

6. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS – ROCHAS

6.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

A caracterização física consistiu na determinação da massa específica seca aparente, da massa específica saturada aparente, da porosidade aparente e da capacidade absorção d'água aparente para as duas rochas estudadas. As determinações foram efetuadas a cada sete ciclos (ciclagem água – estufa), a fim de acompanhar as variações apresentadas pelas rochas. Os resultados demonstram que o intemperismo atuante na rocha modifica completamente suas características físicas. Este resultado é significativo, na medida em que, sua variação possui forte influência sobre as propriedades mecânicas (resistência e deformabilidade) e de permeabilidade da rocha.

Este ensaio teve início com 10 amostras, de acordo com a exigência da norma NBR-12766 (Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente), porém no decorrer do ensaio alguns corpos de prova passavam a um estado de alteração tão intenso que se quebraram, impossibilitando seu manuseio de forma confiável e saindo das exigências da Norma. Nestes casos, as amostras foram sendo descartadas na medida em que atingiam este estado. Este procedimento influenciou o resultado final observado, uma vez que justamente as amostras mais representativas da alteração foram descartadas.

Considerando que todas as amostras de rocha utilizadas para início dos ensaios estavam levemente intemperizadas, ou seja, pertenciam à classe II (ISRM), pode-se analisá-las de maneira comparativa.

Para isto, utilizou-se a “*Relação de Interdependência*”. Esta escala expressa de forma numérica o quanto o conjunto de índices físicos de uma determinada amostra alterou em relação à outra.

Para sua obtenção utilizou-se as formulações apresentadas nas equações 1 e 2, sendo que, quanto maior for o Índice de Interdependência, maior vulnerabilidade relativa à alteração intempérica a rocha possui.

Esta relação pode ser observada no item 6.10 desta tese.

6.1.1. FILITO SERICÍTICO

As amostras utilizadas neste ensaio obtidas em furos de sondagem rotativa apresentam-se visualmente na classe II (levemente intemperizada). A Tabela 6.1 mostra os índices físicos determinados para este material.

Tabela 6.1: Ensaio de caracterização física para o filito sericítico (Sond. Rotativa).

Amostra Classe II	ρ_{seco} (g/cm³)	ρ_{sat} (g/cm³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção Aparente (%)
	2,34	2,50	15,98	6,85

Para as amostras obtidas nos taludes, realizou-se, também, os ensaios de caracterização física, com a finalidade de correlacioná-las com as amostras obtidas a partir de testemunhos de sondagens, conforme Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Ensaio de caracterização física para o filito sericítico (Talude).

Amostra Classe II	ρ_{seco} (g/cm³)	ρ_{sat} (g/cm³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção Aparente (%)
	2,26	2,45	18,31	8,23

Os resultados da caracterização física realizados com a amostra obtida a partir da sondagem rotativa no decorrer dos ensaios de ciclagem em água-estufa são mostrados na Tabela 6.3 e nos Gráficos 6.1 a 6.4. Neste foram realizados um total de 120 ciclos.

Com o andamento dos ensaios, mais precisamente ao final do quadragésimo oitavo e septuagésimo sétimo ciclos, as amostras 4 e 9, respectivamente, foram descartadas devido ao fato destas se partirem e saírem das exigências da norma. Desta forma, optou-se por desconsiderar seus resultados desde o início do ensaio para que estes não influenciassem o resultado final.

Foram inseridos nestes gráficos os pontos obtidos a partir do ensaio de caracterização para amostras coletadas na face do talude.

Tabela 6.3: Parâmetros aferidos nos ensaios de caracterização física para o filito sericítico.

Nº CICLOS	γ_{seco} (g/cm³)	γ_{sat} (g/cm³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção Aparente (%)
0	2,34	2,50	15,98	6,85
7	2,29	2,47	17,81	7,88
13	2,23	2,43	20,31	9,29
20	2,22	2,43	20,49	9,40
27	2,22	2,42	20,63	9,49
35	2,20	2,41	21,06	9,75
41	2,20	2,41	21,24	9,86
48	2,20	2,41	21,35	9,90
56	2,19	2,41	21,48	9,99
61	2,19	2,41	21,58	10,04
69	2,19	2,41	21,58	10,04
77	2,16	2,38	22,38	10,56
85	2,16	2,39	23,02	10,86
90	2,13	2,37	23,68	11,31
97	2,13	2,37	23,73	11,37
104	2,13	2,37	23,86	11,42
120	2,09	2,36	25,85	12,51

Observa-se uma diminuição na massa específica seca, chegando ao final do ensaio com o valor de 2,09 g/cm³, correspondente a uma diminuição de 10,68 % em relação ao valor inicial, conforme apresentado no Gráfico 6.1.

Analisando-se com o resultado da massa específica aparente seca da amostra coletada na face do talude, Tabela 6.2, verifica-se que a amostra do talude já se encontrava com alguma alteração, aproximadamente 10 ciclos do ensaio de ciclagem artificial água-estufa, em relação à amostra do furo de sondagem.

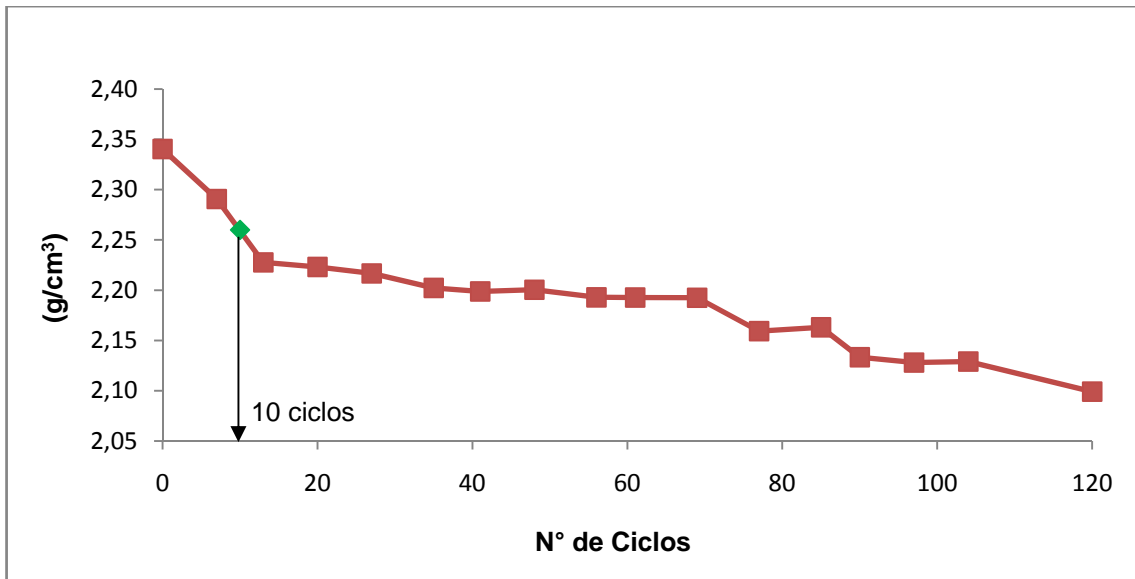


Gráfico 6.1: Variação da Massa Específica Aparente Seca para o filito sericítico, ao longo do ensaio de ciclagem água-estufa.

O mesmo acontece com a massa específica aparente saturada. Esta também possui um comportamento decrescente, chegando ao final do ensaio com o valor de 2,36 g/cm³, que corresponde a uma variação de 5,6 % a menos que o valor inicial, conforme apresentado no Gráfico 6.2.

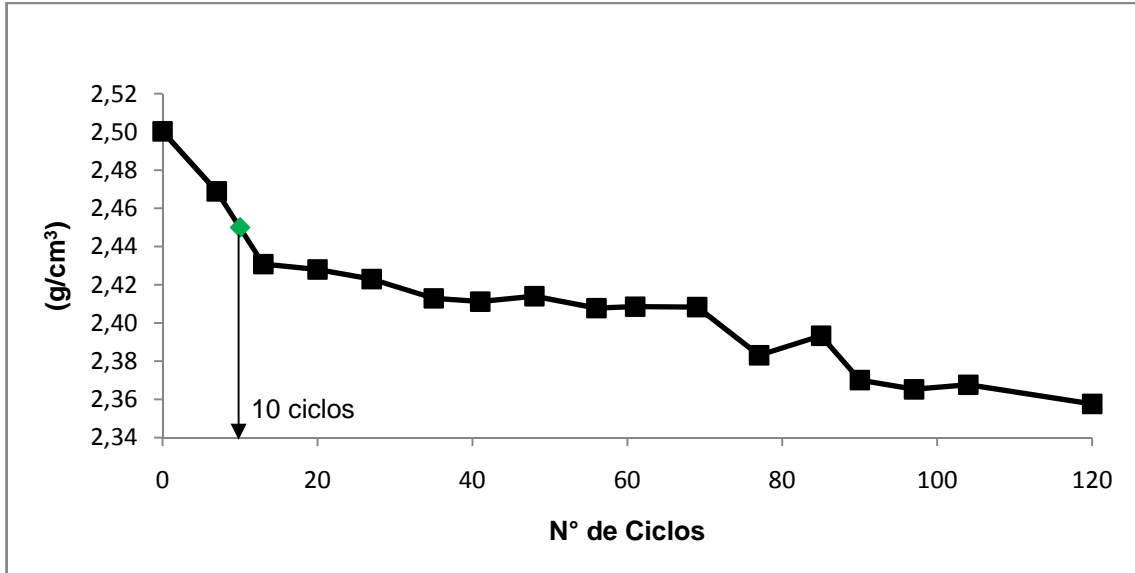


Gráfico 6.2: Variação da Massa Específica Aparente Saturada para o filito sericítico, ao longo do ensaio de ciclagem.

Novamente, a massa específica aparente saturada da amostra coletada na face do talude, se encontrava com aproximadamente 10 ciclos do ensaio água-estufa em relação à amostra do furo de sondagem, mostrando algum grau de alteração.

No caso da porosidade aparente e da absorção d'água aparente observa-se uma variação mais pronunciada nos primeiros quinze ciclos do ensaio. A partir daí o que se observou foi um aumento gradual nestes índices, chegando-se ao final dos 120 ciclos com 61,76% e 82,63%, respectivamente, de aumento com relação aos valores iniciais. Esta tendência pode ser observada nos Gráficos 6.3 e 6.4.

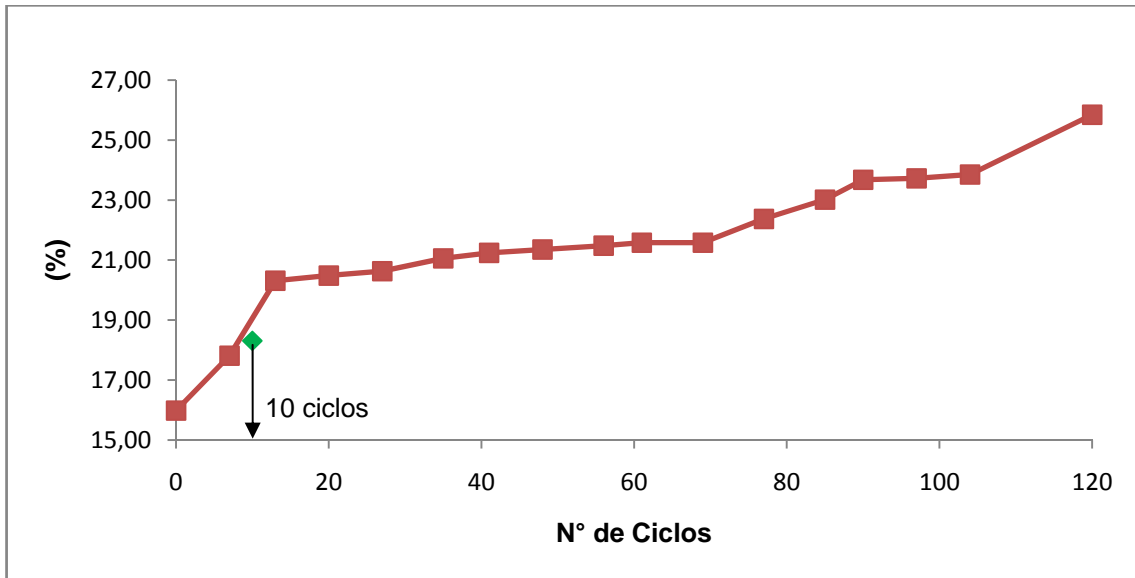


Gráfico 6.3: Variação da Porosidade Aparente para o filito sercítico, ao longo do ensaio de ciclagem.

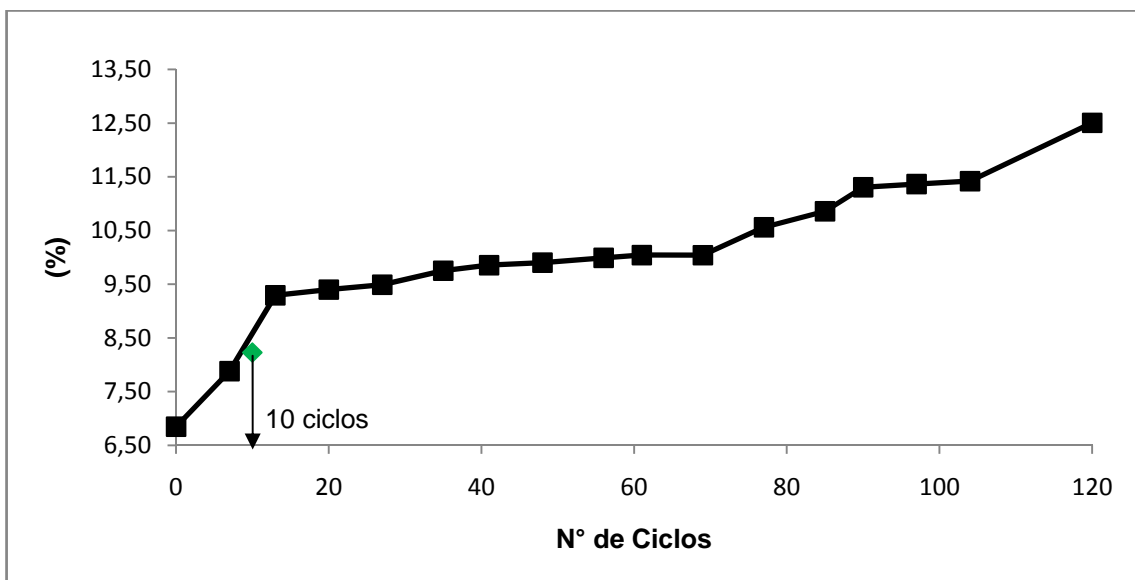


Gráfico 6.4: Variação da Absorção D'água Aparente para o filito sercítico, ao longo do ensaio de ciclagem.

Analisando-se os Gráficos 6.3 e 6.4, verifica-se que realmente a amostra coletada na face do talude encontra-se alterada, entretanto, o seu estágio de alteração ainda é pouco avançado, sendo estimado em aproximadamente 10 ciclos em relação à amostra

obtida a partir do furo de sondagem. Outra informação de interesse é que a alteração desenvolve-se mais rapidamente nos ciclos iniciais do ensaio.

6.1.2. ROCHA BÁSICA INTRUSIVA

Da mesma forma que para os filitos sericíticos, as amostras de rochas básicas intrusivas obtidas a partir de furos de sondagem rotativa, apresentavam-se visualmente na Classe II. A Tabela 6.4 mostra os índices físicos calculados para este material.

Tabela 6.4: Ensaio de caracterização física para rocha básica intrusiva.

Amostra Classe II	ρ_{seco} (g/cm³)	ρ_{sat} (g/cm³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção Aparente (%)
	3,02	3,03	1,08	0,36

Para as amostras obtidas nos taludes, os ensaios de caracterização física apresentaram os índices conforme Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Ensaio de caracterização física para a rocha básica intrusiva (Talude).

Amostra Classe III	ρ_{seco} (g/cm³)	ρ_{sat} (g/cm³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção Aparente (%)
	2,67	2,77	9,90	3,72

Os resultados da caracterização física obtidos no decorrer dos ensaios de ciclagem em água-estufa para as amostras de testemunhos de sondagem são mostrados na Tabela 6.6 e nos Gráficos 6.5 a 6.8. As amostras foram submetidas a 97 ciclos no ensaio de ciclagem água-estufa. Também foram inseridos nestes gráficos os pontos obtidos a partir do ensaio de caracterização para amostras coletadas na face dos taludes.

Percebe-se uma maior variação para massa específica aparente seca nos primeiros 20 ciclos, chegando ao final do ensaio, com uma massa específica seca de 2,97 g/cm³, correspondente a uma variação de 1,66 % a menos em relação ao valor inicial.

Analisando-se o Gráfico 6.5 e comprando-se este resultado com o valor da massa específica aparente seca da amostra coletada na face do talude observa-se que, neste caso, a amostra do talude encontrava-se em estágio de alteração muito mais avançado do que o da amostra coletada em furo de sondagem após 100 ciclos no ensaio de ciclagem água-estufa.

Tabela 6.6: Parâmetros aferidos nos ensaios de caracterização física para rocha básica intrusiva.

Nº CICLOS	γ_{seco} (g/cm ³)	γ_{sat} (g/cm ³)	Porosidade Aparente (%)	Absorção Aparente (%)
0	3,02	3,03	1,08	0,36
8	3,02	3,03	1,21	0,40
15	2,99	3,00	1,22	0,41
20	2,99	3,00	1,31	0,44
27	2,99	3,00	1,32	0,44
34	2,99	3,00	1,36	0,46
41	2,99	3,00	1,44	0,48
48	2,99	3,00	1,48	0,50
54	2,98	3,00	1,57	0,53
62	2,98	2,99	1,62	0,55
69	2,98	2,99	1,65	0,55
76	2,97	2,98	1,68	0,57
83	2,97	2,98	1,68	0,57
90	2,97	2,98	1,68	0,57
97	2,97	2,98	1,68	0,57

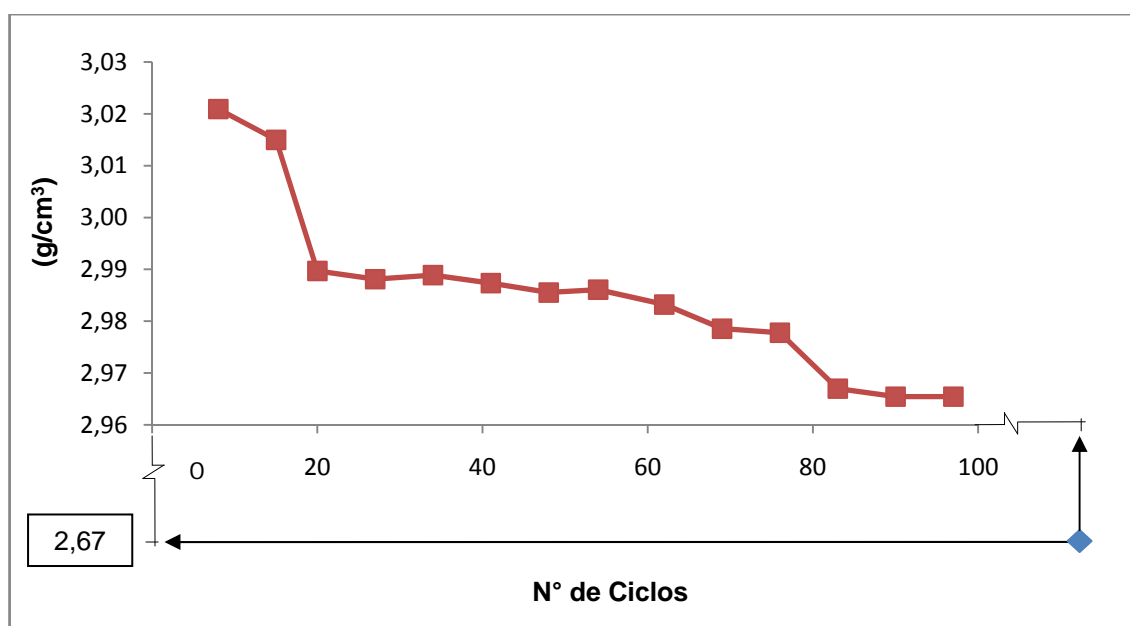


Gráfico 6.5: Variação da Massa Específica Aparente Seca para a rocha básica intrusiva, ao longo do ensaio de ciclagem.

O mesmo acontece com a massa específica aparente saturada. Esta também apresentou uma grande variação nos primeiros 20 ciclos, chegando ao final do ensaio, com uma massa específica saturada de 2,98 g/cm³, correspondente a um decréscimo

de 1,65 % em relação ao valor da amostra inicial e o valor da massa específica aparente saturada para a amostra obtida na face do talude é muito inferior à massa específica aparente saturada para amostra coletada no furo de sondagem após 100 ciclos no ensaio de ciclagem em água-estufa, conforme apresentado no Gráfico 6.6.

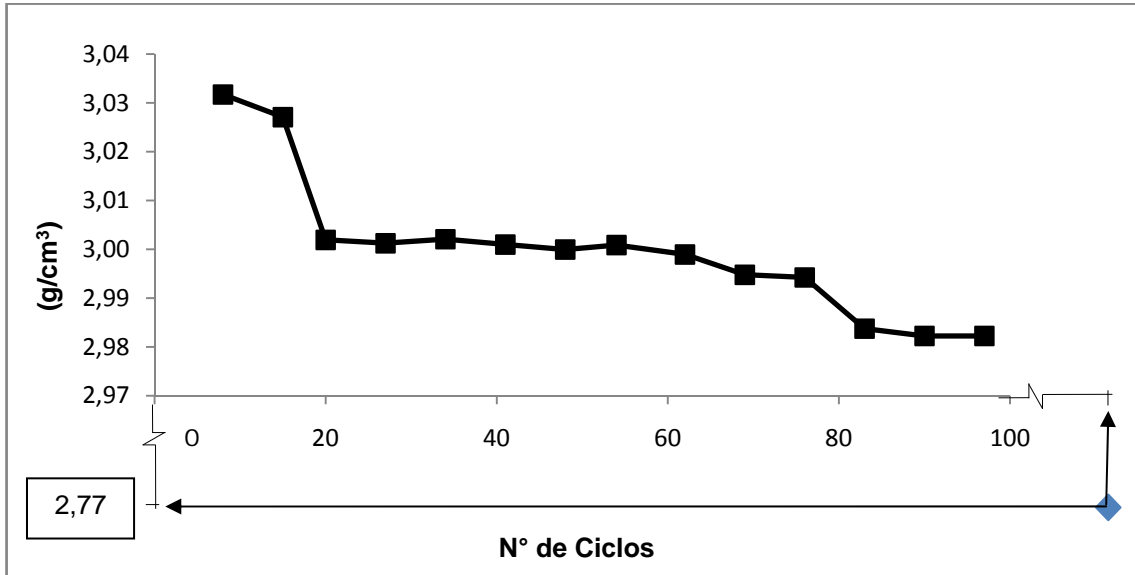


Gráfico 6.6: Variação da Massa Específica Aparente Saturada para a rocha básica intrusiva, ao longo do ensaio de ciclagem.

Também se observou uma relação direta entre a porosidade e a absorção d'água. Estas tiveram comportamentos semelhantes ao longo do ensaio, onde observa-se uma variação contínua e gradual, chegando ao final dos 97 ciclos com 55,56 % e 58,33 % de aumento em relação aos valores iniciais, respectivamente, conforme Gráficos 6.7 e 6.8.

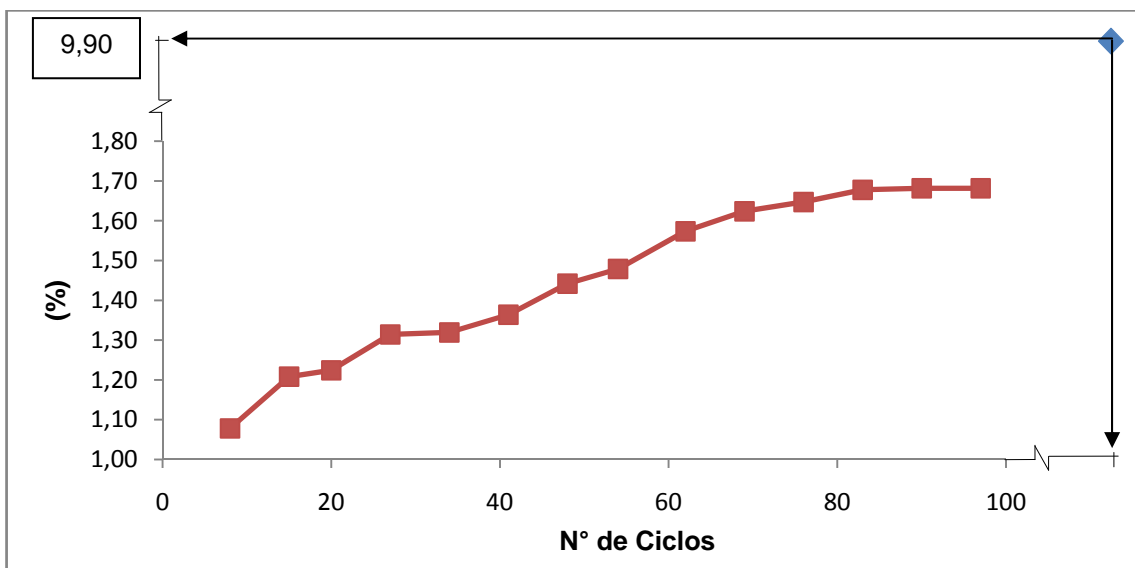


Gráfico 6.7: Variação da Porosidade Aparente para a rocha básica intrusiva, ao longo do ensaio de ciclagem.

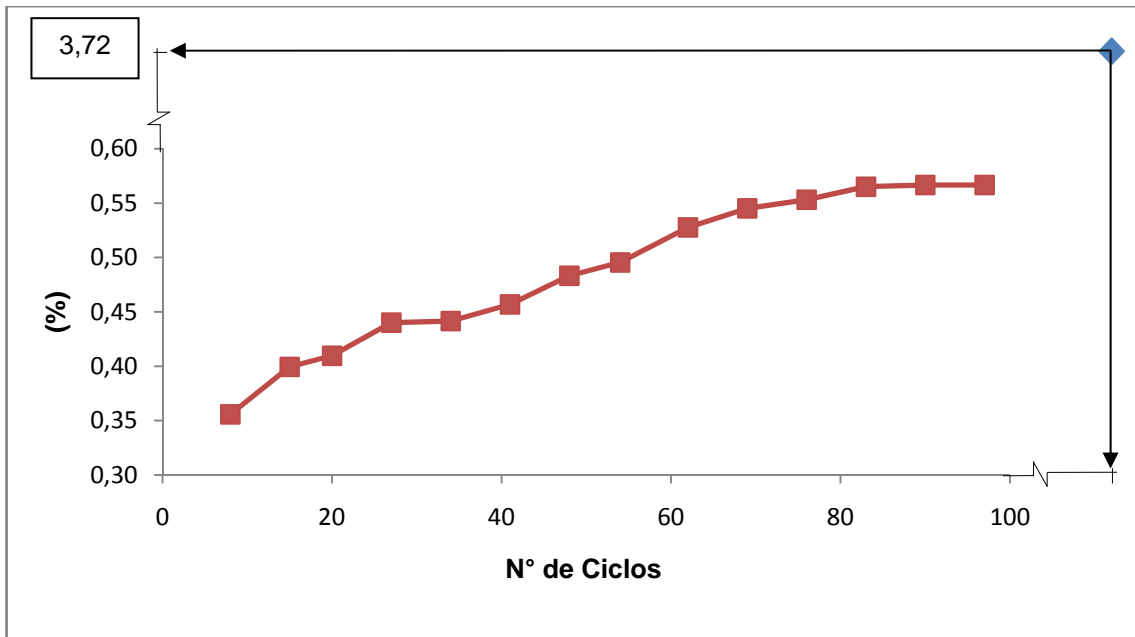


Gráfico 6.8: Variação da Absorção D'água Aparente para a rocha básica intrusiva, ao longo do ensaio de ciclagem.

De posse dos resultados supracitados, podemos observar que:

A amostra de rocha básica intrusiva coletada na face do talude encontra-se muito mais alterada do que a coletada nos furos de sondagem;

A amostra de filito sericítico coletada na face do talude encontra-se em grau de alteração próximo ao grau de alteração da rocha obtida no furo de sondagem após 10 ciclos no ensaio de ciclagem em água-estufa;

O filito sericítico, mesmo na amostra coletada no furo, já apresentava-se em estágio de alteração mais avançado que a rocha básica, uma vez que sua massa específica aparente seca e saturada é menor do que a apresentada pela rocha básica intrusiva coletada na face do talude. O mesmo é observado para porosidade aparente e absorção d'água aparente, que agora, apresentaram valores maiores.

6.2. ANÁLISE PETROGRÁFICA

Após análise realizada no Departamento de Geologia da UFRJ, onde foram analisadas duas lâminas diferentes, sendo uma de filito sericítico e outra de rocha básica intrusiva, identificadas como FS 13/85 e RBI 15/85, respectivamente, foram obtidos os resultados descritos a seguir.

Lâmina FS 13/85

Trata-se de um anfibolito máfico-ultramáfico, com características texturais de um filito. Possui granulometria muito fina, com foliação metamórfica evidente e é composto de mica branca, talco, anfibólio (forma de farpas), clorita, opacos e serpentina. O tamanho diminuto dos grãos dificulta a distinção entre as micas e os talcos.



Figura 6.1: Lâmina FS 13/85

Lâmina RBI 15/85

Trata-se de uma rocha metamórfica, derivada de uma rocha máfica, com características de um Xisto Verde. Possui mineralogia composta de mica branca, plagioclásio, epidoto, zircão, quartzo, clorita, titanita e opacos.



Figura 6.2: Lâmina RBI 15/85

6.3. DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

A identificação dos minerais pode ser feita utilizando a técnica da difração de raios – X, que é um método amplamente utilizado na identificação dos minerais. Os principais minerais encontrados podem ser identificados através da legenda da Tabela 6.7:

Tabela 6.7: Simbologia de identificação dos minerais.

Símbolo	Argilomineral	Símbolo	Argilomineral
Qz	Quartzo	Ct	Caulinita
Mi	Mica	Ol	Olivina
Fd	Feldspato	Px	Piroxênio
Gb	Gibbsita		

A seguir são apresentados nas Figuras 6.3 e 6.4, os difratogramas das amostras de filito sericítico e rocha básica intrusiva, respectivamente, para o estado anterior à ciclagem e após 100 ciclos em água-estufa. Os demais ciclos intermediários podem ser consultados em anexo A.4.

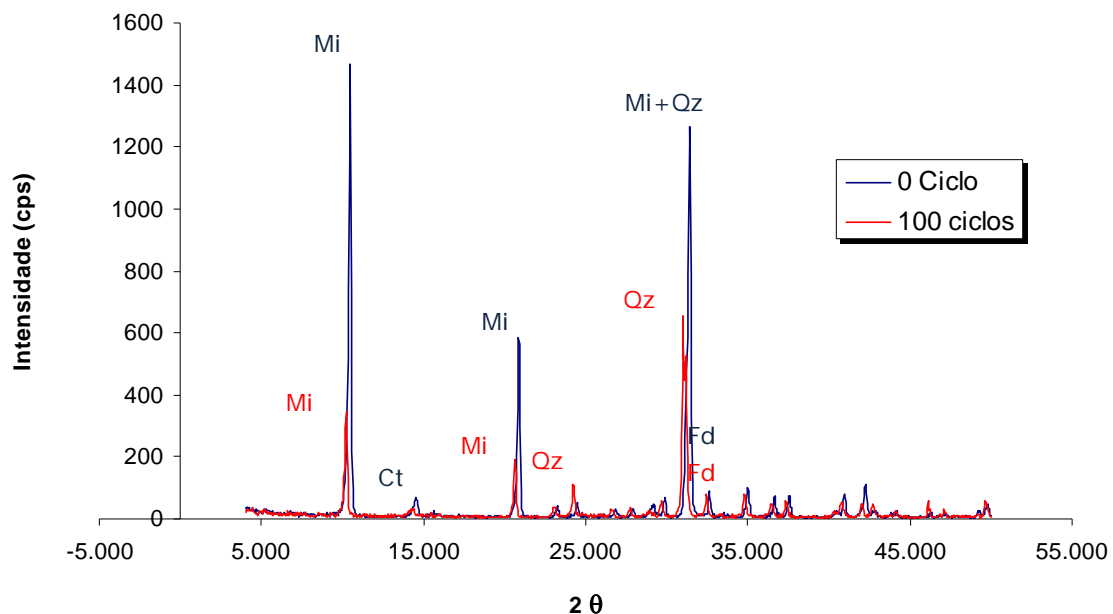


Figura 6.3: Diagrama de Raios-X referente à amostra do filito sericítico.
Radiação $K\alpha$ Co.

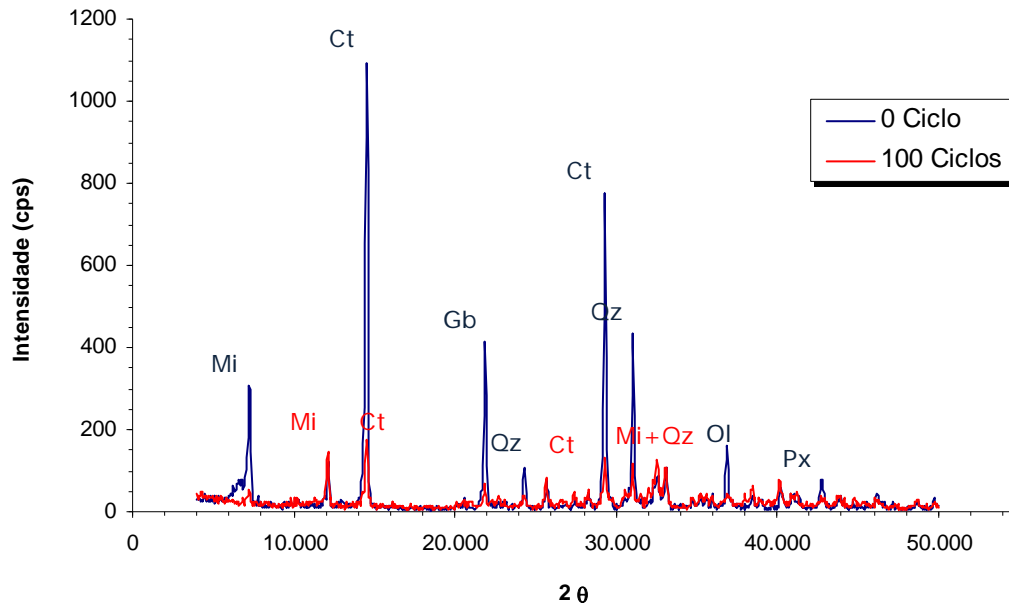


Figura 6.4: Diagrama de Raios-X referente à amostra da rocha básica intrusiva. Radiação $K\alpha$ Co.

6.4. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Filito Sericítico

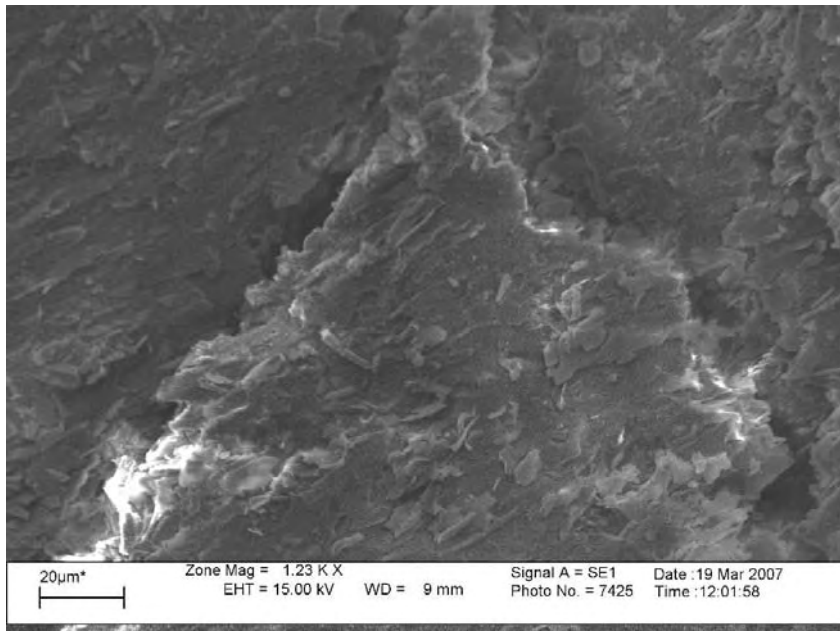


Figura 6.5: Imagem mostrando o filito anterior à ciclagem água-estufa. Observa-se a textura fina da rocha, com muitos minerais de hábito planar (micas).

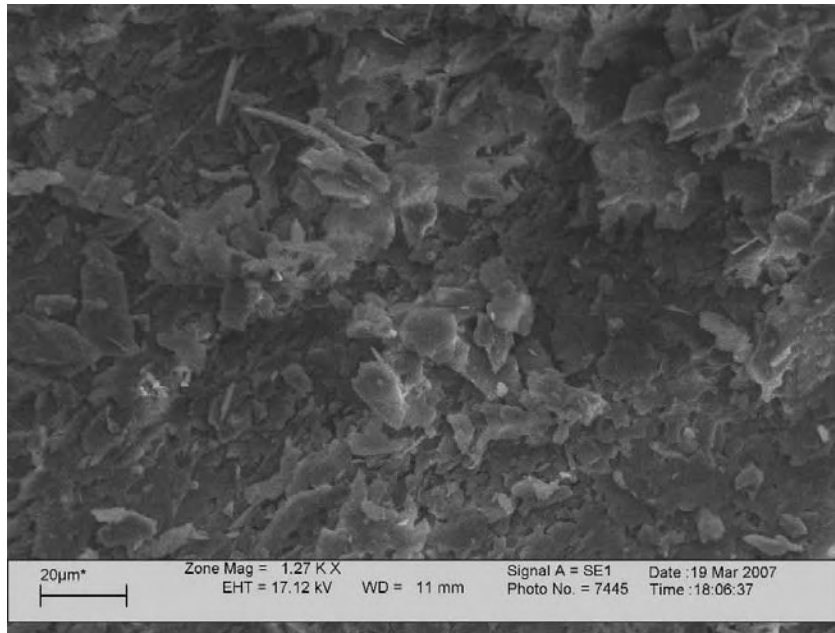


Figura 6.6: Imagem da amostra de filito após 25 ciclos em água-estufa. Nota-se uma maior fragmentação da rocha, com diversos minerais de hábito planar (micas).

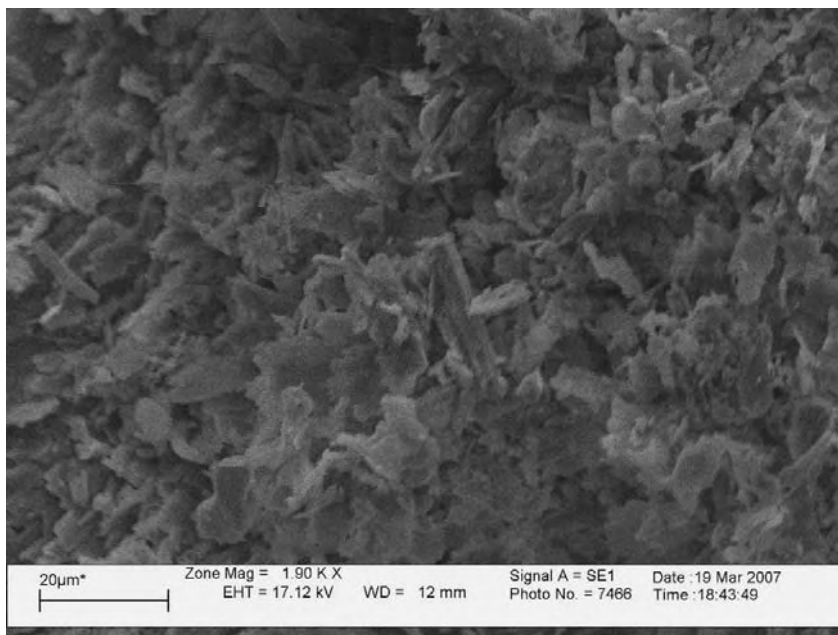


Figura 6.7: Imagem da amostra de filito após 50 ciclos de ciclagem. A fragmentação da rocha aumenta ainda mais. Não é possível observar a formação de novos minerais.

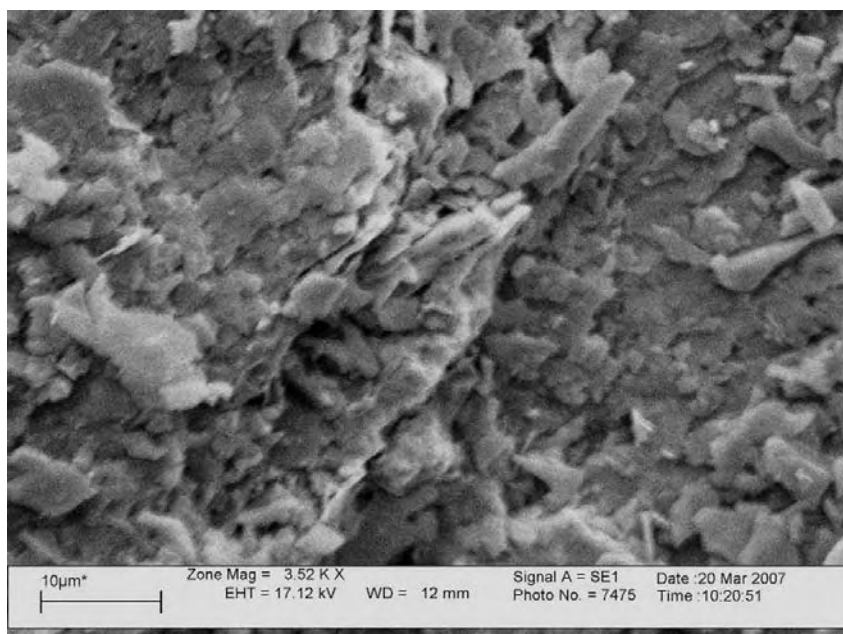


Figura 6.8: Filito após 75 ciclos. A amostra apresenta-se bastante semelhante à amostra com 50 ciclos.



Figura 6.9: Amostra de filito após 100 ciclos no ensaio de ciclagem água-estufa. É possível observar a presença de inúmeros minerais com hábito planar (micas), descoladas da matriz rochosa. Alguns aglomerados de mica mostram esfoliação.

Rocha Básica Intrusiva

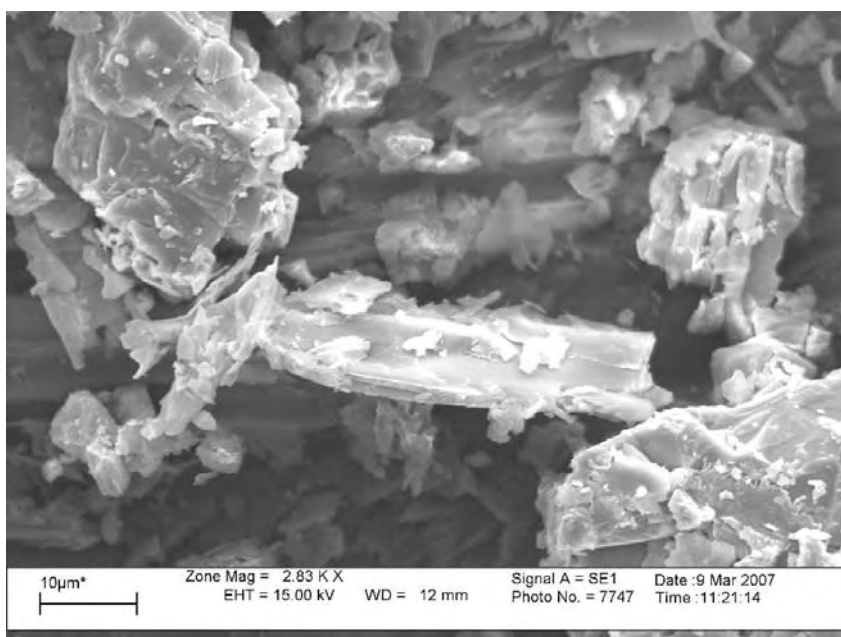


Figura 6.10: Detalhe da amostra de rocha básica sã.

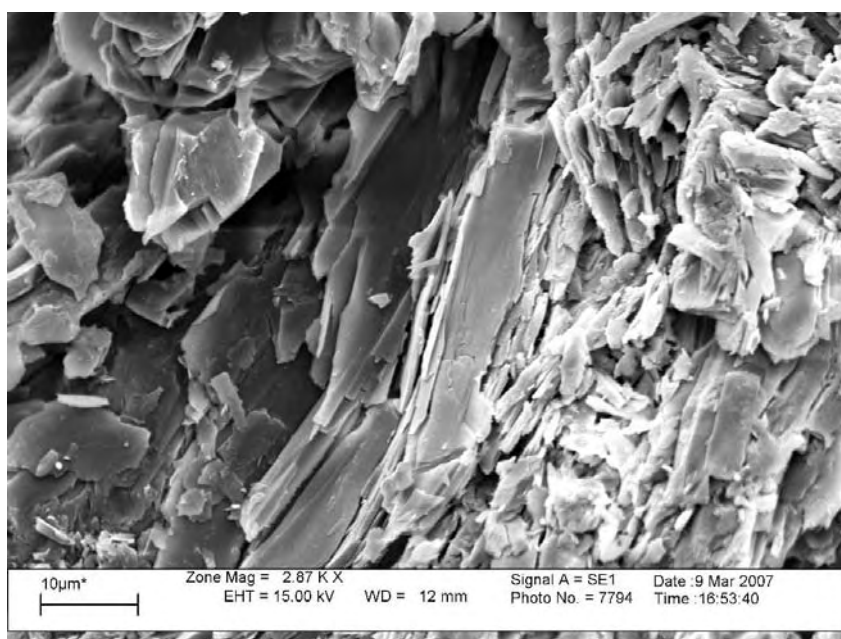


Figura 6.11: Imagem da básica intrusiva após 25 ciclos no ensaio de ciclagem água-estufa. A rocha apresenta um aspecto um pouco mais fraturado, com alguns minerais mostrando sinais de alteração intempérica na porção direita da imagem.

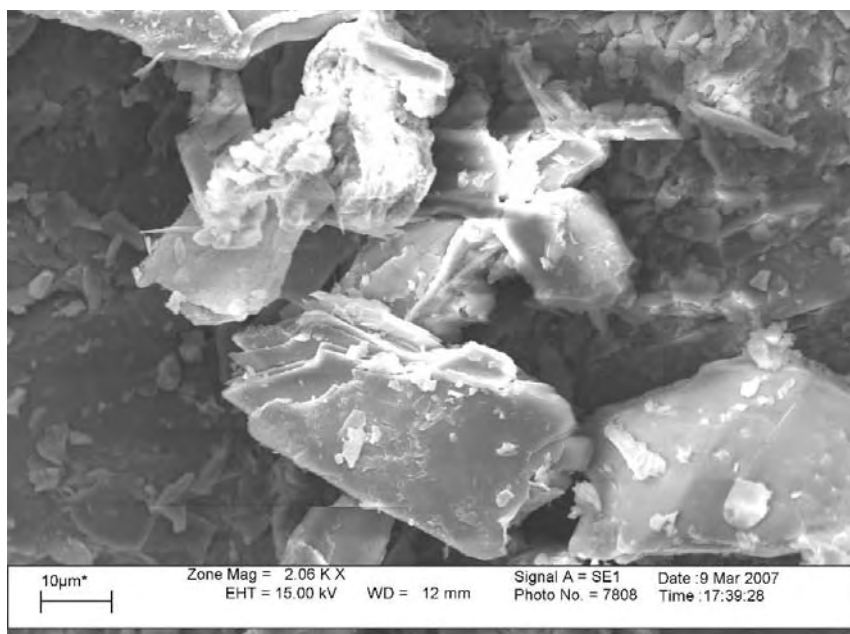


Figura 6.12: Detalhe da amostra de básica intrusiva após 50 ciclos. A amostra ainda apresenta-se visualmente muito semelhante à amostra com 25 ciclos.

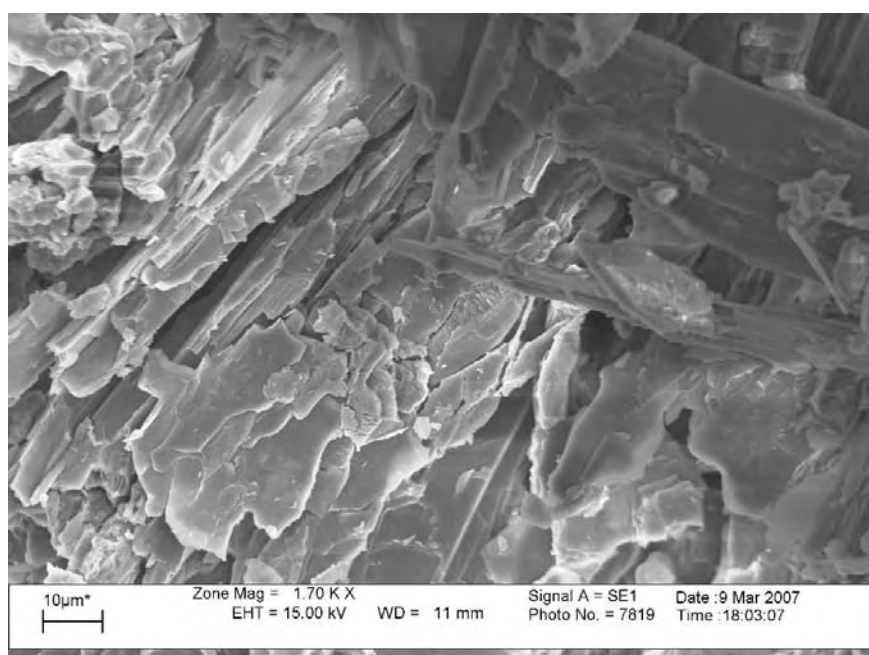


Figura 6.13: Imagem de básica intrusiva após 75 ciclos. Nota-se um intenso fraturamento dos minerais.

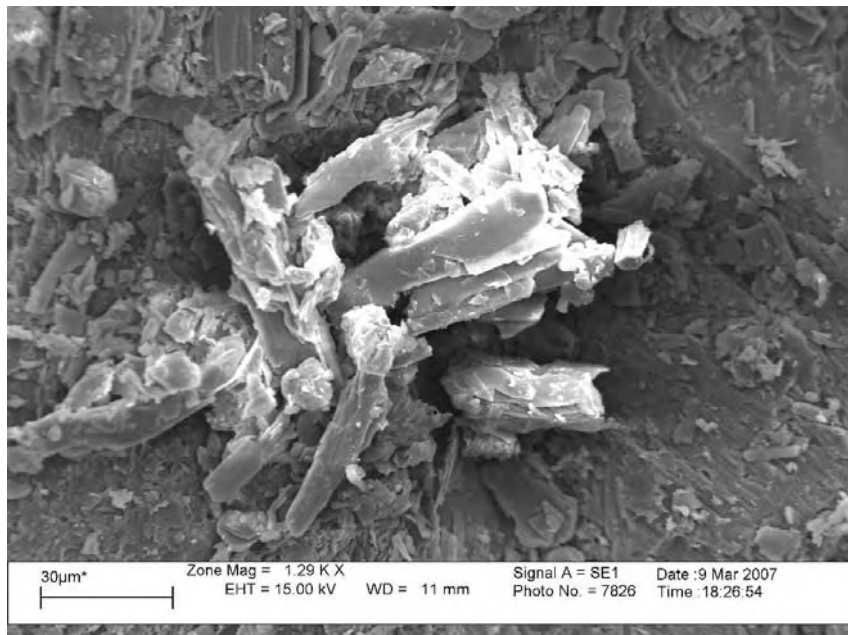


Figura 6.14: Aspecto da básica intrusiva após 100 ciclos.

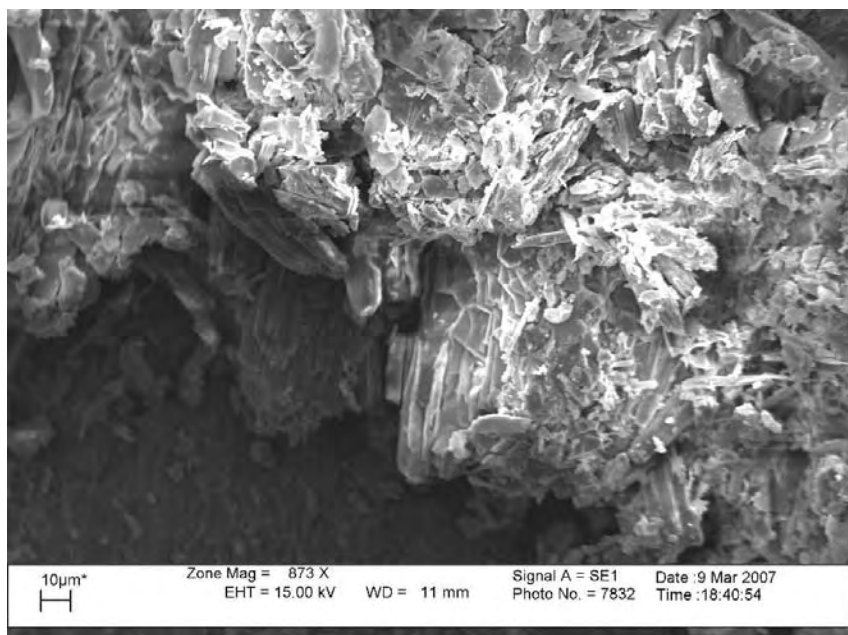


Figura 6.15: Imagem com menor detalhe da amostra de básica intrusiva após 100 ciclos. Observa-se que o aspecto da rocha encontra-se bastante modificado em relação a rocha sã. Os minerais mostram sinais de alteração intempérica e encontram-se bastante fragmentados.

6.5. CICLAGEM ARTIFICIAL EM ÁGUA-ESTUFA

Este ensaio permite verificar a resistência à alteração das amostras quando submetidas às condições de ensaio, que são constituídas por ciclos alternados de imersão em água e secagem em estufa. Desta forma, a ação intempérica é acelerada, permitindo-se caracterizar o comportamento dos materiais ensaiados ao longo do tempo..

No ensaio de ciclagem artificial água-estufa, ambos os litotipos foram submetidos à realização do ensaio de carregamento puntiforme antes do início da ciclagem e após ciclos pré-determinados para observação da variação de resistência ao longo da ciclagem.

Para efeito de esclarecimento, os termos a seguir foram empregados para caracterizar o ocorrido nas amostras ensaiadas, de acordo com a norma NBR 12696/1992.

- Desintegração – Perda da coesão dos grãos da rocha, associada, ou não, à alteração;
- Fissuração – Formação de descontinuidades em uma face do agregado;
- Rachadura – Extensão da fissuração por mais de uma dimensão do fragmento;
- Lasqueamento – Partição do fragmento através de rachaduras.

Através deste ensaio pode-se perceber tanto as alterações visuais como físicas das amostras. A seguir são mostrados os resultados deste ensaio para as rochas estudadas.

6.5.1. FILITO SERICÍTICO

Análise Qualitativa

Nos exames qualitativos percebe-se a tendência de alteração do litotipo através do desenvolvimento da cadeia de ataques sofrido pelo material em ensaio, conforme apresentado no Gráfico 6.9.

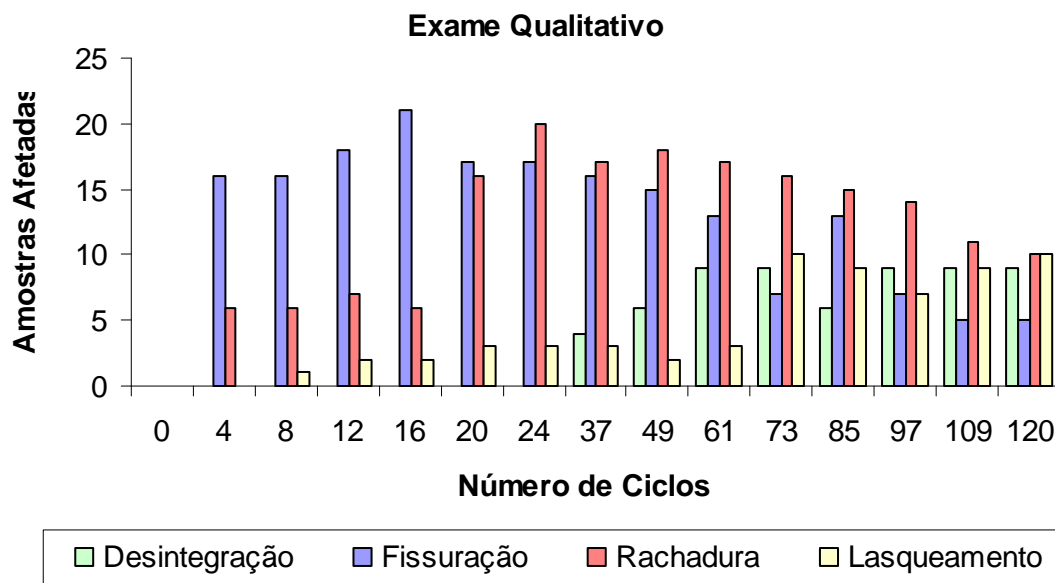


Gráfico 6.9: Composição dos ataques sofridos pelo filito sericítico ao longo do ensaio de ciclagem.

Inicialmente a fissuração é o ataque mais expressivo, como era de se esperar, visto que se trata do ataque primogênito em relação aos demais. A partir do vigésimo percebe-se um equilíbrio entre fissuração e rachadura, sendo a fissuração superada já no vigésimo quarto ciclo pela rachadura. Todavia, ambos estão presentes durante todo o processo. O lasqueamento pode ser observado a partir do oitavo ciclo e se torna mais consistente a partir do septuagésimo terceiro ciclo onde o mesmo supera a fissuração, já que se trata de um ataque secundário em relação à fissuração e à rachadura. Já a desintegração aparece no ensaio a partir do trigésimo sétimo ciclo e ganha proporções consideráveis a partir do sexagésimo primeiro ciclo. A maior frequência de desintegração ao final do ensaio mostra que o intemperismo físico fragmenta completamente a amostra, abrindo novos caminhos à percolação de água e, portanto, ao ataque químico da matriz rochosa, antes inacessível.

Já no nonagésimo sétimo ciclo, percebe-se um equilíbrio entre os ataques considerados secundários, lasqueamento e desintegração, chegando ao final dos 120 ciclos com um equilíbrio entre rachadura, lasqueamento e desintegração e diminuindo o processo de fissuração. Isso era esperado, uma vez que se está analisando sempre o mesmo espaço amostral e o processo de fissuração acontece mais intensamente no início do processo de intemperismo.

Extrapolando-se este processo para o caso de campo, acredita-se que estes ataques respeitem uma seqüência. Primeiramente acontece a fissuração, que evolui para rachadura e por fim, acontece o lasqueamento e/ou a desintegração.

Um fato importante observado neste ensaio foi que amostras com maiores dimensões apresentavam ataques de forma mais rápida e muitas vezes se deterioravam por completo. Isto se explica pelo fato de nessas amostras o processo de intemperismo físico ser mais intenso, o que aumenta a superfície específica, realimentando o processo.

Visualmente as amostras de filito sericítico apresentavam finas partículas depositadas nas superfícies, aparentemente trazidas de seu interior pela água (agente condutor). A água em contato com o material era sugada rapidamente e este processo pode ter causado fragmentação e posterior deposição.

Análise Quantitativa

O filito sericítico apresentou uma perda de massa de 39% com apenas 49 ciclos em água e estufa, chegando ao final dos 120 ciclos de ensaio com 67% de perda de massa, Tabela 6.8. Para este ensaio a massa inicial foi de 1.073,35 g e a massa final de 350,66 g. O Gráfico 6.10 a seguir mostra como se desenvolveu esta perda de massa ao longo do processo de ciclagem.

Tabela 6.8: Exames qualitativos e quantitativos realizados nos ensaios de ciclagem artificial em água-estufa para o filito sericítico.

Número de ciclos	Exame qualitativo				Exame quantitativo	
	Desinte-gração	Fissu-ração	Racha-dura	Lasque-amento	Massa (g)	Perda de massa (%)
0	0	0	0	0	1073,35	0
4	0	16	6	0	1067,11	1
8	0	16	6	1	1038,76	3
12	0	18	7	2	1028,65	4
16	0	21	6	2	975,23	9
20	0	17	16	3	917,27	15
24	0	17	20	3	894,82	17
37	4	16	17	3	812,23	24
49	6	15	18	2	655,51	39
61	9	13	17	3	618,08	42
73	9	7	16	10	553,06	48
85	6	13	15	9	495,31	54
97	9	7	14	7	447,25	58
109	9	5	11	9	391,21	64
120	9	5	10	10	350,66	67

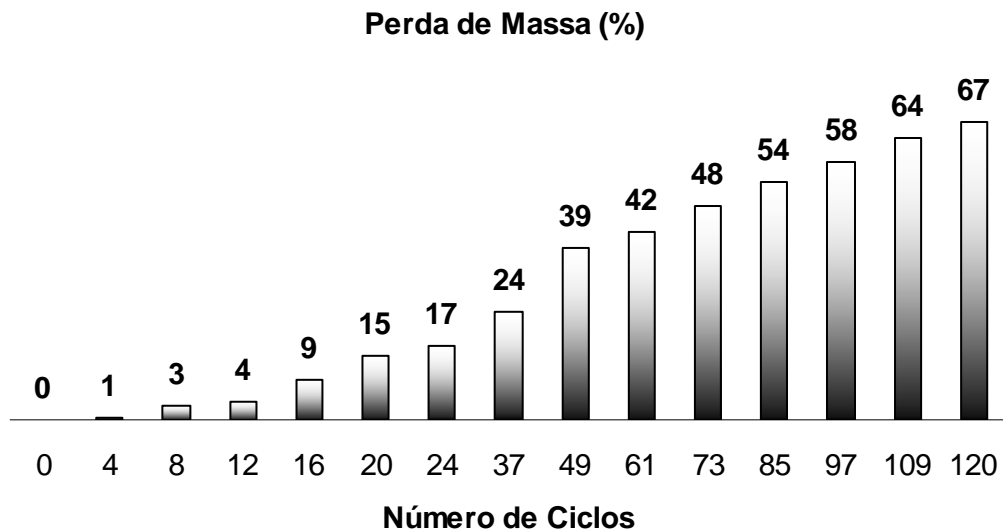


Gráfico 6.10: Composição da perda de massa sofrida pelo filito sericítico ao longo do ensaio de ciclagem.

6.5.2. ROCHA BÁSICA INTRUSIVA

Análise Qualitativa

Nos exames qualitativos observou-se um comportamento diferente em relação ao filito sericítico, embora este tenha ocorrido em pequena escala.

Percebe-se para esta rocha a tendência de alteração através do desenvolvimento da cadeia de ataques sofrido pelo material ensaiado. Todavia os ataques ocorreram em pequena escala quando comparado ao filito sericítico, conforme Gráfico 6.11.

Tem-se a fissuração como o desencadeador dos demais ataques, estando presente a partir do décimo segundo ciclo. A rachadura, em conjunto com a desintegração acontece a partir do vigésimo ciclo. A partir do quadragésimo oitavo ciclo a fissuração é superada pela rachadura. O lasqueamento, por ser um tipo de ataque que sucede à rachadura, aparece com pouco realce até o final do ensaio.

A maior frequência de rachadura e desintegração, quando comparada ao lasqueamento, confirma que o intemperismo físico fragmenta completamente a amostra, abrindo novos caminhos à percolação de água e, portanto, ao ataque químico da matriz rochosa, antes inacessível.

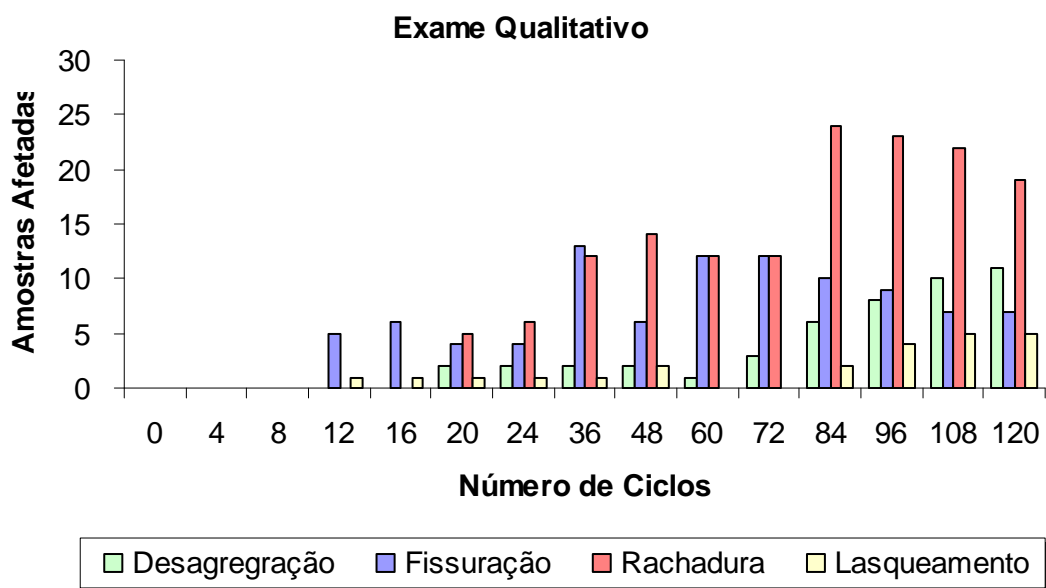


Gráfico 6.11: Composição dos ataques sofridos pela rocha básica intrusiva ao longo do ensaio de ciclagem.

Tabela 6.9: Exames qualitativos e quantitativos realizados nos ensaios de ciclagem artificial em água-estufa para a rocha básica intrusiva.

Número de ciclos	Exame qualitativo				Exame quantitativo	
	Desinte-gração	Fissu-ração	Racha-dura	Lasque-amento	Massa (g)	Perda de massa (%)
0	0	0	0	0	3089,67	0,00
4	0	0	0	0	3087,36	0,07
8	0	0	0	0	3081,73	0,26
12	0	5	0	1	3070,44	0,62
16	0	6	0	1	3064,83	0,80
20	2	4	5	1	3059,91	0,96
24	2	4	6	1	3057,51	1,04
36	2	13	12	1	3053,02	1,19
48	2	6	14	2	3044,9	1,45
60	1	12	12	0	3039,14	1,64
72	3	12	12	0	3038,74	1,65
84	6	10	24	2	3034,96	1,77
96	8	9	23	4	3030,54	1,91
108	10	7	22	5	3027,03	2,03
120	11	7	19	5	3023,45	2,14

Análise Quantitativa

Conforme apresentado na Tabela 6.9, a rocha básica intrusiva apresentou uma perda de massa de 2,14 % após os 120 ciclos do ensaio. A massa inicial utilizada neste ensaio foi de 3.089,67 g, enquanto sua massa final foi de 3.023,45 g. O Gráfico 6.12 mostra como se desenvolveu esta perda de massa ao longo do processo de ciclagem.

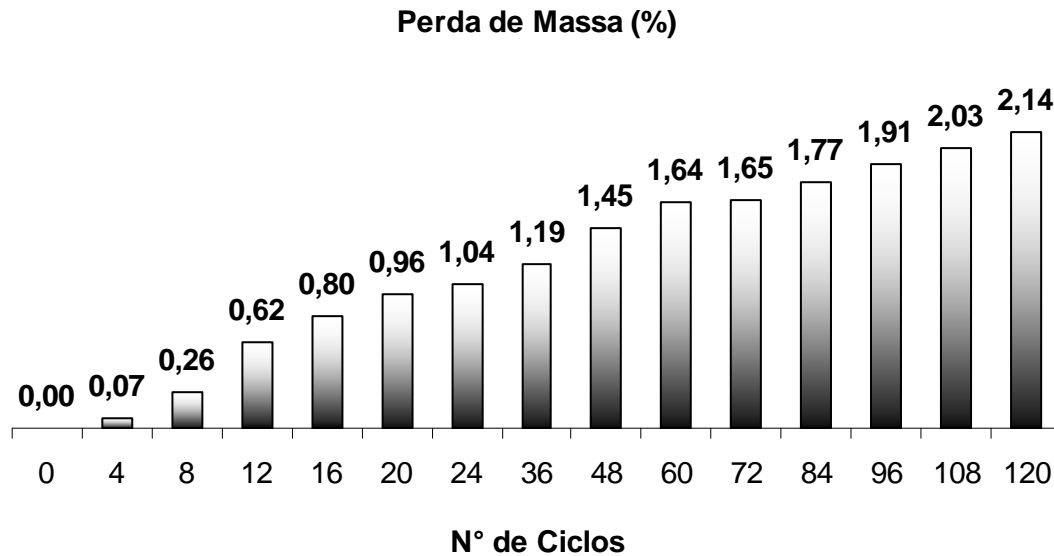


Gráfico 6.12: Composição da perda de massa sofrida pela rocha básica intrusiva ao longo do ensaio de ciclagem.

6.6. CICLAGEM ACELERADA EM ETILENOGLICOL

No ensaio de ciclagem acelerada em etilenoglicol, é o produto que reage com as argilas expansivas do grupo das montmorilonitas para formar um complexo organoargiloso de maior volume. Dependendo da quantidade e distribuição de argila expansiva e da capacidade de absorver o etilenoglicol, pode ocorrer a desintegração expansiva da amostra. Este ensaio foi realizado com amostras obtidas na face do talude.

Para o filito sericítico a absorção do etilenoglicol era visível, enquanto que para a rocha básica intrusiva, era imperceptível. Não ocorreu desintegração para nenhum dos litotipos analisados e o material inicial difere muito pouco do material final em termos de modificações físicas. A Figura 6.16 permite uma visualização da rocha básica intrusiva obtida a partir de taludes ao final do ensaio.



Figuras 6.16: Rocha Básica ao final do ensaio de ciclagem acelerada em etilenoglicol.

6.6.1. FILITO SERICÍTICO

Analisando os ciclos iniciais apresentados na Tabela 6.10, observa-se que a perda de massa ocorreu de forma mais incisiva no primeiro ciclo, registrando o valor de 27% em relação à massa inicial. A partir de então, não houve perdas significativas e os ataques também não tiveram as proporções esperadas. Acredita-se que devido ao fato do filito sericítico ser uma rocha com baixa porosidade e o etilenoglicol muito viscoso, houve uma dificuldade de penetração deste, dificultando assim a interação entre estes dois materiais.

Tabela 6.10: Exames qualitativos e quantitativos realizados nos ensaios de ciclagem acelerada em etilenoglicol para o filito sericítico.

Número de ciclos	Exame qualitativo				Exame quantitativo	
	Desintegração	Fissuração	Rachadura	Lasqueamento	Massa (g)	Perda de massa (%)
0	0	0	0	0	4226,00	0,00
1	0	1	0	1	3076,00	27
2	0	1	0	1	3066,00	27
3	0	1	0	1	3027,30	28
4	0	2	0	0	2954,00	30
5	0	2	0	2	2942,00	30
6	0	2	0	0	2876,00	32

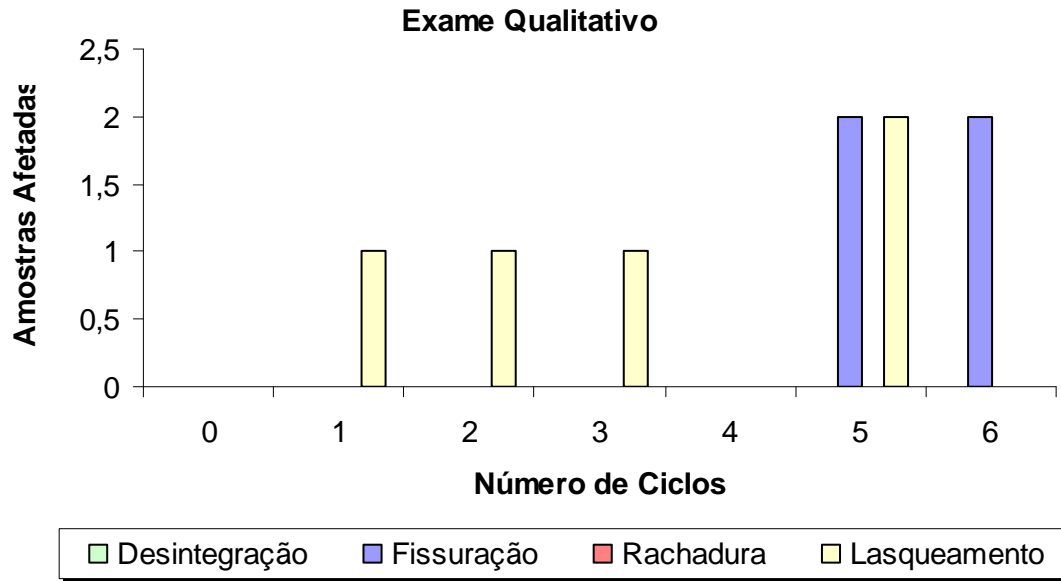


Gráfico 6.13: Composição dos ataques sofridos pelo filito sericítico ao longo do ensaio de ciclagem.

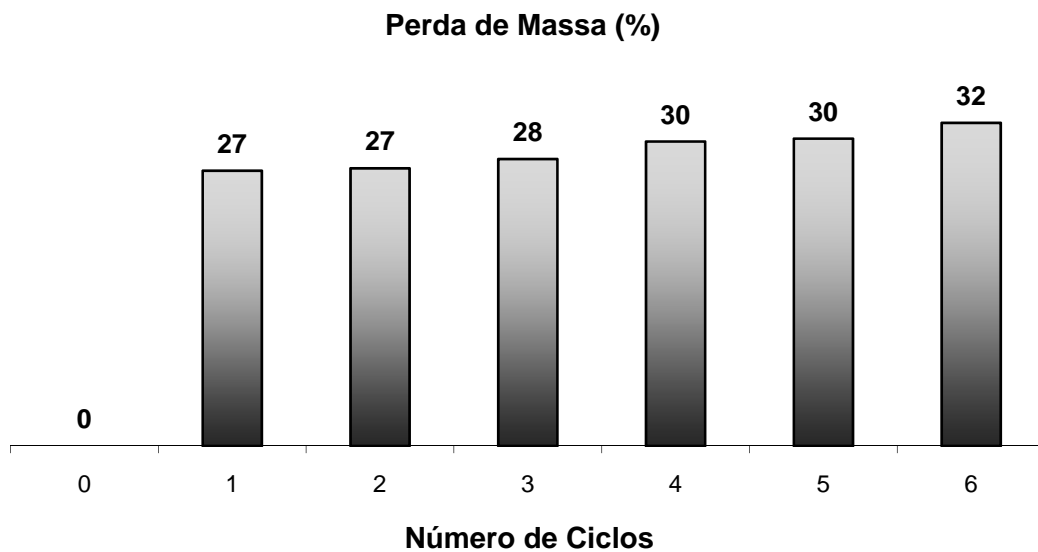


Gráfico 6.14: Composição da perda de massa sofrida pelo filito sericítico ao longo do ensaio de ciclagem.

6.6.2. ROCHA BÁSICA INTRUSIVA

Ao se analisar os ciclos iniciais, observa-se que ao invés de ocorrer uma perda de massa, ocorre um ganho de massa. Isto se deve ao fato de que o etilenoglicol não

evapora a temperaturas inferiores a 150 °C. Como a norma utilizada não apresenta nenhuma informação a respeito da temperatura a ser utilizada durante a etapa de secagem do ensaio, utilizou-se, para as amostras estudadas, a mesma temperatura recomendada ao ensaio de ciclagem água-estufa, que é de (105 ± 5) °C. Este procedimento levou ao erro apontado no Gráfico 6.15, a seguir, onde se observa que para os dois primeiros ciclos, há um ganho de massa em vez da perda esperada. Conforme apresentado na Tabela 6.11, verifica-se que este material não sofreu qualquer tipo de ataque.

Tabela 6.11: Exames qualitativos e quantitativos realizados nos ensaios de ciclagem acelerada em etilenoglicol para a rocha básica intrusiva.

Número de ciclos	Exame qualitativo				Exame quantitativo	
	Desintegração	Fissuração	Rachadura	Lasqueamento	Massa (g)	Perda de massa (%)
0	0	0	0	0	3006,99	0,00
1	0	0	0	0	3053,16	-1,54
2	0	0	0	0	3016,43	-0,31
3	0	0	0	0	2880,00	4,22
4	0	0	0	0	2888,00	3,96
5	0	0	0	0	2800,00	6,88
6	0	0	0	0	2706,00	10,01

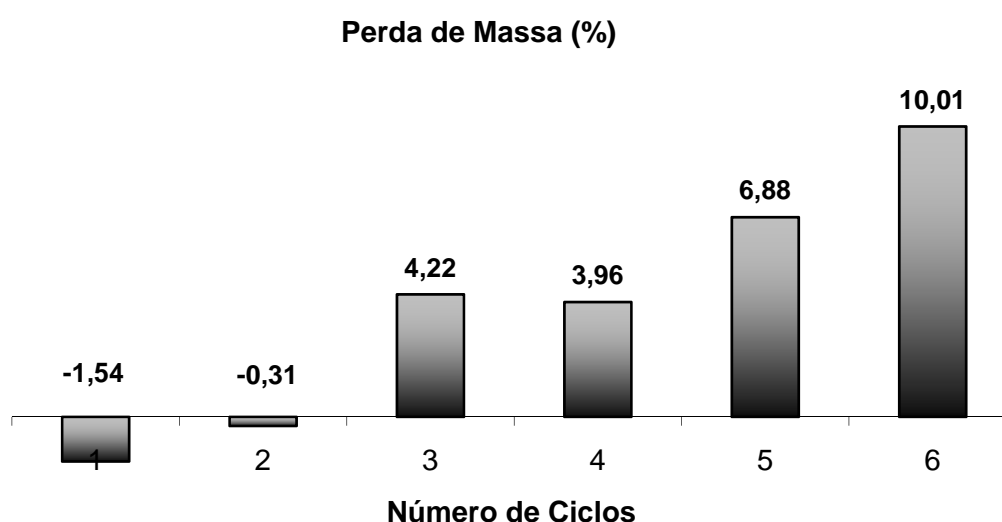


Gráfico 6.15: Composição da perda de massa sofrida pela rocha básica intrusiva ao longo do ensaio de ciclagem.

Neste ensaio observou-se, tanto para rocha básica quanto para o filito sericítico, que não é possível caracterizar a presença de argilominerais expansivos. Isto ocorre porque, segundo a norma, só é possível realizar esta análise para os dois casos extremos, em que o material não tivesse sofrido qualquer forma de ataque ou que tivesse sofrido completa desintegração.

6.7. CICLAGEM NATURAL

Para a realização do ensaio de ciclagem natural, foram preparadas apenas amostras de rocha básica intrusiva, uma vez que, não havia amostras suficientes de filito sericítico. O ensaio foi realizado na área experimental ao lado do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. O período de realização deste ensaio foi de 30 de agosto de 2004 a 30 de dezembro de 2004, num total de 120 dias, que corresponde a 120 ciclos. Abaixo, na Figura 6.17, apresenta-se a variação pluviométrica mensal durante o período do ensaio. Os exames, qualitativo e quantitativo, foram realizados no trigésimo dia de cada mês, num total de quatro exames.

Os dados pluviométricos foram obtidos a partir de um banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, em redes de estações do tipo Superfície Convencional INMET e que se encontra em operação.

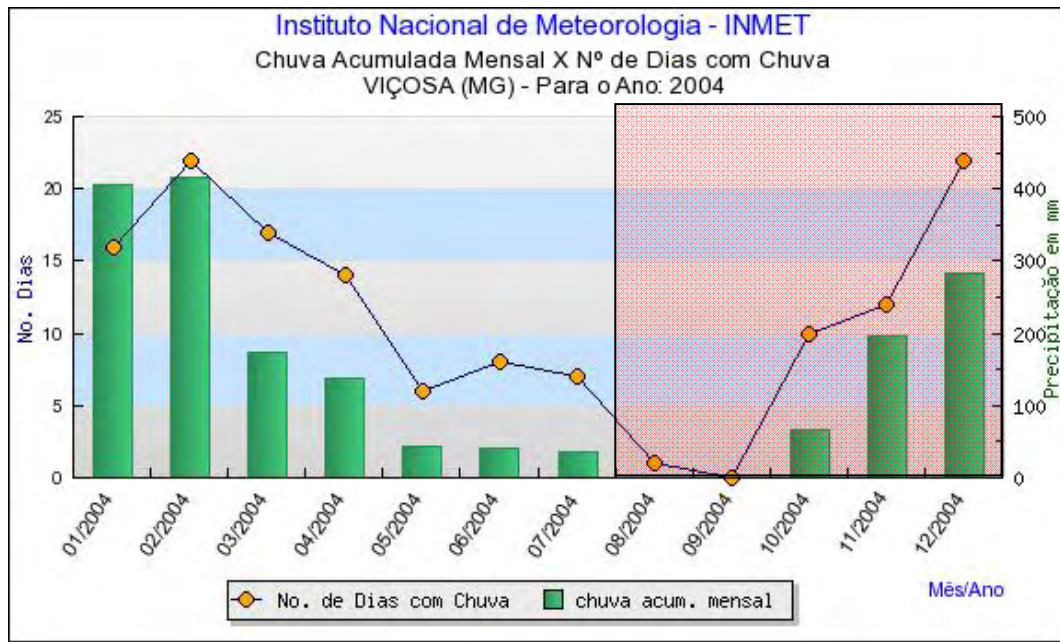


Figura 6.17: Ilustração da precipitação mensal de 2004, Fonte: do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

6.8. BÁSICA INTRUSIVA

Exame Qualitativo

Ao se analisar os primeiros 30 ciclos apresentados na Tabela 6.12, que ocorreram no mês de setembro/2004, observa-se a ausência de qualquer tipo de ataque, coincidindo com o período em que a precipitação também foi nula. Neste período houve apenas uma perda de massa de 1,62% em relação à massa inicial, podendo ser devido à perda de água intersticial.

No segundo exame realizado, após terem decorrido 60 ciclos, percebe-se alguns ataques, sendo fissuração e rachadura os mais expressivos, e uma perda de massa de 2,52%. Juntamente com a identificação dos ataques sofridos, temos o início da precipitação, de aproximadamente 70 mm.

Percebe-se neste exame que a fissuração e a rachadura predominam na fase inicial do ensaio, persistindo até o final do mesmo. No decorrer do ensaio, percebe-se um aumento do lasqueamento e principalmente da desintegração, com diminuição da fissuração.

Na Figura 6.18, apresenta-se o organograma que ilustra a hierarquia obedecida nos ensaios realizados. Ou seja, inicialmente tem-se o fenômeno da fissuração, seguido da rachadura e finalmente a desintegração e o lasqueamento acontecendo concomitantemente.



Figura 6.18: Organograma obtido nos ensaios realizados.

Tabela 6.12: Exames qualitativos e quantitativos realizados nos ensaios de ciclagem natural para a rocha básica intrusiva

Número de ciclos	Exame qualitativo				Exame quantitativo	
	Desintegração	Fissuração	Rachadura	Lasqueamento	Massa (g)	Perda de massa (%)
0	0	0	0	0	1239,55	0,00
30	0	0	0	0	1219,49	1,62
60	2	10	12	3	1208,34	2,52
90	14	5	18	5	1155,45	6,78
120	12	7	16	6	1148,18	7,37

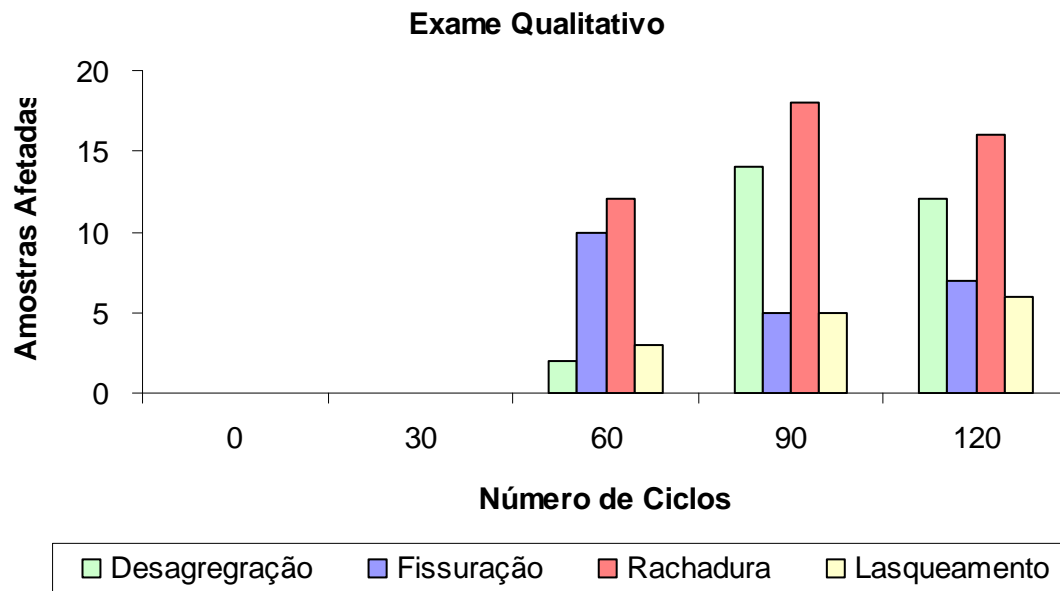


Gráfico 6.16: Composição dos ataques sofridos pela rocha básica intrusiva ao longo do ensaio de ciclagem.

Exame Quantitativo

A rocha básica intrusiva apresentou uma perda de massa de 7,37% após os 120 ciclos do ensaio. A massa inicial utilizada neste ensaio foi de 1.239,55 g, enquanto sua massa final foi de 1.148,18 g. O Gráfico 6.19 ilustra como se desenvolveu esta perda de massa ao longo do processo de ciclagem. Temos um crescente aumento da perda de massa a partir do sexagésimo ciclo, coincidindo com o aumento no índice de precipitação.

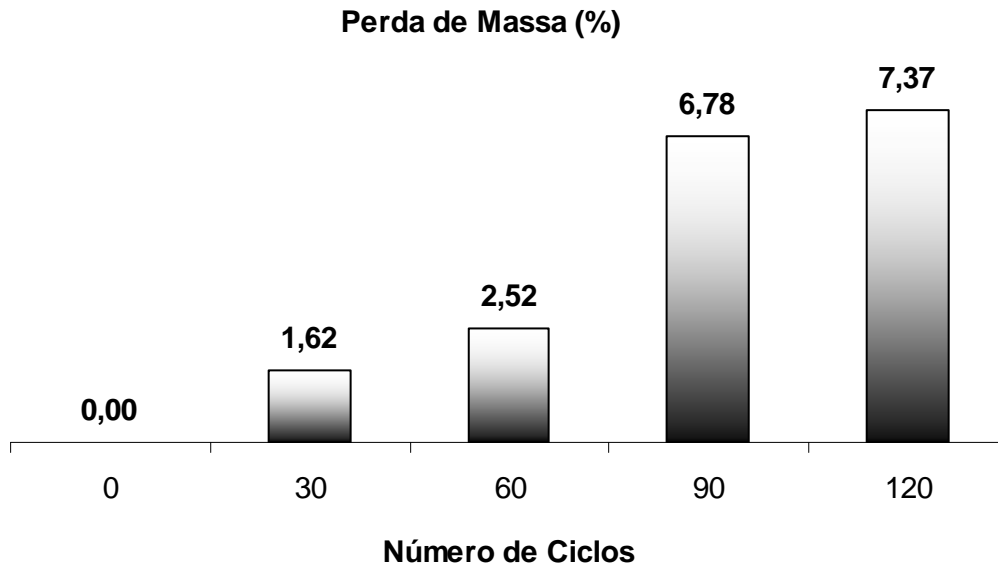


Gráfico 6.17: Composição da perda de massa sofrida pela Rocha básica intrusiva ao longo do ensaio de ciclagem.

Os resultados obtidos no ensaio de ciclagem natural evidenciam a influência da água no fenômeno de alteração da rocha estudada.

6.9. POINT LOAD TEST

Os ensaios de resistência à compressão puntiforme foram realizados com amostras de rocha sã e com amostras de rochas alteradas, resultantes da ciclagem água-estufa, para o filito sericítico e rocha básica intrusiva.

Estes ensaios foram realizados nas direções paralelas e perpendiculares à foliação, ou seja, para o ângulo entre a foliação e a direção de carregamento principal maior igual a zero (paralelo à foliação) e para o ângulo entre a foliação e a direção de carregamento principal maior igual a noventa graus (perpendicular à foliação da rocha). Desta forma foi possível verificar a influência de anisotropia.

Para realização deste ensaio preparou-se 10 amostras de cada litotipo em diferentes estágios de alteração, de acordo com o ensaio de ciclagem água-estufa. Destas 10 amostras, eram descartadas até quatro amostras que apresentavam valores de resistência à compressão puntiforme distantes da média dos valores das demais amostras.

6.9.1. FILITO SERICÍTICO

Na realização deste ensaio, observa-se uma perda de resistência ao longo dos ciclos em água-estufa. Para os carregamentos perpendiculares à foliação, verificou-se uma maior resistência quando comparado ao carregamento paralelo à foliação. Todavia a perda de resistência foi maior na direção perpendicular do que na direção paralela, fazendo com que a resistência nesta direção fosse maior a partir do trigésimo primeiro ciclo em água-estufa, conforme Tabela 6.13.

Tabela 6.13: Resistência aferida nos ensaios de “*Point Load*” ao longo dos ciclos em água-estufa para o filito sericítico.

Sanidade Amostra	IS ₅₀ - Paralelo à foliação (MPa)	Perda de resistência (%)	IS ₅₀ - Perpendicular à foliação (MPa)	Perda de resistência (%)
Rocha Sã	0,19	0,0	0,31	0,0
15 ciclos	0,14	26,7	0,20	34,6
30 ciclos	0,09	50,7	0,09	69,3
35 ciclos	0,09	54,4	0,08	72,9
48 ciclos	0,07	65,8	0,04	87,9
61 ciclos	0,06	66,5	0,04	88,4

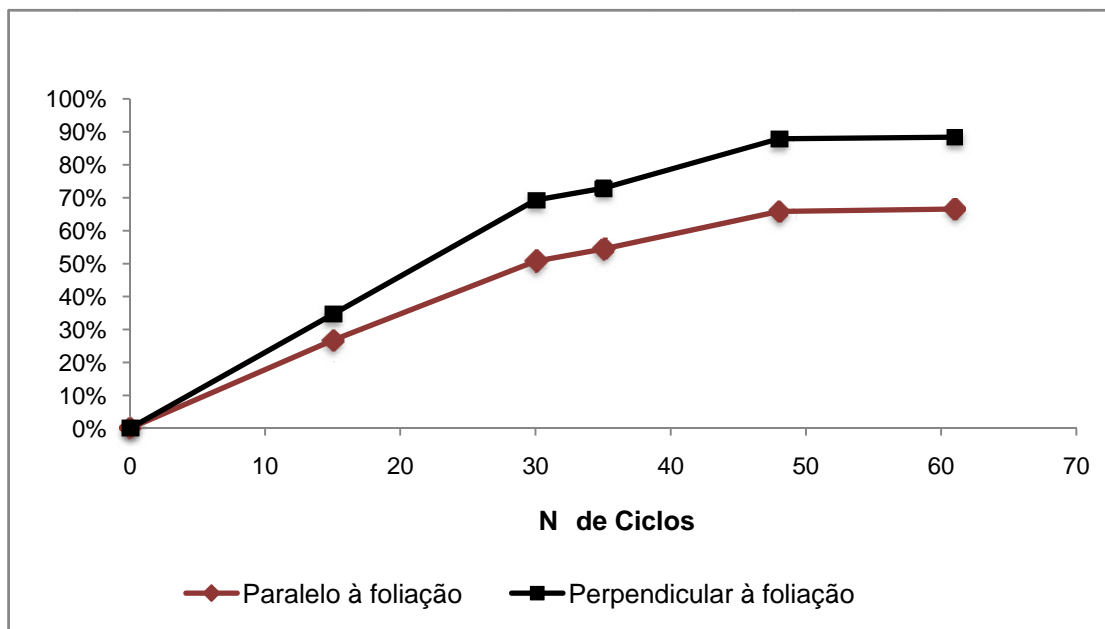


Gráfico 6.18: Variação da perda de resistência sofrida pelo filito sericítico ao longo do ensaio de ciclagem água-estufa.

O fato de a resistência na direção paralela à foliação superar a resistência na direção perpendicular à foliação pode estar ligado a dois fatores distintos:

1 - Para um estágio avançado de alteração, a rocha começa a apresentar um comportamento isotrópico, pelo fato de haver obliteração da foliação e esta estrutura deixar de ser o plano de fraqueza principal, com resistência inferior à da matriz rochosa. A Tabela 6.14 ilustra este comportamento e ao 30º ciclo o filito apresenta-se isotrópico;

2 - Com o avanço do ensaio e aumento do grau de alteração, observa-se um pequeno aumento da anisotropia, provavelmente causado pela falta de sensibilidade do equipamento utilizado para obtenção de valores de resistências muito baixas, ou seja, rochas muito alteradas.

Tabela 6.14: Variação do Índice de Anisotropia em relação à ciclagem em água-estufa para o filito sercítico.

Nº de ciclos	IS ₅₀ em relação à foliação (MPa)		Índice de Anisotropia (IA)
	Perpendicular	Paralela	
0	0,31	0,19	1,60
15	0,20	0,14	1,43
30	0,09	0,09	1,00
35	0,08	0,09	0,95
48	0,04	0,07	0,57
61	0,04	0,06	0,56

6.9.2. ROCHA BÁSICA INTRUSIVA

Na realização deste ensaio, observa-se uma perda de resistência ao longo dos ciclos em água-estufa. Para os carregamentos perpendiculares em relação à foliação verificou-se uma maior resistência quando comparado ao carregamento paralelo à foliação. Todavia a perda de resistência foi maior na direção paralela do que na direção perpendicular à foliação, conforme Tabela 6.15.

Tabela 6.15: Resistência aferida nos ensaios de “Point Load” ao longo dos ciclos em água-estufa para a rocha básica intrusiva.

Sanidade Amostra	IS ₅₀ - Paralelo à foliação (MPa)	Perda de resistência (%)	IS ₅₀ - Perpendicular à foliação (MPa)	Perda de resistência (%)
Rocha Sã	6,54	0,0	7,45	0,0
50 ciclos	3,23	50,6	5,43	27,1
75 ciclos	2,41	63,2	3,25	56,4
100 ciclos	2,18	66,7	3,12	58,1

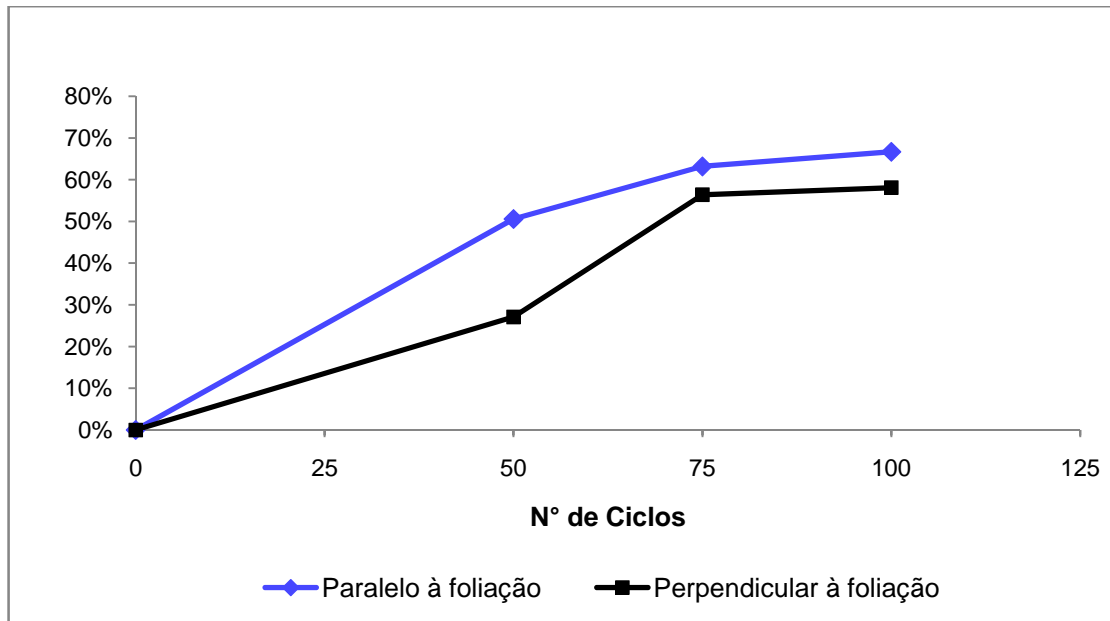


Gráfico 6.19: Variação da perda de resistência sofrida pela rocha básica intrusiva ao longo do ensaio de ciclagem água-estufa.

Observa-se, inicialmente, que as resistências nas duas direções de carregamento apresentam valores próximos. Acredita-se que isto se deva ao fato da rocha básica apresentar uma composição mais homogênea e sem uma foliação muito penetrativa, conseqüentemente menor é o efeito da anisotropia nos parâmetros de resistência.

O comportamento observado para rocha básica intrusiva mostra que a anisotropia aumenta com o aumento da alteração até o ciclo de número 50. A partir daí há um decréscimo de seu valor, mas a rocha mantém-se anisotrópica. Este comportamento reflete o menor estágio de alteração da rocha básica coletada nos furos de sondagem e utilizadas nos ensaios de ciclagem. Apesar do menor estágio de alteração, o avanço da ciclagem tende a aumentar o intemperismo ao longo da foliação presente, elevando, o índice de anisotropia do litotipo em questão, conforme apresentado na Tabela 6.16.

Tabela 6.16: Variação do Índice de Anisotropia em relação à ciclagem em água-estufa para a rocha básica intrusiva.

Nº de ciclos	IS ₅₀ em relação à foliação (MPa)		Índice de Anisotropia (IA)
	Perpendicular	Paralela	
0	7,45	6,54	1,14
50	5,43	3,23	1,68
75	3,25	2,41	1,35
100	3,12	2,18	1,43

6.10. RI – RELAÇÃO DE INTERDEPENDÊNCIA

Para obtenção do índice de interdependência, foram consideradas as variações sofridas nas massas específicas aparentes, seca e saturada, nos índices de porosidade aparente e absorção d'água aparente e as perdas de resistência na direção de carregamento perpendicular e paralela em relação à foliação de cada rocha.

Como se observa na Tabela 6.17, o filito sericítico possui maior variação em todos seus índices quando analisados independentemente e conseqüentemente, maior Índice de Interdependência (λ_2) e, portanto, maior vulnerabilidade à alteração quando exposto aos agentes intempéricos, em relação à rocha básica intrusiva.

Tabela 6.17: Obtenção dos Índices de Interdependência entre amostras.

Variação Valor Absoluto	Filito Sericítico	Rocha Básica Intrusiva
Porosidade	61,76%	55,56%
Absorção	82,63%	58,33%
Massa Esp. Seca	10,68%	1,66%
Massa Esp. Sat	5,60%	1,65%
Perda de Resistência paralelo à foliação	66,5%	66,7%
Perda de Resistência perpendic. à foliação	88,4%	58,1%
Índice (λ_1)	52,60%	40,33%
Índice (λ_2)	100	77