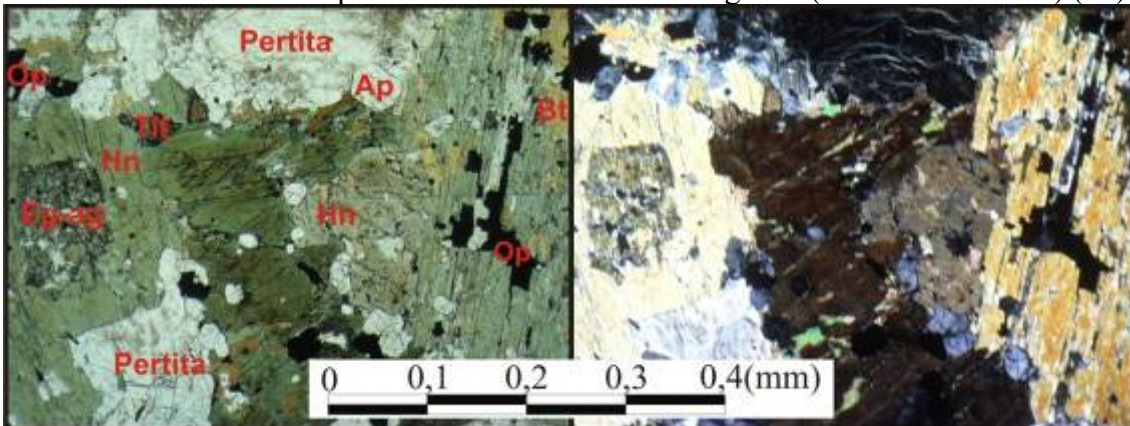


Figura 3.11- Cristais de piroxênio (Eg-ag) inclusos em anfibólio (Hn), e este comumente transformando-se em biotita. Associa aos minerais opacos e ao microclínio, com intercrescimento pertítico. (nicóis // e nicóis x) (4x).

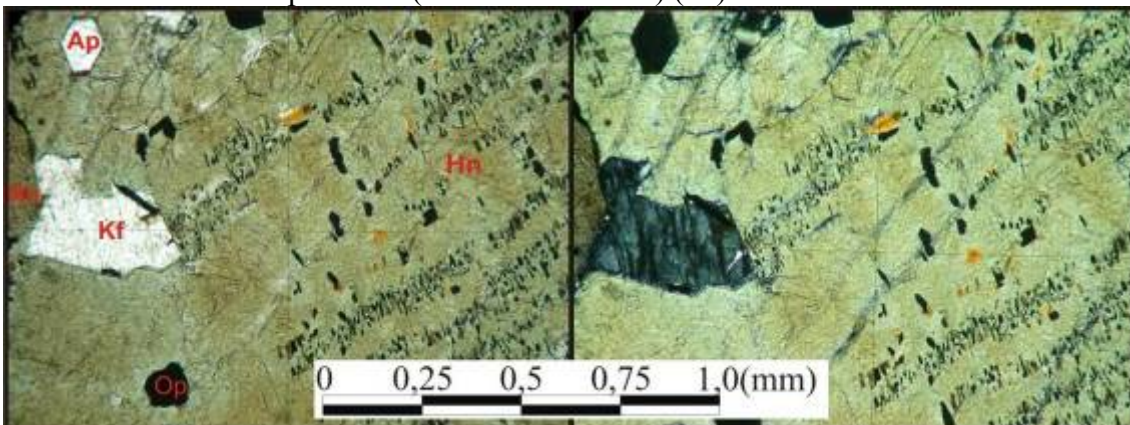


Figura 3.12- Cristal de hornblenda (Hn) com inúmeras inclusões de minerais opacos (Op) provavelmente, apatita (Ap) e ortoclásio (Kf) com intercrescimento pertítico. (nicóis // e nicóis +) (10x).

3.1.1.4- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL TIPO ROSADO

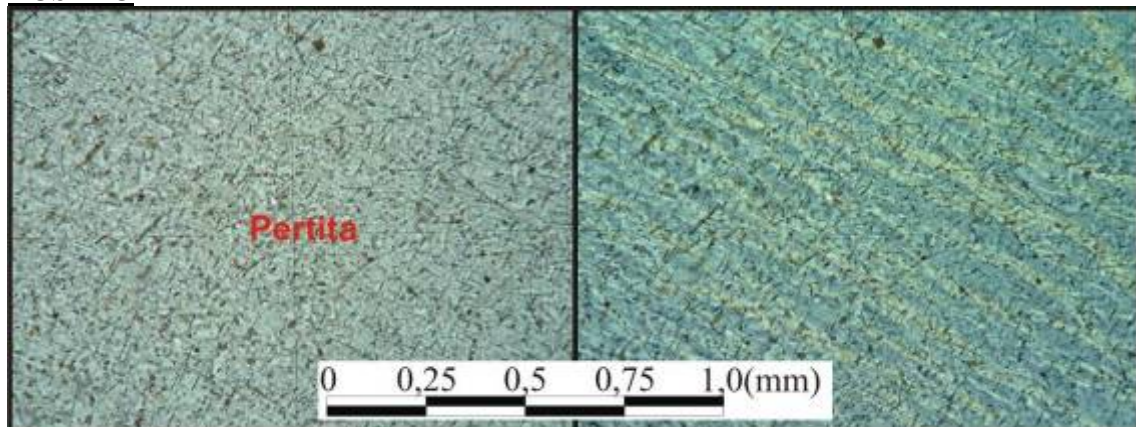


Figura 3.13- Cristal de ortoclásio com intercrescimento pertítico e inúmeras inclusões de apatita, biotita, turmalina, e minerais opacos. (nicóis // e nicóis x) (10x).

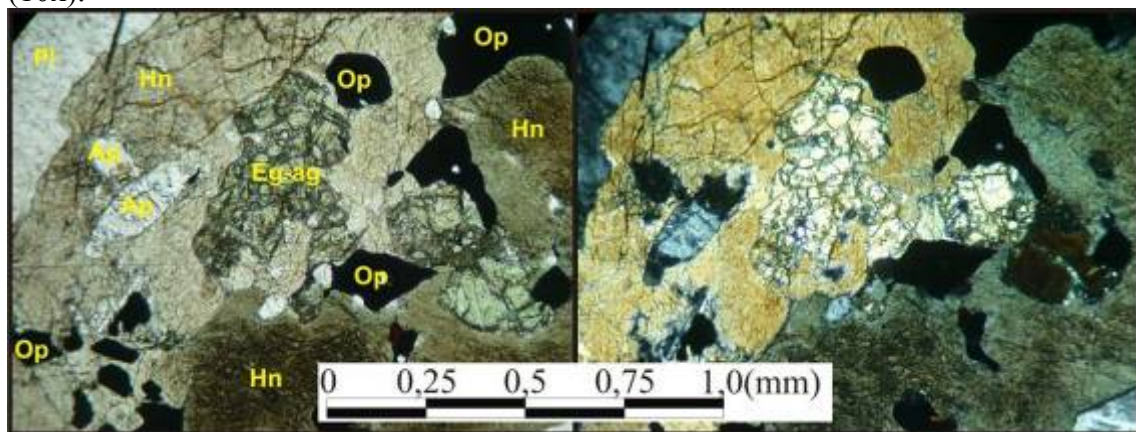


Figura 3.14- Presença de hornblenda (Hn) com relíquias de piroxênio (Eg-ag), concentrados principalmente no centro do cristal. Inclusões de apatita (Ap) e opacos (Op) paralelogrâmicas, sugerindo presença de ilmenita (nicóis // e nicóis x) (10x).

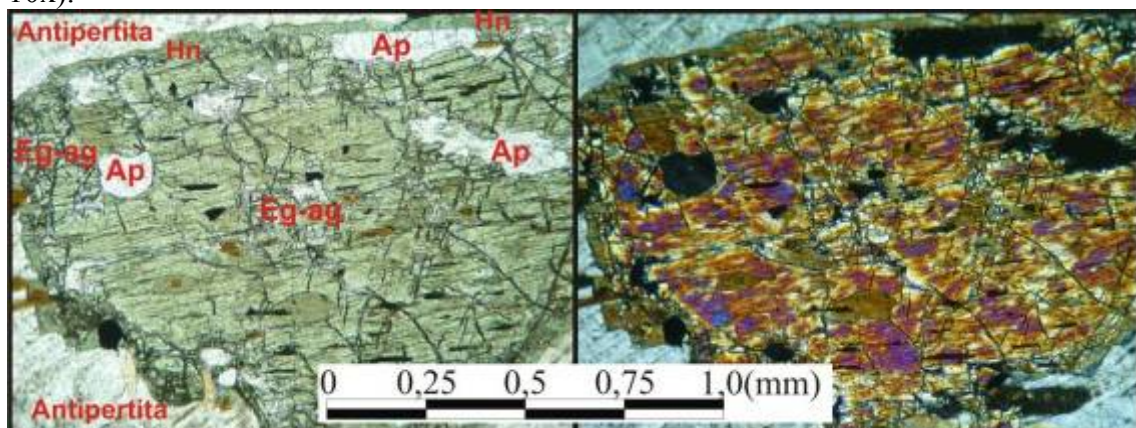


Figura 3.15- Cristal de piroxênio (Eg-ag) alterando-se para hornblenda (Hn). Exibe inclusões de apatita (Ap), opacos (Op) e apresenta-se incluso em um grande cristal de albита com intercrescimento antipertítico (nicóis // e nicóis x) (10x).

3.2- ENSAIO DE ALTERABILIDADE - ATAQUES QUÍMICOS ASSOCIADOS AO BRILHO

Os resultados obtidos apontam para a provável existência de dois tipos predominantes de ação, desencadeados pela aplicação de insumos/reagentes sobre a superfície polida da rocha. O primeiro corresponde a uma ação química e o segundo a uma ação física. Ambos podem ocorrer simultaneamente. Os diferentes tipos comerciais do “granito” estudados apresentaram comportamentos similares frente aos insumos/ reagentes utilizados, fato este que se apresenta em consonância com suas propriedades químicas, mineralógicas e texturais.

É necessário, no entanto observar que a determinação de brilho como propriedade indicadora de decaimento das rochas apresenta algumas limitações, uma vez que o polimento das placas não é perfeitamente homogêneo. Para tentar minimizar a ação deste fator, os corpos-de-prova selecionados foram produzidos a partir de um mesmo lote.

Em ambos os tipos comerciais, as alterações superficiais se tornaram notórias após o 30º dia de ataque, principalmente no tocante aos ácidos fortes ao longo do tempo (figuras 3.16 a 3.30; 3.31 a 3.45; 3.46 a 3.60) e seus impactos no brilho das placas (tabelas 3.5, 3.6, 3.7 e, 3.8)

Tabela 3.5- Valores médios percentuais do brilho do GMI tipo Tradicional, com a utilização de vários insumos/ reagentes, em relação ao tempo de ataque.

Insumos/ Reagentes	Brilho ao Natural	Brilho aos 10 dias	Brilho aos 20 dias	Brilho aos 30 dias	Brilho aos 40 dias	Brilho aos 50 dias	Brilho após ataque
Ácido Nítrico	80,06	78,52	76,94	74,14	70,5	65,45	- 14,61
Cloreto de Amônio	74,22	72,24	69,77	66,98	63,97	60,7	- 13,52
Azeite de Oliva	76,6	74,95	73,25	71,6	69,95	67,92	- 8,68
Ácido Clorídrico	73	71,4	69,85	68,12	66,39	64,62	- 8,38
Ácido Sulfúrico	77,4	76,54	75,2	73,4	71,4	69,1	- 8,3
Hipoclorito de Sódio	77,5	76,3	74,92	73,2	71,5	69,74	- 7,76
Aguarrás Mineral	78,34	77,91	77,2	75,7	73,5	70,9	- 7,44
Água Sanitária	82,76	81,98	80,5	78,84	77,2	75,4	- 7,36
Soda Cáustica	79,28	78,08	76,87	75, 67	74	72,1	- 7,18
Ácido Cítrico	80,93	80,7	80,48	79,97	78,12	75,3	- 5,63
Vinagre	83,86	83,57	82,68	81,78	80,8	79,4	- 4,46
Limpeza Pesada	81,6	81,56	80,98	80,2	79,4	78,2	- 3,4
Sabão em pó	83	82,75	82,4	81,94	81,08	80,2	- 2,8
Desinfetante	78,7	78,44	78,15	77,68	76,92	75,94	- 2,76
Multiuso com Álcool	75,1	74,8	74,45	74,1	73,72	73,34	- 1,76

ATAQUE COM ÁCIDO NÍTRICO



ATAQUE COM CLORETO DE AMÔNIO



ATAQUE COM AZEITE DE OLIVA



ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO



ATAQUE COM ÁCIDO SULFÚRICO



ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO



ATAQUE COM AGUARRÁS MINERAL

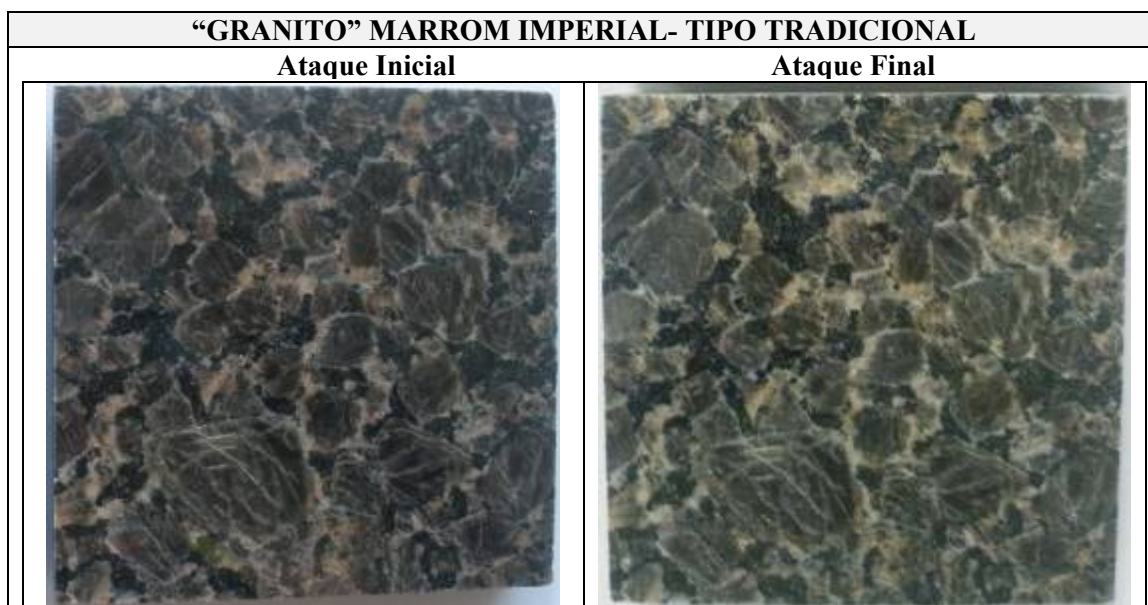


Figura 3.22-. Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação da aguarrás mineral.

ATAQUE COM ÁGUA SANITÁRIA-HIPOCLORITO DE SÓDIO

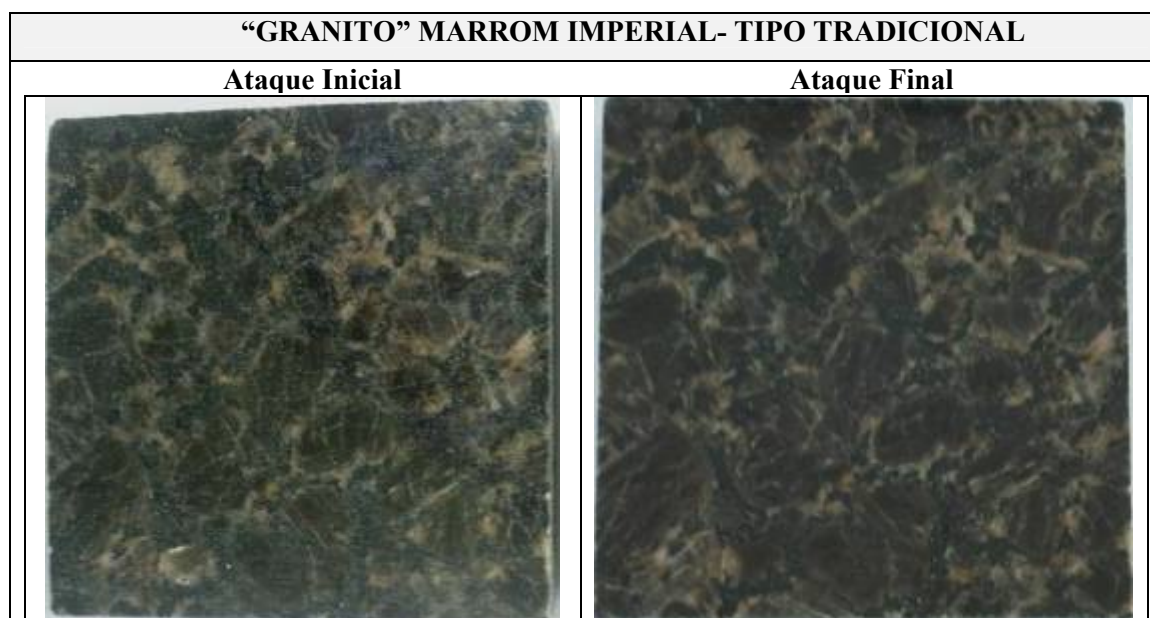


Figura 3.23- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação da água sanitária.

ATAQUE COM SODA CÁUSTICA- HIDRÓXIDO DE SÓDIO



ATAQUE COM ÁCIDO CÍTRICO



ATAQUE COM VINAGRE- ÁCIDO ACÉTICO



ATAQUE COM LIMPEZA PESADA- AMINA ETOXILADA QUATERNIZADA



ATAQUE COM SABÃO EM PÓ- ALQUIL BENZENO SULFONATO DE SÓDIO

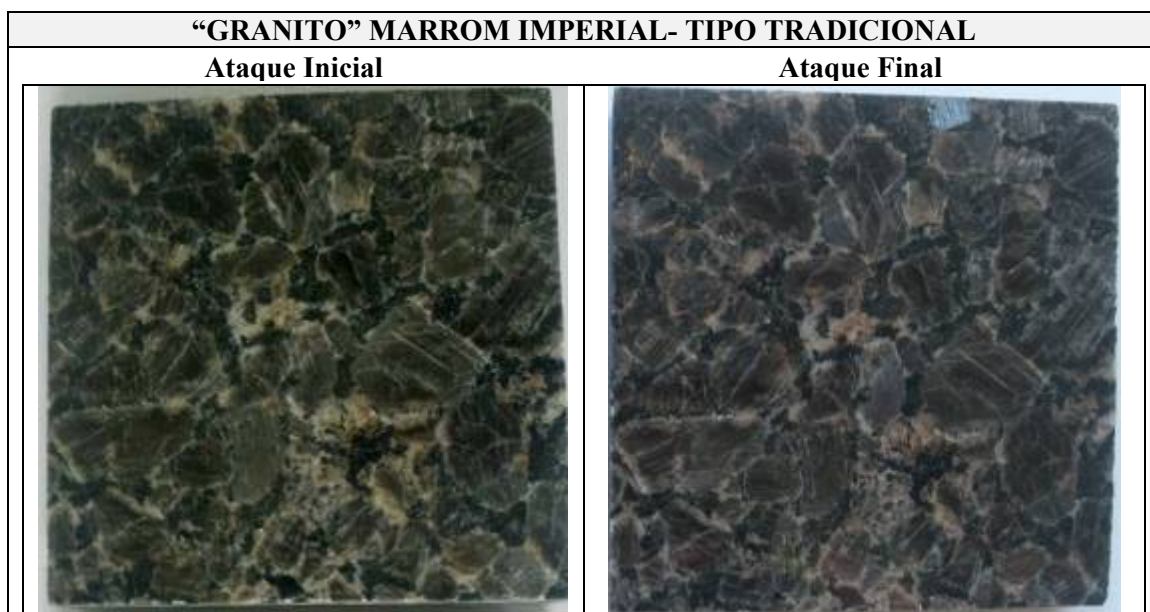


Figura 3.28- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do sabão em pó.

ATAQUE COM DESINFETANTE- O-BENZIL P-CLOROFENOL

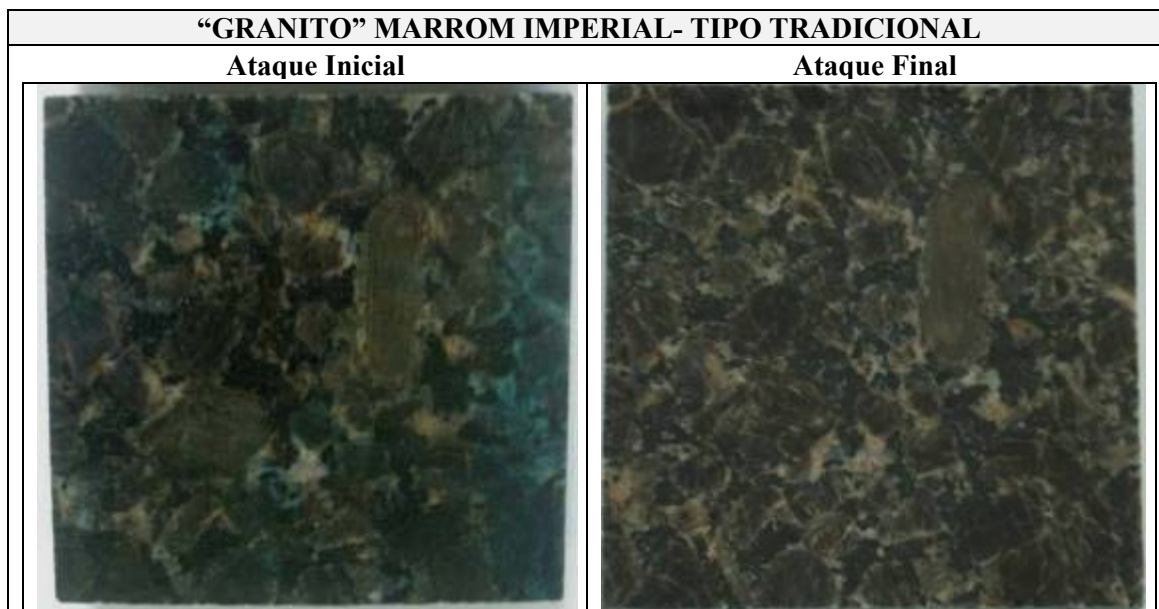


Figura 3.29- Placas do “granito” Marrom Imperial- Tradicional, aspecto inicial e final da aplicação do desinfetante.

ATAQUE COM MULTIUSO COM ÁLCOOL- ALQUIL BENZENO
SULFONATO DE SÓDIO



Tabela 3.6- Valores médios percentuais do brilho do GMI tipo Escuro, com a utilização de vários insumos/ reagentes, em relação ao tempo de ataque.

Produtos/ Reagentes	Brilho ao Natural	Brilho aos 10 dias	Brilho aos 20 dias	Brilho aos 30 dias	Brilho aos 40 dias	Brilho aos 50 dias	Brilho após ataque
Ácido Nítrico	76,07	75,15	73,76	71,66	68,86	65,21	- 10,86
Ácido Clorídrico	81,43	80,5	78,99	76,89	74,19	70,79	- 10,64
Ácido Sulfúrico	77,39	76,43	75,03	72,93	70,23	66,93	- 10,46
Cloreto de Amônio	75,77	75,07	73,87	71,88	69,58	67,08	- 8,69
Azeite de Oliva	70,28	69,3	67,74	65,94	64	61,7	- 8,58
Soda Cáustica	73,01	72,22	70,95	69,45	67,69	65,49	- 7,52
Vinagre	76,71	76,3	75,4	73,9	72,4	69,8	- 6,91
Hipoclorito de Sódio	76,62	76	75,17	74,05	72,61	70,85	- 5,77
Água Sanitária	67,99	67,41	66,68	65,71	64,55	63,21	- 4,78
Aguarrás Mineral	75,72	75,34	74,79	73,88	72,5	71,12	- 4,6
Sabão em pó	76,13	75,62	74,89	74,79	73,26	71,52	- 4,61
Ácido Cítrico	70,58	70,5	69,91	69,22	68,41	67,31	- 3,27
Desinfetante	74,21	73,98	73,56	73	72,42	71,68	- 2,53
Limpeza Pesada	72,77	72,42	72,05	71,63	71,1	70,4	- 2,37
Multiuso com álcool	77,7	77,48	77,11	76,68	76,17	75,61	- 2,16

ATAQUE COM ÁCIDO NÍTRICO

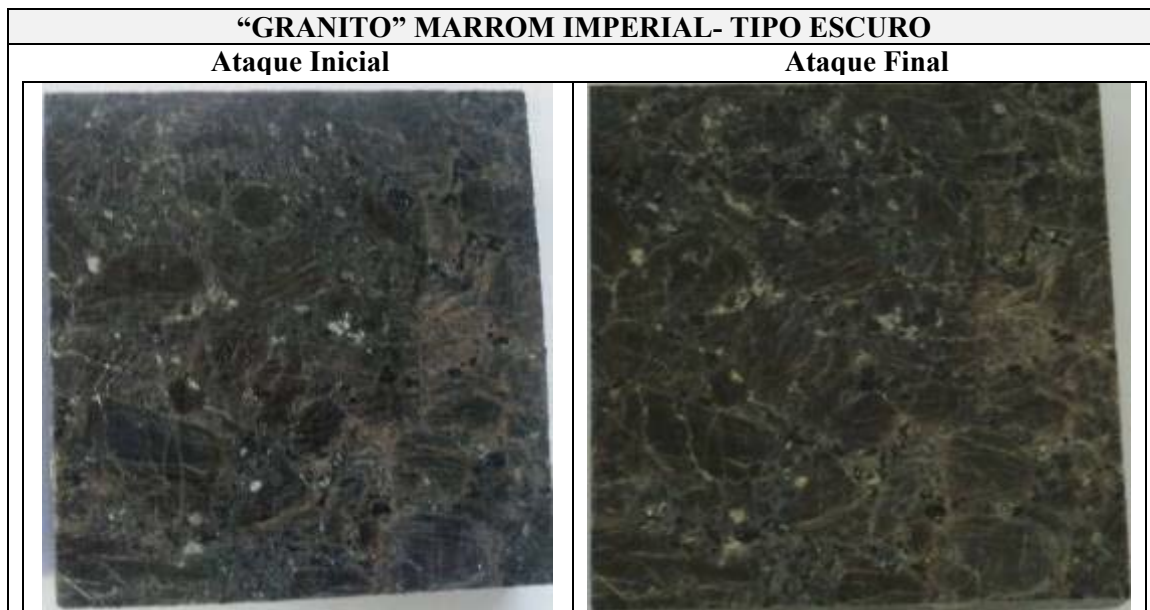


Figura 3.31- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do ácido nítrico.

ATAQUE COM ÁCIDO SULFÚRICO

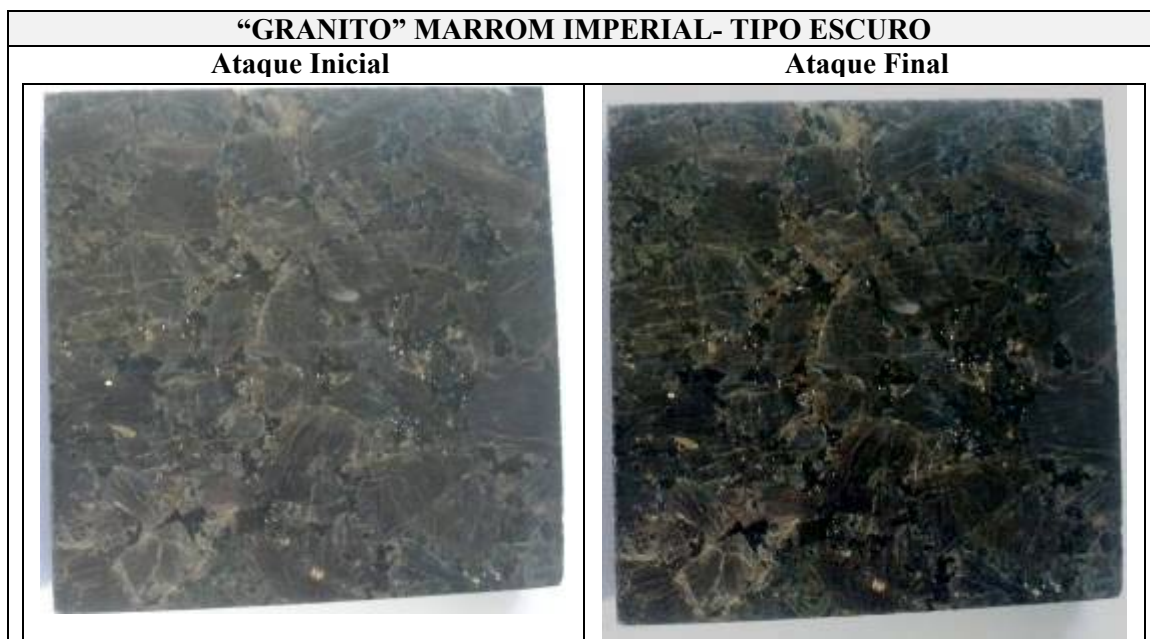


Figura 3.32- Placas do “granito” Marrom Imperial- Escuro, aspecto inicial e final da aplicação do ácido sulfúrico.

ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO



ATAQUE COM CLORETO DE AMÔNIO



ATAQUE COM AZEITE DE OLIVA



ATAQUE COM SODA CÁUSTICA- HIDRÓXIDO DE SÓDIO



ATAQUE COM VINAGRE- ÁCIDO ACÉTICO



ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO



ATAQUE COM ÁGUA SANITÁRIA- HIPOCLORITO DE SÓDIO



ATAQUE COM AGUARRÁS MINERAL



ATAQUE COM SABÃO EM PÓ- ALQUIL BENZENO SULFONATO DE SÓDIO



ATAQUE COM ÁCIDO CÍTRICO



ATAQUE COM DESINFETANTE- O-BENZIL P-CLOROFENOL



ATAQUE COM LIMPEZA PESADA- AMINA ETOXILADA QUATERNIZADA



ATAQUE COM MULTIUSO COM ÁLCOOL- ALQUIL BENZENO
SULFONATO DE SÓDIO



Tabela 3.7- Valores médios percentuais do brilho do “granito” Marrom Imperial, tipo Rosado, com a utilização de vários insumos/ reagentes, em relação ao tempo de ataque.

Produtos/ Reagentes	Brilho ao natural	Brilho aos 10 dias	Brilho aos 20 dias	Brilho aos 30 dias	Brilho aos 40 dias	Brilho aos 50 dias	Brilho após ensaio
Cloreto de Amônio	61,62	60,32	58,48	56,28	53,61	50,61	- 11,01
Azeite de Oliva	56,66	55,56	53,98	52,28	50,35	48,05	- 8,61
Ácido Clorídrico	44,36	43,76	42,66	41,09	39,39	37,06	- 7,3
Ácido Nítrico	60,57	59,9	59,1	57,76	56,16	54	- 6,57
Ácido Sulfúrico	65,55	64,81	63,71	62,41	60,73	59	- 6,55
Hipoclorito de Sódio	52,71	51,88	50,97	49,77	48,09	46,19	- 6,52
Água Sanitária	67,52	66,68	65,68	64,28	62,75	61,15	- 6,37
Vinagre	57,9	57,26	56,44	55,55	54,45	52,95	- 5,04
Aguarrás Mineral	45,65	45,15	44,43	43,52	42,29	40,65	- 5
Soda Cáustica	66,08	65,76	65,29	64,5	63,4	61,8	- 4,28
Limpeza Pesada	39,25	39,12	38,6	37,89	37,1	36	- 3,25
Sabão em pó	69,5	69,28	68,7	67,97	67,22	66,3	- 3,2
Ácido Cítrico	65,67	65,41	65,01	64,55	63,85	62,72	- 2,95
Desinfetante	44,01	43,71	43,36	42,85	42,25	41,58	- 2,43
Multiuso com álcool	51,31	51,07	50,78	50,38	49,93	49,36	- 1,95

ATAQUE COM CLORETO DE AMÔNIO

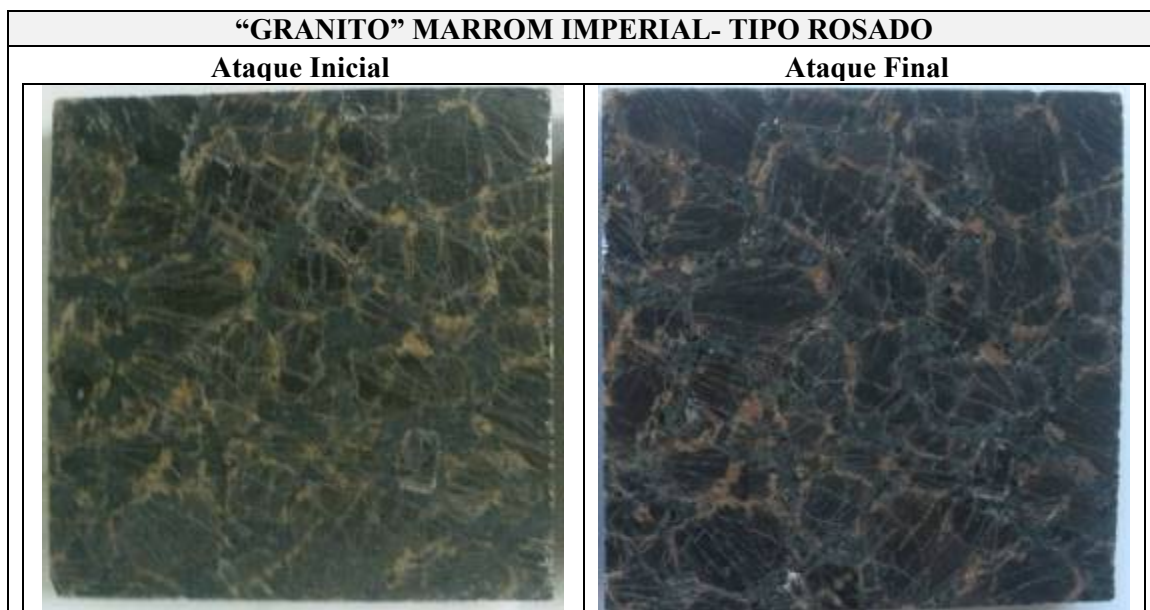


Figura 3.46- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do cloreto de amônio.

ATAQUE COM AZEITE DE OLIVA

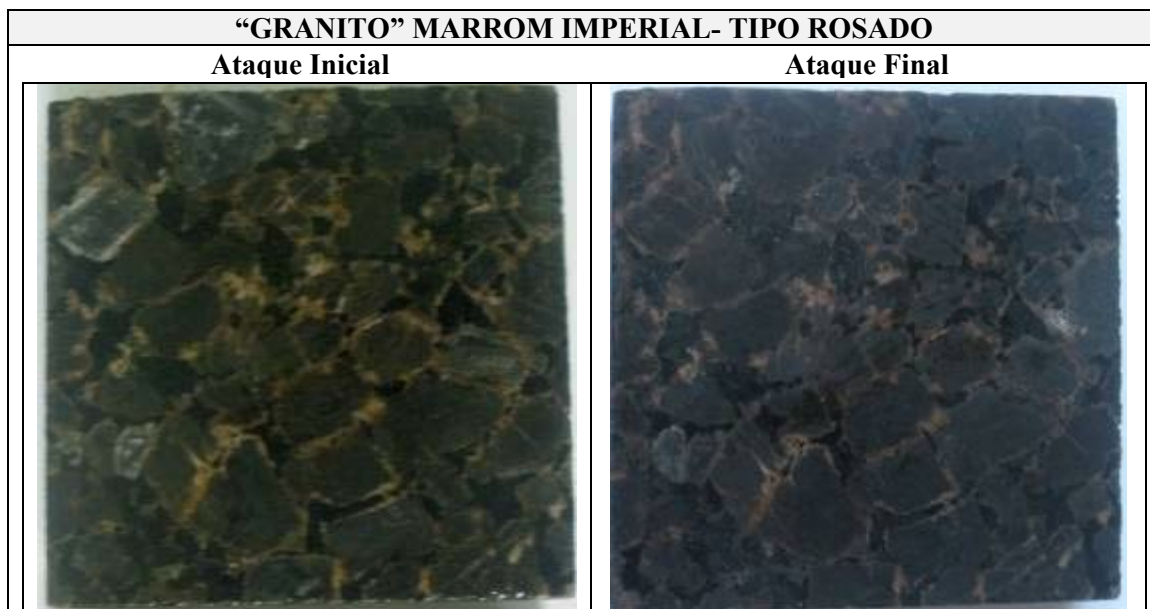


Figura 3.47- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do azeite de oliva.

ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO

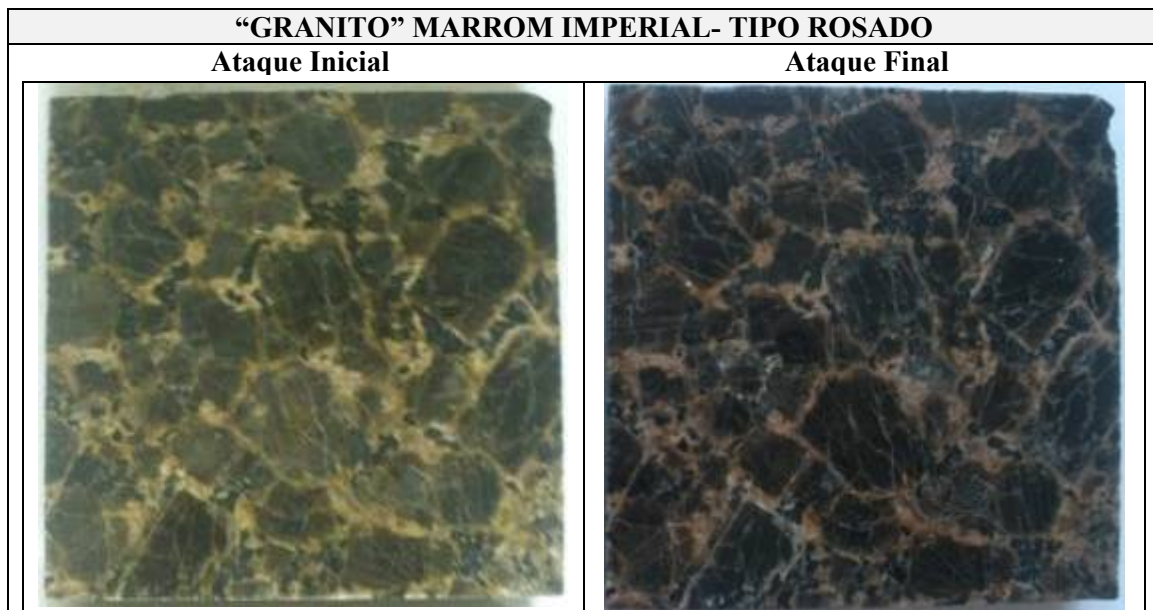


Figura 3.48- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do ácido clorídrico.

ATAQUE COM ÁCIDO NÍTRICO

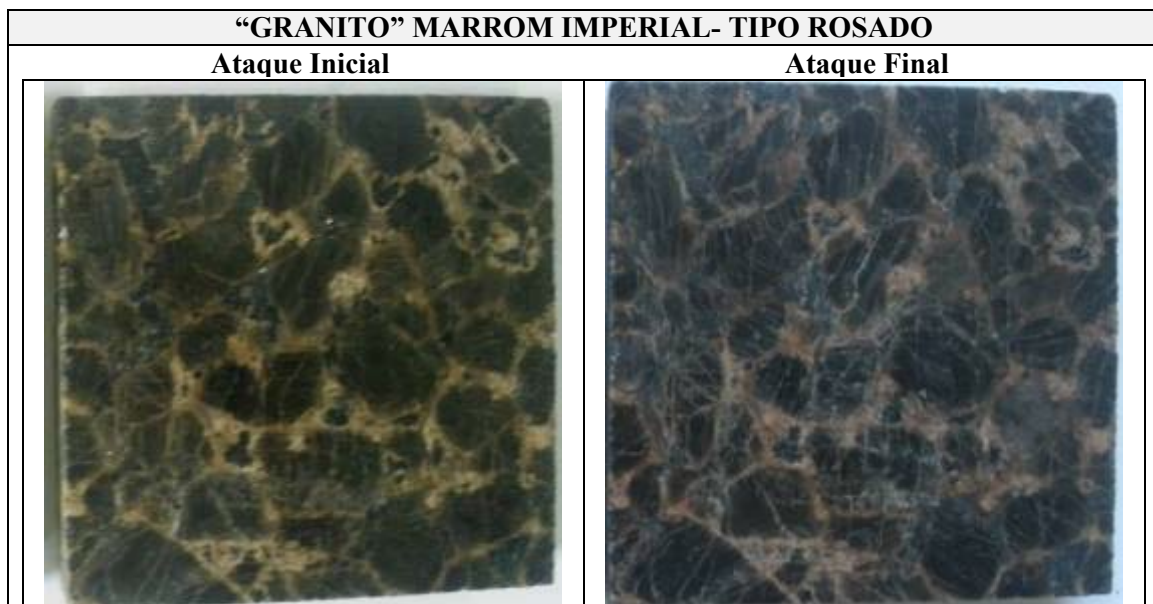


Figura 3.49- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do ácido nítrico.

ATAQUE COM ÁCIDO SULFÚRICO



ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO



ATAQUE COM ÁGUA SANITÁRIA- HIPOCLORITO DE SÓDIO

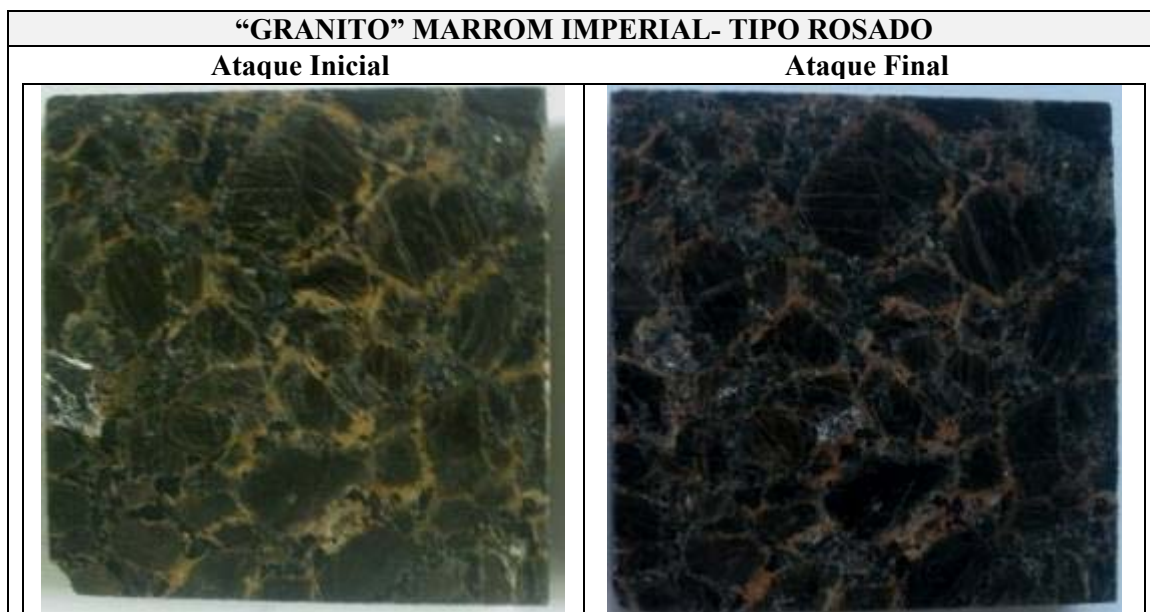


Figura 3.52- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação da água sanitária.

ATAQUE COM VINAGRE- ÁCIDO ACÉTICO



Figura 3.53- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do vinagre.

ATAQUE COM AGUARRÁS MINERAL



ATAQUE COM SODA CÁUSTICA- HIDRÓXIDO DE SÓDIO



ATAQUE COM LIMPEZA PESADA- AMINA ETOXILADA QUATERNIZADA

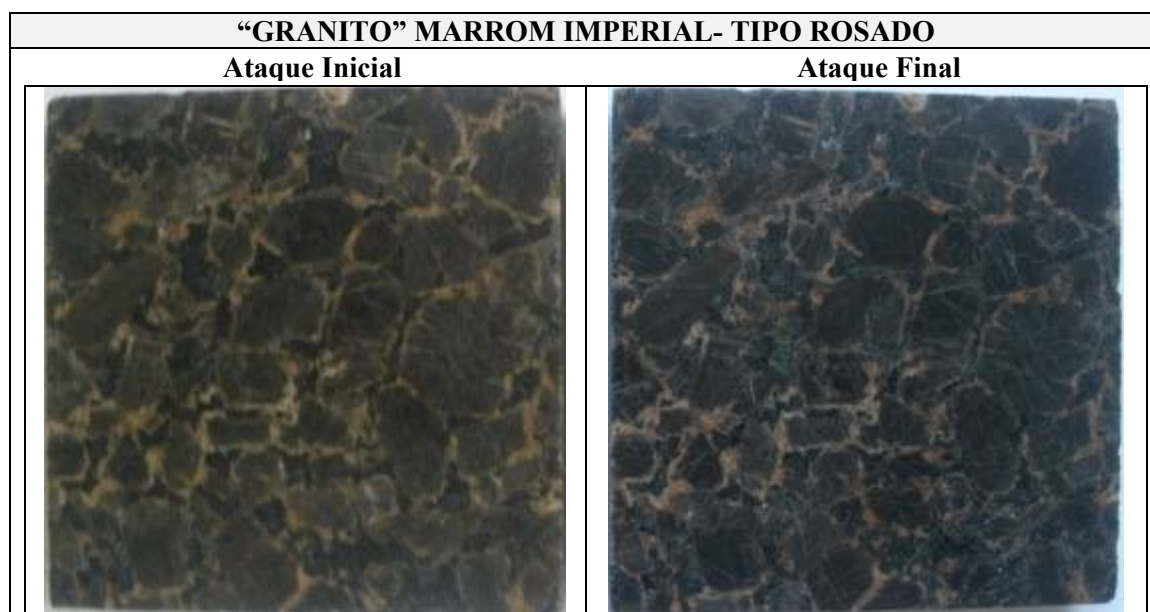


Figura 3.56- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação da limpeza pesada.

ATAQUE COM SABÃO EM PÓ- ALQUIL BENZENO SULFONATO DE SÓDIO

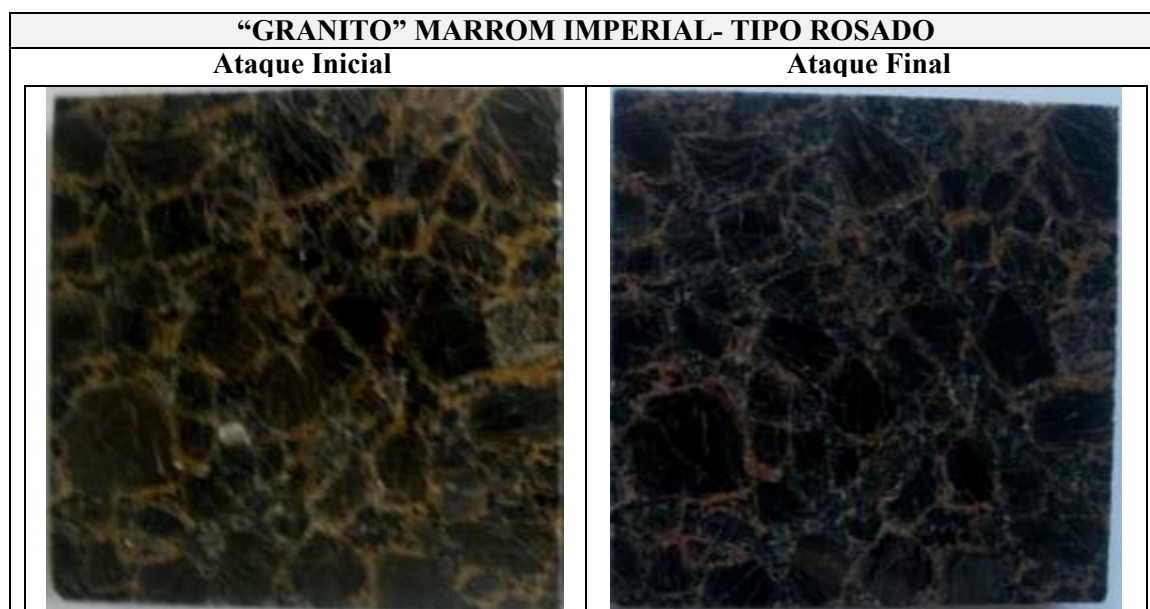


Figura 3.57- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do sabão em pó.

ATAQUE COM ÁCIDO CÍTRICO



Figura 3.58- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do ácido cítrico.

ATAQUE COM DESINFETANTE- O-BENZIL P-CLOROFENOL

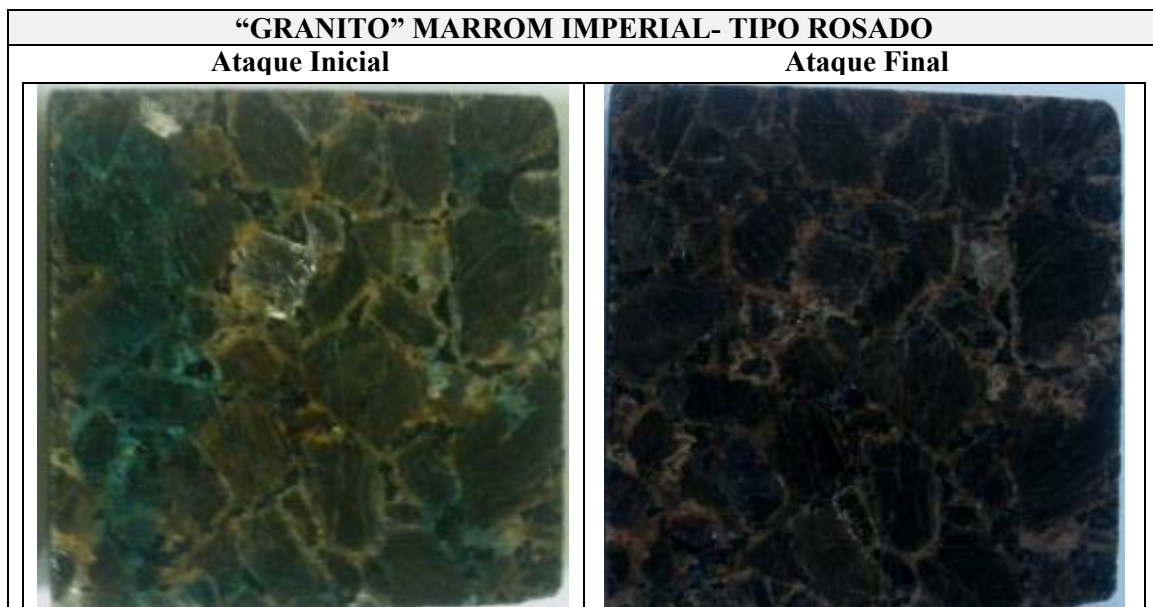
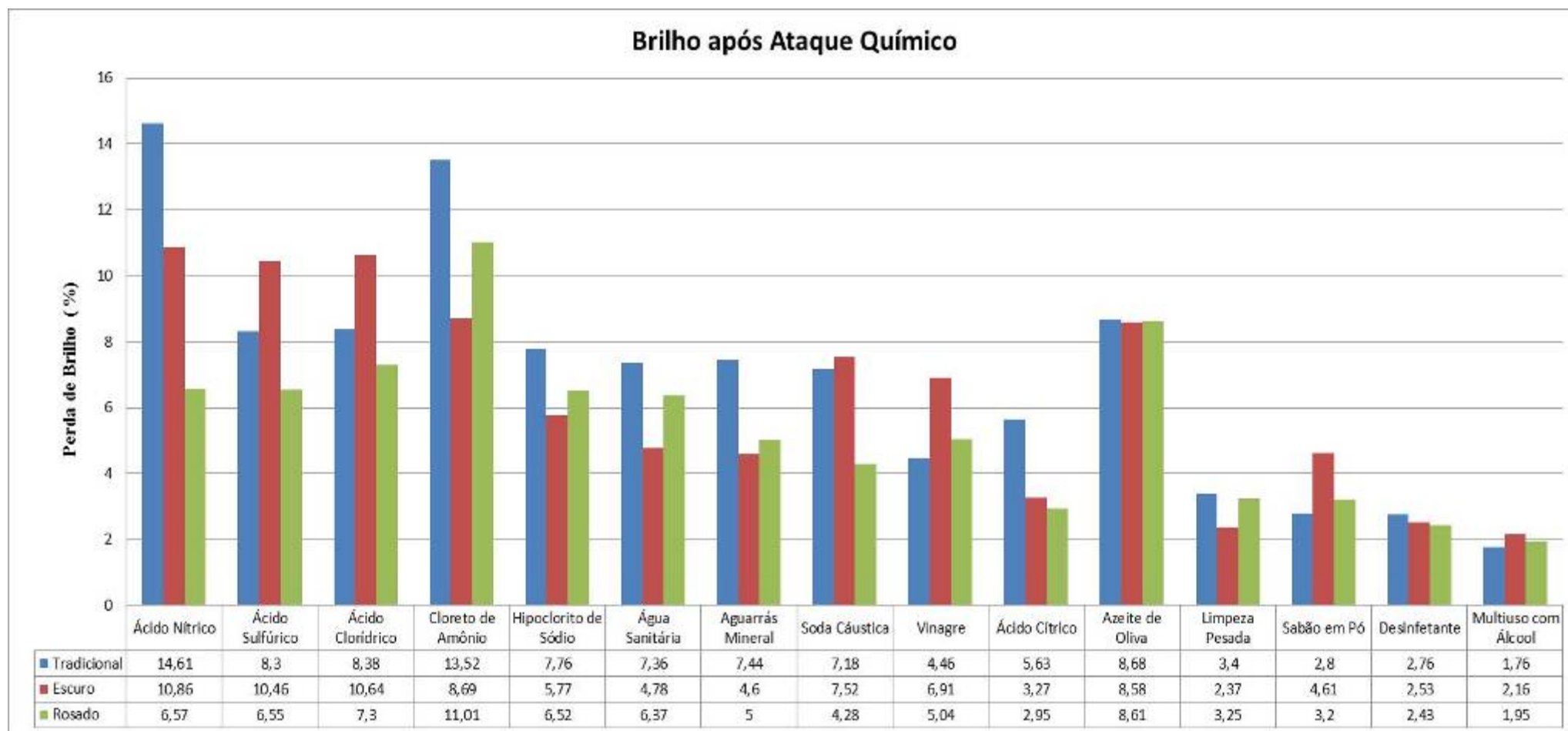


Figura 3.59- Placas do “granito” Marrom Imperial- Rosado, aspecto inicial e final da aplicação do desinfetante.

ATAQUE COM MULTIUSO COM ÁLCOOL- ALQUIL BENZENO
SULFONATO DE SÓDIO



Tabela 3.8- Representação gráfica dos comportamentos dos tipos comerciais do GMI após os 50 dias de ataque químico.



No “granito” tipo tradicional, a maior perda de brilho foi de 14,61%, resultante da aplicação de ácido nítrico. A sua ação química ocasionou a formação de microcavidades, devidas à lixiviação dos constituintes minerais, principalmente nos grandes cristais, notadamente em pertitas e antipertitas, pois neste caso o plagioclásio albitico seria mais susceptível à alteração, graças à mobilidade diferencial do componente molecular Na_2O e nos minerais máficos. Nota-se que a alteração concentrou-se na parte inferior (figura 3.16), deixando a superfície áspera e rugosa. Este fato se deve provavelmente que neste local os minerais constituintes já estariam em um processo mais avançado de alteração tipo saussurita.

No tipo Escuro, o ácido nítrico também atuou como o maior redutor do brilho em 10,86 %. Ocasinou desbotamento, microcavidades, eflorescências, leve acentuada nas microfissuras, contidas nos cristais maiores de feldspato potássico e a dissolução/oxidação dos minerais ferromagnesianos (figura 3.31).

No tipo Rosado, o ácido nítrico não foi um dos maiores agressores, porém provocou uma perda do brilho de 6,57 %, gerou intenso desbotamento, leve acentuada nas microfissuras e dissolução dos minerais máficos (figura 3.49).

O cloreto de amônio reduziu em 13,52 % o brilho original do tipo Tradicional e se apresenta como o reagente que provocou a segunda maior perda de brilho, resultando em amarelamento da superfície da rocha. No entanto, estas alterações não se devem somente à agressão química. Neste caso, deve-se também a um mecanismo físico do processo de ataque – evaporação, mais cristalização em microfissuras. Para melhor compreensão o ataque se dá na forma de solução aquosa, com formação sucessiva de ácido clorídrico. Este, em etapa subsequente, ataca as porções saussuritizadas do plagioclásio formando e liberando o gás carbônico. Assim acelera-se a evaporação e consequente cristalização dos sais (cloretos) e hidróxido (figura 3.17).

No tipo Escuro, o cloreto de amônio reduziu o brilho original em 8,69 %. Além disto, propiciou um discreto desbotamento da superfície da placa (figura 3.34). No tipo Rosado, este reagente foi o maior agressor do brilho, reduzindo-o em 11,01 %, com presenças mais notáveis de K-feldspato, o amarelamento inicial cedeu lugar ao amarronzado escuro a alaranjado, graças à coloração rosada do mineral (figura 3.46).

O azeite de oliva contribuiu na redução do brilho em 8,68 % e corresponde ao terceiro maior agressor no tipo Tradicional. Trata-se de um insumo orgânico rico em

ácidos graxos, que atuam penetrando nas microfissuras da rocha. Exposto ao ar oxida-se formando uma película aderente e viscosa de difícil remoção. Neste caso, atua o mecanismo físico de ação do produto (figura 3.18).

No tipo escuro atuou reduzindo o brilho em 8,58 % contribuindo para o escurecimento da superfície e também formou uma película aderente e de difícil remoção (figura 3.35). No tipo rosado foi o segundo mais agressivo em relação ao brilho, reduzindo o brilho inicial em 8,61 %. Como nos demais tipos comerciais, o azeite de oliva também ocasionou o escurecimento, formação de película e contribuiu na opacidade da superfície da placa (figura 3.47).

No tipo Tradicional, o ácido cítrico reduziu a intensidade inicial do brilho em 5,63 %. Tratando-se de ácido fraco, sua solução aplicada sobre a superfície polida, penetra nas microfissuras, com pouca ação reativa. A exposição ao ar acelera a evaporação do solvente e cristalização do soluto, formando assim uma película de sal que exibe índice de refração a luz diferente daquele exibido anterior ao ataque. A perda de brilho e o discreto amarelamento da superfície da placa se devem ao mecanismo físico e químico de ação do reagente (figura 3.25). No tipo Escuro reduziu a princípio apenas o brilho inicial em 3,27%. No tipo Rosado reduziu o brilho em 2,95 % e contribuiu no escurecimento da superfície (figuras 3.42 e 3.58, respectivamente).

O ácido clorídrico aplicado na placa do tipo Tradicional produziu uma perda de 8,38 % no brilho e ocasionou um discreto amarelamento. Estas alterações se devem à ação química do reagente sobre os minerais constituintes da rocha, especialmente os minerais ferromagnesianos (figura 3.19). No tipo Escuro, este ácido foi o segundo maior agressor do brilho, reduzindo-o em 10,64 %. No tipo Rosado reduziu o brilho inicial em 7,3 %, em ambos os tipos atuou também no escurecimento da superfície da placa polida (figuras 3.33 e 3.48, respectivamente).

O ácido sulfúrico reduziu o brilho inicial em 8,3% e desbotou a superfície no tipo Tradicional. Sua ação química restringiu-se aos minerais mais susceptíveis à formação de sulfatos notadamente os ferromagnesianos, mais pobres em sílica e alumina (figura 3.20).

Nos tipos Escuro e Rosado, o ácido sulfúrico contribuiu na redução do brilho em 10,46 % e 6,55 %, respectivamente, com consequentes desbotamentos, principalmente nas porções aonde os minerais ferromagnesianos se concentram. Além disso, no tipo Escuro gerou microcavidades e no tipo Rosado acentuou as microfissuras existentes nos intercrescimentos pertíticos (figuras 3.32 e 3.50, respectivamente). Os desbotamentos

observados nas superfícies das placas polidas sugerem que ocorreu uma lixiviação parcial dos constituintes minerais da rocha quando soluções ácidas são absorvidas e penetram nas microfissuras.

O Hipoclorito de Sódio trata-se de um sal hidrolisável, com pH alcalino da ordem de 9,0, sendo forte sequestrador de oxigênio. Em contato com a umidade do ar, é susceptível à formação de ácidos. Embora fracos esses ácidos vão reagir intensivamente, ao longo das microfissuras, resultando na formação de cloratos e percloratos dos elementos catiônicos contidos na rocha. No tipo Tradicional, sua ação química ocasionou perda de brilho em 7,76 % e escurecimento da superfície da placa polida, provavelmente atuou oxidando os minerais, principalmente os ferromagnesianos. (figura 3.21). No tipo Escuro ocasionou perda de 5,77 % no brilho e um discreto desbotamento da superfície da placa (figura 3.38).

No Rosado reduziu o brilho em 6,52 %, desbotou a superfície, nas porções dos minerais máficos, e propiciou também um realce nas microfissuras nos cristais de feldspatos com intercrescimentos (figura 3.51).

A Aguarrás Mineral reduziu o brilho inicial da placa do tipo Tradicional em 7,44 %. Utilizado como solvente para limpeza de pinturas, ou eventualmente manuseado em laboratórios também foi testado para atender à expectativa de uso correlato ou proximal de material ornamental, principalmente em laboratórios. Trata-se de um líquido claro, transparente e inflamável, obtido pela destilação fracionada do petróleo. Tem odor característico, enquadrando-se como função da química orgânica do grupo dos hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos. Possui alta taxa de evaporação e, não obstante, além de atuar na redução do brilho, contribuiu também para o amarelamento/desbotamento da superfície da placa polida. Sua ação química associa ataque contra substâncias com superfície específica elevada (granulometria mais fina), removendo gorduras e corantes, formação de monóxidos de carbono, liberação de gases e precipitação acelerada de resíduos insolúveis, sobretudo ao longo de microfissuras (figura 3.22).

No tipo Escuro a aguarrás reduziu o brilho em 4,6 % e colaborou para o desbotamento da superfície da placa (figura 3.40). No tipo Rosado a redução do brilho foi de 5%, também atuou desbotando a superfície e acentuando as microfissuras existentes nos cristais com intercrescimentos (figura 3.54).

A água sanitária cujo princípio ativo é o hipoclorito de sódio, reduziu a qualidade do brilho do tipo Tradicional em 7,36 %. Seu comportamento foi análogo ao

hipoclorito de sódio, porém, mais sutil, pois se trata de uma solução diluída em água. Para este tipo comercial, não se observa modificações cromáticas nem texturais da superfície da placa (figura 3.23). Propiciou uma redução do brilho no tipo Escuro em 4,78 %, mas além disto, foram observadas outras modificações relevantes (figura 3.39).

No Rosado, a redução do brilho foi de 6,37 %. Como no caso da aplicação do hipoclorito de sódio, a água sanitária atuou desbotando a superfície dos minerais máficos (figura 3.52).

A soda cáustica ou o hidróxido de sódio é uma base forte e possui alta reatividade, podendo precipitar sais e hidróxidos. A preparação da solução aquosa resulta em reação exotérmica e consequente acentuada deposição de resíduos mais finos ao longo das microfissuras. O produto formado foi parcialmente removido com o auxílio de pano úmido. A soda cáustica provocou redução do brilho em 7,18 % no tipo Tradicional e ocasionou também o amarelamento da superfície da placa. Neste caso, as alterações se devem à ação física e química do reagente (figura 3.24).

No tipo Escuro, a redução da intensidade do brilho foi de 7,52 %. Não foram observadas modificações superficiais relevantes após o uso da soda cáustica (figura 3.36). No tipo Rosado houve uma perda de 4,28 % do brilho inicialmente medido. Além da perda de brilho, observa-se um escurecimento superficial (figura 3.55).

O vinagre possui de 4 a 8% de ácido acético em sua composição, sendo, portanto, um ácido fraco, porém corrosivo. No tipo Tradicional o seu uso contínuo propiciou apenas a redução de brilho em 4,46 %. Assim, não foram observadas modificações cromáticas e texturais na superfície polida da placa (figura 3.26).

No tipo Escuro reduziu o brilho inicial em 6,91 %. Foram observadas modificações cromáticas em tons de amarelo amarronzado na superfície da placa (figura 3.37). A perda da intensidade do brilho no tipo Rosado foi de 5,04 %, e também foram perceptíveis mudanças cromáticas em tons escuros. Provavelmente se deve à interação da cor amarelo amarronzada, gerada a partir da reação do ácido acético com os íons metálicos contidos nos minerais, com a cor rósea do feldspato potássico (figura 3.53).

O insumo comercialmente conhecido como “Limpeza Pesada” tem como princípio ativo a amina etoxilada quaternizada, tensoativo não-iônico. Possui um amplo poder de limpeza através da quebra da tensão superficial, o que possibilita a remoção das sujeiras de forma rápida e eficiente. Apesar de classificado como um dos insumos menos “agressivos” à superfície polida da rocha, sua ação química atuou na redução do

brilho em 3,4 % e contribuiu no amarelamento superficial da placa polida no tipo Tradicional (figura 3.27).

No tipo Escuro, a redução do brilho inicial foi de 2,37 %, sendo classificado como o segundo insumo menos “agressivo” à superfície da placa. Apesar desta classificação, provocou um discreto amarelamento da superfície polida (figura 3.44). No tipo Rosado reduziu o brilho em 3,25 %, também colaborou no escurecimento superficial (figura 3.56).

O sabão em pó e o produto Multiuso com álcool têm como princípio ativo o alquil benzeno sulfonato de sódio (matéria-prima tensoativa). São substâncias que apresentam uma parte muito polar (sulfonato de sódio) e uma parte apolar (grupos alquil de cadeia longa). A parte apolar, ou lipofílica é solúvel em gorduras ou solventes apolares, e a parte polar é solúvel em solventes polares como a água, por isso é chamada de parte hidrofílica. Desta forma, quando lavamos um prato, por exemplo, a parte lipofílica do detergente se dissolve na gordura ali presente e ao passarmos água para enxaguar, esta dissolve o detergente em sua parte hidrofílica, retirando a gordura em forma de micelas que são levadas pela água. Tanto o sabão em pó quanto o produto multiuso com álcool foram os menos “agressivos” em relação à perda de brilho. O sabão em pó aplicado como solução diluída, exerceu significativa ação sobre toda a superfície da placa do tipo Tradicional, apesar de classificado como um dos produtos menos “agressivos”. Contribuiu no desbotamento da mesma e na redução do brilho em 2,8 %. (figura 3.28).

No tipo Escuro reduziu o brilho em 4,61 % e provocou acentuado desbotamento superficial (figura 3.41). Para o tipo Rosado a redução do brilho foi de 3,2 %, ocorrendo desbotamento principalmente na superfície dos cristais menores (minerais máficos) (figura 3.57).

O insumo multiuso trata-se também de solução alcoólica e, portanto, apresenta taxa de evaporação do solvente elevada de modo a minimizar o contato da substância com os minerais da rocha, acarretando assim baixa reatividade, e prevenindo o manchamentos superficiais. Logo, no tipo Tradicional, não atuou além da perda de brilho de 1,76 %. (figura 3.30).

Nos tipos Escuro e Rosado, também provocou discreta da perda de brilho, de 2,16 % e 1,95 %, respectivamente (figuras 3.45 e 3.60). Dentre todos os insumos/reagentes utilizados, o multiuso com álcool foi o menos “agressivo” em todos os tipos comerciais do GMI.

O desinfetante tem como princípio ativo O-benzil p-clorofenol e matérias primas coadjuvantes como os conservantes e os sequestrantes. Os conservantes atuam inibindo a proliferação das bactérias, enquanto os sequestrantes têm a função de complexar íons responsáveis pela dureza da água, principalmente os íons Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}) e Ferro (Fe^{+3}), sendo os responsáveis, portanto, pelo aumento da estabilidade dos sistemas onde são empregados. Do exposto, o desinfetante é produto tensoativo na ação bactericida e fungicida. Aplicado sobre a superfície do tipo Tradicional contribuiu, *a priori*, apenas na perda 2,76 % do brilho (Figura 3.29). No tipo Escuro a redução do brilho inicial foi de 2,53 % e não se observa alterações na cor, textura, etc. (figura 3.43). A perda de brilho no tipo Rosado foi de 2,43%. Classificado como o segundo insumo menos “agressivo” dentre os estudados, também contribuiu no escurecimento superficial da placa. (figura 3.59).

3.3- PETROGRAFIA APÓS ATAQUE QUÍMICO

Dentre os tipos estudados do GMI, as placas que notoriamente exibiram alterações macroscópicas foram selecionadas à confecção de lâminas petrográficas. Destas, todas exibiram alterações minerais, destacando-se, todavia, as do tipo Escuro.

Em todas as lâminas estudadas, os insumos/ reagentes se comportaram de maneira similar. Os minerais máficos foram os mais susceptíveis, portanto, foram os primeiros a se alterarem, prioritariamente os piroxênios (aegerina-augita), seguidos pelos anfíbólios (hornblenda), graças aos íons metálicos presentes, que se oxidam e também devido à elevada mobilidade química dos seus compostos. Subordinadamente, os minerais félsicos, especialmente os plagioclásios (albita e oligoclásios ácidos) menos resistentes à ação do intemperismo, e os respectivos intercrescimentos pertíticos e antipertíticos.

A intensidade (semi-quantitativa) da alteração superficial advinda da utilização dos insumos/ reagentes, indica que os ácidos e base fortes foram os mais atuantes, variando de 30 a 35 % a área de ataque. O ácido sulfúrico, apesar de ser um ácido forte, não atuou como os demais ácidos fortes, uma vez que se apresenta como solução diluída, perdendo, portanto, sua característica oxidante. Os insumos/ reagentes menos “agressivos” foram o ácido cítrico, devido sua baixa reatividade química e o desinfetante, ambos alterando de 10 a 15 % a área da superfície da placa polida.

A seguir, encontram-se as fotomicrografias das amostras/ lâminas alteradas. Na tabela 3.9 citam-se os insumos/ reagentes, os tipos comerciais do GMI e a avaliação em percentagem da área alterada após o ataque químico.

3.3.1- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- TRADICIONAL, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO NÍTRICO

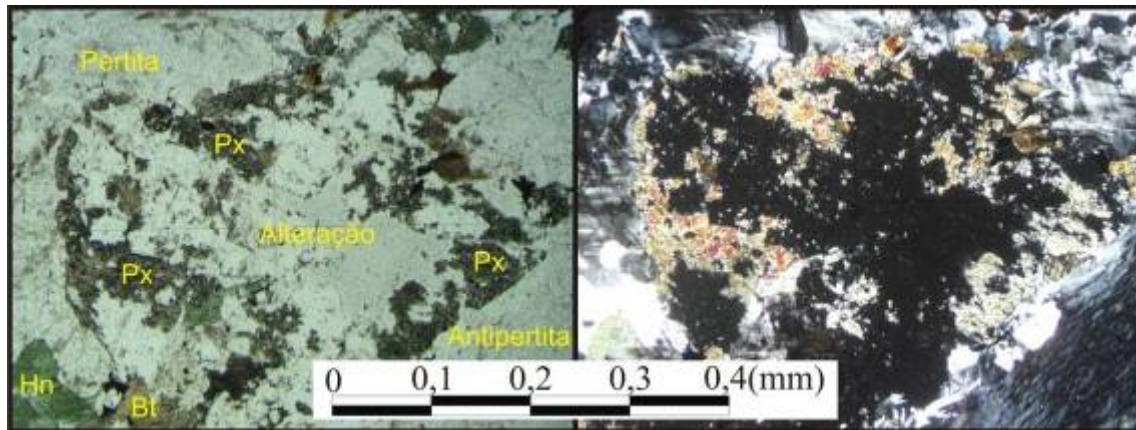


Figura 3.61- Evidências de produtos de reação em cristais de piroxênio, tipo aegerina-augita (Px) originalmente alterado para hornblenda (Hn). Observa-se que o ácido nítrico atuou principalmente nos piroxênios. Na parte isotrópica (escura) (sob nicóis x), nota-se a provável precipitação de minerais secundários. (nicóis // e nicóis x) (4x).

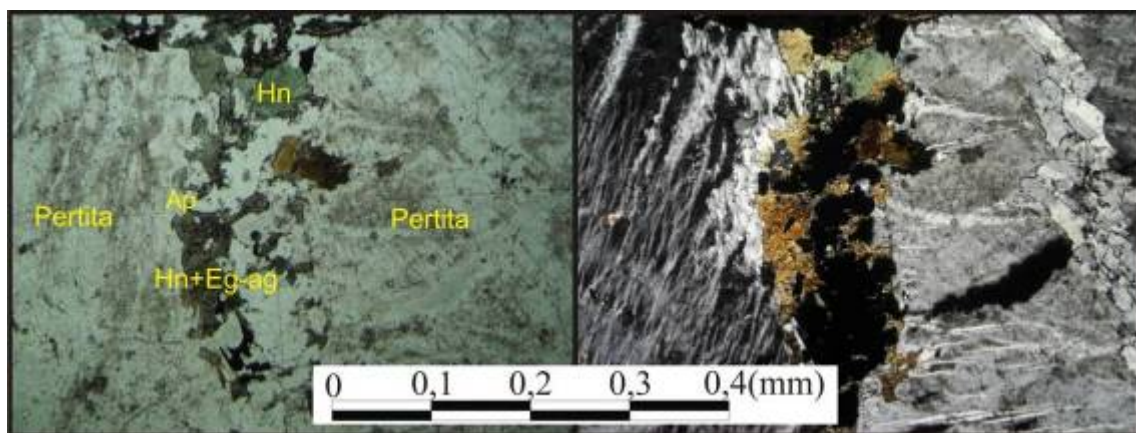


Figura 3.62- GMI tradicional, exibindo os minerais félsicos essenciais e os principais acessórios máficos. A parte isotrópica (sob nicóis +) representa provavelmente nitratos formados pela reação sobre os minerais ferromagnesianos, principalmente o piroxênio (Eg-ag) e sobre parte do hospedeiro ortoclásio no intercrescimento pertítico (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.2- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO, APÓS O ATAQUE COM ÁCIDO SULFÚRICO

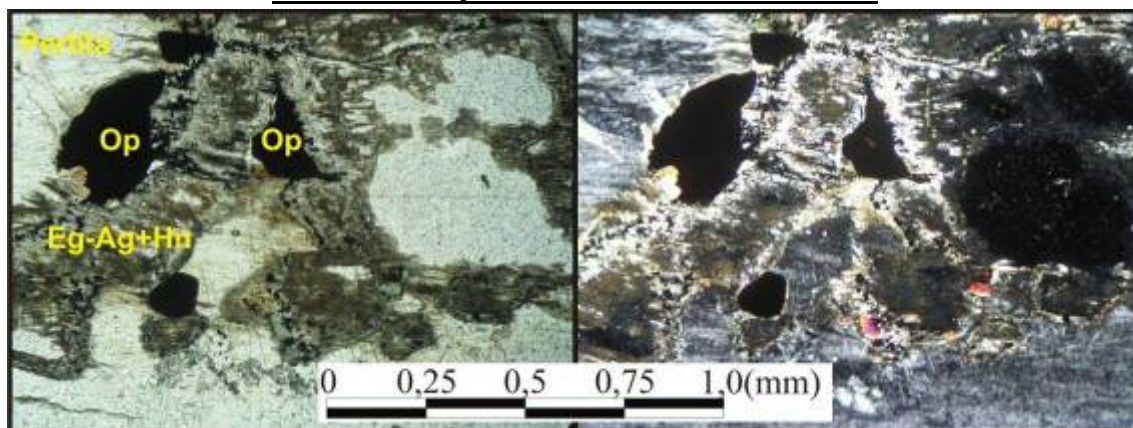


Figura 3.63- GMI Escuro, exibindo cristais submilimétricos de piroxênio (Eg-ag) se alterando para anfibólio (Hn), parcialmente dissolvidos pela ação do ácido sulfúrico. Ainda cristais de félsicos feldspáticos com dimensão milimétrica a mais. (nicóis // e nicóis x) (4x).

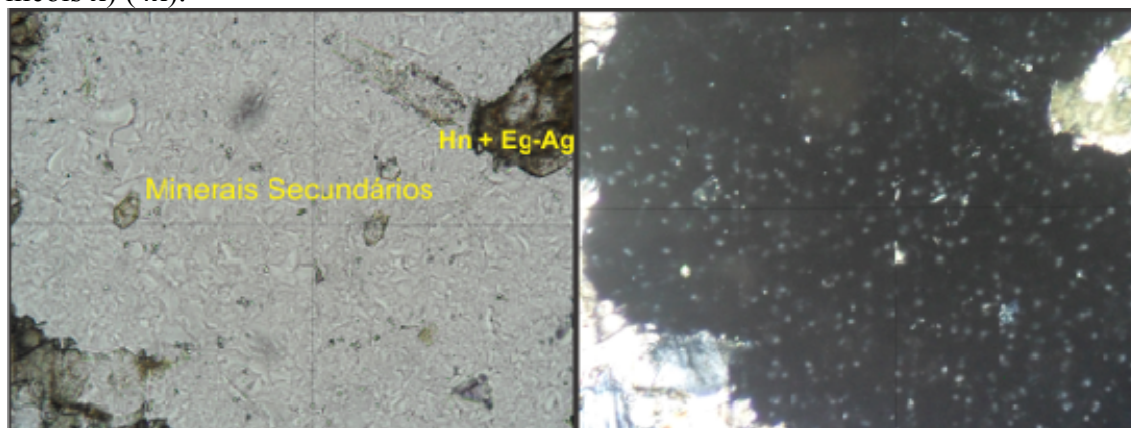


Figura 3.64- Detalhe da parte dissolvida do cristal de piroxênio (Eg-ag) e hornblenda (Hn) da fotomicrografia anterior e a provável precipitação de minerais secundários. (nicóis // e nicóis x) (aumento 200x).

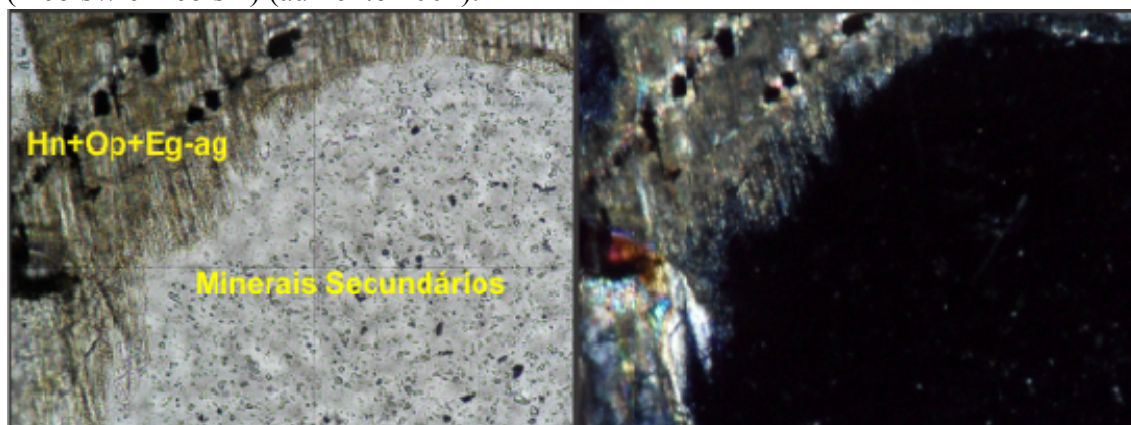


Figura 3.65- Exibindo em detalhe minerais secundários gerados por alteração com limite difuso, em seção prismática original de piroxênio (Eg-ag) transformada em hornblenda (Hn) (nicóis // e nicóis x) (aumento 500x).

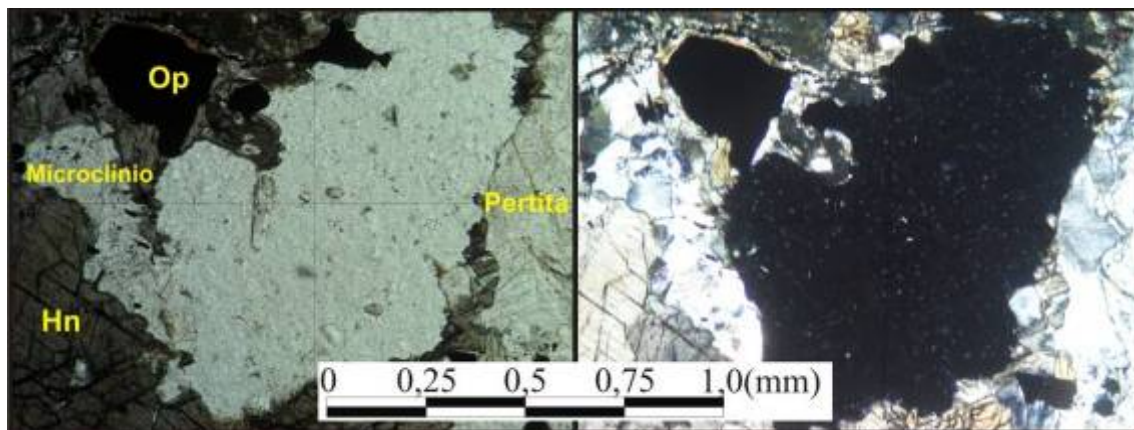


Figura 3.66- Cristais de hornblenda (Hn) cedo-cristalizados em relação ao microclínio com intercrescimento pertítico. Nota-se sob nicóis cruzados, a parte isotrópica refere-se a um cristal que estava em equilíbrio com a hornblenda (nicóis paralelos) podendo tratar de plagioclásio ou piroxênio, totalmente dissolvido pela ação do ácido sulfúrico.(nicóis // e nicóis x) (10x).

3.3.3- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO

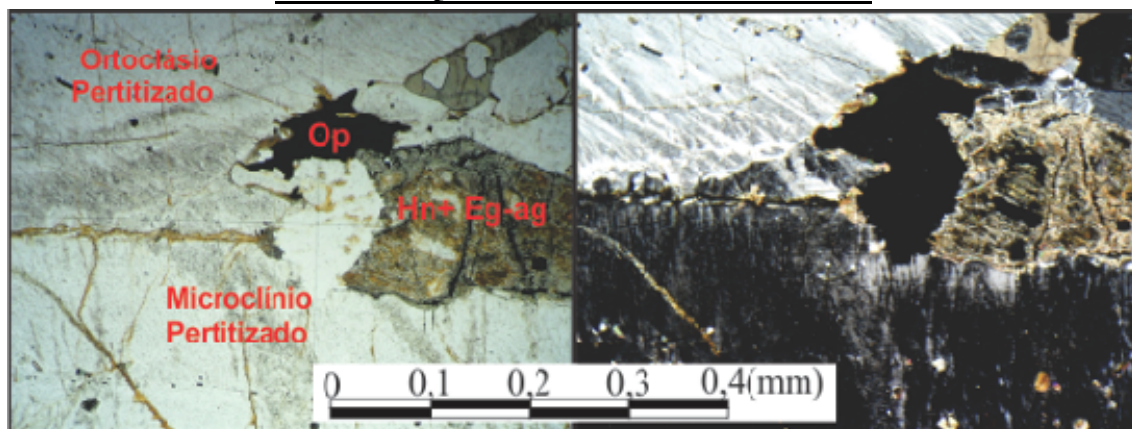


Figura 3.67- Cristais de microclínio e ortoclásio, ambos com intercrescimento pertítico. Nota-se a ocorrência de microfissuras intragrãos, tanto nos feldspatos quanto na hornblenda (Hn) e piroxênio (Eg-ag), preenchidas provavelmente por óxido ou hidróxido de ferro, devido à coloração característica. (nicóis // e nicóis x) (4x).

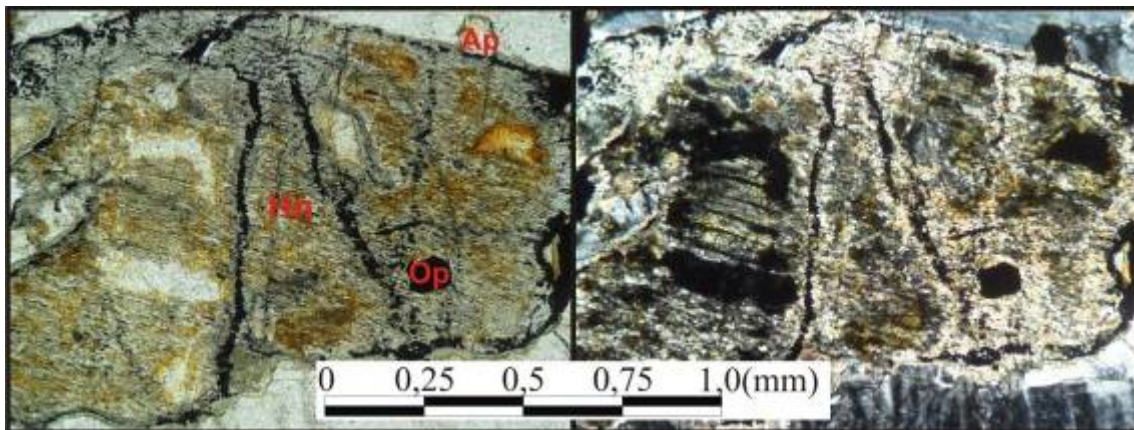


Figura 3.68- Cristal de piroxênio em estágio avançado de alteração para hornblenda (Hn). Nota-se que a parte isotrópica (nicóis x), refere-se à parte dos cristais de piroxênio totalmente alterados/ dissolvidos. (nicóis // e nicóis x) (10x).

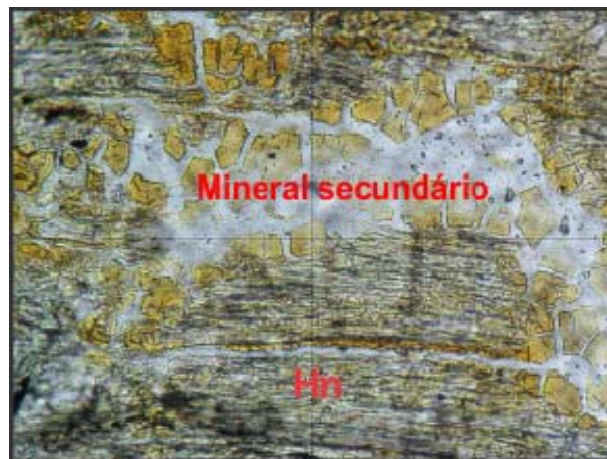


Figura 3.69- Detalhe da alteração do piroxênio da fotomicrografia anterior, evidenciando a formação de precipitado (mineral secundário)(nicóis // e nicóis x) (aumento 500x).

3.3.4- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO CÍTRICO

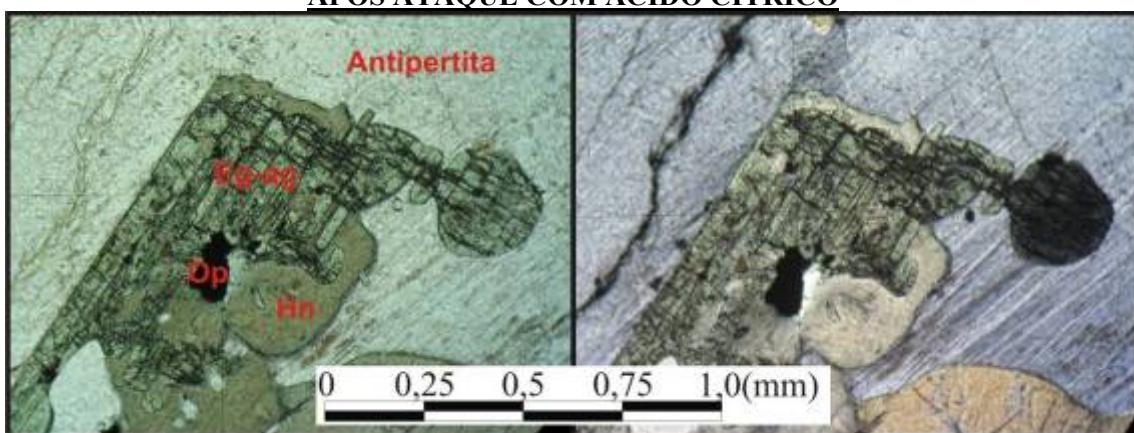


Figura 3.70- Cristal de piroxênio (Eg-ag), transformando-se em anfibólio (Hn), do centro para as bordas. A atuação do ácido cítrico é incipiente, alterando inicialmente as bordas das clivagens do piroxênio. Não houve alterações relevantes nos feldspatos

(nicóis // e nicóis x) (10x).

3.3.5- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ROSADO, APÓS ATAQUE COM CLORETO DE AMÔNIO

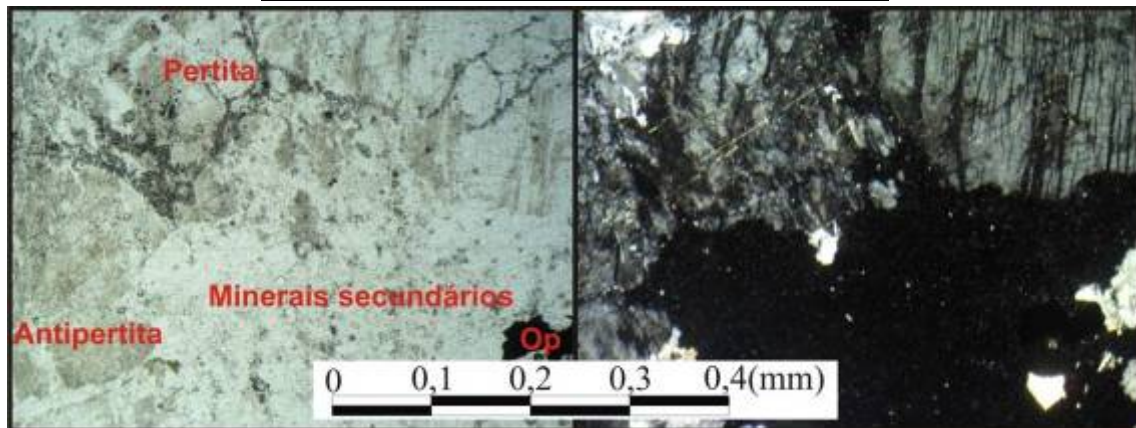


Figura 3.71- Cristais de feldspatos pertitizados e substancialmente antipertitizados, parcial e totalmente alterados devido ao ataque pelo cloreto de amônio, com consequentes precipitações de minerais secundários. (nicóis // e nicóis x) (4x).

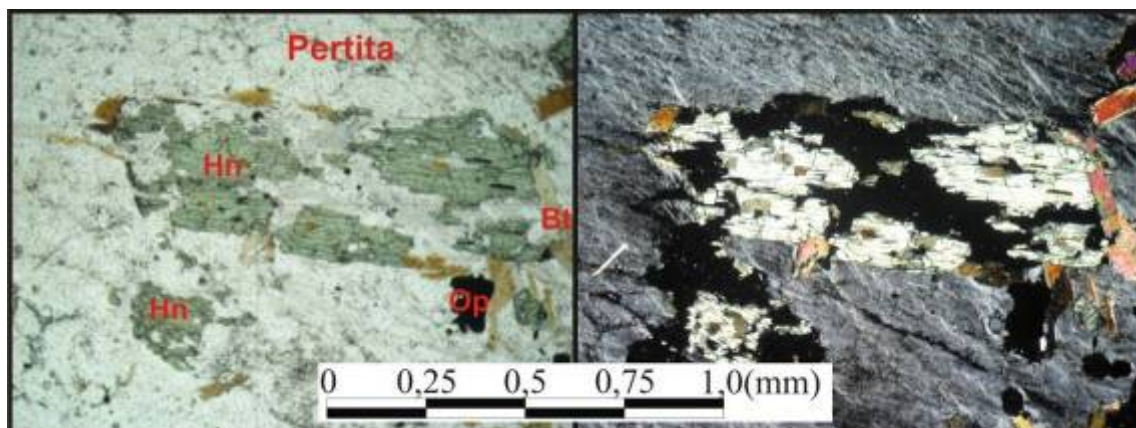


Figura 3.72- Cristais de hornblenda (Hn) parcialmente alteradas com consequente precipitação de minerais secundários. E microclina inalterada (nicóis // e nicóis x) (10x).

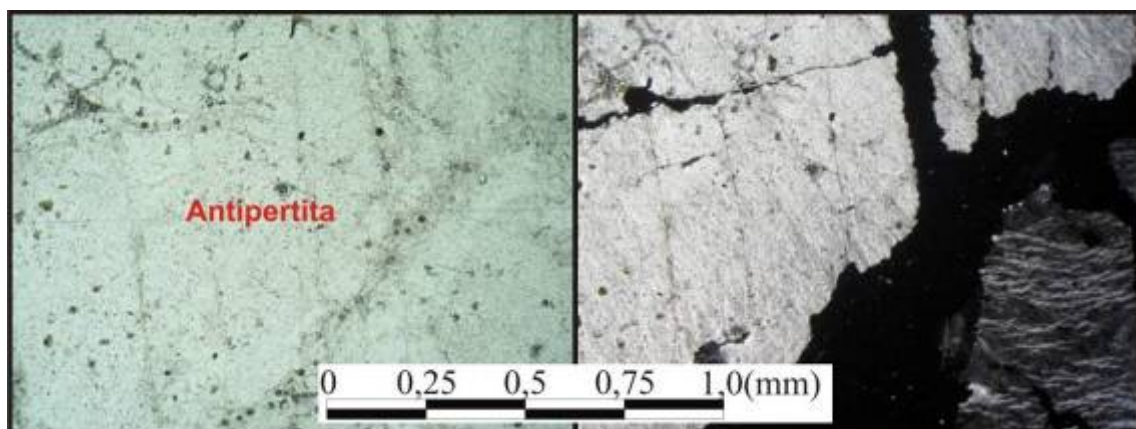


Figura 3.73- Evidenciando as microfissuras como ducto da solução e locus de precipitação de produto de alteração. (nicóis // e nicóis x) (10x).

3.3.6- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ROSADO, APÓS ATAQUE COM AZEITE DE OLIVA

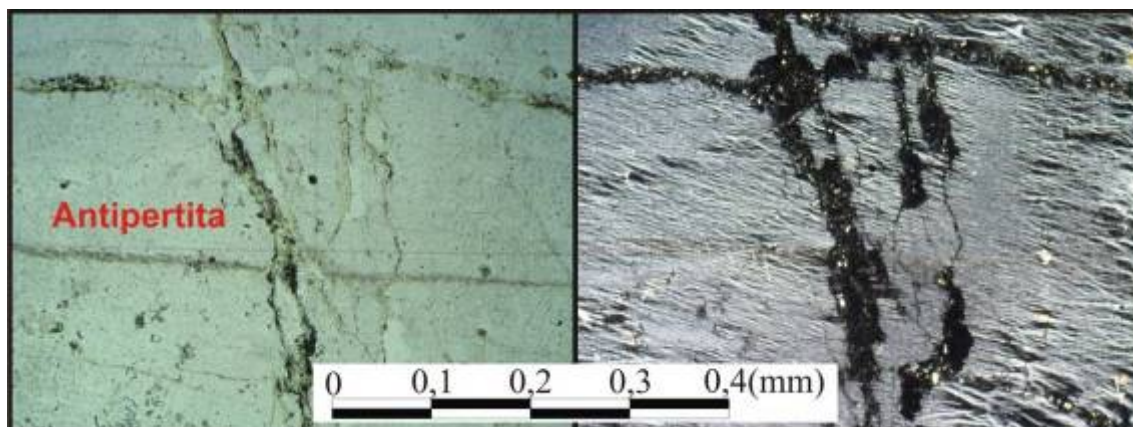


Figura 3.74- Evidências de preenchimento de azeite de oliva em microfissuras no cristal de albita com intercrescimento antipertítico. Nota-se que as microfissuras encontram-se preenchidas pelo azeite de oliva. (nicóis // e nicóis x) (4x).

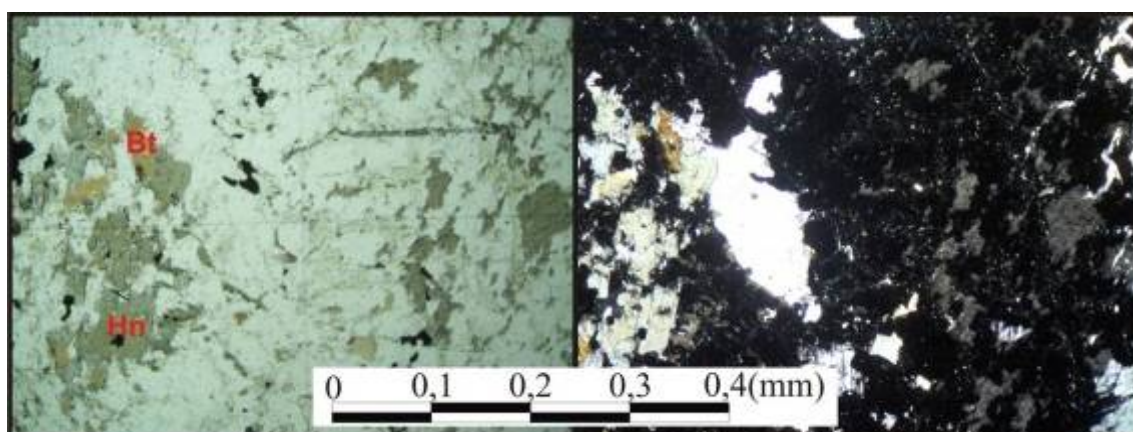


Figura 3.75- Evidenciando a deposição do azeite de oliva sobre os minerais constituintes da rocha (nicóis // e nicóis x) (4x).

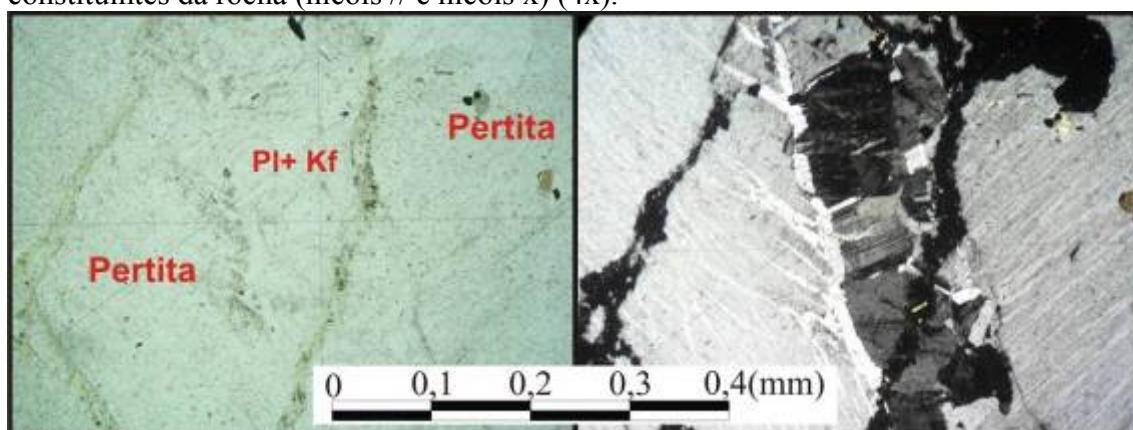


Figura 3.76- Evidências de azeite de oliva percolado em microfissuras intergranulares (observado em nicóis paralelos, de coloração amarelo claro, e em nicóis cruzados, escuro), existentes nos cristais de ortoclásio com intercrescimento pertítico (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.7- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-TRADICIONAL, APÓS ATAQUE COM AZEITE DE OLIVA

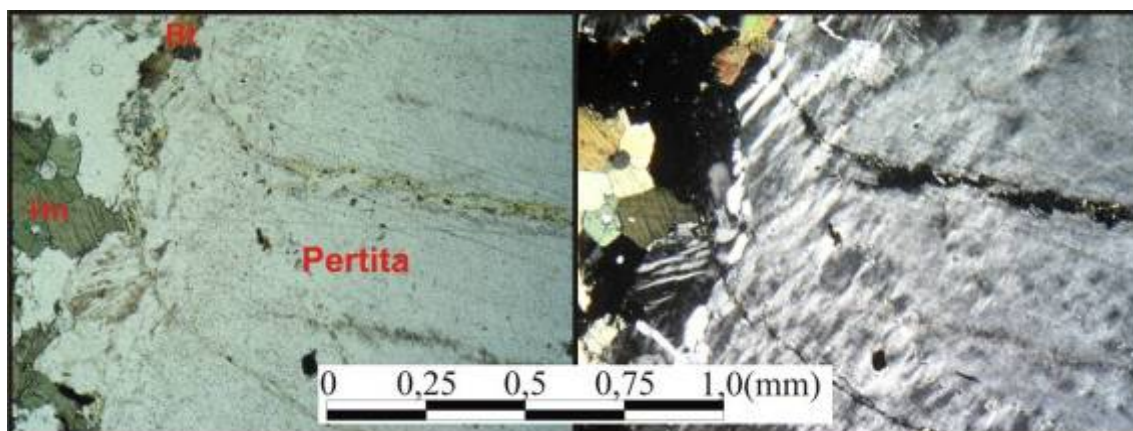


Figura 3.77- Evidências de azeite de oliva percolado em microfissuras existentes em cristal de microclínio com intercrescimento pertítico (nicóis // e nicóis x) (4x).

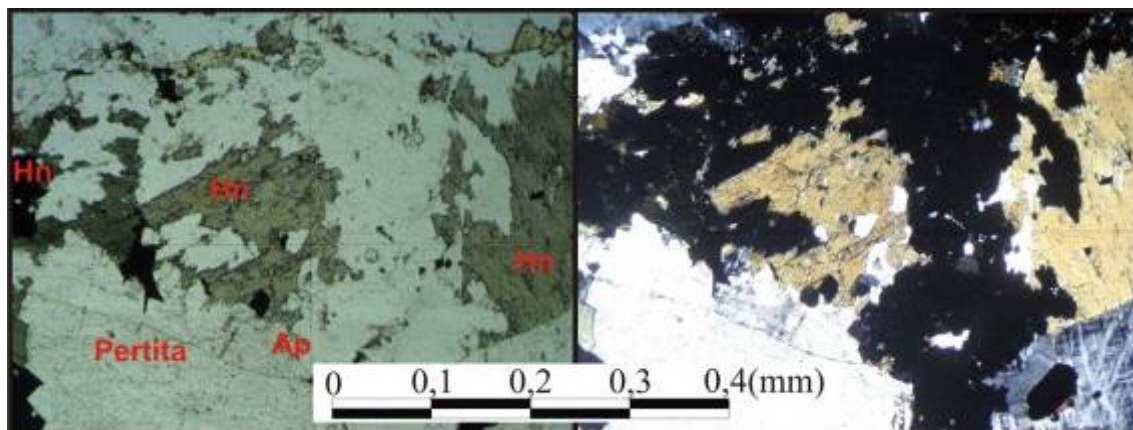


Figura 3.78- Evidências de azeite de oliva depositado sobre os minerais (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.8- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO NÍTRICO

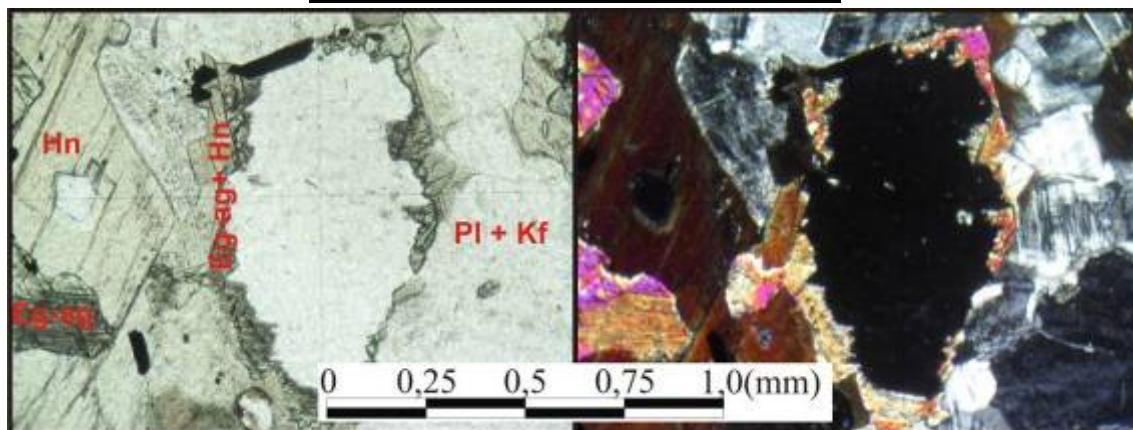


Figura 3.79- Cristal de piroxênio (Eg-ag) totalmente dissolvido e a provável formação de minerais secundários (nicóis // e nicóis x) (10x).

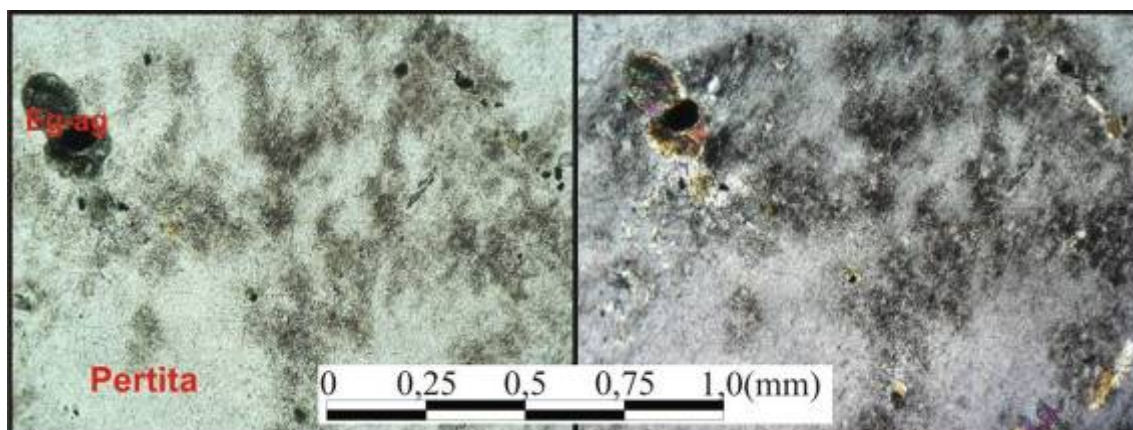


Figura 3.80- Parte do cristal de microclínio com intercrescimento pertítico, este de difícil reconhecimento devido ao estágio avançado de alteração, acelerado pelo ácido nítrico (nicóis // e nicóis x) (10x).

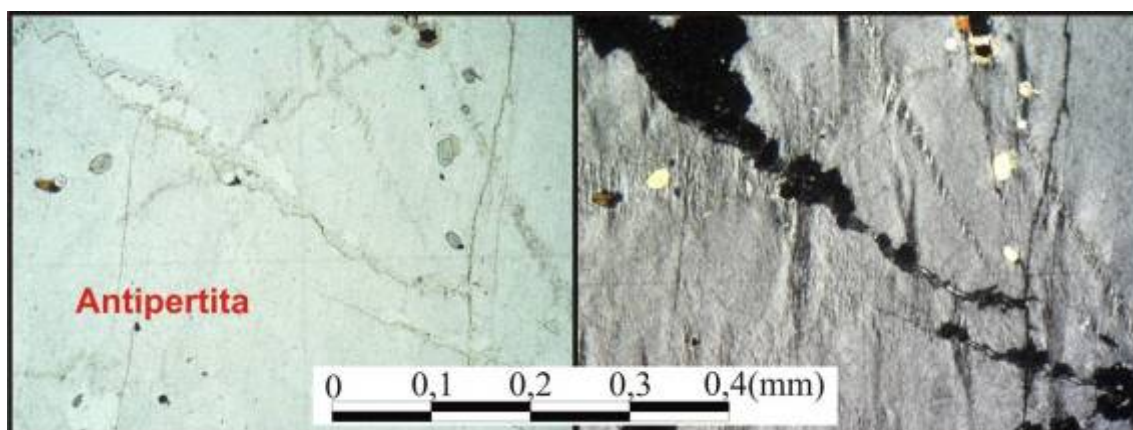


Figura 3.81- Microfissuras em cristal de albita com intercrescimento antipertítico, alteradas pela ação do ácido nítrico (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.9- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-TRADICIONAL, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO

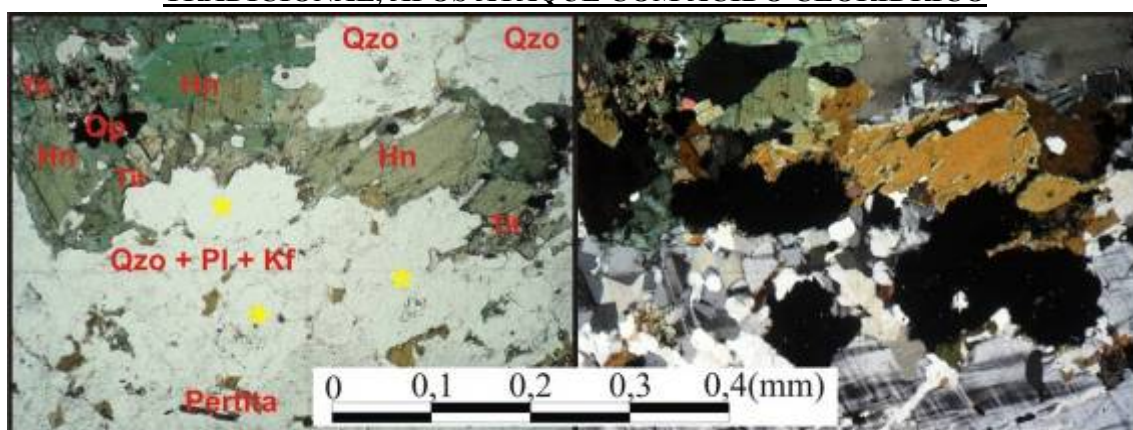


Figura 3.82- Evidências de cristais de quartzo (Qzo), microclínio com intercrescimento pertítico, titanita (Tit), minerais opacos (Op), plagioclásio (Pl) e piroxênio se transformando hornblenda (Hn). O ácido clorídrico atuou *a priori* no piroxênio e no plagioclásio, em asterisco (*). Observam-se os mesmos devidamente alterados (sob nicóis x, parte isotrópica) (nicóis // e nicóis +) (4x).

3.3.10- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ROSADO, APÓS ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO

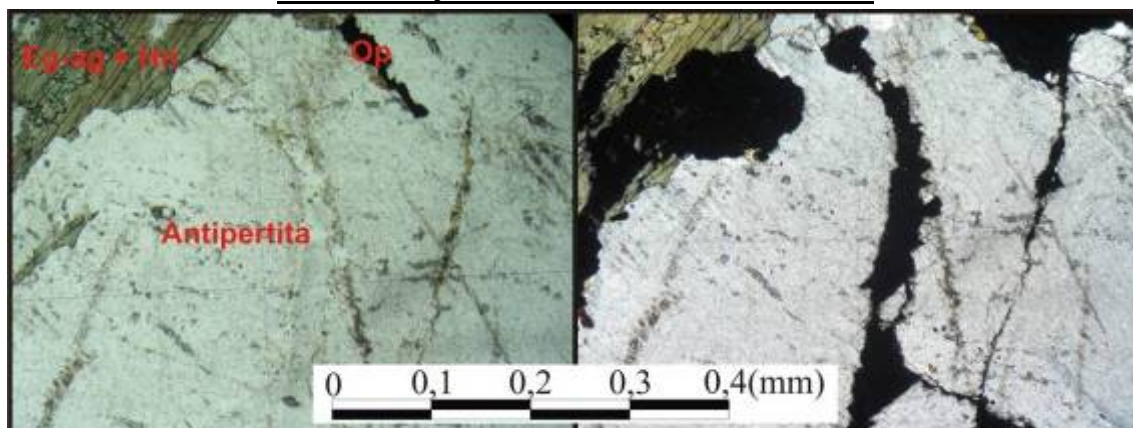


Figura 3.83- Microfissuras intragranulares em cristal de albita com intercrescimento antipertítico. Nota-se que a parte alterada ocorreu principalmente devido ao microfissuramento da rocha, pois este serviu como ducto do ácido clorídrico (nicóis // e nicóis x) (4x).

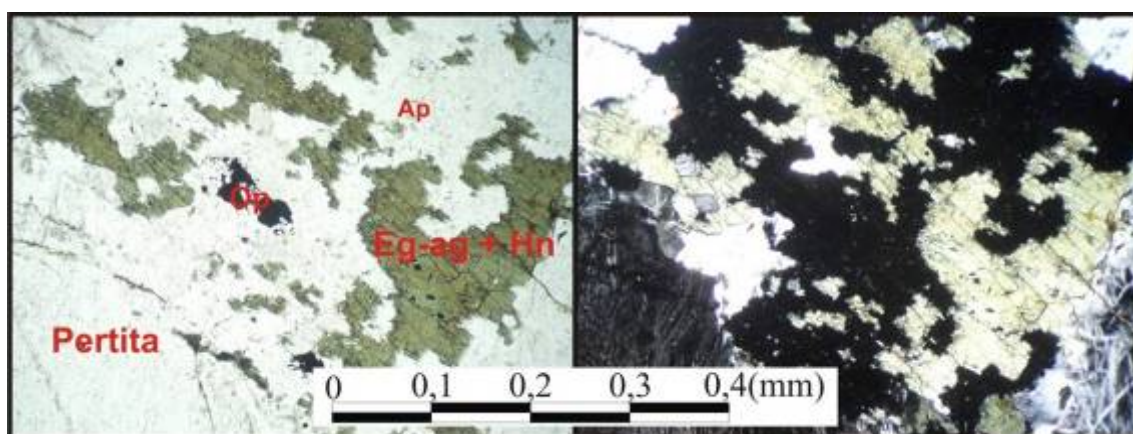


Figura 3.84- Cristais de aegerina-augita (Eg-ag) se alterando para hornblenda (Hn). Partes encontram-se totalmente dissolvidos devido à ação do ácido clorídrico (nicóis // e nicóis x) (4x).

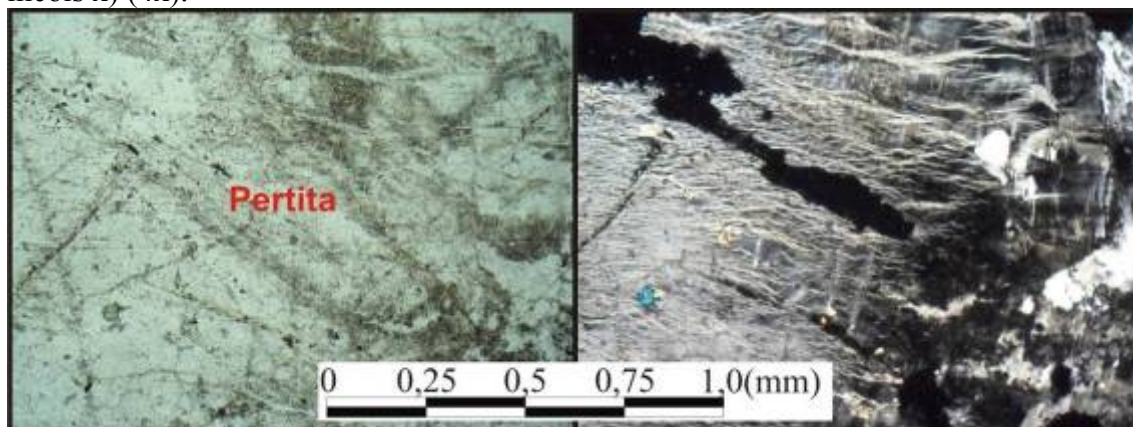


Figura 3.85- Grande cristal de microclínio com intercrescimento pertítico alterando-se devido à ação do ácido clorídrico (nicóis // e nicóis x) (10x).

3.3.11- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO,
APÓS ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO

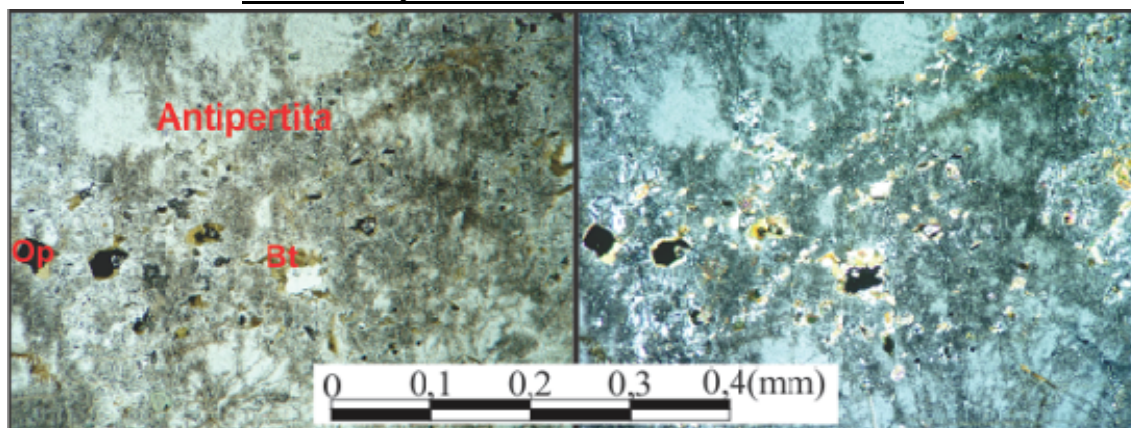


Figura 3.86- Grande cristal de albita com intercrescimento antipertítico, em estágio avançado de alteração, acentuado pela ação do hipoclorito de sódio. (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.12- FOTOMICROGRAFIAS DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ROSADO,
APÓS ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO

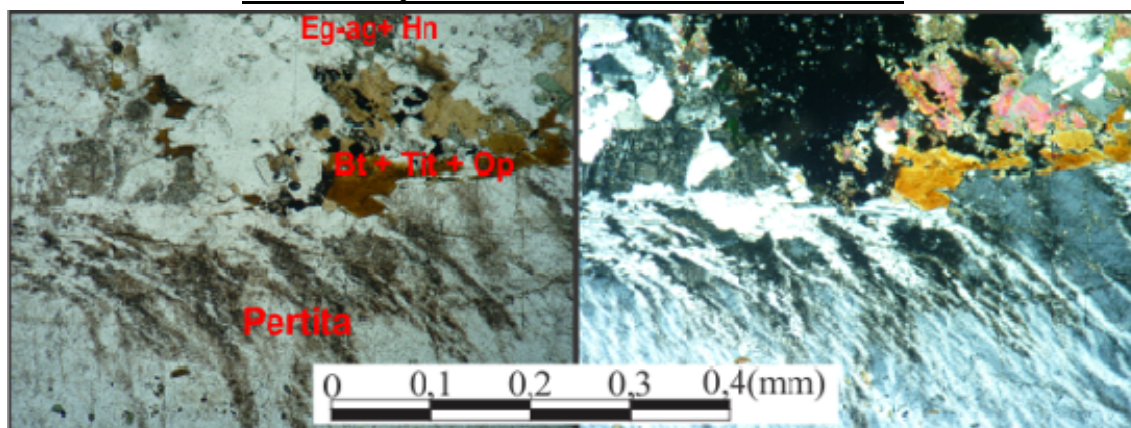


Figura 3.87- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico e cristais de aegerina-augita se alterando para hornblenda e esta para biotita. Partes dos cristais ferromagnesianos encontram-se dissolvidos e com a provável precipitação de minerais secundários. (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.13- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO,
APÓS ATAQUE COM ÁGUA SANITÁRIA

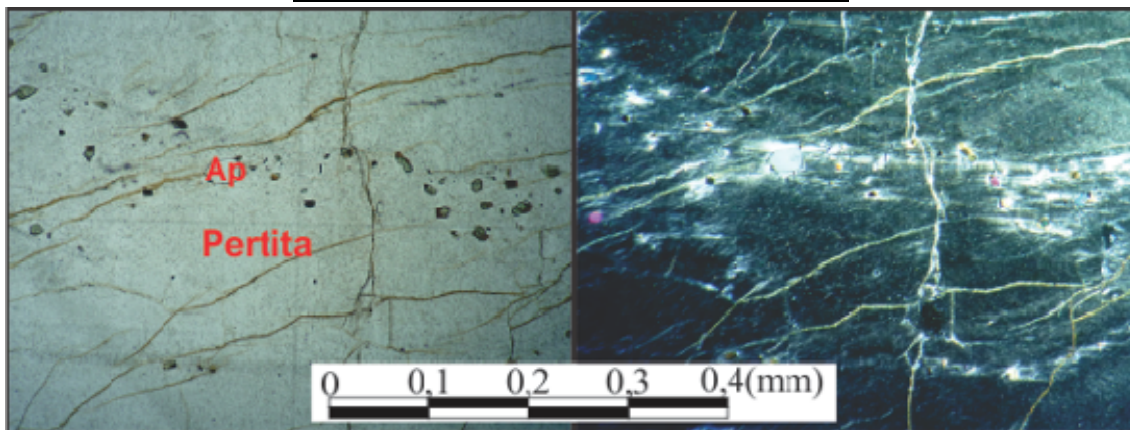


Figura 3.88- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico, intensas microfissuras servindo como ductos para percolação do insumo (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.14- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO,
APÓS ATAQUE COM SODA CÁUSTICA

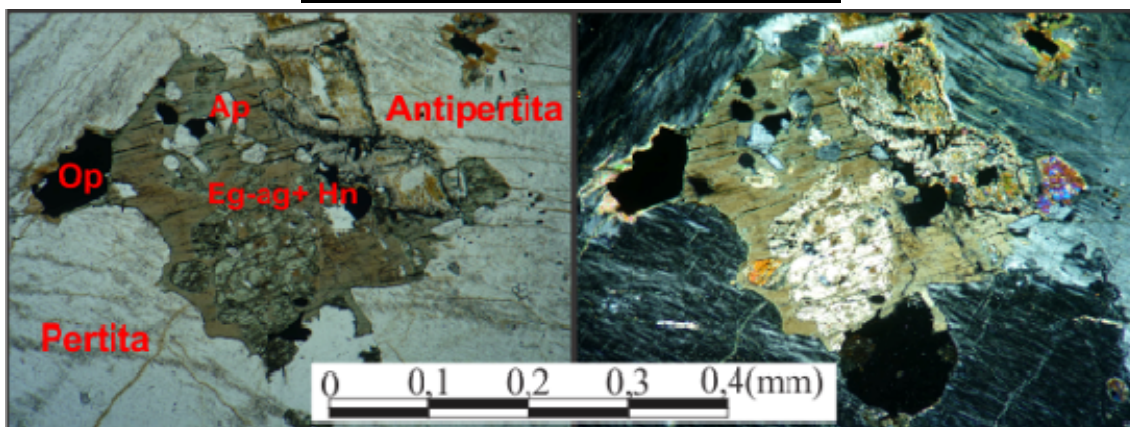


Figura 3.89- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico, albita com intercrescimento antipertítico, e cristais de aegerina-augita (Eg-ag) se alterando para hornblenda (Hn). Nota-se que a parte inferior (isotrópica, nicóis x) do cristal ferromagnésiano encontra-se parcialmente dissolvido (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.15- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO,
APÓS ATAQUE COM AGUARRÁS MINERAL

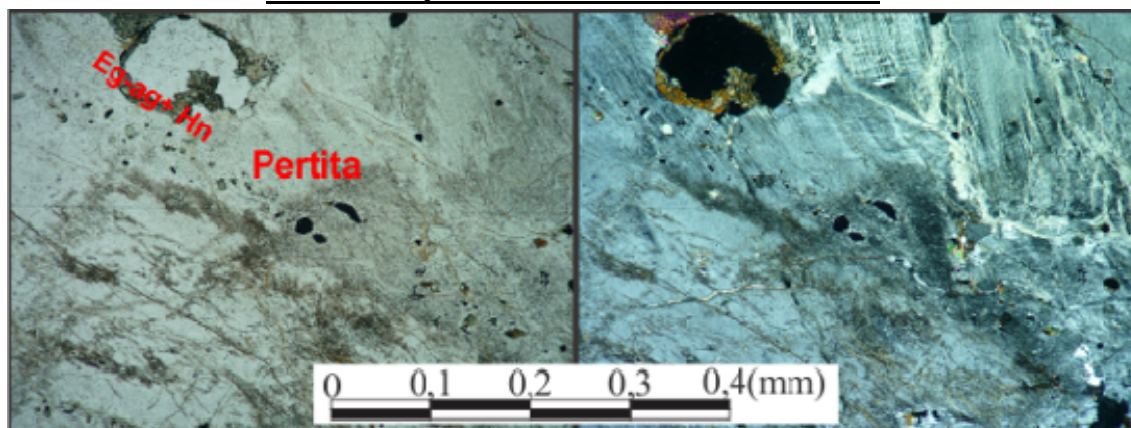


Figura 3.90- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico em estágio de alteração, acentuado devido a ação da aguarrás mineral. Observa-se também cristal de aegerina-augita (Eg-ag) se transformando em hornblenda (Hn) e encontra-se parcialmente dissolvido. (nicóis // e nicóis x) (4x).

3.3.16- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL- ESCURO,
APÓS ATAQUE COM SABÃO EM PÓ

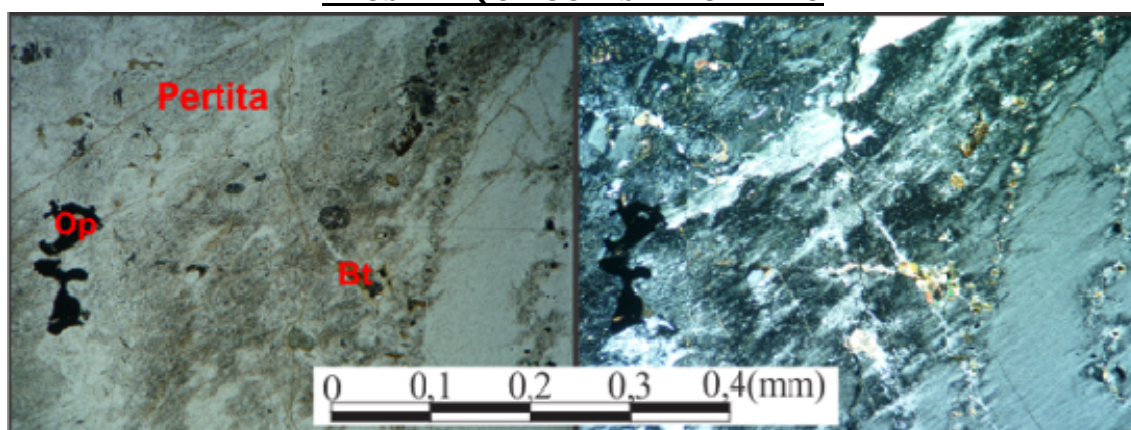


Figura 3.91- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico em estágio avançado de alteração, devido a ação do sabão em pó. (nicóis // e nicóis x) (4x).

**3.3.17- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-ESCURO,
APÓS ATAQUE COM VINAGRE**

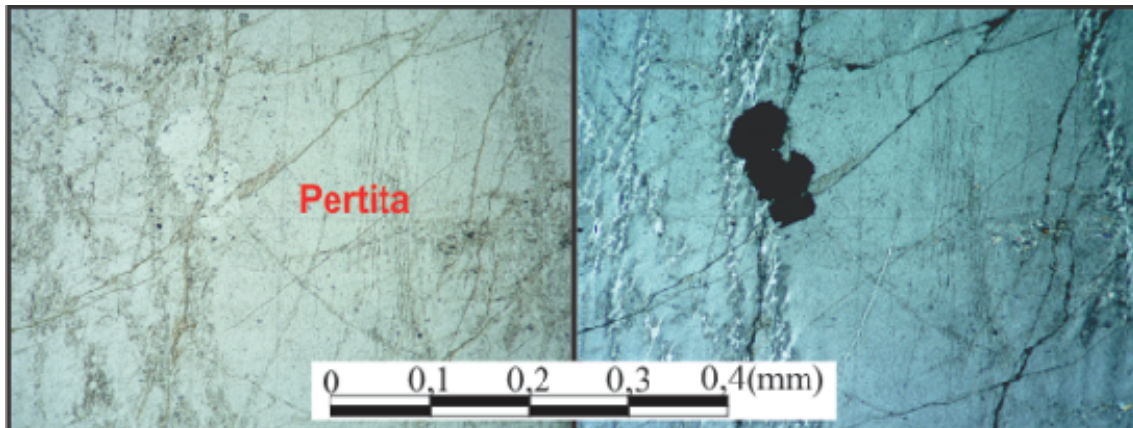


Figura 3.92- Cristal de ortoclásio com intercrescimento pertítico em estágio de alteração devido a ação do vinagre, este veiculado principalmente através das microfissuras. (nicóis // e nicóis x) (4x).

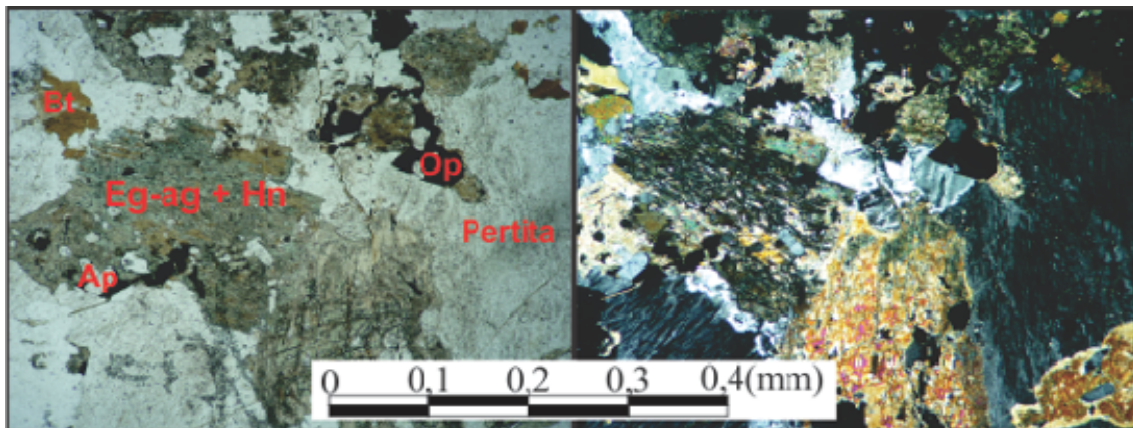


Figura 3.93- Cristal de microclínio com intercrescimento pertítico, e cristais de aegerina-augita (Eg-ag) se transformando em hornblenda e em estágio inicial de alteração, devido a ação do vinagre, principalmente ao longo das clivagens (nicóis // e nicóis x) (4x).

**3.3.18- FOTOMICROGRAFIA DO “GRANITO” MARROM IMPERIAL-
TRADICIONAL, APÓS ATAQUE COM DESINFETANTE**

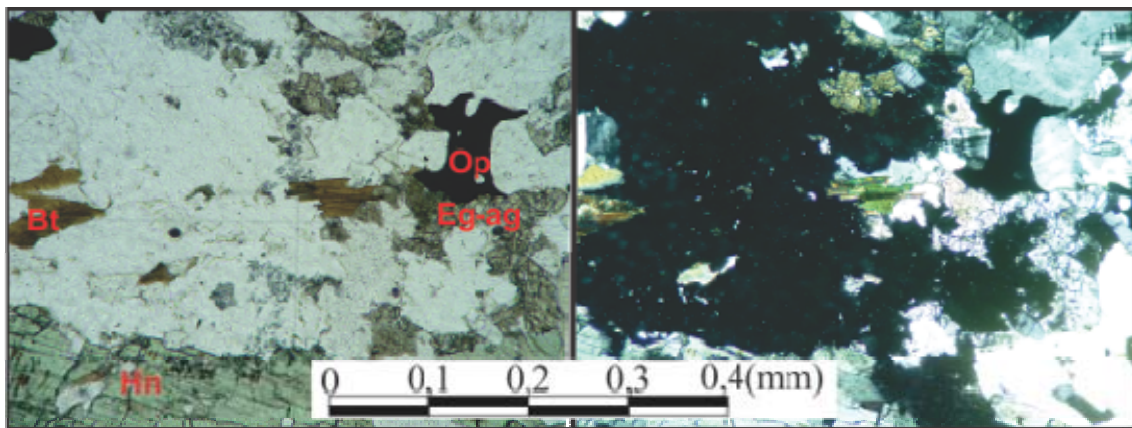


Figura 3.94- Cristais de aegerina-augita (Eg-ag) transformando-se em hornblenda (Hn) das bordas para o centro, e esta em biotita. Nota-se que os cristais de aegerina-augita foram parcialmente dissolvidos devido a ação do desinfetante. (nicóis // e nicóis x) (4x).

Tabela 3.9- Insumos/ reagentes, tipos comerciais e seus respectivas avaliações, referentes às alterações após ataque.

PRODUTOS/REAGENTES	TIPO	ALTERAÇÃO (% em área)
Ácido Clorídrico	Escuro	35
Ácido Nítrico	Escuro	35
Hipoclorito de Sódio	Escuro	35
Soda Cáustica	Escuro	35
Cloreto de Amônio	Rosado	35
Água Sanitária	Escuro	30
Aguarrás	Escuro	30
Hipoclorito de Sódio	Rosado	30
Ácido Nítrico	Tradicional	30
Ácido Clorídrico	Tradicional	30
Ácido Clorídrico	Rosado	30
Ácido Sulfúrico	Escuro	25
Azeite de Oliva	Rosado	25
Sabão em pó	Escuro	25
Azeite de Oliva	Tradicional	20
Vinagre	Escuro	20
Desinfetante	Tradicional	15
Ácido Cítrico	Escuro	10

3.4- ÍNDICES FÍSICOS

3.4.1- MASSA ESPECÍFICA

Os valores médios obtidos no ensaio de massa específica dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial apresentam-se na tabela 3.10 e na figura 3.95.

Tabela 3.10- Média dos valores de massa específica seca e saturada dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.

“Granito” Marrom Imperial	Massa Específica (Kg/m ³)	
	Massa Esp. Seca	Massa Esp. Saturada
Tradicional	2707	2720
Escuro	2710	2722
Rosado	2690	2714

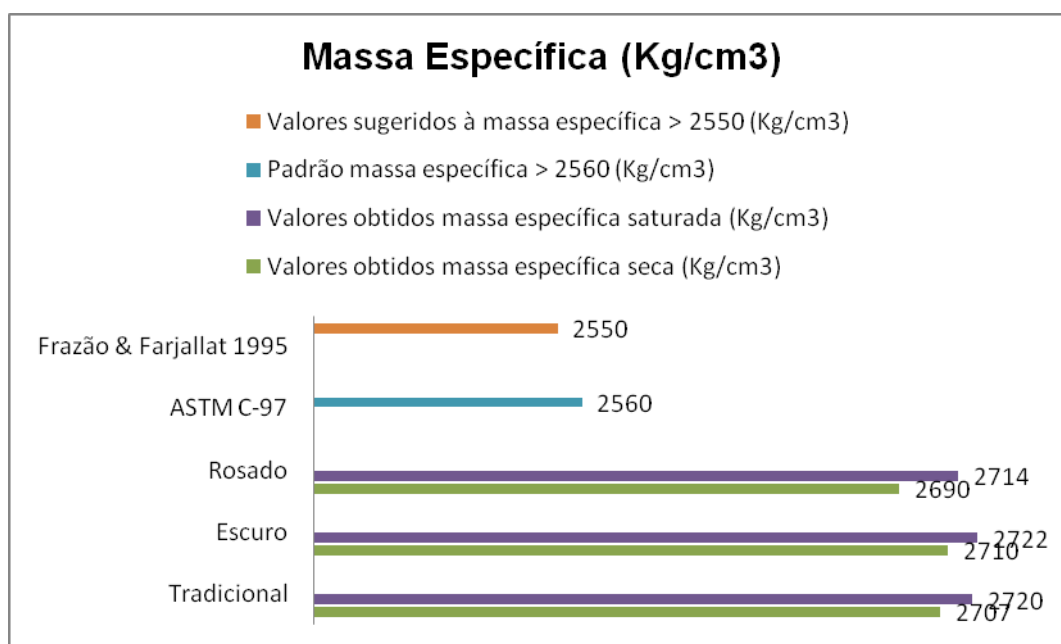


Figura 3.95- Relação de massa específica dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial e os valores estabelecidos pela norma ASTM e sugerido por Frazão & Farjallat.

Os resultados deste ensaio foram comparados com os valores estabelecidos pela norma ASTM C97 e com os valores sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) (figura 3.95).

Os valores da massa específica aparente estabelecida pela norma ASTM indicam 2.560 Kg/m^3 , como limite inferior para rochas silicáticas, apesar de Frazão & Farjallat (op.cit) sugerirem limite de 2.550 Kg/m^3 . Deste modo os tipos comerciais estudados atendem à especificação estabelecida pela norma e também a sugerida por Frazão & Farjallat (op.cit), (tabela 3.10).

3.4.2- ABSORÇÃO DE ÁGUA E POROSIDADE

Os valores médios percentuais da porosidade e absorção d'água dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial estão expostos na tabela 3.11 e na figura 3.96.

Tabela 3.11- Média dos valores da porosidade e absorção de água dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.

“Granito” Marrom Imperial	POROSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA	
	Porosidade (%)	Absorção de água (%)
Tradicional	0,8101	0,2980
Escuro	0,7550	0,2770
Rosado	0,8245	0,3120

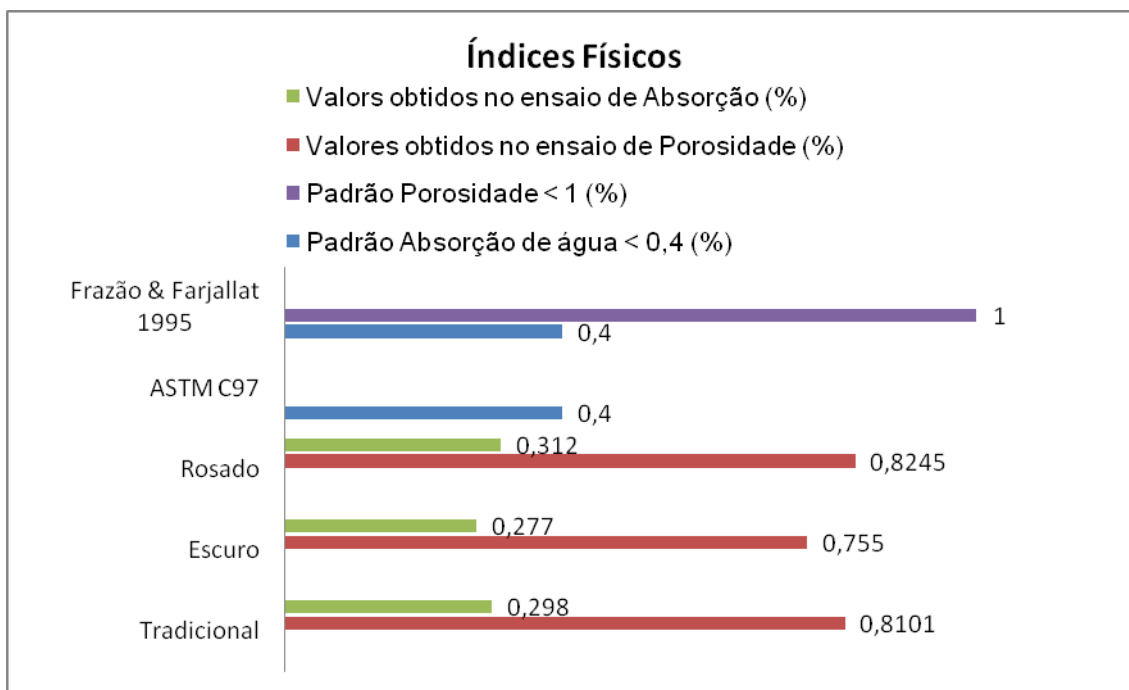


Figura 3.96- Relação da Porosidade e Absorção de água dos tipos comerciais do GMI e os valores estabelecidos pela norma ASTM e sugeridos por Frazão & Farjallat.

Ao correlacionar essas duas propriedades observam-se que as variações mineralógicas, a existência ou não de microfissuras, relações de contato entre os grãos minerais, granulação, aspectos estruturais, alteração mineral, entre outras, influenciam diretamente sobre essas propriedades.

Frazão & Farjallat (1995) e ASTM C-97 citam que as rochas com características graníticas devem apresentar absorção de água $\leq 0,4 \%$ e porosidade inferior ou igual a **1,0 %**. Assim rochas que apresentem estes índices podem ser usadas sem restrições em áreas internas ou externas, secas ou úmidas.

Os tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial atenderam à especificação estabelecida pela norma ASTM C97 e as sugeridas por Frazão & Farjallat (op.cit).

Conforme a tabela 3.11, o “granito” Marrom Imperial do tipo Escuro absorveu a menor quantidade de água, compativelmente com os valores de porosidade e sua menor inequigranularidade.

Os “granitos” Marrom Imperial dos tipos Tradicional e Rosado absorveram maiores quantidades d’água, indicando maiores ocorrências de vazios, microfissuras e maior inequigranularidade, quando comparados com o tipo Escuro (figura 3.96).

Os parâmetros de massa específica e porosidade aparente, nos tipos Escuro e Rosado, à primeira vista, podem transparecer alguma incongruência com a

equi/inequigranularidade dos mesmos, pois estamos acostumados a reconhecer que o arranjo de grãos é mais denso, ou menos poroso, quando a inequigranularidade é maior.

É sabido e aceito que a permeação de fluidos, ao longo da história da rocha (ordem de grandeza de 500 milhões de anos) seria facilitada nas fácies mais inequigranulares, nas quais seriam atacados os cristais menores, de superfície específica mais alta e mais alterável, gerando porosidades.

Para Melo e Oliveira (2005), a granulometria do material rochoso está intimamente associada com a possibilidade de decomposição do material, sendo, portanto, fator de relevância nos processos de alteração dos materiais pétreos.

Logo, considerando aplicações de rochas em ambientes úmidos e agressivos interfeririam os parâmetros de alterabilidade - granulometria e mobilidade química dos constituintes moleculares. Assim, observaram-se como mais alteráveis os minerais máficos, milimétricos a submilimétricos e as pertitas e antipertitas graças às presenças de FeO, MgO, e Na₂O, principalmente. O resultado é que o tipo escuro é o menos poroso, sua alteração é mais restrita aos minerais máficos, enquanto o tipo rosado, mais susceptível de permeação (porosidade secundária maior), porém menos alterável devido à constituição mineral com K-feldspato.

Poder-se-ia usar o Escuro em ambientes úmidos, graças à sua menor porosidade, embora a constituição química não favoreça.

3.5- COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES

Os resultados dos valores médios de compressão uniaxial na condição seca estão expostos na tabela 3.12.

Tabela 3.12- Valores médios da compressão uniaxial na condição seca dos 3 tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.

“Granito” Marrom Imperial	Condição Seca
Tradicional	89,3 MPa
Escuro	99,3 MPa
Rosado	66 MPa

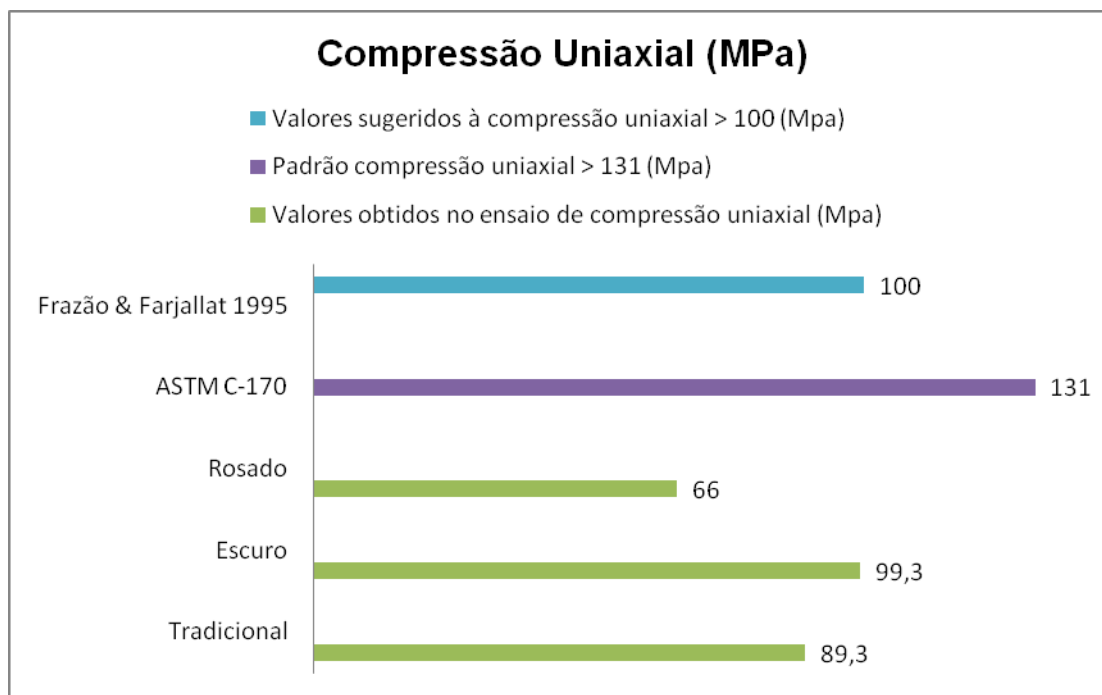


Figura 3.97- Relação dos valores de compressão Uniaxial dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial e os valores estabelecidos pela norma ASTM e sugerido por Frazão & Farjallat.

Os tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial possuem resistência a compressão simples abaixo dos limites estabelecido pela norma ASTM C-170 e muito próximos ao limite sugerido por Frazão & Farjallat (1995). (tabela 3.12 e figura 3.97). Portanto, não devem ser utilizados em pisos.

O tipo Rosado é o que possui maior inequigranularidade, conforme diagnóstico textural-granulométrico (vide tabela 3.4), o que se reflete no mais baixo valor obtido.

3.6- ENSAIO CONGELAMENTO/ DEGELO ASSOCIADO À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Na tabela 3.13 verificam-se os resultados dos valores médios de compressão uniaxial do “granito” Marrom Imperial antes e após sofrer variações bruscas de temperatura (-15° C e 30° C), coeficiente de enfraquecimento e a variação da resistência.

Na figura 3.98 encontra-se a relação dos valores de congelamento/ degelo associado à compressão uniaxial simples.

Tabela 3.13- Valores médios da compressão uniaxial na condição seca, antes e após o ensaio congelamento/ degelo, coeficiente de enfraquecimento (K) e a variação da resistência.

“Granito” Marrom Imperial	σ Condição Seca	σ Após congelamento/degelo	Coeficiente de enfraquecimento (K)	Variação da Resistência (%)
Tradicional	89,3 MPa	74,3 MPa	0,83	- 17
Escuro	99,3 MPa	66 MPa	0,66	- 34
Rosado	66 MPa	64,3 MPa	0,97	- 3

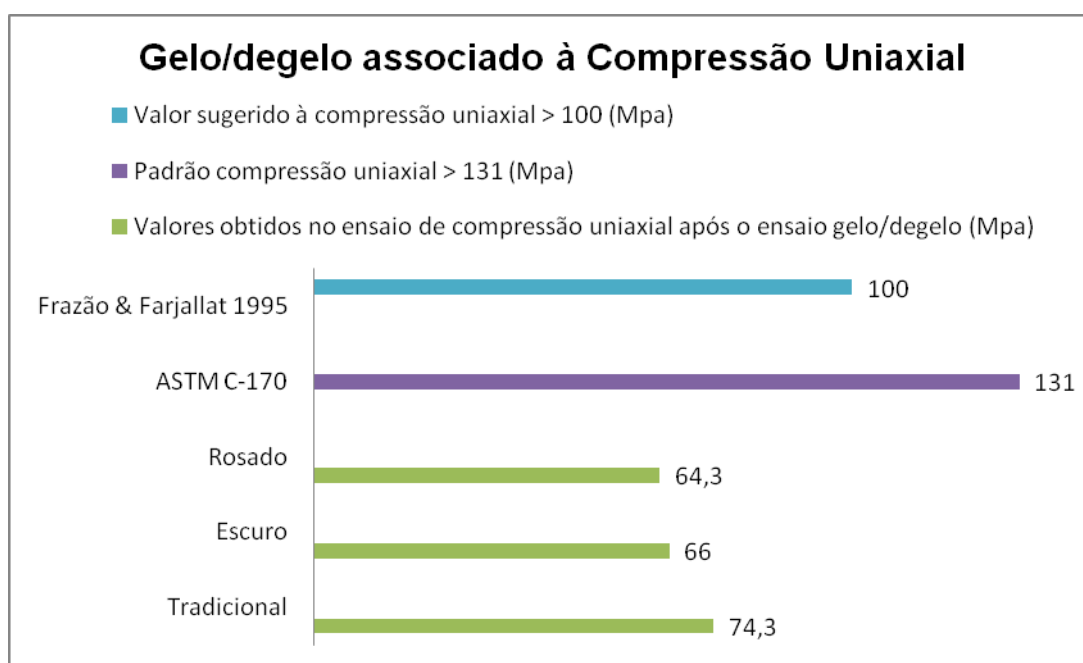


Figura 3.98- Relação dos valores de congelamento/ degelo associado à compressão uniaxial simples dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.

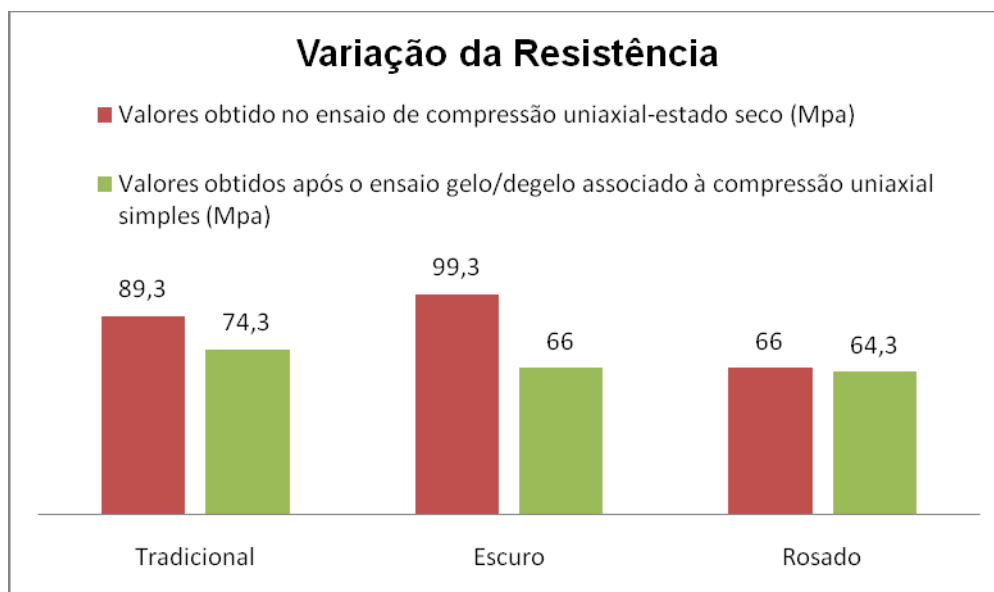


Figura 3.99- Representação gráfica da variação da resistência após o ensaio gelo/degelo.

Os resultados apresentados na tabela 3.13 e na figura 3.99 indicam que o GMI tipo Rosado demonstrou apesar de ser o tipo mais microfissurado, uma variação muito pequena da resistência de apenas 3%, porém continua sendo classificado como o tipo comercial menos resistente. O tipo Escuro foi o que mais variou com a mudança brusca da temperatura, reduziu em 34 % a sua resistência. Observaram-se a liberação de inúmeros fragmentos milimétricos de biotita e anfibólios, resultantes em acentuação da porosidade. De modo análogo, embora em menor quantidade, observação similar no tipo Tradicional aponta para a influência do conteúdo em minerais acessórios máficos nesta variação de resistências. Para melhor compreensão sugere-se que ao serem saturados em água, sofreram expansão estimulada pela presença de clivagem e consequente remoção.

Oportuno enfatizar que os tipos comerciais estudados não se enquadram nas referências da ASTM nem nas sugeridas por Frazão e Farjallat (1995), (figura 3.98). Portanto, devem ser utilizados com algumas restrições em ambientes de clima temperado.

3.7- DESGASTE AMSLER

Os resultados dos valores médios do desgaste *Amsler* estão expostos na tabela 3.14 e representados na figura 3.100.

Tabela 3.14- Valores médios do desgaste *Amsler* dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.

“Granito” Marrom Imperial	Desgaste (500 metros)	Desgaste (1000 metros)
Tradicional	0,39 mm	0,93 mm
Escuro	0,42 mm	0,99 mm
Rosado	0,38 mm	0,82 mm

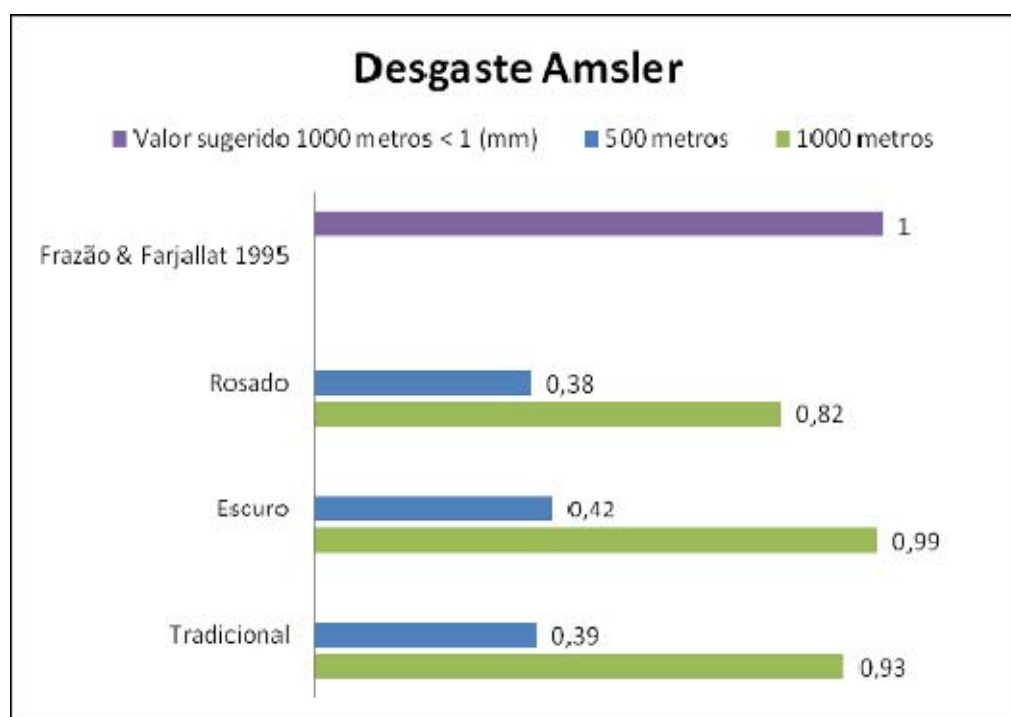


Figura 3.100- Relação dos valores médios do desgaste abrasivo *Amsler* dos tipos comerciais do “granito” marrom Imperial e o sugerido por Frazão & Farjallat.

Para o ensaio de desgaste por abrasão, a norma ASTM C-615 (1992) não especifica limites. O limite estabelecido por Frazão & Farjallat (1995) para as rochas silicáticas serem consideradas de boa qualidade é $\leq 1,0$ mm.

Ambos os tipos do “granito” Marrom Imperial ficaram muito próximos ao limite sugerido por Frazão & Farjallat (op.cit.). O tipo escuro apresentou um desgaste abrasivo de 0,99 mm; o tipo tradicional atingiu valores de 0,93 mm e o rosado 0,82 mm. (tabela 3.14 e figura 3.100). A explicação mais plausível aos valores encontrados se deve à

inequigranularidade mais acentuada no tipo Rosado. Logo, recomenda-se não aplicá-los em áreas de tráfego intenso, apenas em moderado ou baixo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES

Os ensaios de alterabilidade química através da utilização de insumos/ reagentes de limpeza doméstica/ industrial propiciaram uma avaliação prévia dos processos de deterioração que podem afetar rochas ornamentais aplicadas em ambientes internos, como pisos, pias, bancadas, etc. Os três tipos comerciais do GMI apresentaram comportamentos análogos frente aos insumos/ reagentes, fato este que se apresenta em consonância com suas propriedades químicas, mineralógicas e texturais. As alterações superficiais se tornaram notórias após o 30º dia de ataque, principalmente no tocante aos ácidos, sais e base fortes, que foram os mais “agressivos” à superfície das placa polidas. O insumo multiuso com álcool foi o que menos reduziu o brilho das mesmas, devido a sua alta taxa de evaporação, minimizando o seu tempo de contato com a rocha.

A análise petrográfica dos minerais após ataque confirmou que os minerais máficos (piroxênios e anfibólios) foram os mais vulneráveis, sendo os primeiros a se alterarem. Dentre os félsicos, os plagioclásios foram menos resistentes, assim também como os intercrescimentos pertíticos e antipertíticos. Esses minerais foram parcialmente ou totalmente dissolvidos e/ou oxidados, com evidências de provável precipitação de minerais secundários.

O ensaio químico associado à petrografia permitiu estabelecer uma ordem de alterabilidade para os tipos comerciais do GMI. O tipo Escuro apresenta-se como o mais susceptível, seguido pelo tipo Tradicional, sendo o menos susceptível o tipo Rosado. Este último, explicado pela maior quantidade de feldspato potássico, menor quantidade de minerais ferromagnesianos e pela maior inequigranularidade, portanto, com menor superfície específica e logo, menos alterável.

As determinações de brilho, antes e após o ataque indicaram que a perda do brilho não ultrapassou 15 %. Em relação à área superficial da placa, a alteração foi de até 35 %.

Os ensaios mecânicos revelaram que a porosidade não se mostrou como fator preponderante aos processos de alterabilidade, uma vez que o menos poroso apresentou-se com a maior susceptibilidade à ação dos insumos/ reagentes. Os valores obtidos nos

ensaios de Compressão Uniaxial Simples, Gelo/degelo associado à Compressão Uniaxial Simples e Desgaste *Amsler* estão abaixo dos limites estabelecidos pela norma ASTM e/ ou muito próximos ao sugerido por Frazão & Farjallat (1995), portanto, os GMI não devem ser aplicados em pisos e, em áreas com alta trafegabilidade de pessoas.

O tipo Escuro, apesar de menos microfissurado, menos poroso e o que absorve menos água, apresenta-se como o mais susceptível à alterabilidade química, devido principalmente à maior quantidade de minerais ferromagnesianos em sua composição e, também por ser o menos inequigranular. O tipo Rosado é o mais poroso, absorve mais água e também é o mais microfissurado, porém não é o mais susceptível à alterabilidade química, por conter predominância de feldspato potássico. O tipo Tradicional inúmeras vezes se destacou como o segundo tipo comercial mais agredido, tanto no ensaio de alterabilidade química quanto nos ensaios físicos/ mecânicos devido apresentar quantidade significativas de microfissuras e consideráveis proporções de minerais ferromagnesianos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.
www.abirochas.com.br, acesso no primeiro semestre de 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (NBR 12763). Rochas para revestimento - Determinação da resistência à flexão. 1992. 3 p.

_____. (NBR 12767). Rochas para revestimento – Determinação da resistência à compressão uniaxial. 1992. 2 p.

_____. (NBR 12766). Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água. 1992. 2 p.

_____. (NBR 12042). Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão. 1992.

_____. NBR 13.818: Anexo H: normativo. 1997- *Determinação da resistência ao ataque químico*.

_____. (NBR 13818). Placas cerâmicas para revestimento. Especificação e métodos de ensaio. Anexo H. Determinação da resistência ao ataque químico. 1997.

ABNT, NBR 5674: *Manutenção de edificações* – Procedimento. Rio de Janeiro.

Aires-Barros, L. 1991. *Alteração e Alterabilidade de Rochas*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Inst. Nac. de Investigação Científica. 384p.

Aires-Barros, L. 2001. *As rochas dos monumentos portugueses. Tipologias e patologias*. Lisboa: Min. Cultura, Inst. Port. Patrim. Arquitetônico. 535 p.

Alberto Cruz, António de Assunção; António |Augusto Casal, António Manuel Esteves; Cristina Isabel de Carvalho; João Manuel Ramos; Nelson Calvino de Almeida; Vítor Mestre, 2006. *Manual da Pedra Natural Para a Arquitectura*, Divisão Geral de Geologia e Energia, Lisboa.

Alencar, C.R.A.; Caranassios, A. & Carvalho, D. – 1996 - *Tecnologias de Lavra e Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Estudo Econômico sobre Rochas Ornamentais*, vol. 3, Federação das Indústrias do Estado do Ceará, Instituto Euvaldo Lodi – IEL/CE, p. 225.

Artur, A. C.; Meyer, A. P.; Wernick, E. 2001- *Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização*. In: Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, I Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2, 2001, Salvador, Anais. Salvador: Museu Geológico da Bahia. p. 13-19.

ASTM, 1992. – *American Society for Testing and Materials (C-615). Standard specification for granite dimension stone*. 2p.

ASTM, 2001- American Society for Testing and Materials. C119/01. *Standard terminology relating to dimension stone*.

Becerra Becerra, J. E. (2003). “*Alterabilidade de rochas com aplicação ornamental: procedimentos analíticos para avaliação*”. Dissertação de Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada. IGC-UFMG. 117 p.

Bezerra de Melo, E & Costa, F. M.O. 2002. *Escolha de tipos texturais de rochas e sua aplicação ornamental*. In: Simp. Rochas Ornamentais do Nordeste, 3, Recife, Anais, 3: 9p.

Bezerra de Melo, E & Costa, F. M.O. 2005 - *Pesquisa Geológica de Detalhes em Jazidas de Rochas Ornamentais*. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 5, Recife. Anais Mesas Plenárias. SBG, 2005. P. 230-243.

Caruzo, L.G.; Farjallat, J.E.S.; Taioli, F.- *Os mármore e granitos brasileiros: seu uso e suas características tecnológicas*. Rochas de Qualidade, São Paulo n.47, p.69-74, 1978.

Chiodi Filho, CID. 1995. *Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais*. Rio de Janeiro: CNPq/CETEM. Série Estudos e Documentos, V.28. 75p.

Chiodi, C. F. & Rodrigues, E. P. 1997. *Indicadores de alterabilidade para rochas silicáticas e carbonáticas em revestimentos*. Rev. Rocha e Equipamentos, 70-84.

Chiodi Filho, C.F. 2002 - *Caracterização tecnológica das rochas ornamentais e de revestimento*. 2ª. In Revista Pedras do Brasil nº8 (Novembro), 16-17p.

Chiossi, N. J. 1979- *Geologia Aplicada a Engenharia*. São Paulo. Catálogo dos Granitos de Pernambuco – Rochas para Revestimento.

Dana, J. D. (1983)- *Manual de mineralogia*. Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 642p.

Deer, Howie & Zussman. 1966- *An Introduction to the Rock Forming Minerals*.

Duarte, M. C. A. O. 2003- *Características físico-mecânicas de rochas ornamentais portuguesas*. Relatório de estágio – Licenciatura em Engenharia Geológica. Universidade Nova de Lisboa, 54 p.

Flain, Eleana P. 1997- *Recomendações para revestimentos de fachadas de rochas ornamentais*. São Paulo: Rochas de Qualidade. n. 132, p. 76-92,

Flain, Eleana Patta. 1975 - *Tecnologia de produção de revestimento de fachadas de edifícios com placas pétreas*. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Engenharia, São Paulo.

Frasca, M.H.B.O. 2001. *Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade*. In: Simp. Bras. de Rochas Ornamentais, 2, Salvador, *Anais*, 128-135.

Frasca, M.H.B.O. 2003- *Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento*. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 264p.

Frazão, E. B., Farjallat, J. E. S. 1995 - *Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento*. I Congr. Intern. de Pedra Natural. Lisboa. 1: 47-58.

Guimarães, I.P. 1989 - *The Petrological Evolution and Tectonic Association of the Bom Jardim Complex, Pernambuco State, NE. Brazil*. Inglaterra. 424 p. (Tese de Doutorado, Imperial College).

Guimarães, I.P. & Silva, A.F. 1992 - *Evolução Petroológica e Geoquímica do Complexo Bom Jardim, Pernambuco*. In Revista Brasileira de Geociências, vol.22 (Março), 14 p.

Maranhão, F. L. 2002. - *Patologias em Revestimentos Aderentes com Placas de Rochas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 165 f.

Mendes, V.A., Paiva, I.P., Filho, A.F.S. et. al, 2002. *Condicionamento Geológico das Ocorrências de Rochas Ornamentais das Folhas Garanhuns e Belém do São Francisco*. IIIº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife –PE.

Navarro, F.C. 1998 - *Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico*. In: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2, , Montevideu, Actas... Montevideu, 1998, p. 103-107.

Ribeiro W.J.M. 2011- *Estudo comparativo de alterabilidade acelerada de três fácies comerciais do sienito Marrom Imperial*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral. Universidade Federal de Pernambuco, 129 p.

Rodrigues E.P.; Coutinho, J.M.V., Chiodi Filho, C. 1996 - *Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental*. São Paulo: Rochas de Qualidade. n. 127, p. 80-84.

Rolim Filho, J. L.; Souza, J.C.; Barbosa, B.L.; Barros, M.C.; Oliveira, F.M.C. 2002. *Avaliação dos procedimentos de ensaios para caracterização de rochas ornamentais*. In: Simp. Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, *Anais* 3: 79-83.

Santos, Antônio Manoel e Brito, Sérgio Nertan Alves. - *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, 1998;

Sial, Alcides Nóbrega. 1984 - *Petrologia Ígnea*. Salvador,

Souza, V.C, Souza, J.C. & Rolim Filho, J.L. 2008 - *Diagnóstico do setor de rochas ornamentais e de revestimentos do estado de Pernambuco*. In: Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Rio Grande do Norte, P. 226-236.

Vidal, Francisco Wilson Hollanda; Bessa, Maria de Fátima; Lima, Maria Angélica Batista. 1999 - *Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas*. Rio de Janeiro: CETEM/ MCT. Série Tecnológica Mineral. V.74. 30 p.