

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA MATEMÁTICA E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**CONDICIONANTES GEOLÓGICOS RELACIONADOS À ALTERAÇÃO  
DAS PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS NOS GRANITOS DO  
MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM - ES**

GABRIEL NEVES COSTA DE MESQUITA

RIO DE JANEIRO

2019

**CONDICIONANTES GEOLÓGICOS RELACIONADOS À ALTERAÇÃO  
DAS PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS NOS GRANITOS DO  
MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM - ES**

GABRIEL NEVES COSTA DE MESQUITA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Eurípedes do Amaral Vargas

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2019

CONDICIONANTES GEOLÓGICOS RELACIONADOS À ALTERAÇÃO DAS  
PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS NOS GRANITOS DO MUNICÍPIO DE  
CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM - ES

Gabriel Neves Costa de Mesquita

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE  
DO CURSO DE GEOLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM  
GEOLOGIA.

Examinado por:

---

Prof. Dr. Eurípedes do Amaral Vargas

---

Dr. Márcio Fernandes Leão

---

Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
FEVEREIRO, 2019

Mesquita, Gabriel Neves Costa de.

Condicionantes Geológicas Relacionados à Alteração das Propriedades Petrográficas nos Granitos do Município de Cachoeiro de Itapemirim – ES/ Gabriel Neves Costa de Mesquitas. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Instituto de Geociências, 2019.

XI, 74 p.: il.; 30 cm.

Orientador: Eurípedes do Amaral Vargas.

Trabalho de Conclusão de Curso – UFRJ/ Instituto de Geociências/ Departamento de Geologia, 2019.

Referencias Bibliográficas: p. 61-62.

1.Intemperismo em Climats Tropicais 2.Índices Micropetrográficos 3.Intemperismo em Granitos

I. Vargas, Eurípedes do Amaral *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Condicionantes Geológicas Relacionados à Alteração das Propriedades Petrográficas nos Granitos do Município de Cachoeiro de Itapemirim – ES.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, José Divan e Neyde, por todo carinho, apoio, incentivo, cobrança e conselhos, além de todo investimento que permitiu que eu concluísse o ensino superior e me tornar Geólogo.

Ao meu irmão Gustavo, que futuramente será também colega de profissão, por toda a amizade e companheirismo de sempre.

Aos meus avós, Eronides e Leonor, minhas tias Andrea e Leuda e os que já se foram, meus avós José, Luiza e tio Edílson, por todo amor e carinho dispensados a mim.

A Bibi, por todo amor e conselhos, por ter sido crucial na formatação deste trabalho.

A todos os meus amigos que acompanharam minha trajetória. A galera do GS, em especial o Marcelo, que me ajudou e incentivou na mudança de curso. A galera da Geologia, por ter dividido tantos campos, provas, cervejas e experiências de vida. Aos meus amigos do condomínio, por estarem sempre presentes. Aos meus amigos do Cefet, que mesmo com o fim do ensino médio continuamos muito amigos.

Ao meu orientador Vargas por ter topado esse desafio. Em especial ao Márcio, por toda atenção e ajuda em tudo que foi necessário. Ao professor Julinho, por ter aceitado participar da banca e ter sido um ótimo professor e exemplo. Ao Daniel Jaques, que está realizando um doutorado na mesma área de estudo e me ajudou com importantes dados para este trabalho.

A infraestrutura da universidade que foi utilizada neste trabalho, o LAGESED e LabSonda.

A todos vocês minha gratidão!

## RESUMO

Os perfis de intemperismo marcam a transição da rocha sã até porções mais alteradas. Perfis de intemperismo em regiões tropicais têm características específicas, como mudanças abruptas entre diferentes zonas de intemperismo e a presença de blocos frescos (corestones) dentro de uma matriz severamente alterada, de difícil previsibilidade. O objetivo do trabalho é avaliar como as condições geológicas locais condicionam o efeito do intemperismo sobre as propriedades mineralógicas em rochas graníticas, presente em taludes rodoviários e em frentes de exploração de pedreiras da região do município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). A fim de atingir o objetivo definido, foram mapeados e interpretados dois perfis de intemperismo (Perfil A e Perfil B) para obter uma relação entre a litologia, estruturas e o seu papel no padrão de alteração. No âmbito petrográfico, foram definidas a partir da metodologia da ISRM (2007) cinco classes de alteração: W1–Rocha sã, W2–Rocha levemente intemperizada, W3–Rocha medianamente intemperizada, W4–Rocha altamente intemperizada e W5–Rocha completamente intemperizada. Para avaliar as alterações micropetrográficas, foram produzidas oito lâminas delgadas, duas para cada grau de alteração atribuído (W1, W2, W3 e W4). Foram realizadas descrições mineralógicas e contagem modal, obtendo os índices micropetrográficos e quantificando o grau de intemperismo destas rochas em escala microscópica. Conclui-se que as discontinuidades do maciço são a condicionante geológica mais importante em termos de distribuição dos graus de alteração, pois controlam a percolação de água meteórica, isolando corestones em matriz de solo, gerando um padrão de contatos bruscos entre as classes de alteração, assim como as microfissuras condicionam o processo intempérico em escala de lâmina. Apesar do grau de alteração dos minerais aumentar gradativamente, as lâminas W3 e W4 praticamente obtiveram o mesmo resultado, apesar de W4 possuir minerais secundários bem mais desenvolvidos. Segundo a metodologia utilizada neste trabalho, as amostras estudadas se localizam em apenas duas classes: Rochas Moderadamente Alteradas (W1 e W2) e Rochas Altamente Alteradas (W3 e W4). Este resultado apesar de não ter tido uma boa correlação com a realidade observada, é importante porque mostra que as mudanças mineralógicas e físicas ocorrem de forma mais bruscas a partir de certo nível de alteração, mais precisamente de W2 para W3.

**Palavras-chave:** Intemperismo em climas tropicais, Índices Micropetrográficos; Alteração em granitos.

## ABSTRACT

Weathering profiles marks the transition from fresh rock to more altered portions. Weathering profiles in tropical regions have specific characteristics, such as abrupt changes between different weathering zones and the presence of fresh blocks (corestones) within a severely altered matrix, difficult to predict. The objective of this work is to evaluate how the local geological settings condition the weathering effect on mineralogical properties in granite rocks, present in slopes of road and quarry exploitation fronts of the region of Cachoeiro de Itapemirim (ES). In order to reach the defined objective, two profiles of weathering (Profile A and Profile B) were mapped and interpreted to obtain a relation between the lithology, structures and their role in the alteration pattern. In the petrographic field, five weathering classes were defined: W1-Fresh rock, W2-Rock slightly weathered, W3-Rock moderately weathered, W4-Rock highly weathered and W5-Rock completely weathered. Eight thin sections were produced to assess the microtextural changes, two for each degree of change assigned (W1, W2, W3 and W4). Mineralogical descriptions and modal count were obtained, obtaining the micropetrographic indexes, quantifying the degree of weathering of these rocks in a microscopic scale. It is concluded that the discontinuities of the massif are the most important geological determinant in terms of distribution of the degrees of alteration, since they control the percolation of meteoric water, isolating corestones in soil matrix, generating a pattern of abrupt contacts between the classes of alteration, as well as microfractures condition the intertextural process on a thin section scale. Although the degree of alteration of the minerals increases gradually, the W3 and W4 thin sections practically obtained the same result, even W4 having the much more developed secondary minerals. According to the methodology used in this work, the studied samples are located in only two classes: Moderately Weathered Rocks (W1 and W2) and Highly Weathered Rocks (W3 and W4). This result, despite not having a good correlation with the observed reality, is important because it shows that the mineralogical and physical changes occur more abruptly from a certain level of alteration, more precisely from W2 to W3.

**Keywords:** Tropical Weathering, Micropetrographic Index, Granite Weathering.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	1
2.1. OBJETIVO GERAL .....	1
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	2
3.1. INTEMPERISMO.....	2
3.2. INTEMPERISMO EM GRANITOS .....	4
3.3. CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇO ROCHOSO .....	5
3.4. ÍNDICES MICROPETROGRÁFICOS.....	8
3.5. CLASSES DE ALTERAÇÃO.....	9
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	15
4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	15
4.2. CLIMA E VEGETAÇÃO.....	16
4.3. GEOMORFOLOGIA.....	17
4.4. GEOLOGIA REGIONAL .....	19
4.5. GEOLOGIA LOCAL.....	23
5. METODOLOGIA.....	29
5.1. MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO .....	29
5.2. MICROPETROGRAFIA .....	32
6. RESULTADOS .....	34
6.1. CONDICIONANTES GEOLÓGICOS .....	34
6.2. DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS.....	37
6.2.1. AMOSTRA W1 .....	37
6.2.2. AMOSTRA W2 .....	38
6.2.3. AMOSTRA W3 .....	39



<b>6.3. DESCRIÇÕES MICROPETROGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
6.3.1. LÂMINA W1 .....	41
6.3.2. LÂMINA W2 .....	44
6.3.3. LÂMINA W3 .....	48
6.3.4. LÂMINA W4 .....	50
<b>6.4. ÍNDICES MICROPETROGRÁFICOS .....</b>	<b>54</b>
6.4.1. ALTERAÇÕES QUÍMICAS .....	54
6.4.2. MICROFISSURAS.....	57
<b>7. CONCLUSÃO E DISCUSSÕES .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PERFIL DE INTEMPERISMO TÍPICO DE GRANITOS EM CLIMA TROPICAL (OLLIER, 2010).....	4
FIGURA 2 – MATRIZ E DESCONTINUIDADES EM MACIÇO ROCHOSO (OLIVEIRA & BRITO, 1981). ....	6
FIGURA 3 - GRÁFICO DE ALTERAÇÃO UTILIZANDO ÍNDICES MICROPETROGRÁFICOS (CERYAN, 2008).....	9
FIGURA 4 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM (INCAPER, 2017). ....	15
FIGURA 5 - MAPA CLIMÁTICO MUNDIAL (KÖPPEN, ADAPTADO).....	16
FIGURA 6 - SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÃO MENSAL EM CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM (INCAPER, 2013)...	17
FIGURA 7 – ÁREA DE PESQUISA, FRENTE DE LAVRA DE GRANITO ORNAMENTAL. AO FUNDO, RELEVO ESCARPADO COM VALES INCISOS. ....	18
FIGURA 8 - PROVÍNCIAS ESTRUTURAIS DO BRASIL. EM VERDE, A PROVÍNCIA MANTIQUEIRA (MODIFICADO DE ALMEIDA ET AL., 1997).....	20
FIGURA 9 - MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (CPRM, 2013). ....	21
FIGURA 10 - LOCALIZAÇÃO DA FAIXA ARAÇUAÍ NA PROVÍNCIA MANTIQUEIRA (MODIFICADO DE CPRM, 2003). .....	22
FIGURA 11 - EM VERMELHO A LOCALIZAÇÃO DAS PEDREIRAS VISITADAS.....	24
FIGURA 12 - MAPA GEOLÓGICO LOCAL (JAQUES, 2018). ....	25
FIGURA 13 – BLOCO SENDO CORTADO PARA ROCHA ORNAMENTAL. INJEÇÕES APLÍTICAS SÃO COMUNS CORTANDO O GRANITO. ....	27
FIGURA 14 - CONTATO ENTRE DIFERENTES CLASSES DE ALTERAÇÃO DO GRANITO (JAQUES, 2018).....	27
FIGURA 15 - GRANITO DA SUÍTE SANTA ANGÉLICA EM DETALHE (JAQUES, 2018).....	28
FIGURA 16 - AMOSTRAS DAS 5 CLASSES DE ALTERAÇÃO ESTUDADAS (JAQUES, 2018) .....	31
FIGURA 17 - FRENTE DE INTEMPERISMO ESTUDADAS NA ÁREA.....	32
FIGURA 18 – PERFIL A INTERPRETADO (JAQUES, 2018). ....	34
FIGURA 19 – PERFIL B INTERPRETADO (JAQUES, 2018). ....	35
FIGURA 20 - CORTE ESCOLHIDO PARA ANALISAR DESCONTINUIDADES. FRATURA OCORRENDO NA DIREÇÃO OPOSTA AO VEIO APLÍTICO. ....	36
FIGURA 21 - A) AMOSTRA W1, TEXTURA HOLOCRISTALINA E COLORAÇÃO ACINZENTADA; B) AMOSTRA VISTA EM DETALHE E SEUS ASPECTOS MINERALÓGICOS PRESERVADOS SEM ALTERAÇÃO (JAQUES, 2018).....	38
FIGURA 22 - A) AMOSTRA W2, TEXTURA HOLOCRISTALINA E DESCOLORAÇÃO DOS MINERAIS; B) AMOSTRA VISTA EM DETALHE E SEUS ASPECTOS MINERALÓGICOS POUCO ALTERADOS, COM PERDA DE BRILHO VÍTREO (JAQUES, 2018). ....	39
FIGURA 23 - A) AMOSTRA W3, TEXTURA HOLOCRISTALINA E ALTERAÇÃO MINERAL; B) AMOSTRA VISTA EM DETALHE E SEUS ASPECTOS MINERALÓGICOS ALTERADOS E MICROFISSURAS (JAQUES, 2018). ....	41
FIGURA 24 – FOTOMICROGRAFIA DA LÂMINA W1 A NICÓIS CRUZADOS. CRISTAIS POUCO OU NADA FRATURADOS, POUCO OU NADA ALTERADOS. BIOTITA SÃ. KF=MICROCLINA, PLG=PLAGIOCLÁSIO, BT=BIOTITA, QTZ=QUARTZO. ....	42
FIGURA 25 - FOTOMICROGRAFIA DA LÂMINA W1 A NICÓIS DESCRUZADOS. ....	42

FIGURA 26 - FOTOMICROGRAFIA DA LÂMINA W2 A NICÓIS CRUZADOS. CRISTAIS TABULARES DE PLAGIOCLÁSIO APRESENTAM FRATURAMENTO ORTOGONAL EM RELAÇÃO AO SEU MAIOR EIXO CRISTALOGRÁFICO. MINERAIS EM GERAL POUCO ALTERADOS KF=MICROCLINA, PLG=PLAGIOCLÁSIO, BT=BIOTITA, QTZ=QUARTZO. ....	45
FIGURA 27 - FOTOMICROGRAFIA DA LÂMINA W2 A NICÓIS DESCRUZADOS. ....	46
FIGURA 28 - FOTOMICROGRAFIA DA LÂMINA W3 A NICÓIS CRUZADOS. MAIOR FRATURAMENTO, ALTERAÇÕES SE DESENVOLVENDO ENTRE AS FRATURAS. MINERAIS EM GERAL ALTERADOS A MUITO ALTERADOS. KF=MICROCLINA, PLG=PLAGIOCLÁSIO, BT=BIOTITA, QTZ=QUARTZO, OP=OPACOS. ....	48
FIGURA 29 - FOTOMICROGRAFIA DA LÂMINA W3 A NICÓIS DESCRUZADOS. ....	49
FIGURA 30 - FOTOMICROGRAFIA DA LÂMINA W4 A NICÓIS CRUZADOS. INTENSO PROCESSO DE SERICITIZAÇÃO E CAULINITIZAÇÃO DOS FELDSPATOS. GRAU DE FRATURAMENTO PERMANECE PRATICAMENTE CONSTANTE EM RELAÇÃO A W3. KF=MICROCLINA, PLG=PLAGIOCLÁSIO, BT=BIOTITA, QTZ=QUARTZO.....	51
FIGURA 31 - FOTOMICROGRAFIA DA LÂMINA W4 A NICÓIS DESCRUZADOS. ....	52
FIGURA 32 - MICROFISSURAS CONDICIONAM AS ALTERAÇÕES DOS MINERAIS. ....	54
FIGURA 33 - GRÁFICO DO ÍNDICE DE ALTERAÇÃO ADAPTADO DE MOMENI (2014).....	55
FIGURA 34 - GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE FELDSPATOS ALTERADOS EM RELAÇÃO AO TOTAL, SEPARADO POR CLASSE DE ALTERAÇÃO. ....	56
FIGURA 35 - GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE PLAGIOCLÁSIOS ALTERADOS EM RELAÇÃO AO TOTAL, SEPARADOS POR CLASSE DE ALTERAÇÃO. ....	56
FIGURA 36 - GRÁFICO DE PORCENTAGEM DE BIOTITAS ALTERADAS EM RELAÇÃO AO TOTAL, SEPARADOS POR CLASSE DE ALTERAÇÃO. ....	57
FIGURA 37 - GRÁFICO DO ÍNDICE DE MICROFISSURAS ADAPTADO DE MOMENI (2014). ....	58
FIGURA 38 - GRÁFICO DE ALTERAÇÃO ADAPTADO DE CERYAN (2008). EIXO DAS ORDENADAS MARCA A PORCENTAGEM DE MICROFISSURAS ENQUANTO AS ABCISSAS MARCAM A PORCENTAGEM DE MINERAIS SECUNDÁRIOS. ....	58

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSES DE ALTERAÇÃO RECONHECIDAS EM CAMPO (ADAPTADO ISRM, 2007).....	30
TABELA 2 - PARÂMETROS GEOTÉCNICOS OBTIDOS DO AFLORAMENTO ANTERIOR.....	36
TABELA 3 - CONTAGEM MODAL MACROSCÓPICA DOS MINERAIS FORMADORES DE ROCHA W1.....	37
TABELA 4 - CONTAGEM MODAL MACROSCÓPICA DOS MINERAIS FORMADORES DE ROCHA W2.....	39
TABELA 5 - CONTAGEM MODAL MACROSCÓPICA DOS MINERAIS FORMADORES DE ROCHA W3.....	40
TABELA 6 - CONTAGEM MODAL MICROSCÓPICA DOS MINERAIS FORMADORES DE ROCHA W1.....	43
TABELA 7 - CONTAGEM MODAL MICROSCÓPICA DOS MINERAIS ALTERADOS W1.....	44
TABELA 8 - CONTAGEM MODAL MICROSCÓPICA DOS MINERAIS FORMADORES DE ROCHA W2.....	47
TABELA 9 - CONTAGEM MODAL MICROSCÓPICA DOS MINERAIS ALTERADOS W2.....	47
TABELA 10 - CONTAGEM MODAL MICROSCÓPICA DOS MINERAIS FORMADORES DE ROCHA W3.....	50
TABELA 11 - CONTAGEM MODAL MICROSCÓPICA DOS MINERAIS ALTERADOS W3.....	50
TABELA 12 - CONTAGEM MODAL MICROSCÓPICA DOS MINERAIS FORMADORES DE ROCHA W4.....	53
TABELA 13 - CONTAGEM MODAL MICROSCÓPICA DOS MINERAIS ALTERADOS W4.....	53
TABELA 14 - RAZÃO QUARTZO/FELDSPATOS POR CLASSE DE ALTERAÇÃO.....	55

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1</b> - DIVISÃO DAS SEIS CLASSES DE ALTERAÇÃO (MOYE, 1955).....	10
QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO DE INTEMPERISMO DE ACORDO COM A RAZÃO ROCHA/SOLO (RUXTON & BERRY, 1957).....	11
QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DO INTEMPERISMO FRENTE À DESINTEGRAÇÃO FÍSICA (DEARMAN, 1974).....	12
QUADRO 4 - CLASSIFICAÇÃO DO INTEMPERISMO FRENTE À DECOMPOSIÇÃO QUÍMICA (DEARMAN, 1974).....	13
QUADRO 5 - CLASSIFICAÇÃO DO INTEMPERISMO FRENTE À DISSOLUÇÃO (DEARMAN, 1974).....	13
QUADRO 6 - CLASSIFICAÇÃO DO INTEMPERISMO FRENTE AO GRAU DE ALTERAÇÃO DA MATRIZ (DEARMAN, 1974).....	14
<b>QUADRO 7</b> - ESCALA DE ALTERAÇÃO PARA MACIÇO ROCHOSO (DEARMAN, 1974).....	14

## **1. INTRODUÇÃO**

Apesar de ser conhecido o efeito do intemperismo em rochas graníticas em regiões de clima temperado a frio, ainda são escassos os trabalhos nessas rochas em regiões de clima tropical como o Brasil. Os perfis de intemperismo marcam a transição da rocha sã até porções mais alteradas (solos residuais), preservam características do protólito em suas porções mais jovens podendo ser recobertos ainda por colúvios (materiais transportados). Um dos desafios mais importantes no estudo da estabilidade de encostas, fundações e escavação de rochas é entender seus estados de intemperismo. Esta questão é mais importante em climas tropicais, onde o intemperismo severo produz perfis de intemperismo espessos e heterogêneos, tornando sua análise mais complexa.

Os efeitos de intemperismo podem variar de lugar para lugar de acordo com diferentes tipos de rocha e estruturas, topografia, taxa de erosão e clima regional. O intemperismo é mais intenso em regiões tropicais devido a chuvas fortes e condições climáticas quentes e úmidas, que desenvolvem efeitos de intemperismo a profundidades maiores do que em outros lugares. Perfis de intemperismo em regiões tropicais têm características específicas, como mudanças abruptas entre diferentes zonas de intemperismo e a presença de blocos frescos (*corestones*) dentro de uma matriz severamente alterada, de difícil previsibilidade. Apesar da complexidade mencionada, o reconhecimento dos perfis de intemperismo dominantes em granito nessas regiões ainda está em seus estágios iniciais, e poucos estudos foram realizados. Portanto, para fornecer uma compreensão básica do complexo comportamento em granitos intemperizados nas regiões tropicais, mais estudos são necessários para determinar os perfis de intemperismo dominantes e suas características (ABAD *et al*, 2014).

O município de Cachoeiro de Itapemirim foi escolhido para realização deste estudo por possuir pedreiras na região que propiciam uma boa visualização das frentes intemperismo nos granitos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo do trabalho é avaliar de que maneira a geologia local condiciona o efeito do intemperismo sobre as propriedades mineralógicas em rochas graníticas, presente em taludes rodoviários e em frentes de exploração de pedreiras da região do município de Cachoeiro de Itapemirim (ES).

## 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar, identificar e descrever a morfologia dos perfis e frentes de intemperismo de granitos.
- Determinar índices micropetrográficos para quantificar o intemperismo.
- Correlacionar os dados obtidos no mapeamento geológico e descrição micropetrográfica para estabelecer um padrão de alteração em granitos de clima tropical para obras de engenharia e que possa auxiliar a prospecção para a indústria de rochas ornamentais.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. INTEMPERISMO

Intemperismo são processos químicos e físicos que quebram e alteram as propriedades da rocha (OLLIER, 1984), transformando-as em materiais mais estáveis sob o ponto de vista físico-químico na qual foram originadas. O intemperismo pode ser dividido em físico, químico e biológico.

O intemperismo físico corresponde à desagregação mecânica da rocha e seus minerais, sem que haja reações químicas envolvidas no processo. Esse tipo de intemperismo facilita a ação do intemperismo químico, pois aumenta a superfície de reação.

O intemperismo químico envolve reações químicas e suas respectivas transformações, onde o principal agente é a água, aumentando seu efeito à medida que se acidifica devido à presença de  $\text{CO}_2$  dissolvido e ácidos orgânicos. O produto desse tipo de intemperismo é a formação de minerais secundários, dissolvidos e/ou precipitados.

Os fatores que contribuem para o desenvolvimento do intemperismo físico são:

- **Alívio de pressão**

Corresponde à erosão das camadas de rochas sobrepostas ou à diminuição de tensão por atividade antrópica, como abertura de túneis, escavações, cortes de taludes. Como produto deste processo, ocorre o descamamento e desenvolvimento de formas arredondadas concêntricas (esfoliação esferoidal).

- **Variação da temperatura**

É o processo físico de intemperismo mais comum. A variação de temperatura provoca expansão e contração dos minerais presentes na rocha, se fragmentando e desagregando.

Quando as rochas são constituídas por diferentes minerais que respondem de maneira diferente a dilatação e contração térmica, o processo de fragmentação e desagregação é mais eficiente. De maneira geral, rochas escuras, com coloração variada e granulação grossa são mais susceptíveis a esse fator intempérico.

- **Crescimento de cristais**

Ocorre quando a água evapora e precipita cristais evaporíticos, pressionando as paredes das fraturas pré-existentes. Esse tipo de intemperismo é mais comum onde a disponibilidade de água é pequena, em climas áridos e semi-áridos.

- **Congelamento**

Quando a água inclusa em fraturas se congela, seu volume aumenta cerca de 9%. Esse aumento de volume aumenta também as tensões nas paredes das fraturas, fragmentando-as. Esse processo é mais eficiente se houver repetição cíclica de congelamento e descongelamento da água.

Os fatores que contribuem para o desenvolvimento do intemperismo químico são:

- **Dissolução**

Ocorre através de solubilização dos elementos presentes na estrutura dos minerais. A composição e quantidade de fluido que reage com os elementos são fatores determinantes para que a dissolução ocorra. Fluidos ácidos são muito reativos quando em contato com rochas carbonáticas, acarretando em um forte intemperismo químico por dissolução, produzindo relevos cársticos.

- **Hidrólise**

Assim como a dissolução, a hidrólise ocorre por solubilização dos elementos presentes nos minerais, porém mais efetiva em silicatos. O íon  $H^+$  presente na solução aquosa quebra a estrutura dos minerais, liberando os cátions  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Associado a esse processo, tem-se a formação de argilominerais e lateritas, onde o  $H^+$  se combina com Al e Fe insolúvel presente nas rochas. Condições de alta pluviosidade, eficiência na drenagem da solução e principalmente um pH relativamente neutro (5 a 9) favorecem a hidrólise e o intemperismo químico (VASCONCELOS, 2011).

- **Oxi-Redução**

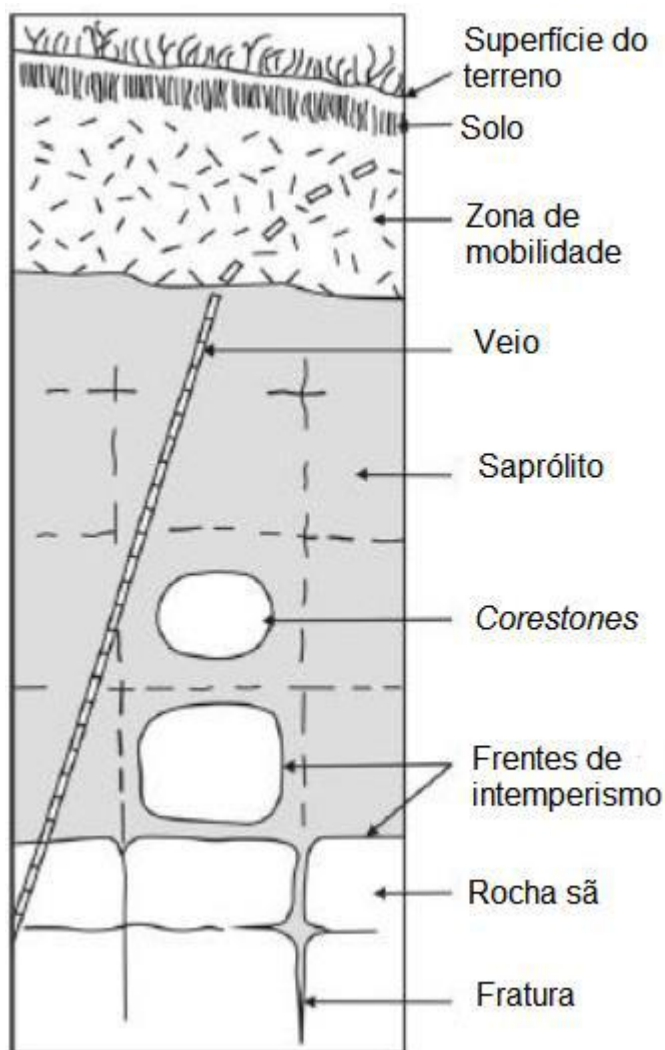
O processo de Oxi-Redução ocorre em minerais ferromagnesianos. O oxigênio reage destruindo a estrutura cristalina dos minerais ferrosos, reagindo e oxidando o  $Fe^{+2}$  em  $Fe^{+3}$ , alterando as propriedades da rocha. Esse processo ocorre de modo mais eficaz na presença de umidade.

### 3.2. INTEMPERISMO EM GRANITOS

Existem diversos trabalhos na literatura sobre este tema, porém a grande maioria dos autores aborda o intemperismo em granitos sob o ponto de vista de clima temperado. É sabido que em regimes tropicais os maciços rochosos tendem a sofrer forte alteração, resultando em morfologia complexa e espessos perfis de intemperismo (ABAD et al., 2016).

Ollier (2010) propôs um perfil de intemperismo idealizado que pode ser aplicado aos granitos de clima tropical (

**Figura 1**), pois inclui a existência de *corestones* envoltos em matriz de solo, marcando a forte heterogeneidade típica desse tipo de perfil. Essa morfologia condiciona fortemente a estabilidade geotécnica do maciço e a cubagem para jazidas de rochas ornamentais.



**Figura 1** – Perfil de intemperismo típico de granitos em clima tropical (Ollier, 2010).



Dewandell et al. (2016) caracteriza o perfil de intemperismo de forma análoga:

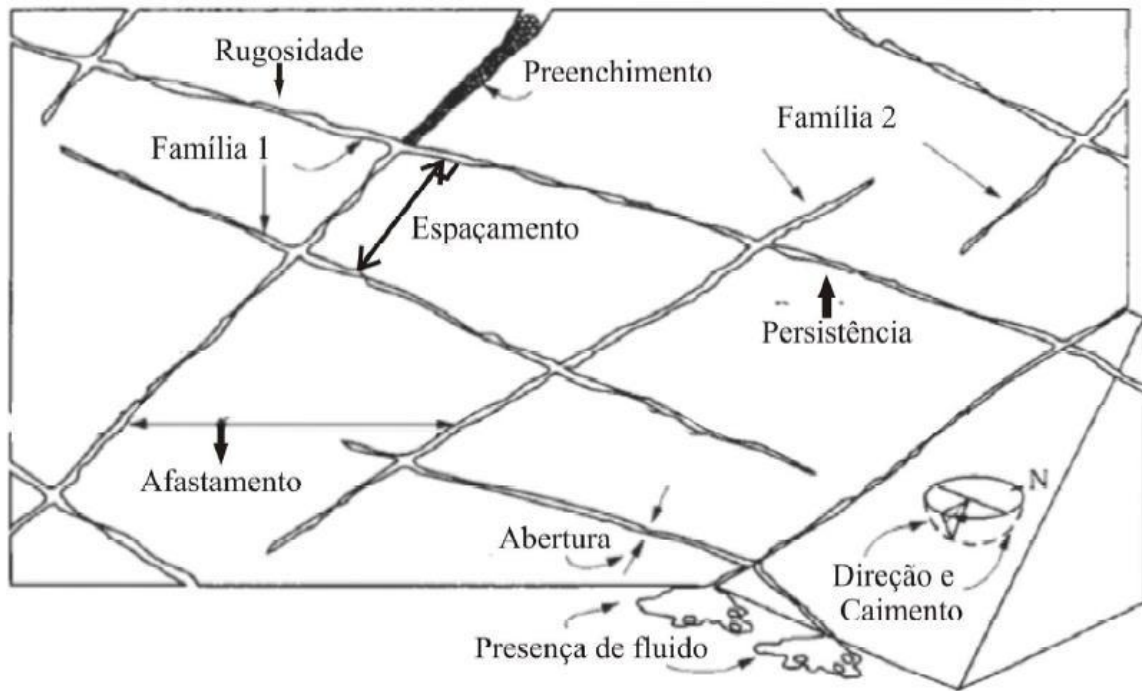
- Base – rocha sã, sem fraturas e sem alterações mineralógicas;
- Camada rochosa fraturada, apresentando ou não preenchimento entre as fraturas;
- Camada saprolítica, onde os grandes blocos rochosos estão individualizados por fraturas pretéritas;
- Solo residual jovem, comum associação com pequenos blocos mais frescos;
- Camada pouco espessa de solo residual maduro.

Segundo Dearman (1974), diferentemente dos gnaisses, onde a transição entre os diferentes graus de alteração é mais suave, em granitos essa transição é normalmente mais abrupta, exceto nos próprios *corestones*. Esses blocos rochosos possuem sua própria sequência intempérica, aumentando o grau de alteração gradualmente do centro rochoso (rocha sã), passando por todas as classes de alteração até atingir o contato da sua borda alterada com o solo residual do granito.

A evolução de um perfil típico de clima tropical ocorre inicialmente através do desenvolvimento de juntas de alívio, fraturas e falhas subverticais, que permite a individualização de blocos rochosos no perfil (*corestones*). Após individualizados, a água meteórica pode circular com facilidade entre os *corestones*, provocando um forte intemperismo químico. Isto responderia à questão da heterogeneidade destes perfis, caracterizados por grandes blocos rochosos em contato diretamente com solo residual.

### **3.3. CLASSIFICAÇÃO DE MACIÇO ROCHOSO**

O conjunto matriz de rocha e discontinuidades caracteriza um maciço rochoso (Figura 2). Maciços rochosos são essencialmente heterogêneos, anisotrópicos e descontínuos. Dependendo da escala em que se deseja trabalhar, podem ser considerados como homogêneos isotrópicos e contínuos (OLIVEIRA & BRITO, 1981).



**Figura 2** – Matriz e descontinuidades em maciço rochoso (Oliveira & Brito, 1981).

A classificação de maciços rochosos visa obter parâmetros como deformabilidade, resistência, permeabilidade e estado natural de tensões através da descrição das propriedades litológicas e geotécnicas inerentes ao mesmo. Tais propriedades consideradas relevantes do ponto de vista da **matriz rochosa** são:

- **Litologia**

Leva em consideração a composição mineralógica, textura, estruturas, relação de contato entre os grãos, tamanho dos grãos. Em campo, se faz uma descrição petrográfica simplificada, sendo recomendadas descrições micropetrográficas para entender com maior precisão a relação entre os parâmetros citados. A litologia condiciona fortemente as obras de engenharia, como por exemplo, a subsidência em terrenos calcários.

- **Alteração**

As alterações podem ser deutéricas (ambiente magmático) ou intempéricas (ambiente exógeno). Em climas tropicais, foco deste trabalho, as alterações químicas são mais severas, afetando em maior profundidade e com mais intensidade a resistência mecânica, deformabilidade e a permeabilidade do maciço. O parâmetro de alteração funciona bem principalmente para rochas ígneas e metamórficas (exceto quartzitos). Entretanto, sua

aplicação é reduzida para rochas sedimentares, devido ao fato de rochas como arenitos serem muito resistentes ao intemperismo químico.

- **Coerência**

A tenacidade, dureza e friabilidade definem o grau de coerência de determinada rocha. Sua caracterização é tátil-visual, observando o comportamento do material frente ao risco da lâmina de aço e o impacto do martelo. Quanto maior for o grau de alteração da rocha, menor será sua coerência.

As **descontinuidades** são qualquer feição geológica que interrompa a continuidade física da matriz rochosa. O conjunto de descontinuidades que possuem a mesma direção é chamado de família. Um conjunto de famílias define um sistema de descontinuidades.

- **Orientação**

A orientação das fraturas é de fundamental importância para definição da estabilidade de um talude, ou construção de obras subterrâneas, como túneis. Rupturas planares são comuns em taludes caso o mergulho da descontinuidade seja superior e sua orientação seja a mesmo do talude. Podem provocar movimentos de massa do tipo tombamento, quando a direção da foliação ou estratificação são subparalelas à direção do talude e mergulham no sentido oposto ao mesmo. Caso duas ou mais famílias de fraturas se interceptem, podem deflagrar ruptura em cunha.

- **Espaçamento**

É a medida linear entre uma descontinuidade e a seguinte. O espaçamento entre descontinuidades é muito importante do ponto de vista de fundações e de lavras em pedreiras, pois permite definir a quantidade de blocos ou lajes que é possível extrair de um determinado volume do maciço.

- **Rugosidade**

Compreende as ondulações e irregularidades na superfície das descontinuidades, possuindo influência direta na resistência ao cisalhamento, pois aumenta o valor do ângulo de atrito. Quanto maior for a rugosidade das descontinuidades maior será a resistência ao cisalhamento do maciço.

- **Abertura**

Distância entre um par de paredes de uma descontinuidade, sendo medida ortogonalmente. Podem ser consideradas fechadas, abertas ou preenchidas. Em cada um destes casos as propriedades mecânicas do maciço serão distintas.

- **Preenchimento**

Material que preenche a abertura entre as descontinuidades. O preenchimento pode diminuir a resistência do maciço (material argiloso), ou aumentar (veios de quartzo). Para caracterizar o preenchimento é necessária uma descrição da sua composição, espessura, granulação e textura.

- **Faturamento**

É a quantidade de descontinuidades por metro que afeta uma parcela estudada do maciço, normalmente analisada em testemunhos de sondagem. Através do fraturamento é possível obter o **RQD** (*Rock Quality Designation*) do maciço, um parâmetro que indica a qualidade do meio rochoso. O RQD é calculado a partir da seguinte equação (DEERE et al., 1967):

$$RQD = \frac{\sum p}{n} \times 100$$

Onde  $p$  corresponde ao comprimento de peças maior que 10 centímetros e  $n$  é o comprimento da manobra de avanço de perfuração.

### **3.4. ÍNDICES MICROPETROGRÁFICOS**

Os índices micropetrográficos são parâmetros obtidos em lâmina delgada que permitem obter uma relação direta com o grau de intemperismo. As mudanças causadas pelos processos de intemperismo nos minerais constituintes formadores de rochas ocorrem de duas maneiras: química e física (CERYAN et al., 2008). Cada uma dessas alterações é definida e medida separadamente.

O índice de micro fraturas (densidade, persistência, abertura) é utilizado na medição das alterações ocorridas em escala de lâmina, através do intemperismo físico. De maneira análoga ao que ocorre em maciços rochosos, quanto maior for a densidade, persistência e menor for o espaçamento entre as micro fraturas, espera-se uma diminuição da resistência das frentes de intemperismo e aumentando o grau de alteração.

As alterações químicas podem ser analisadas em lâmina principalmente através da porcentagem de minerais de alteração e da razão entre cristais de quartzo e feldspato potássico. Quanto maior for a porcentagem de minerais secundários e maior a razão de quartzo sobre feldspatos, maior foi a ação do intemperismo químico. De forma análoga a anterior, diminui-se a resistência do maciço e aumenta seu grau de alteração.

Ceryan et al (2008) relacionou esses dois tipos de alterações em eixos cartesianos ( Figura 3), obtendo o respectivo grau de alteração de acordo com a coordenada no

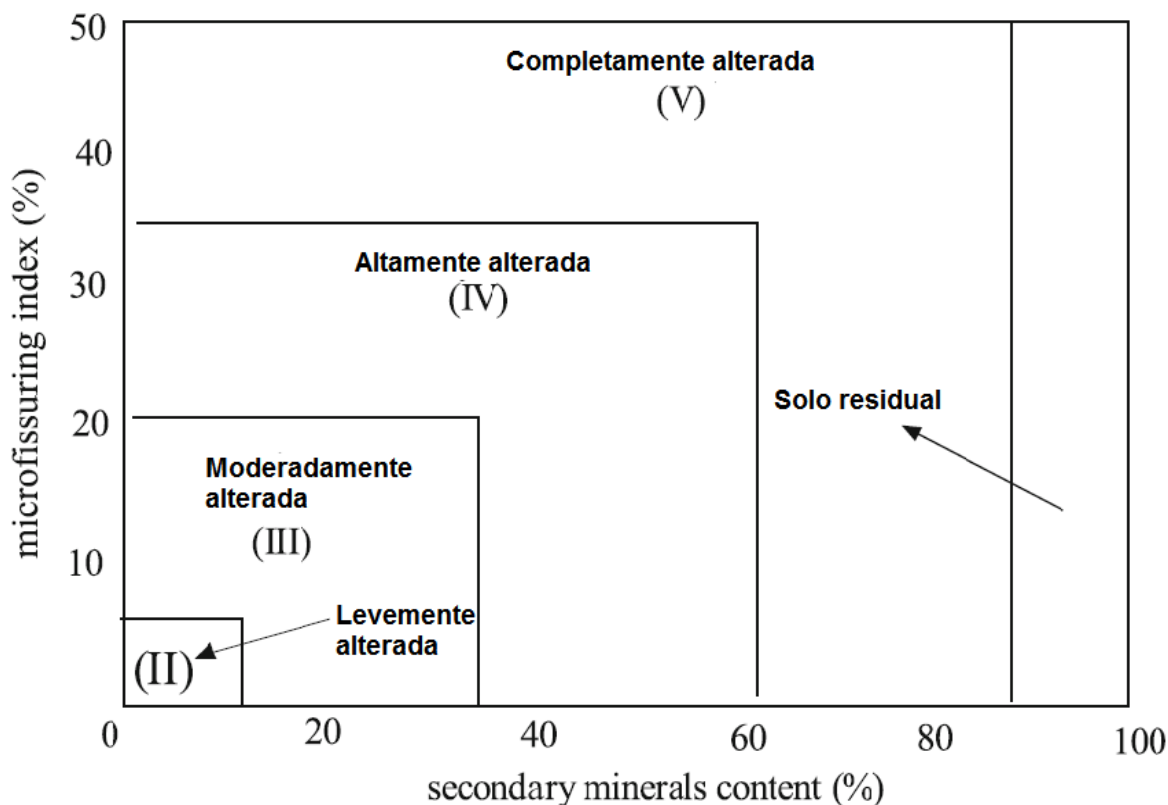


gráfico.

**Figura 3** - Gráfico de alteração utilizando índices micropetrográficos (Ceryan, 2008).

### 3.5. CLASSES DE ALTERAÇÃO

As primeiras metodologias para determinar as classes de intemperismo em rochas graníticas foram propostas por Moyer (1955), desde então diversos autores colaboraram para o desenvolvimento do tema, obtendo métodos que fossem preferenciais de acordo com os diferentes tipos de rochas em diferentes condições climáticas.

Segundo Moyer (1955), os granitos apresentam um desenvolvimento regular de alteração, possibilitando uma avaliação consistente do intemperismo. Os feldspatos se alteram quimicamente em argilominerais (sericita e caulinita), a biotita (clorita e óxidos de Fe) e oxidação geral do *fabric*, o que resulta em uma diminuição da resistência comparada à rocha sã.

Baseado em análises das características físicas e mineralógicas, de maneira que pudesse se quantificar o grau de intemperismo em granitos, seis classes de alterações foram propostas por Moye (1955). São elas solo granítico, granito totalmente alterado, granito muito alterado, granito moderadamente alterado, granito levemente alterado e granito são (Quadro 1). A alteração em profundidade será fortemente condicionada pelas estruturas locais. Quanto menor for o espaçamento, maior for a persistência e número de fraturas, mais intenso será o grau de alteração.

**Quadro 1** - Divisão das seis classes de alteração (Moye, 1955).

Classificação	Definição	Propriedades de Engenharia
Solo	Superfície de solo derivada do granito, na qual não é possível reconhecer o <i>Fabric</i> da rocha; a superfície desta camada normalmente contém húmus e raízes de plantas	Normalmente inadequado para fundações em estruturas de estradas, ou para uso como camada de pavimento; solo que para sua conservação demanda o estabelecimento de uma vegetação para prevenir da erosão; na ausência de vegetação pode tornar-se altamente instável e sujeito a movimentação quando saturado.
Completamente Alterado	Rocha completamente decomposta pelo intemperismo, mas ainda é possível reconhecer o <i>Fabric</i> granítico; Os feldspatos estão completamente decompostos em argilominerais; biotita pode estar decomposta em diferentes níveis de alteração; pode se desintegrar facilmente quando imerso na água e, normalmente, não são recuperados em sondagens diamantadas; muitas vezes apresenta coloração/mancha marrom devido à limonita.	Podem ser escavados manualmente e sem uso de explosivos; inadequado para local de fundação de barragens e grandes estruturas de concreto; talvez aplicável para fundações de barragens de terra (com permeabilidade de 1,5 a 30,5 metros por ano); instável em cortes com inclinação maior que 1:1; pode ser adequado para construção do maciço de barragem de terra (com permeabilidade de 0,03 a 1,5 metros por ano); facilmente erodido pela água e pelo gelo; portanto, demanda proteção contra erosão.
Muito Alterado	Rocha intemperizada numa intensidade tal que os testemunhos de sondagem (Core NX) podem ser quebrados e desintegrados facilmente pelas mãos; não se desintegra quando imerso em água; com muito cuidado, é possível recuperar alguns dos seus testemunhos de sondagem diamantada, mas, frequentemente, estes testemunhos são perdidos; apresenta-se, normalmente, com uma descoloração marrom avermelhado, devido à limonita.	Similiar ao Granito Completamente Alterado
Moderadamente alterado	Possui uma considerável alteração em toda a parte, mas ainda apresenta uma resistência tal que pedaços de testemunhos de sondagem (Core NX) não podem ser quebrados unicamente pelas mãos; normalmente apresenta uma descoloração marrom avermelhado, devido à limonita.	Podem ser escavados, com um a certa dificuldade, sem a ajuda de explosivos; talvez seja adequado para a fundação de pequenas estruturas de concreto; sua estabilidade em taludes dependerá da estrutura do maciço rochoso, especialmente das juntas, podendo ser capaz de sustentar-se verticalmente; a maior parte pode ser desmontada a partir da escavação mecânica; talvez seja adequado para o preenchimento inicial de barragens; apesar da rocha ser praticamente impermeável, o maciço pode apresentar alta permeabilidade devido à presença de juntas abertas.
Levemente Alterado	O <i>Fabric</i> da rocha apresenta-se nitidamente intemperizado sendo isso visível pela descoloração da limonita e a decomposição de alguns feldspatos; mas sua resistência aproxima-se à do granito são.	Requer o uso de explosivos para o desmonte; pode ser adequado para a fundação de barragens de concreto; praticamente impermeável, mas o maciço rochoso pode apresentar-se bastante permeável dependendo da existência de juntas abertas; não é adequado para utilização como agregado de concreto.
São ou Fresco (Inalterado)	Apesar de estar imediatamente abaixo das outras zonas de transição pode apresentar uma leve descoloração da limonita ao longo de suas juntas; sendo assim é comum ser descrito como "granito são com descoloração devido à limonita nas juntas", o que indica que o maciço rochoso é permeável, podendo apresentar blocos soltos que requerem suporte, por exemplo em túneis.	

Ruxton & Berry (1957) utilizaram a razão rocha/solo para determinar o intemperismo nos maciços rochosos (Quadro 2). Nessa metodologia proposta é necessário observar a geomorfologia local, pois relevos suaves produzem espessos pacotes intempérico (baixa razão rocha/solo), enquanto relevos dissecados fortemente controlados pela erosão produzem perfis rasos e alta razão rocha/solo.

Ruxton & Berry observaram uma típica sequência, marcada por *corestones* e gradação decrescente na razão rocha/solo da base para o topo dos perfis.

**Quadro 2** - Classificação de intemperismo de acordo com a razão rocha/solo (Ruxton & Berry, 1957).

Descrição	Características	Percentual de Rocha Maciça	Zona/Classe de Alteração
Solo	Coloração escura da superfície; até poucos metros de profundidade; camada superior arenosa e camada inferior argilosa.	0%	Horizontes A e B do solo
Rocha Decomposta	Areia ou argila sem presença de estruturas.	Normalmente 0 %	I
Rocha Decomposta com <i>Corestones</i>	Fragmentos de rocha maciça, arredondados e envoltos pela massa decomposta.	Menos que 50 %	II
<i>Corestones</i> com Rocha Decomposta	Predominância de <i>Corestones</i> retangulares em detrimento da rocha decomposta.	De 50 a 90 %	III
Rocha Parcialmente Alterada	Apenas alguma alteração ao longo dos planos das juntas, podendo apresentar algum traço de oxidação.	Mais que 90 %	IV

Dearman (1976) revisou diversos trabalhos anteriores e propôs dois esquemas para classificação do intemperismo (Quadro 3, Quadro 4, Quadro 5 e Quadro 6). O primeiro baseado na descrição do grau de alteração da rocha como material individual, associado às alterações físicas e químicas.

**Quadro 3** – Classificação do intemperismo frente à desintegração física (Dearman, 1974).

Desintegração Física		
Termo	Símbolo	Feições Típicas
Sã ou Inalterado	W1	100% rocha; descontinuidades fechadas.
Levemente Desintegrado	M II	100% rocha; descontinuidades abertas e espaçadas mais do que 60 mm.
Moderadamente Desintegrado	M III	Até 50% de rocha está desintegrada pelas descontinuidades abertas ou pela escamação esferoidal espaçadas até 60 mm ou menos, e/ou pela desintegração granular. A estrutura da rocha está preservada.
Muito Desintegrado	M IV	Entre 50% e 100% da rocha está desintegrada pelas descontinuidades abertas ou pela escamação esferoidal espaçadas até 60 mm ou menos, e/ou pela desintegração granular. A estrutura da rocha está preservada.
Completamente Desintegrado	M V	A rocha está praticamente modificada à condição de solo pela desintegração granular e/ou fraturamento dos grãos. A estrutura da rocha está, em sua maioria, preservada.
Solo Residual	M VI	A rocha está modificada à condição de solo pela desintegração granular e/ou fraturamento dos grãos. A estrutura da rocha está destruída e o solo é composto pelos residuais minerais, inalterados, da rocha original.



**Quadro 4** - Classificação do intemperismo frente à decomposição química (Dearman, 1974).

Decomposição Química		
Termo	Símbolo	Feições Típicas
São ou Inalterado	W I	100% de rocha; sem descoloração, decomposição, ou qualquer outra mudança.
Levemente Decomposto	C II	100 % de rocha; descoloração nas superfícies das descontinuidades; o material rocha pode apresentar alguma descoloração.
Moderadamente Decomposto	C III	Solo resultante da decomposição da rocha compõe até 50% da sua massa
Muito Decomposto	C IV	Solo resultante da decomposição da rocha compõe entre 50% e 100% da sua massa.
Completamente Decomposto	C V	A rocha está praticamente toda modificada à condição de solo. A estrutura da rocha está, em sua maioria, preservada.
Solo Residual	C VI	A rocha está completamente modificada à condição de solo e a estrutura da rocha está completamente destruída.

**Quadro 5** - Classificação do intemperismo frente à dissolução (Dearman, 1974).

Dissolução		
Termo	Símbolo	Feições Típicas
São ou Inalterado		100% rocha; descontinuidades fechadas.
Levemente Dissolvido		100% de rocha; descontinuidades estão abertas. Uma leve dissolução nas superfícies das descontinuidades pode estar presente.
Moderadamente Dissolvido		Até 50% da rocha foi removida pela dissolução. Um pouco de resíduo ainda pode estar presente nos vazios. A estrutura da rocha está preservada.
Muito Dissolvido		Mais de 50% da rocha foi removida pela dissolução. Um pouco de resíduo ainda pode estar presente nos vazios. A estrutura da rocha está preservada.

**Quadro 6** - Classificação do intemperismo frente ao grau de alteração da matriz (Dearman, 1974).

Termo	Descrição
Fresco	Sem sinais visíveis de alteração
Descolorido	A cor original da rocha sã está modificada, sendo evidência de alteração. O grau de descoloração pode ser indicado. Se a mudança de cor for especificamente para um mineral isso deve ser mencionado.
Decomposto	A rocha está alterada à condição de solo em que o <i>Fabric</i> ainda está intacto, mas algum ou todos os grãos minerais estão decompostos.
Desintegrado	A rocha está alterada à condição de solo em que o <i>Fabric</i> ainda está intacto. A rocha é friável, mas os grãos minerais não estão decompostos.

O segundo se baseia na descrição do estado do maciço rochoso (Quadro 7), podendo ser utilizado e ajustado para diferentes litotipos em diferentes ocasiões, utilizando parâmetros como grau de descoloração, razão rocha/solo e textura original preservada.

**Quadro 7** - Escala de alteração para maciço rochoso (Dearman, 1974).

Termo	Classe	Descrição
Fresco	I	Sem sinais visíveis de alteração da matriz; talvez uma leve descoloração nas superfícies da descontinuidade principal.
Levemente alterado	II	Descoloração indica alteração na matriz e nas superfícies das descontinuidades. Toda a matriz pode estar descolorida pela alteração.
Moderadamente alterado	III	Menos da metade da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente como material contínuo ou na forma de <i>corestone</i> .
Muito alterado	IV	Mais da metade da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente como material contínuo ou na forma de <i>corestone</i> .
Completamente alterado	V	Toda a matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. A estrutura original do maciço e o <i>Fabric</i> da rocha estão praticamente intactos.
Solo residual	VI	Toda a matriz está convertida a solo. A estrutura do maciço e o <i>Fabric</i> da rocha estão destruídos. Há uma grande mudança de volume, mas o solo ainda não foi transportado significativamente.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo se encontra na porção sul-sudeste do estado do Espírito Santo. O principal acesso a partir do Rio de Janeiro é feito pela BR-101 sentido Vitória devendo acessar a BR-482 em direção ao município de Cachoeiro de Itapemirim (Figura 4).

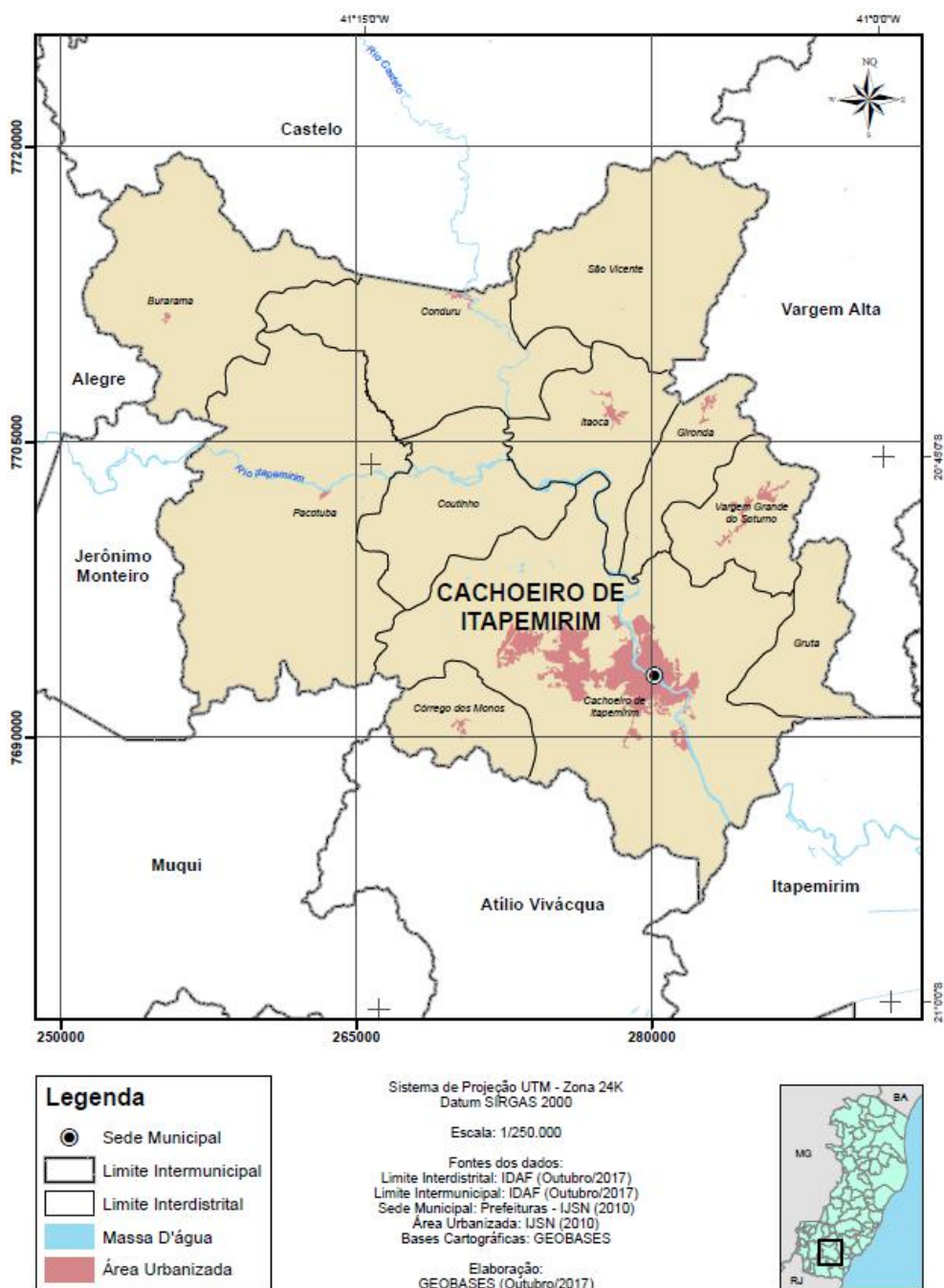
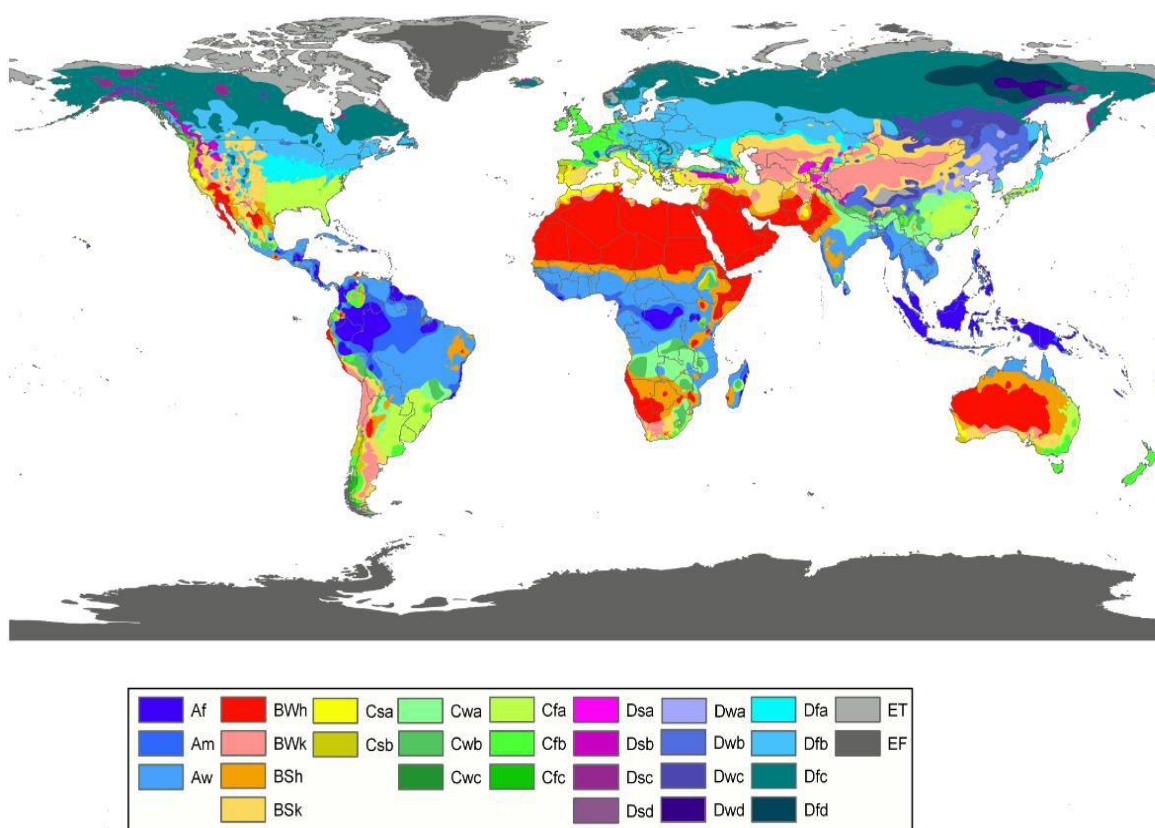


Figura 4 - Mapa de localização do município de Cachoeiro de Itapemirim (Incaper, 2017).

## 4.2. CLIMA E VEGETAÇÃO

O estado do Espírito Santo apresenta os seguintes tipos de clima: Aw, Cwa e Cwb.

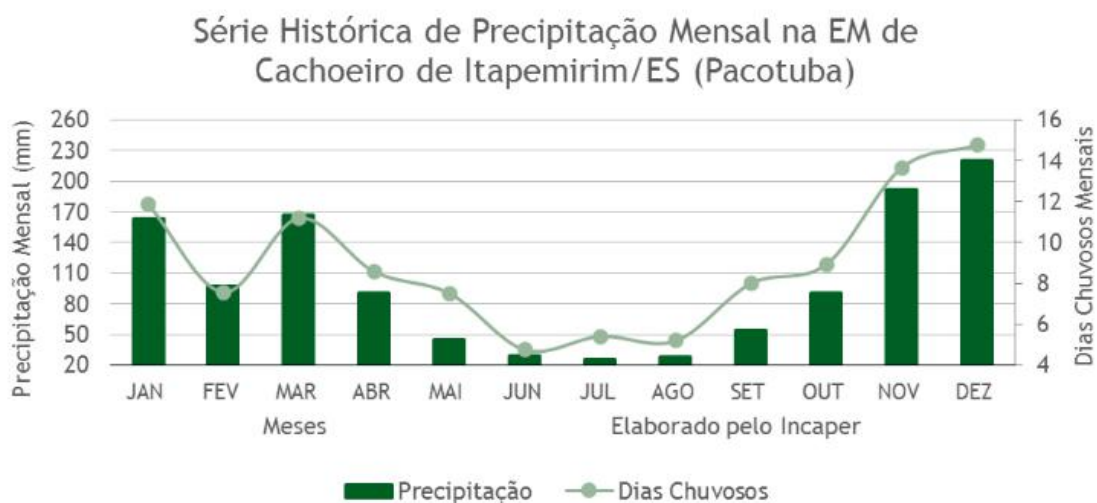
Segundo a classificação de Köppen, o clima Aw é predominantemente quente e úmido, com estação seca no inverno sendo mais característico nas encostas montanhosas até a faixa litorânea do Estado do Rio de Janeiro (Figura 5). O clima Cwa é encontrado em planaltos acima dos 400 metros de altitude, não superando os 700 metros de altitude. Sua principal característica são precipitações do tipo tropical abundantes e verões quentes associados a invernos secos, sendo que a temperatura média do mês mais frio é menor que 18° C e a do mês mais quente superior a 22° C. O clima Cwb é predominantemente encontrado na serra do Caparaó, possui verões brandos e chuvosos, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22° C (CPRM, 1997).



**Figura 5** - Mapa climático mundial (Köppen, adaptado).

Na região da área de estudo, o clima predominante é quente e úmido (Aw), caracterizado por possuir inverno seco (Junho, Julho e Agosto) (Figura 6). Os meses de

maior pluviosidade vão de Novembro a Março. O índice pluviométrico é em média 1.200mm (INCAPER, 2013).



**Figura 6** - Série histórica de precipitação mensal em Cachoeiro de Itapemirim (Incaper, 2013).

A vegetação é variável, com predomínio a oeste de vegetação latifoliada tropical úmida. No interior da região predomina uma vegetação subarbórea, herbácea ou arbustiva, sendo bem representada pelos campos da serra do Caparaó. Na parte leste ocorre paralelamente ao litoral a vegetação do tipo litorânea, composta por três tipos de formações: Praias, restingas e mangues (CPRM, 1997).

### 4.3. GEOMORFOLOGIA

A área da Folha SF.24-V-A, município de Cachoeiro de Itapemirim, apresenta formas de relevo distintas, refletindo os importantes eventos tectônicos e estruturais. A diversidade litológica e o paleoclima contribuem significativamente para a atual composição geomorfológica.

Na faixa que se estende desde Santa Leopoldina (norte) até Rio Novo do Sul (sul), predominam colinas e cristas típicas de relevo elevado. A evolução morfológica se deu por dissecação fluvial de rochas gnáissicas e quartizíticas, com cristas bem definidas e encostas convexas e arredondadas (CPRM, 1997).

A oeste desta faixa ocorre o domínio de relevo bem elevado, com *trend* NE/SW, se estendendo até Presidente Soares (oeste). As rochas nessa região são predominantemente granitóides de composição variada e rochas gnáissicas. Nesta região estão localizados os

maciços Caparaó, Santa Angélica, Conceição de Muqui, Castelo, Venda Nova entre outros, gerando vales fortemente encaixados, onde ocorre com frequência campos de blocos e matacões (CPRM, 1997).

O limite sul deste domínio corresponde à planície costeira, uma área mais rebaixada, caracterizada por possuir uma zona de denudação com gradação em direção ao mar (CPRM, 1997).

A área apresenta uma grande variedade de solos em função da diversidade litológica e estrutural, sendo condicionados pela geomorfologia. Nas áreas de relevo forte, ondulado e montanhoso predominam os Latossolos vermelho-amarelos distróficos e cambissolos distróficos. Ocorrem também solos Podzólicos vermelho-amarelos, solos orgânicos em várzeas e areias marinhas em praias e restingas (CPRM, 1997).

A geomorfologia das áreas visitadas em campo é predominantemente formada por topografia acidentada e vales fortemente encaixados controlados pelas discontinuidades do maciço rochoso (



Figura 7). Ocorre em abundância campos de blocos e matacões.

**Figura 7** – Área de pesquisa, frente de lavra de granito ornamental. Ao fundo, relevo escarpado com vales incisivos.

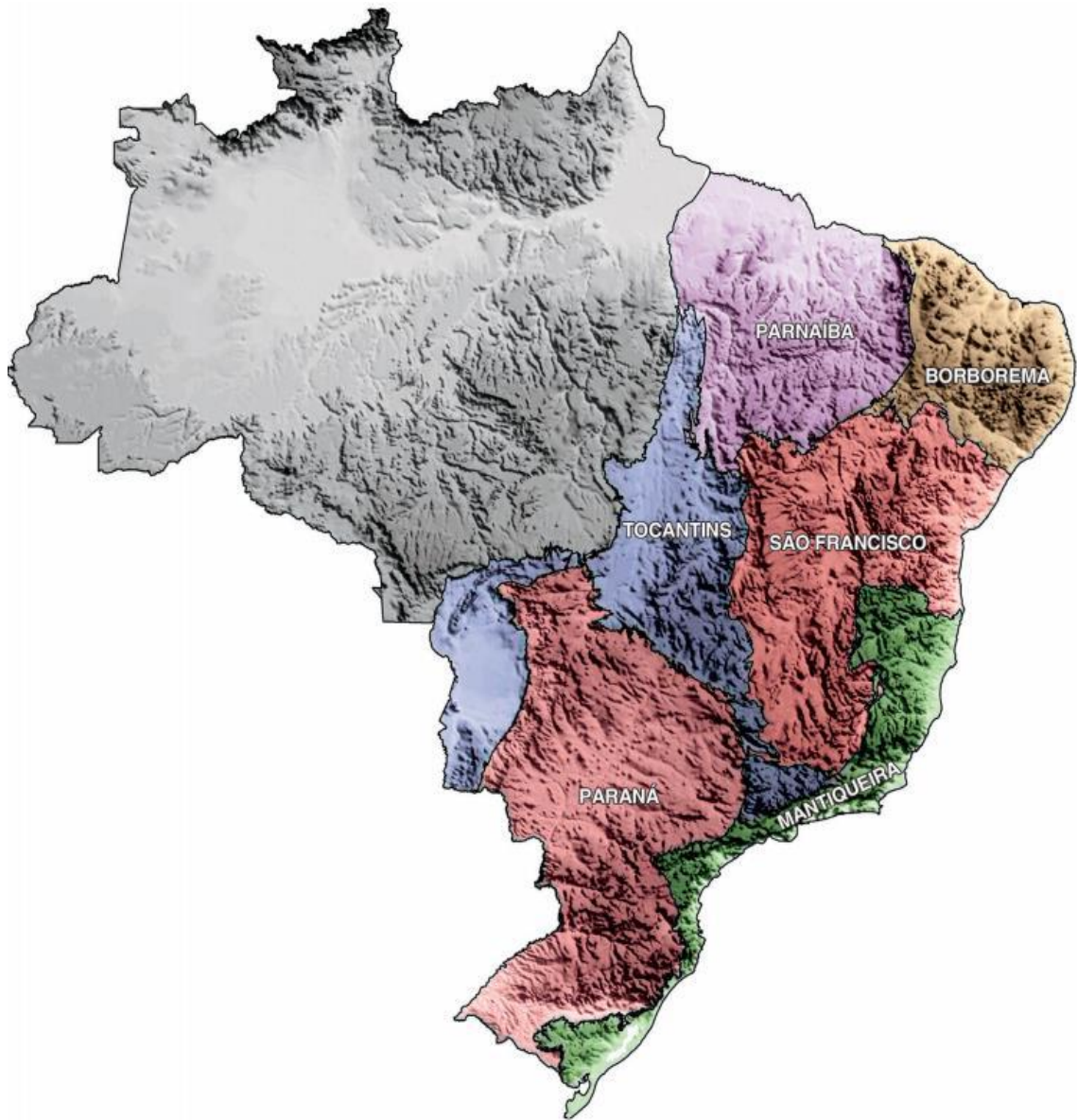
#### **4.4. GEOLOGIA REGIONAL**

A área de estudo insere-se na Província Estrutural da Mantiqueira. Esta pode ser considerada como um sistema orogênico de idade Neoproterozóica, cuja extensão ocorre do sul da Bahia até o Rio Grande do Sul sendo constituída pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel (HEILBRON et al., 2004).

A Província Mantiqueira foi definida por Almeida et al. (1977), como uma faixa paralela à costa atlântica do sudeste e sul do Brasil, com direção NE-SW e mais de 3.000 km de comprimento, fazendo limite com outras províncias importantes como Cráton São Francisco e Província Tocantins (Figura 8). Pode ser subdivida em três segmentos geográficos: Segmento Setentrional, que corresponde ao Orógeno Araçuaí; Segmento Central, que engloba a Faixa Ribeira, a Zona de Interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira, os terrenos Apiaí, São Roque e Embu; Segmento Meridional, que inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel (HEILBRON et al., 2004).

A orogenia na Província Mantiqueira ocorreu de forma diacrônica, ou seja, em períodos de tempo similares ocorreram diferentes estágios de evolução nos vários segmentos de um mesmo sistema. Neste caso, a Orogenia Brasileira (de 880 a 580 Ma), responsável pela amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental, foi o período diacrônico que gerou a estruturação do embasamento da Plataforma Sul-Americana (HEILBRON et al., 2004).

A Província Mantiqueira é constituída, portanto, de rochas do embasamento, principalmente orto e paragneisses paleoproterozóicos (com ocorrências de rochas arqueanas), e de rochas supracrustais paleoproterozóicas a neoproterozóicas, as quais foram intrudidas por corpos plutônicos pré-, sin- e pós-colisionais durante a colagem orogênica brasileira (Figura 9).



**Figura 8** - Províncias estruturais do Brasil. Em verde, a Província Mantiqueira (modificado de Almeida et al., 1997).



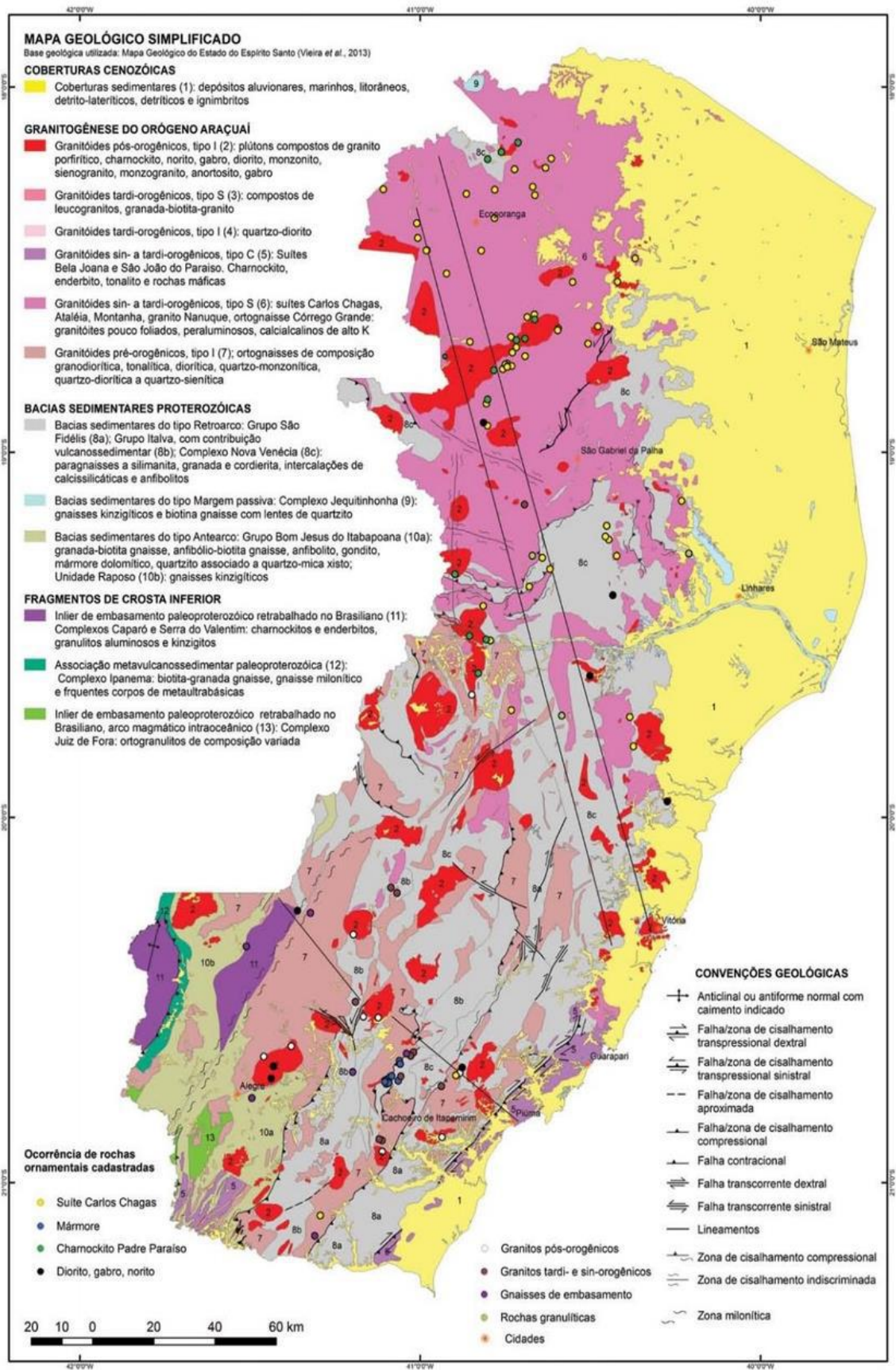


Figura 9 - Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo (CPRM, 2013).

#### 4.4.1. FAIXA ARAÇUAÍ

A faixa de dobramentos Araçuaí está localizada no segmento setentrional da Província Mantiqueira (Figura 10), denominado de Orógeno Araçuaí (PEDROSA SOARES e WIEDEMANN LEONARDOS, 2000; PEDROSA SOARES et al., 2001), definido atualmente como o segmento brasileiro do sistema orogênico Araçuaí-Congo Ocidental, situado na grande reentrância limitada pelos crátons do São Francisco e do Congo, edificados no Neoproterozóico-Cambriano, durante o Brasiliano III (PEDROSA SOARES et al., 2007).

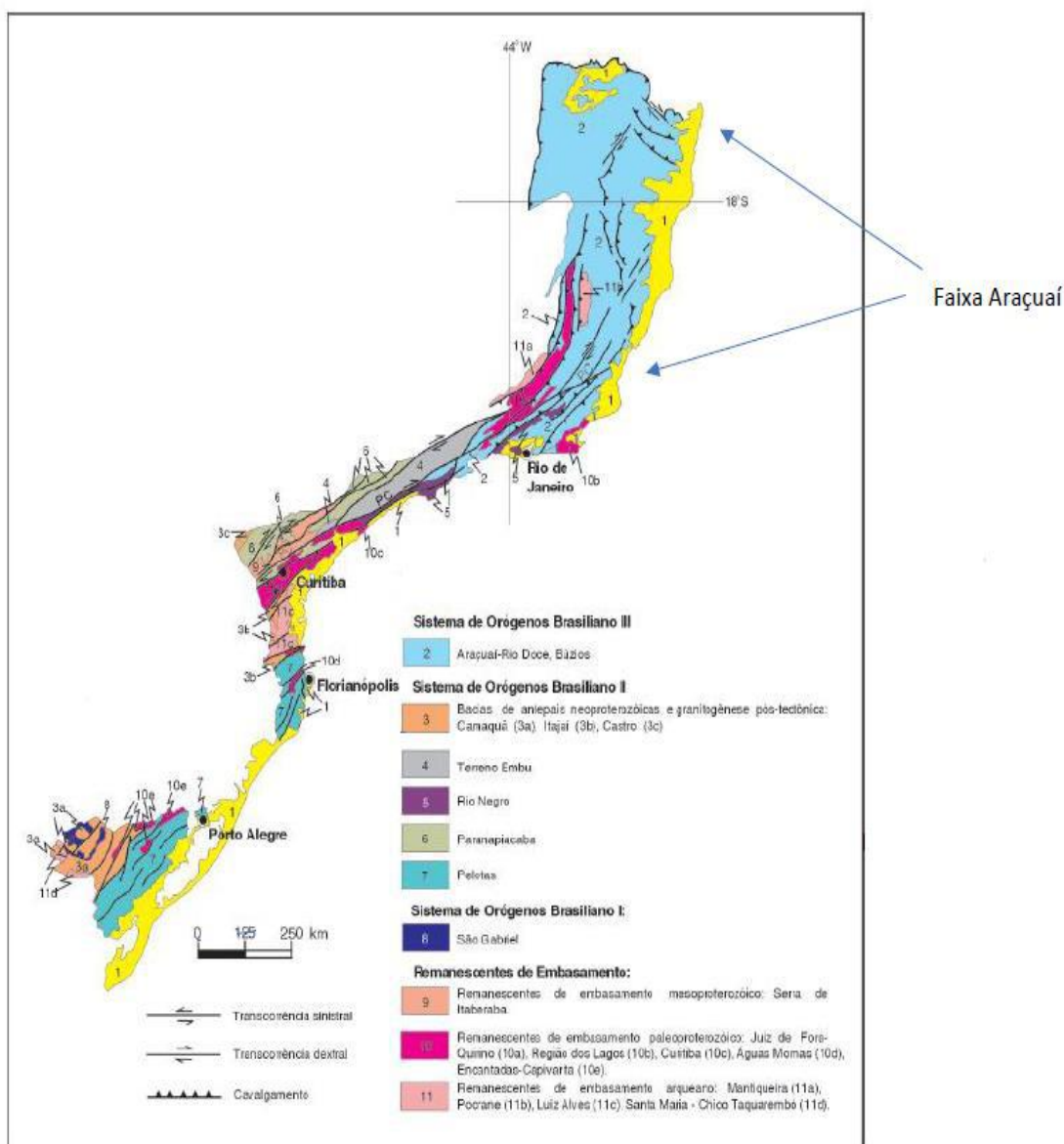


Figura 10 - Localização da Faixa Araçuaí na Província Mantiqueira (modificado de CPRM, 2003).

Alkmim e colaboradores propuseram um modelo de evolução tectônica “quebra-nozes”, que embasou o entendimento do processo de separação do Paleocontinente Gondwana Ocidental. Segundo essa teoria, um Ciclo de Wilson teria se iniciado com o rifte Macaúbas, o qual foi interrompido por eventos tectônicos de grandes magnitudes, antes da separação total do supercontinente Rodínia, de modo que mecanismo de fechamento da bacia Macaúbas teria se dado de maneira diferente, como um “quebra-nozes”, resultado da colisão das paleoplacas São Francisco-Congo, Amazônia, Paraná-Paranapanema Rio de La Plata e Kalahari. O choque de placas das margens opostas à bacia teria sido o mecanismo responsável pelo início do fechamento do pequeno oceano, que deu origem ao Orógeno Araçuaí.

Este orógeno pode ser compartimentado, de maneira mais ampla, na faixa de dobramentos e, a leste dela, o núcleo cristalino, também denominado de núcleo metamórfico-anatético (ALKMIM et al., 2007).

#### **4.5. GEOLOGIA LOCAL**

As áreas das pedreiras visitadas nesta pesquisa encontram-se ao sul do município de Cachoeiro (Figura 11), correspondendo às intrusões graníticas pós-orogênicas que possuem como encaixantes as rochas metassedimentares e metavulcanossedimentares do Complexo Paraíba do Sul (Figura 12).

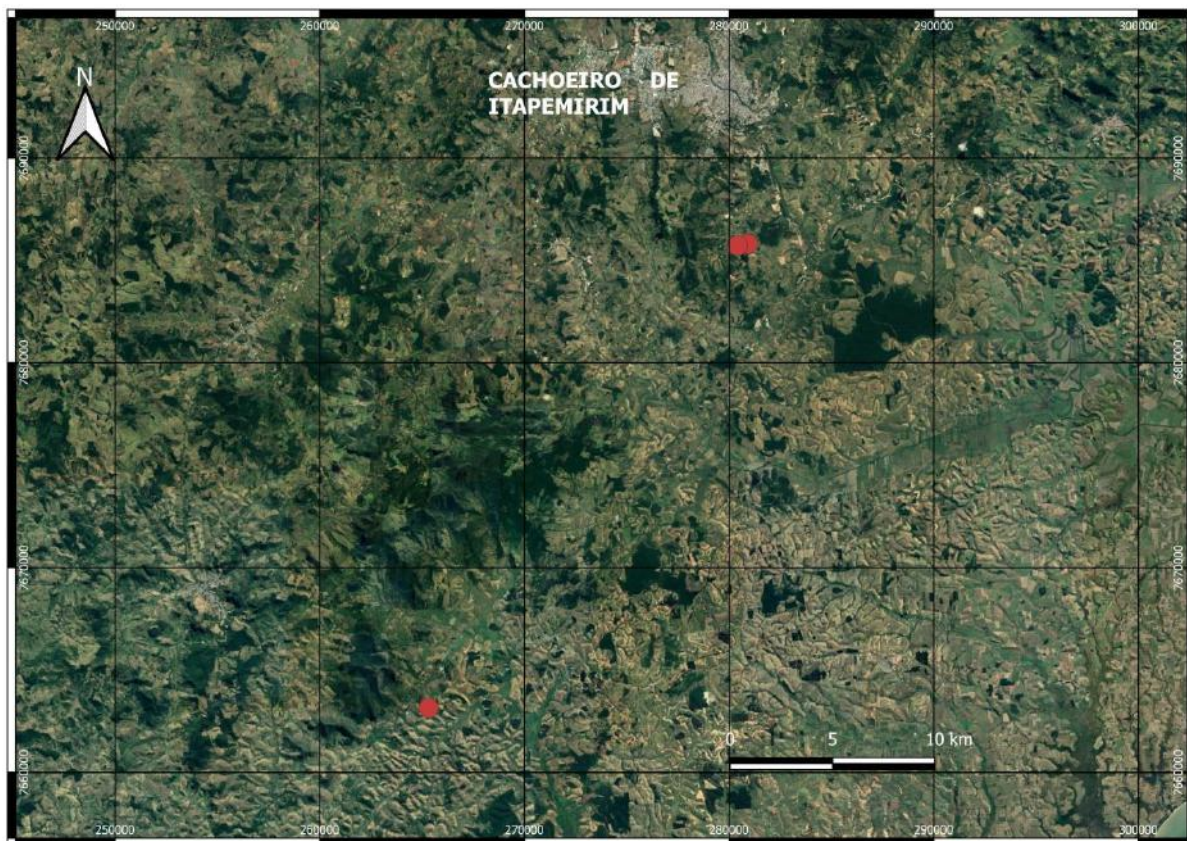


Figura 11 - Em vermelho a localização das pedreiras visitadas.

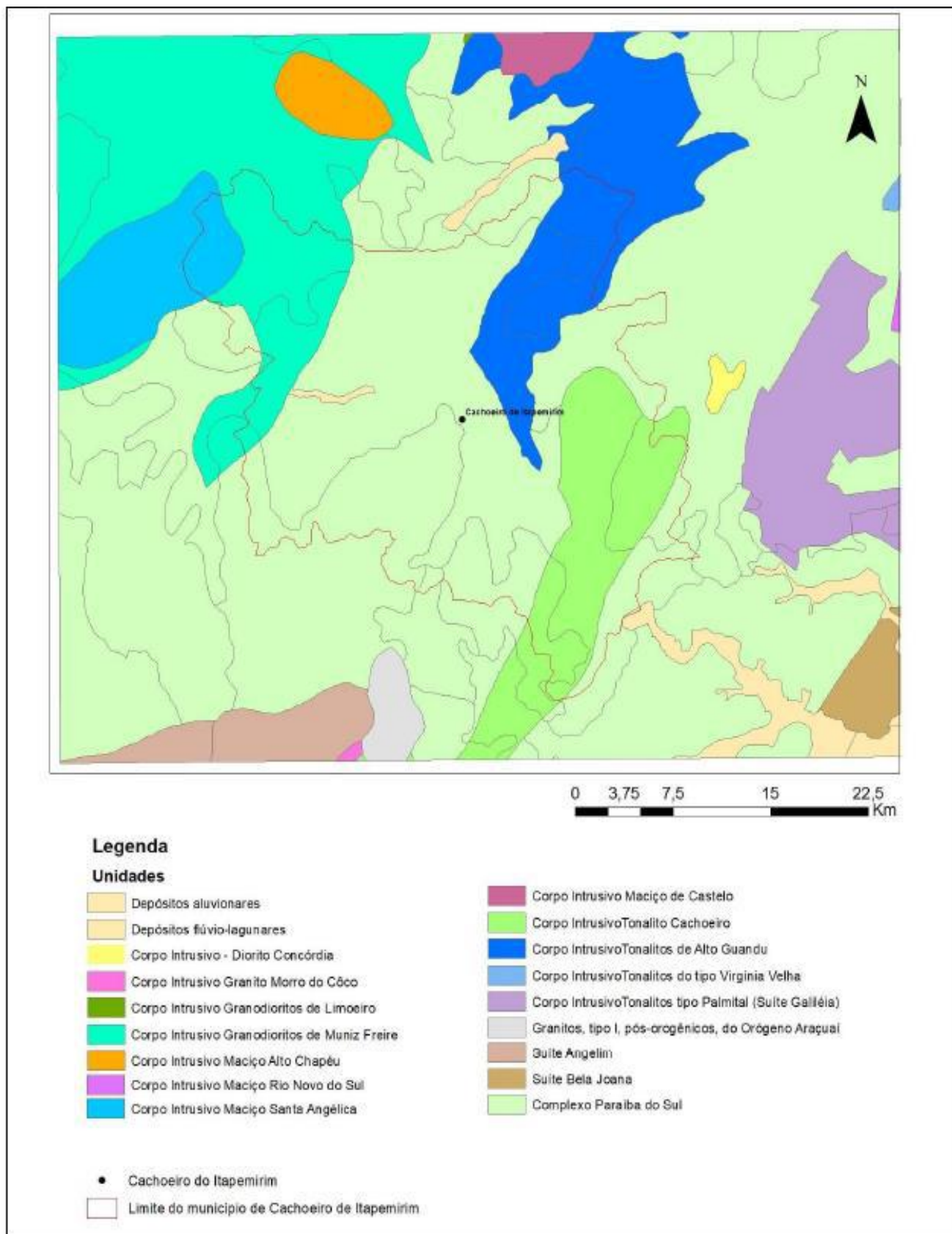


Figura 12 - Mapa Geológico local (Jaques, 2018).

#### **4.5.1. COMPLEXO PARAÍBA DO SUL**

As rochas deste complexo possuem idade Neoproterozoica, geradas pelos eventos tectônicos e metamórficos do Panafricano-Brasiliano, fazendo parte da sequência supracrustal da Faixa Ribeira (Almeida et al., 1973). É composta por uma variedade de gnaisses bandados ou homogêneos, com intercalações de quartzitos, mármore, rochas calcissilicáticas e anfibolitos.

#### **4.5.2. GRANITOS PÓS-OROGÊNICOS**

Na região do sul do Espírito Santo, o magmatismo pós-orogênico (535 a 480 Ma) da Faixa Araçuaí é marcado predominantemente por granitóides metaluminosos cálcio-alcalinos de alto potássio. São corpos do tipo-I, intrudidos ao longo de zonas de cisalhamento dúctil de alto ângulo e núcleos de estruturas antiformais. Pequenas lentes gabróicas, piroxeníticas, anortosíticas e de flogopitaperidotito são raras neste cinturão. O nível profundo da erosão associado a um relevo escarpado, expõe corpos afunilados com raízes cilíndricas sub-verticais, com gradação a planos de fluxo de menor ângulo de mergulho. Nas seções horizontais as formas são elípticas, ameboides e circulares. A foliação ígnea é bem desenvolvida e a xistosidade das encaixantes envelopa os corpos ígneos se amoldando a eles. Cada intrusão possui domínios concêntricos mais básicos a intermediários no centro e são envolvidos por anéis interdigitados de rochas mistas e granitóides. Granodioritos, sienogranitos e monzogranitos, apresentando em sua composição allanita, titanita e biotita compõem as fácies mais tardias, intrudidos como sills, diques e/ou formando o envoltório mais externo dos plútons, nas bordas da intrusão. Evidências regionais de misturas de magmas contrastantes, com composições que gradam de gabro a granito, são observadas em todas as intrusões (WIEDEMANN LEONARDOS et al., 2001).

As Figuras 13, 14 e 15 ilustram os aspectos texturais dos blocos de granitos encontrados em campo.



**Figura 13** – Bloco sendo cortado para rocha ornamental. Injeções aplíticas são comuns cortando o granito.



**Figura 14** - Contato entre diferentes classes de alteração do granito (Jaques, 2018).



**Figura 15** - Granito pós-orogênico tipo I em detalhe (Jaques, 2018).



## **5. METODOLOGIA**

A metodologia do trabalho foi dividida em três etapas. A primeira etapa consistiu em pesquisa bibliográfica sobre artigos e bases científicas que abordassem os temas de intemperismo em granitos, buscando compreender a metodologia utilizada pelos autores para aplicar neste trabalho.

A segunda representou as atividades de campo, onde se obteve o mapeamento e descrição das diferentes classes de alteração, controle estrutural, caracterização, identificação e descrição da morfologia dos perfis e frentes de intemperismo dos granitos, considerando a escala do maciço rochoso e características das discontinuidades.

A terceira etapa compreendeu as atividades em laboratório que contemplam a descrição petrográfica, considerando os índices micropetrográficos Assim, busca-se avaliar o efeito do intemperismo químico e físico sobre os granitos para os níveis de alteração W1, W2, W3 e W4.

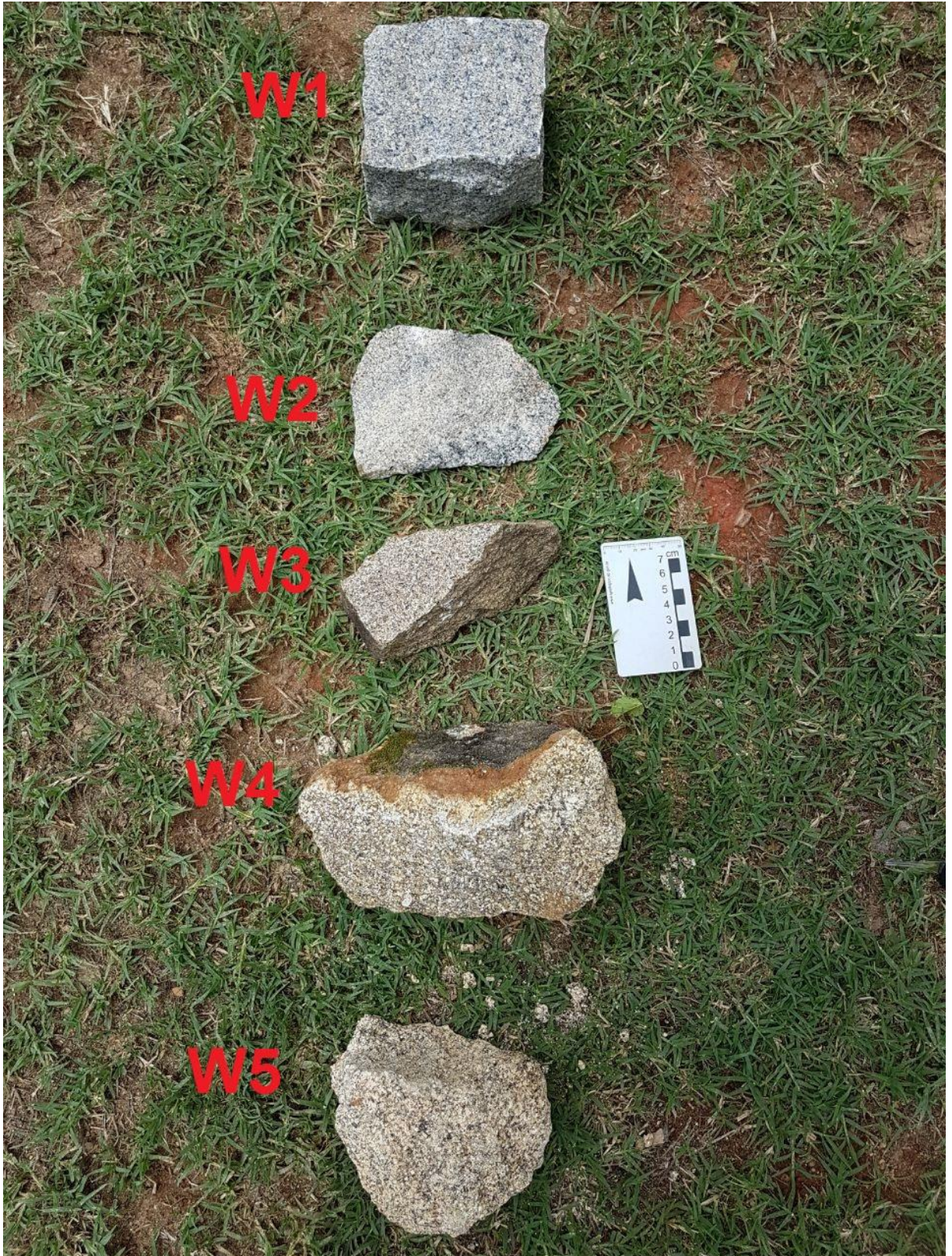
### **5.1. MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO**

Foi realizado caminhamento em busca de afloramentos em cortes de estradas e frente de lavras em pedreiras, determinando os perfis que representassem o maior número de classes de alterações. Dois perfis foram escolhidos para tal análise, sendo representados por Perfil A e Perfil B.

Foram definidas, a partir da metodologia da ISRM (2007) cinco classes de alteração: W1–Rocha sã, W2–Rocha levemente intemperizada, W3–Rocha medianamente intemperizada, W4–Rocha altamente intemperizada e W5–Rocha completamente intemperizada (Figura 16), (Tabela 1). Foi também identificada em campo a classe W6, porém como esta representa o solo residual jovem do granito, não foi abordada neste trabalho. A classe W5 devido ao processo de alteração e ocorrência em porções restritas (esfoliação esferoidal) do maciço, não foi coletada.

**Tabela 1** - Classes de alteração reconhecidas em campo (adaptado ISRM, 2007).

<b>SIGLAS</b>	<b>DENOMINAÇÕES</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
W1	Rocha sã	Apresenta minerais primários sem vestígios de alterações, ou alterações incipientes.
W2	Rocha pouco alterada	Apresenta minerais pouco alterados e a rocha pode ser descolorida.
W3	Rocha medianamente alterada	Apresenta minerais medianamente alterados e a rocha é bastante descolorida.
W4	Rocha muito alterada	Apresenta minerais muito alterados, por vezes friáveis
W5	Rocha extremamente alterada	Quase todos os minerais primários totalmente alterados. A rocha é intensamente descolorida
W6	Solo Residual	Solo residual jovem, preservando parcialmente as estruturas.



**Figura 16** - Amostras das 5 classes de alteração estudadas (Jaques, 2018)

Após a definição das classes de alteração, foram realizados croquis e fotos para reconhecimento morfológico-estrutural do maciço rochoso, atribuindo uma razão rocha/solo e interpretando como as estruturas se dispõem espacialmente e controlam o intemperismo (Figura 17).



**Figura 17** - Frente de intemperismo estudadas na área.

## **5.2. MICROPETROGRAFIA**

Para avaliar as propriedades micropetrográficas dos granitos, foram produzidas oito lâminas delgadas, duas para cada grau de alteração atribuído (W1, W2, W3 e W4), no sentido paralelo e perpendicular aos lineamentos principais da rocha. Essas lâminas foram descritas no laboratório de petrografia do Departamento de Geologia da UFRJ utilizando microscópio modelo *Nikon Eclipse E200*.

Para o cálculo da porcentagem modal dos minerais formadores de rocha, utilizou-se 300 pontos de contagem nas lâminas duplicatas W1, devido ao grau de alteração dos minerais ser menor.

As Fotomicrografias foram feitas no Laboratório de Geologia Sedimentar da UFRJ (LageSed), utilizando microscópio *Zeiss*.

Para determinar o índice de microfissuras, as lâminas foram divididas em 16 visadas, contabilizando as fraturas mais relevantes. O índice de microfissuras obtido foi calculado utilizando a fórmula a seguir, proposta por Momeni (2014).

$$IM = \frac{\text{Número de fraturas}}{50 \text{ mm}}$$

Os minerais alteráveis mais comuns em rochas graníticas são plagioclásio, k-feldspato e biotita. Para quantificar este intemperismo químico, foi adotada a seguinte equação de MOMENI (2014):

$$D = \frac{D \text{ Alterado}}{D \text{ Total}} \times 100$$

Onde D é o grau de alteração da rocha, D Alterado corresponde aos minerais plagioclásio, K-feldspato e biotita alterados e D total corresponde à soma dos minerais alterados e não alterados.

A razão Quartzo/Feldspato das diferentes lâminas foi considerada também neste trabalho como mais um índice micropetrográfico químico.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. CONDICIONANTES GEOLÓGICOS

Foram mapeados e interpretados dois perfis de intemperismo (Figura 18 e Figura 19) a fim de se entender como as litologias, estruturas e clima interferem no padrão morfológico da área e por consequência, na intensidade da ação intempérica.

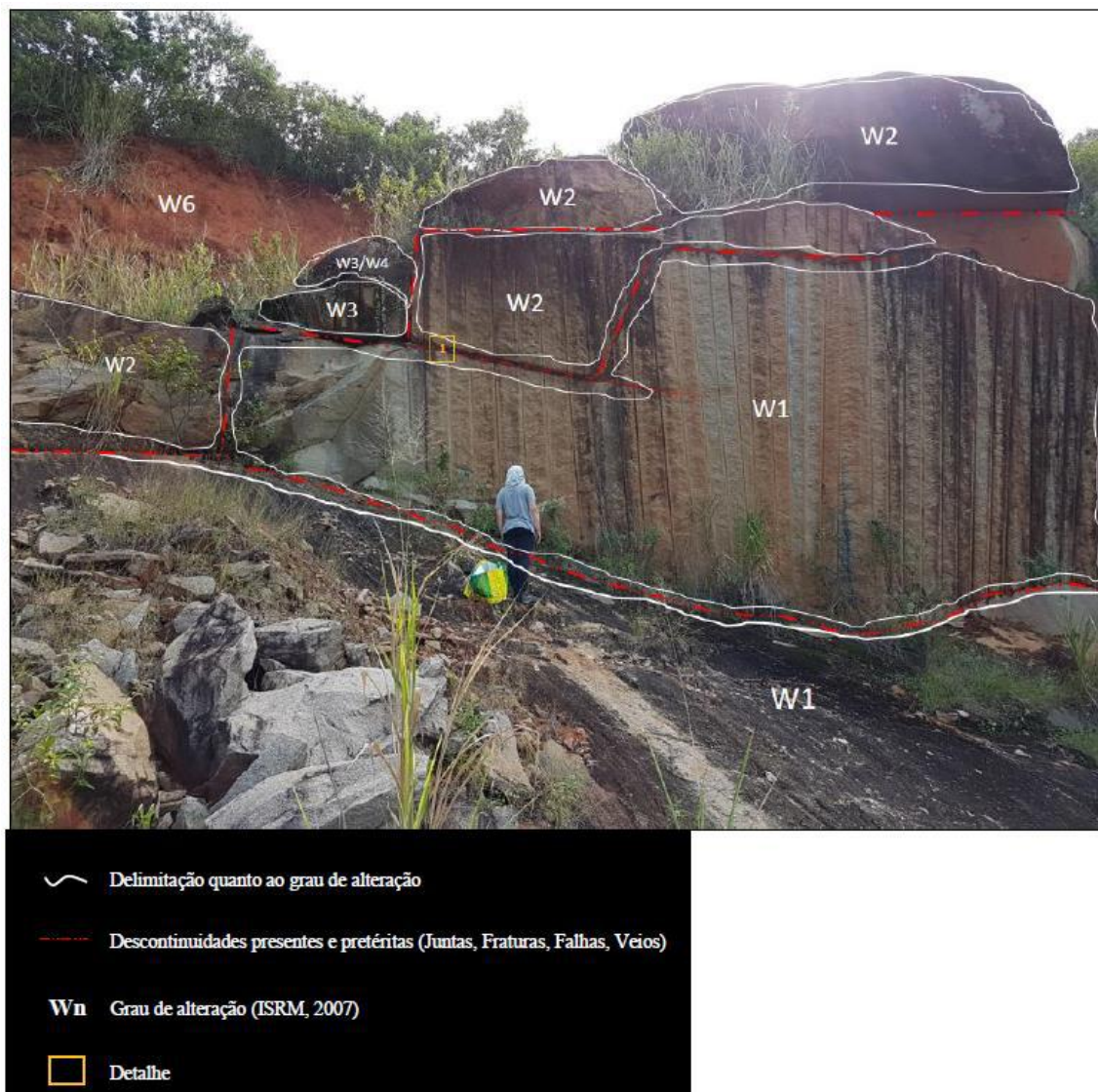


Figura 18 – Perfil A interpretado (Jaques, 2018).



Figura 19 – Perfil B interpretado (Jaques, 2018).

O Perfil A é bastante heterogêneo do ponto de vista de classes de alteração, tanto verticalmente quanto horizontalmente, ocorrendo simultaneamente cinco classes de alteração (exceto W5) discutidas neste trabalho. *Corestones* são comuns no saprólito, atingindo 8 metros de largura. Ocorrem duas famílias de descontinuidades, subparalelas e subverticais ao maciço, individualizando os *corestones*, onde a alteração esferoidal ocorre de forma gradual do centro para as bordas. A razão rocha/solo neste perfil varia entre 0,6 e 0,8. As amostras W1 e W2 foram retiradas deste perfil.

O Perfil B apresenta razoável homogeneidade de alteração vertical, mas completamente heterogêneo horizontalmente. Assim como no primeiro caso, as seis classes de alteração também se encontram presentes. Os *corestones* são mais abundantes, atingindo a largura de 10 metros. Veios cortam os *corestones* W1. Novamente, a alteração ocorre de forma esferoidal gradual nos blocos. A razão rocha/solo deste perfil é ligeiramente superior ao anterior, variando entre 0,7 e 0,8.

Do ponto de vista das descontinuidades, foi analisado um trecho de rocha sã, cortado por fraturas, conforme ilustra a Figura 20 e a Tabela 2.



**Figura 20** - Corte escolhido para analisar descontinuidades. Fratura ocorrendo na direção oposta ao veio aplítico.

**Tabela 2** - Parâmetros geotécnicos obtidos do afloramento anterior. JRC é o coeficiente de rugosidade da junta, varia de 0 a 20.

Orientação	Abertura	Espaçamento	Persistência	Preenchimento	Rugosidade
355 <sup>0</sup> /75 <sup>0</sup>	2 mm	7 m	<5 m	Solo Residual e Argila	JRC = 10



## 6.2. DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

As amostras coletadas em campo foram descritas observando suas características mineralógicas, texturais, de cor e estruturais, tanto macroscopicamente quanto microscopicamente.

### 6.2.1. AMOSTRA W1

Rocha plutônica, holocristalina, fanerítica, equigranular média (1 a 5mm), félsica, de cor acinzentada, sem apresentar descoloração dos minerais. A rocha não apresenta foliação e fraturas, sua estrutura é maciça.

Composta por quartzo, feldspato, biotita e minerais máficos (Figura 21 e Tabela 3). Em lupa não foi possível diferenciar os feldspatos em plagioclásios e feldspatos potássicos.

O quartzo é xenomórfico, de cor incolor a cinza, com brilho vítreo, apresentando fratura conchoidal.

Os feldspatos são hipidiomórficos a xenomórficos, de cor cinza esbranquiçados, brilho nacarado e hábito tabular.

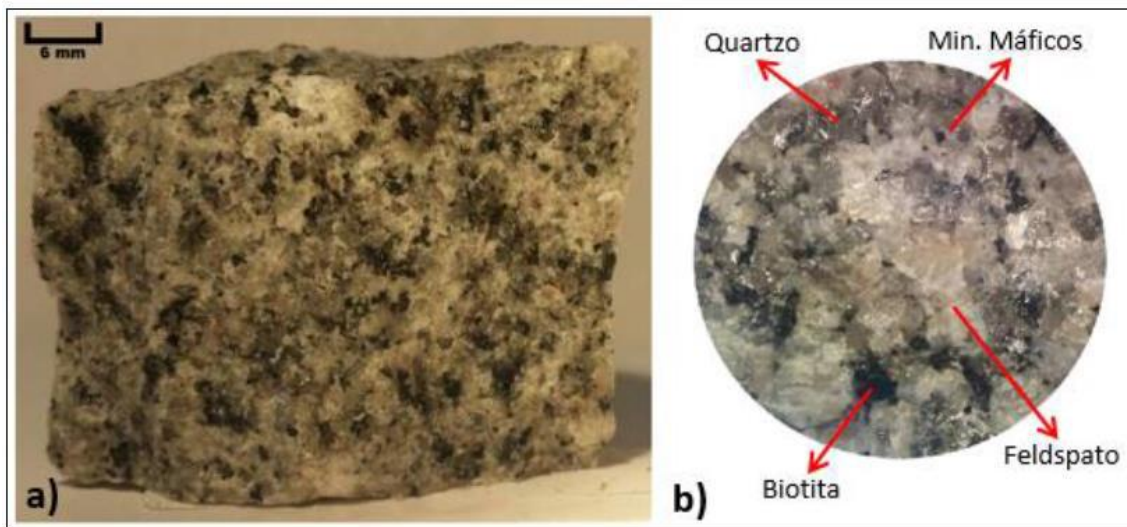
A biotita é hipidiomórfica, de cor preta (localmente alaranjada), brilho metálico, hábito tabular. Deslocamento é aspecto diagnóstico.

Os minerais máficos são xenomórficos, de cor preta, brilho fosco. Não foi possível a identificação em lupa.

**Tabela 3** - Contagem modal macroscópica dos minerais formadores de rocha W1.

<b>MINERAIS</b>	<b>MÉDIA EM 4 VISADAS</b>
Quartzo	35%
Feldspato	43%
Biotita	16%
Máficos	6%

Segundo o diagrama QAP de Streickeisen (1976), a rocha é classificada como granitóide. Já a classificação geotécnica segundo parâmetros da ISRM (2007) para essa rocha é W1.



**Figura 21** - a) Amostra W1, textura holocristalina e coloração acinzentada; b) Amostra vista em detalhe e seus aspectos mineralógicos preservados sem alteração (Jaques, 2018).

### 6.2.2. AMOSTRA W2

Rocha plutônica, holocristalina, fanerítica, equigranular média (1 a 5mm), félsica, de cor castanho amarelada, apresentando média descoloração dos minerais. A rocha não apresenta foliação, porém é possível observar microfissuras menores que 2mm. Sua estrutura é maciça.

Composta por quartzo, feldspato, biotita e minerais máficos (

Figura 22 e Tabela 4). Em lupa não foi possível diferenciar os feldspatos em plagioclásios e feldspatos potássicos.

O quartzo é xenomórfico, de cor incolor por vezes avermelhados devido a alteração da biotita, com brilho vítreo, apresentando fratura conchoidal.

Os feldspatos são hipidiomórficos a xenomórficos, de cor cinza esbranquiçados por vezes amarelados devido a alteração da biotita, brilho nacarado a terroso devido a alteração para argilominerais. Hábito tabular.

A biotita é hipidiomórfica, de cor preta a castanho alaranjada devido a sua oxidação, brilho metálico, hábito tabular. Desplacamento é aspecto diagnóstico.

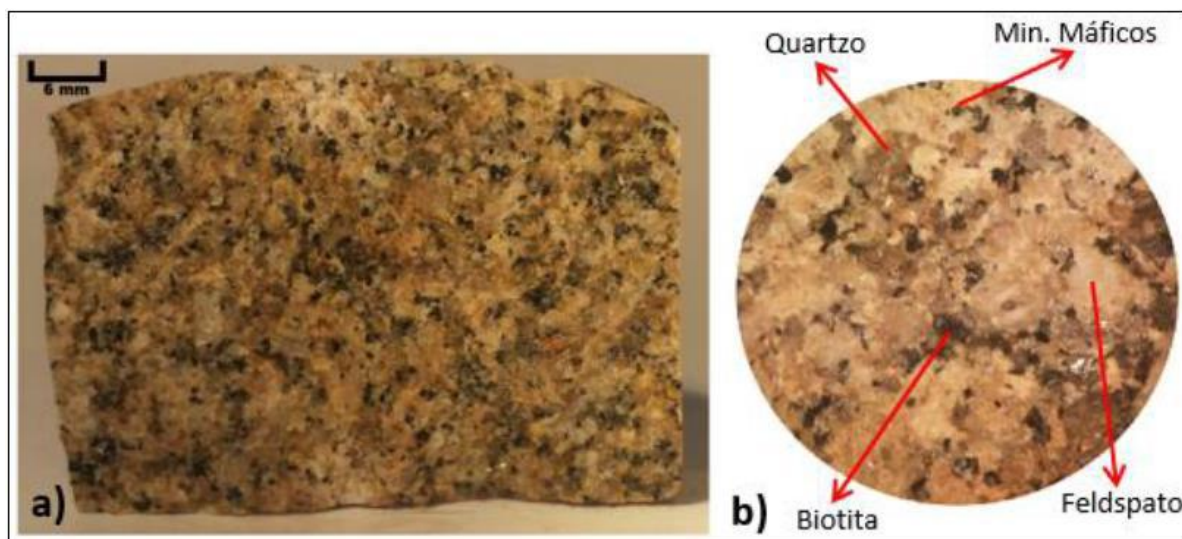
Os minerais máficos são xenomórficos, de cor preta, brilho fosco. Não foi possível a identificação em lupa.

**Tabela 4** - Contagem modal macroscópica dos minerais formadores de rocha W2.

<b>MINERAIS</b>	<b>MÉDIA EM 4 VISADAS</b>
Quartzo	45%
Feldspato	35%
Biotita	15%
Máficos	5%

Segundo o diagrama QAP de Streickeisen (1976), a rocha é classificada como granitóide.

A classificação geotécnica segundo parâmetros da ISRM (2007) para essa rocha é W2, devido a descoloração dos minerais.



**Figura 22** - a) Amostra W2, textura holocristalina e descoloração dos minerais; b) Amostra vista em detalhe e seus aspectos mineralógicos pouco alterados, com perda de brilho vítreo (Jaques, 2018).

### 6.2.3. AMOSTRA W3

Rocha plutônica, holocristalina, fanerítica, equigranular média (1 a 5mm), félsica, de cor castanho alaranjada, apresentando descoloração dos minerais. A rocha não apresenta

foliação, porém é possível observar microfissuras e algumas cavidades. Sua estrutura é maciça.

Composta por quartzo, feldspato, biotita e minerais máficos (Figura 23 e Tabela 5). Em lupa não foi possível diferenciar os feldspatos em plagioclásios e feldspatos potássicos.

O quartzo é xenomórfico, de cor incolor por vezes avermelhados devido a alteração da biotita, com brilho vítreo, apresentando fratura conchoidal.

Os feldspatos são hipidiomórficos a xenomórficos, de cor cinza esbranquiçados por vezes amarelados devido a alteração da biotita, brilho predominantemente terroso devido a alteração para argilominerais. Não apresenta com frequência o hábito tabular.

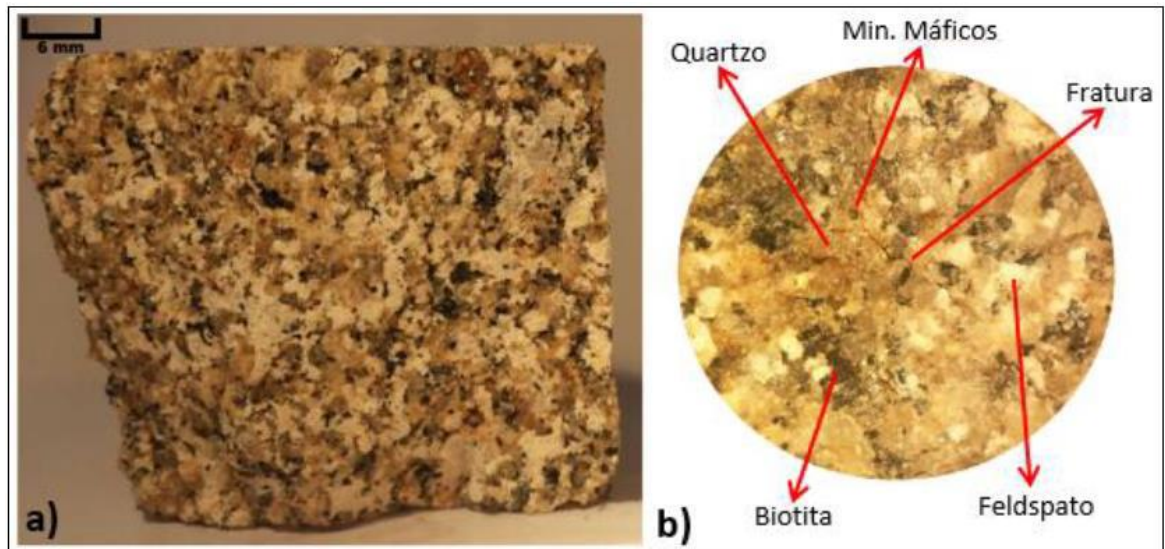
A biotita é hipidiomórfica, de cor preta a castanho alaranjada devido a sua oxidação, brilho metálico, hábito tabular. Desplacamento é aspecto diagnóstico. Minerais deteriorados.

Os minerais máficos são xenomórficos, de cor preta, brilho fosco, oxidados. Não foi possível a identificação em lupa.

**Tabela 5** - Contagem modal macroscópica dos minerais formadores de rocha W3.

<b>MINERAIS</b>	<b>MÉDIA EM 4 VISADAS</b>
Quartzo	38%
Feldspato	45%
Biotita	12%
Máficos	5%

Segundo o diagrama QAP de Streickeisen (1976), a rocha é classificada como granitóide. Já a classificação geotécnica segundo parâmetros da ISRM (2007) para essa rocha é W3, devido à descoloração, oxidação e alteração dos minerais.

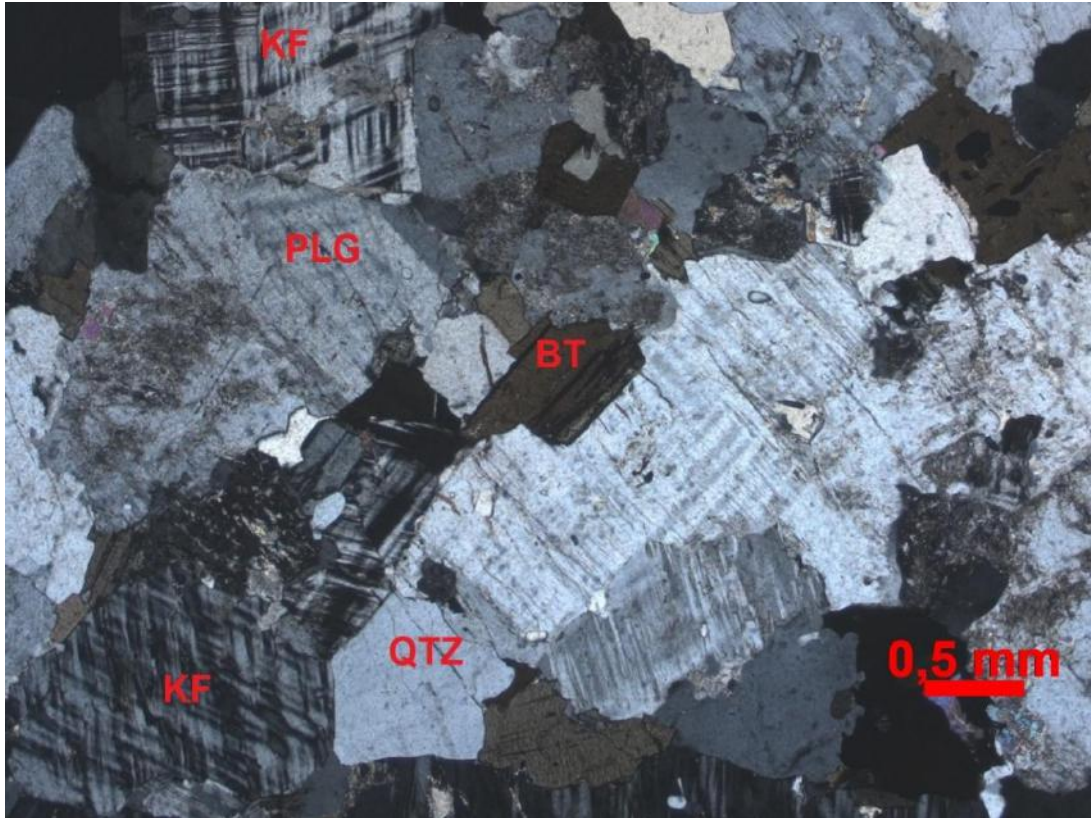


**Figura 23** - a) Amostra W3, textura holocristalina e alteração mineral; b) Amostra vista em detalhe e seus aspectos mineralógicos alterados e microfissuras (Jaques, 2018).

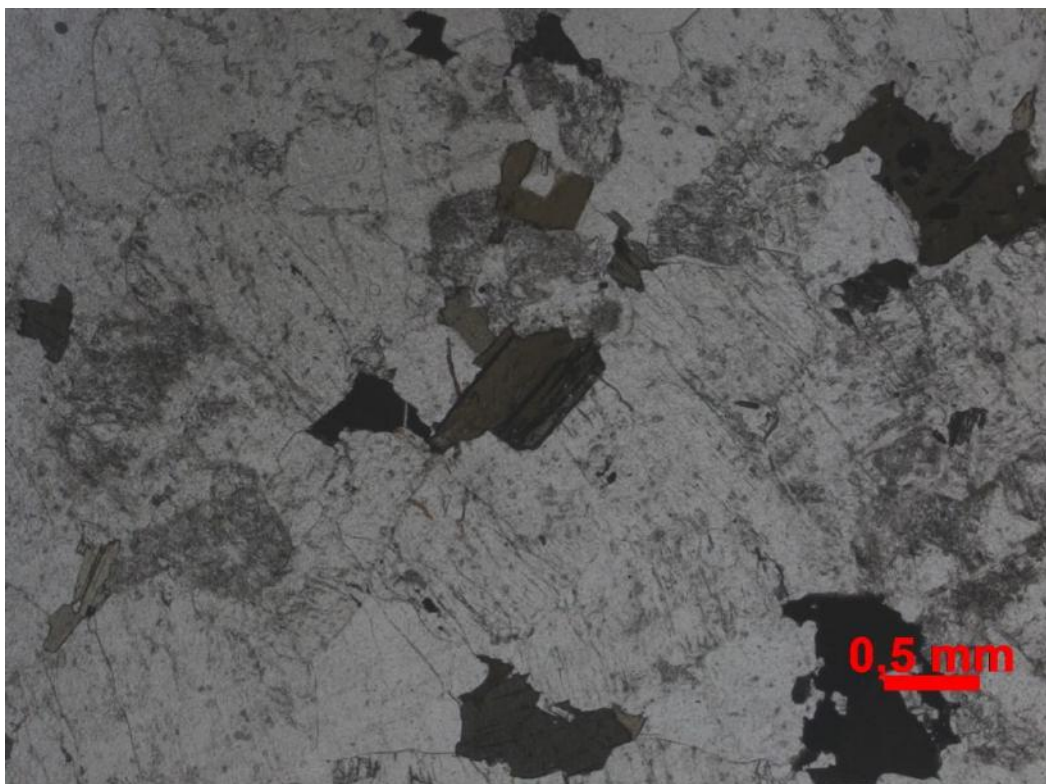
### 6.3. DESCRIÇÕES MICROPETROGRÁFICAS

#### 6.3.1. LÂMINA W1

Rocha holocristalina, leucocrática, com índice de cor entre 15 e 20%, fanerítica. Textura inequigranular, hipidiomórfica, com granulação média a grossa, variando de 0,25 a 6,0 milímetros. A composição mineralógica principal corresponde a quartzo, K-feldspato (microclina), plagioclásio e biotita (Figura 24 e Figura 25). Os minerais acessórios presentes são opacos, apatita, zircão e titanita. Os minerais secundários são provenientes da alteração dos K-feldspatos (sericita, caulinita, muscovita), plagioclásios (epidoto) e biotita (clorita e opacos).



**Figura 24** – Fotomicrografia da lâmina W1 a nicóis cruzados. Cristais pouco ou nada fraturados, pouco ou nada alterados. Biotita são. KF=Microclina, PLG=Plagioclásio, BT=Biotita, QTZ=quartzoz.



**Figura 25** - Fotomicrografia da lâmina W1 a nicóis descruzados.

#### Descrição dos minerais:

- Quartzo – Cristais subédricos a anédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca, cinza ou amarela. Granulação variando de 0,25 – 3,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita e biotita. Foram observadas algumas fraturas.
- Microclina – Cristais subédricos a anédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca a cinza e geminação *tartan*. Granulação variando de 0,5 – 3,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita e biotita. Os cristais apresentam-se pouco fraturados, com caulinita, sericita e mais raramente muscovita como minerais de alteração.
- Plagioclásio – Cristais subédricos a anédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca a cinza, geminação polissintética e *Carls-Bad*. Granulação variando de 0,25 – 6,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita, biotita e zircão. Os cristais apresentam-se pouco fraturados, com caulinita e epidoto como minerais de alteração.
- Biotita - Cristais subédricos a anédricos, castanho claro a marrom, com pleocroísmo variando de marrom à marrom claro a nicóis descruzados, cor de interferência de terceira ordem e extinção *Bird-eye*. Granulação variando de 0,5 – 1,2 milímetros. Apresentam-se inclusas em quartzo, microclina e plagioclásio. Os cristais apresentam-se pouco ou nada fraturados, com clorita e opacos como mineral de alteração.

As tabelas 6 e 7 referem-se respectivamente ao total de minerais formadores de rocha e a porcentagem dos minerais que apresentam mais de um terço da sua área alterada (lâmina **W1**). Esses dados serão utilizados para calcular o índice micropetrográfico de alteração proposto por Momeni (2014).

**Tabela 6** - Contagem modal microscópica dos minerais formadores de rocha W1.

MINERAIS TOTAIS	CONTAGEM MODAL
Quartzo	27%
K-Feldspato	43%
Plagioclásio	13%
Biotita	11%
Opacos	6%

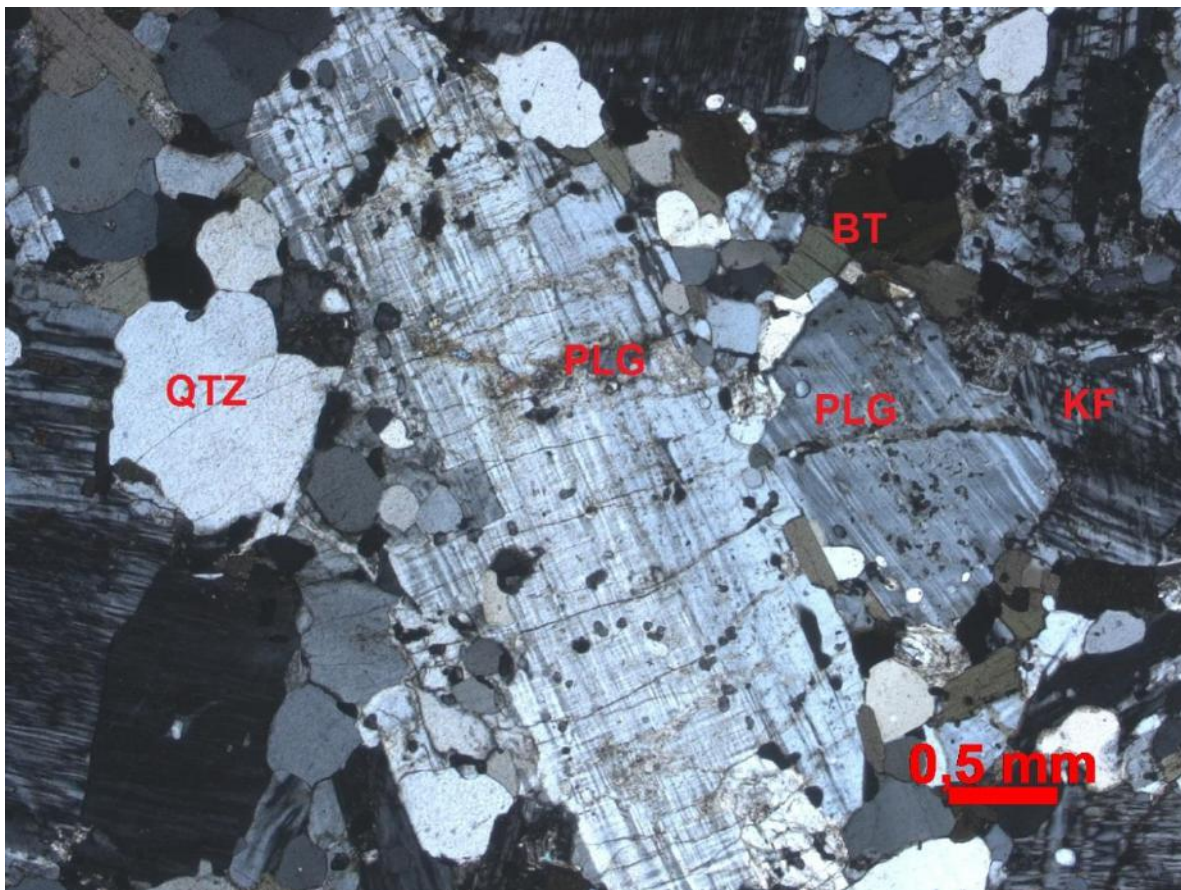
**Tabela 7** - Contagem modal microscópica dos minerais alterados W1.

<b>MINERAIS ALTERADOS</b>	<b>CONTAGEM MODAL</b>
Quartzo	0%
K-Feldspato	39%
Plagioclásio	46%
Biotita	9%
Opacos	0%

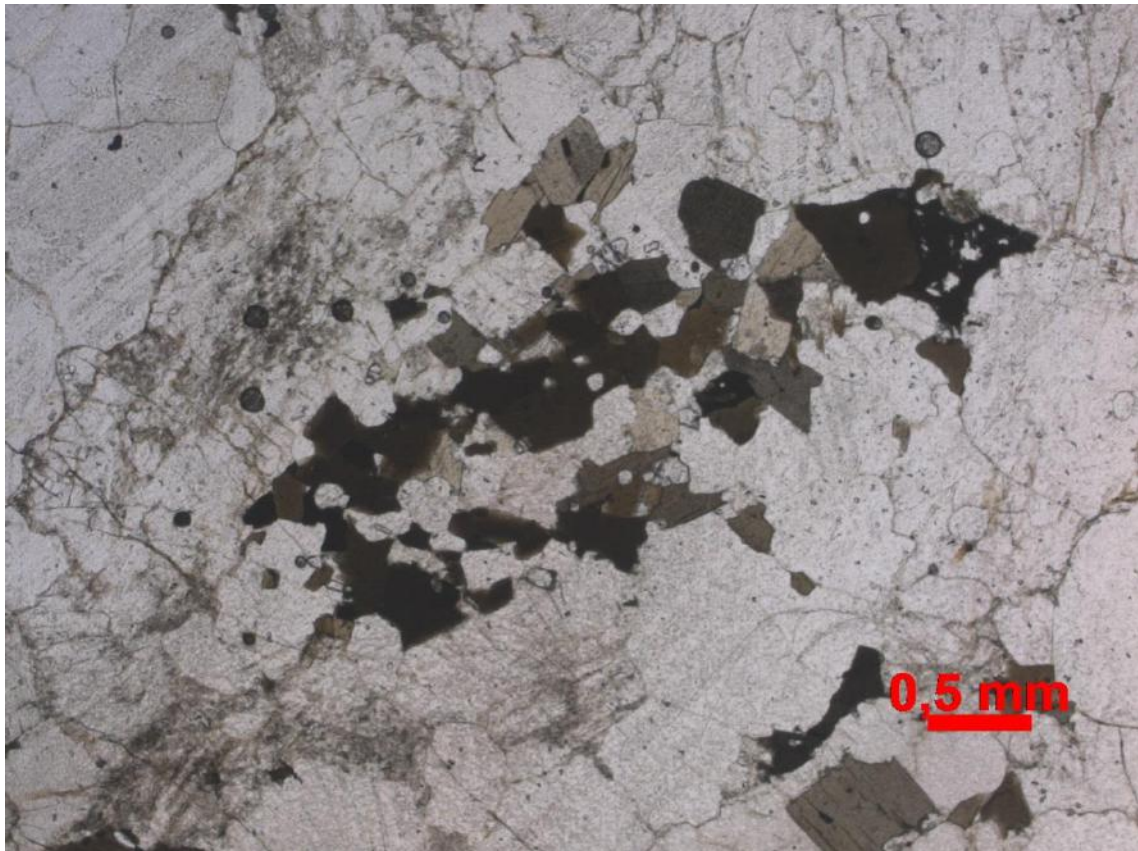
### **6.3.2. LÂMINA W2**

Rocha holocristalina, leucocrática, com índice de cor entre 15 e 20%, fanerítica. Textura inequigranular, hipidiomórfica, com granulação fina a média, variando de 0,25 a 4,5 milímetros. A composição mineralógica principal corresponde a quartzo, K-feldspato (microclina), plagioclásio e biotita (Figura 26 e Figura 27). Os minerais acessórios presentes são opacos, apatita, zircão e titanita. Os minerais secundários são provenientes da alteração dos K-feldspatos (sericita, caulinita, muscovita), plagioclásios (epidoto) e biotita (clorita e opacos).





**Figura 26** - Fotomicrografia da lâmina W2 a nicóis cruzados. Cristais tabulares de plagioclásio e feldspatos apresentam fraturamento ortogonal em relação ao seu maior eixo cristalográfico. Minerais em geral pouco alterados KF=Microclina, PLG=Plagioclásio, BT=Biotita, QTZ=quartzo.



**Figura 27** - Fotomicrografia da lâmina W2 a nicóis descruzados.

Descrição dos minerais:

- Quartzo – Cristais subédricos a anédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca, cinza ou amarela. Granulação variando de 0,25 – 3,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita e biotita. Foram observadas algumas fraturas.
- Microclina – Cristais euédricos a subédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca a cinza e geminação *tartan*. Granulação variando de 0,5 – 3,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita, biotita e bastante titanita. Os cristais apresentam-se fraturados, com médio grau de caulinitização, sericitização e muscovita como minerais de alteração e intercrescimento perfitico.
- Plagioclásio – Cristais euédricos a subédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca a cinza, geminação polissintética e *Carls-Bad*. Granulação variando de 0,25 – 4,5 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita e biotita.

Os cristais apresentam-se pouco fraturados, com médio grau de caulinitização, saussuritização com intercrescimento anti-pertítico.

- Biotita - Cristais euédricos a subédricos, castanho claro a marrom, cor de interferência de terceira ordem e extinção *Bird-eye*. Granulação variando de 0,5 – 1,2 milímetros. Apresentam-se inclusas em quartzo, microclina e plagioclásio. Os cristais apresentam-se pouco ou nada fraturados. Alguns cristais de biotita apresentam-se totalmente alterados, cor marrom, sem pleocroísmo e clivagem a nicóis paralelos.

As tabelas 8 e 9 referem-se respectivamente ao total de minerais formadores de rocha e a porcentagem dos minerais que apresentam mais de um terço da sua área alterada (lâmina **W2**). Esses dados serão utilizados para calcular o índice micropetrográfico de alteração proposto por Momeni (2014).

**Tabela 8** - Contagem modal microscópica dos minerais formadores de rocha W2.

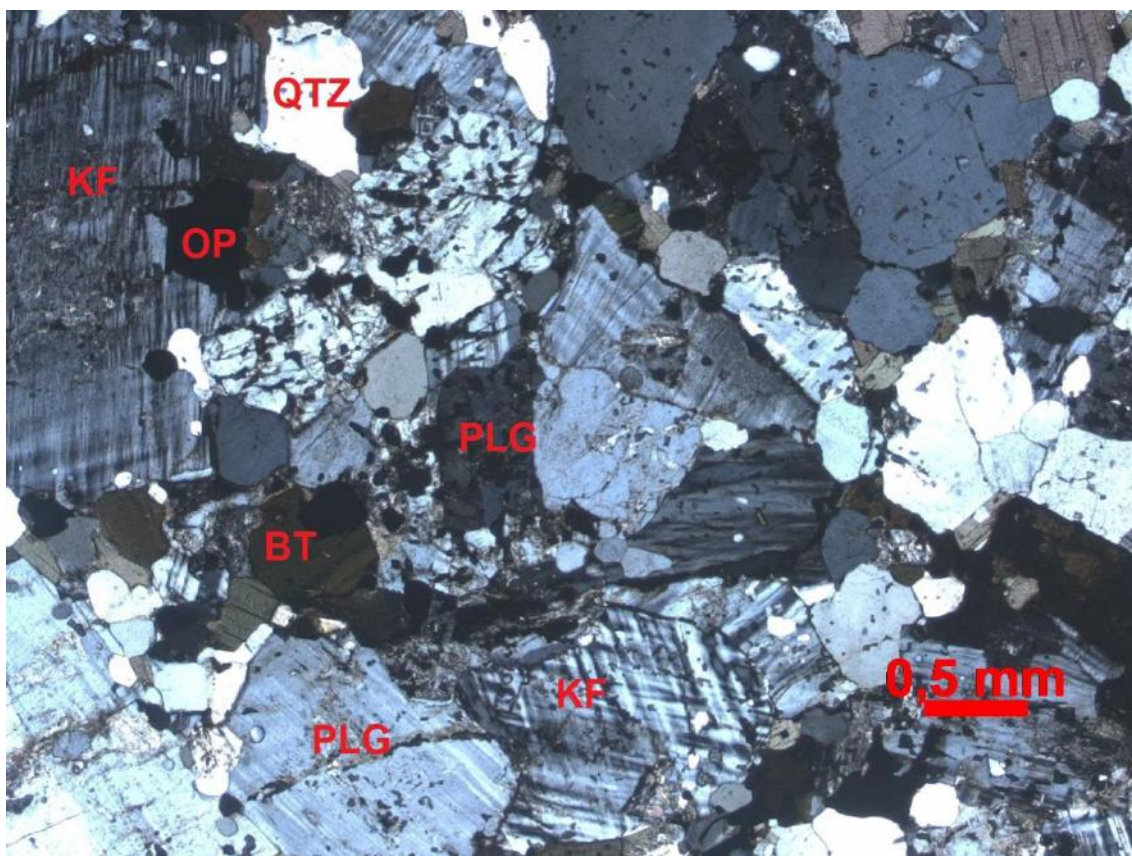
<b>MINERAIS TOTAIS</b>	<b>CONTAGEM MODAL</b>
Quartzo	34%
K-Feldspato	36%
Plagioclásio	18%
Biotita	10%
Opacos	2%

**Tabela 9** - Contagem modal microscópica dos minerais alterados W2.

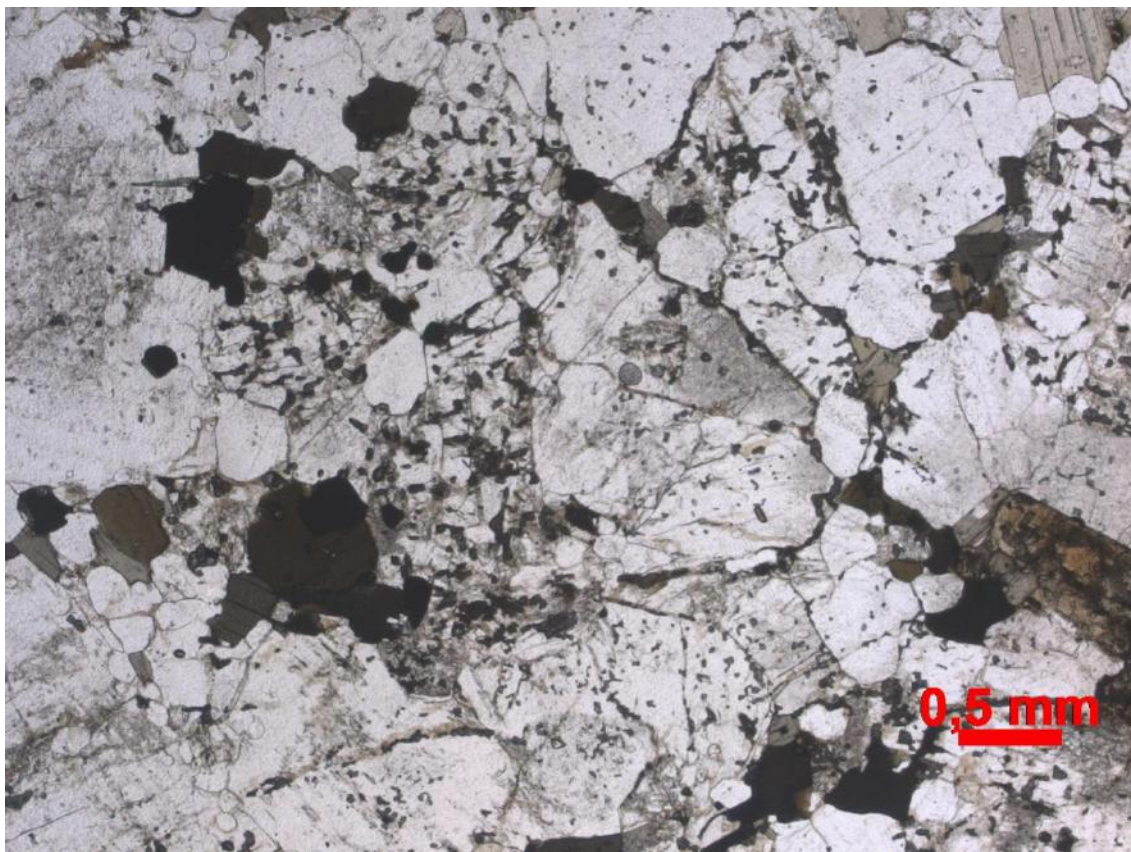
<b>MINERAIS ALTERADOS</b>	<b>CONTAGEM MODAL</b>
Quartzo	0%
K-Feldspato	31%
Plagioclásio	56%
Biotita	30%
Opacos	0%

### 6.3.3. LÂMINA W3

Rocha holocristalina, leucocrática, com índice de cor entre 15 e 20%, fanerítica. Textura inequigranular, hipidiomórfica com granulação média a grossa, variando de 0,25 a 5,0 milímetros. A composição mineralógica principal corresponde a quartzo, K-feldspato (microclina), plagioclásio e biotita (Figura 28 e Figura 29). Os minerais acessórios presentes são opacos, apatita, zircão e titanita. Os minerais secundários são provenientes da alteração dos K-feldspatos (sericita, caulinita, muscovita), plagioclásios (epidoto) e biotita (clorita e opacos).



**Figura 28** - Fotomicrografia da lâmina W3 a nicóis cruzados. Maior fraturamento, alterações se desenvolvendo entre as fraturas. Minerais em geral alterados a muito alterados. KF=Microclina, PLG=Plagioclásio, BT=Biotita, QTZ=quartzo,OP=Opacos.



**Figura 29** - Fotomicrografia da lâmina W3 a nicóis descruzados.

Descrição dos minerais:

- Quartzo – Cristais euédricos a subédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca, cinza ou amarela. Granulação variando de 0,25 – 3,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita, biotita e titanita. Os cristais possuem mais fraturas que as lâminas anteriores.
- Microclina – Cristais euédricos a subédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca a cinza e geminação *tartan*. Granulação variando de 0,5 – 3,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita, biotita e bastante titanita. Os cristais apresentam-se fraturados, com médio a alto grau de sericitização e muscovita como minerais de alteração e intercrescimento pertítico.
- Plagioclásio – Cristais euédricos a subédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca a cinza, geminação polissintética e *Carls-Bad*. Granulação variando de 0,25 – 5,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita, biotita e titanita. Os cristais apresentam-se fraturados, com médio a alto grau de saussuritização, com intercrescimento anti-pertítico.

- Biotita - Cristais euédricos a subédricos, castanho claro a marrom, cor de interferência de terceira ordem. Granulação variando de 0,5 – 1,2 milímetros. Apresentam-se inclusos em quartzo, microclina e plagioclásio. Os cristais apresentam-se pouco ou nada fraturados. Alguns cristais de biotita apresentam-se totalmente alterados, cor marrom, sem pleocroísmo e clivagem a nicóis paralelos.

As tabelas 10 e 11 referem-se respectivamente ao total de minerais formadores de rocha e a porcentagem dos minerais que apresentam mais de um terço da sua área alterada (lâmina **W3**). Esses dados serão utilizados para calcular o índice micropetrográfico de alteração proposto por Momeni (2014).

**Tabela 10** - Contagem modal microscópica dos minerais formadores de rocha W3.

<b>MINERAIS TOTAIS</b>	<b>CONTAGEM MODAL</b>
Quartzo	32%
K-Feldspato	34%
Plagioclásio	17%
Biotita	14%
Opacos	2%

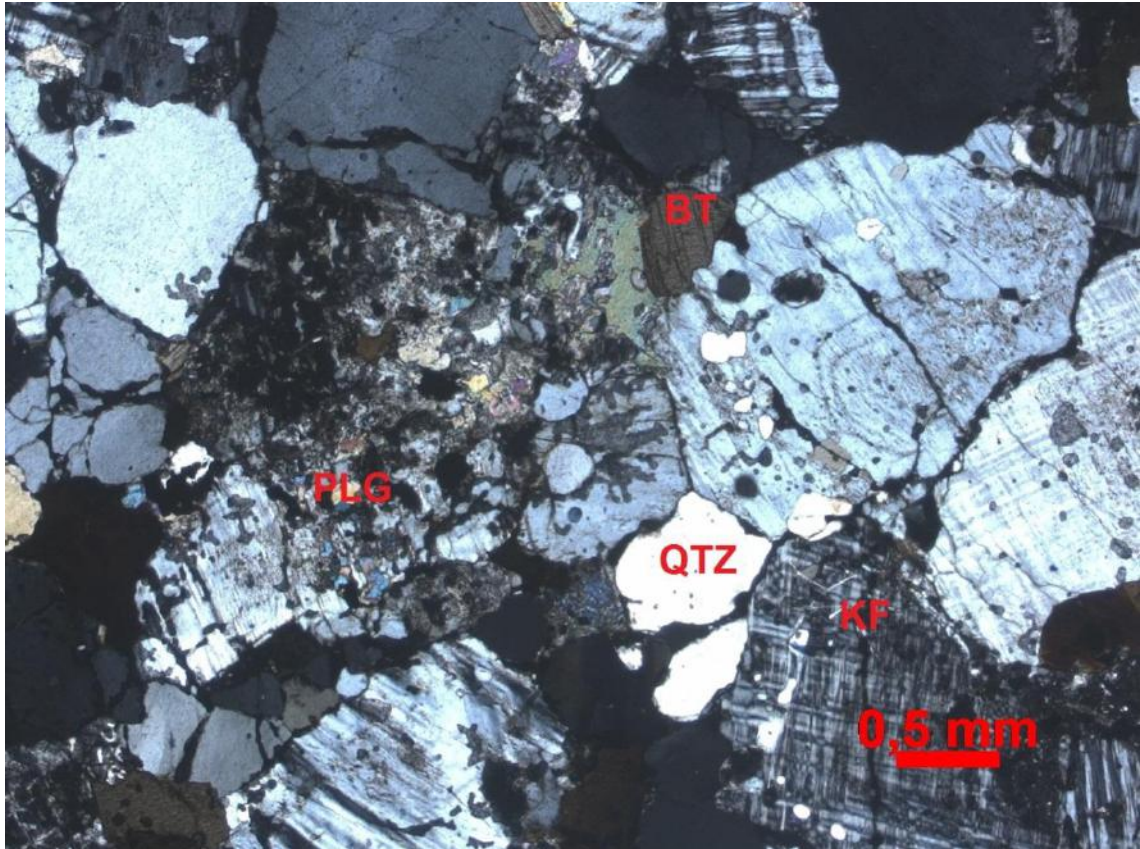
**Tabela 11** - Contagem modal microscópica dos minerais alterados W3.

<b>MINERAIS ALTERADOS</b>	<b>CONTAGEM MODAL</b>
Quartzo	0%
K-Feldspato	59%
Plagioclásio	59%
Biotita	57%
Opacos	0%

#### **6.3.4. LÂMINA W4**

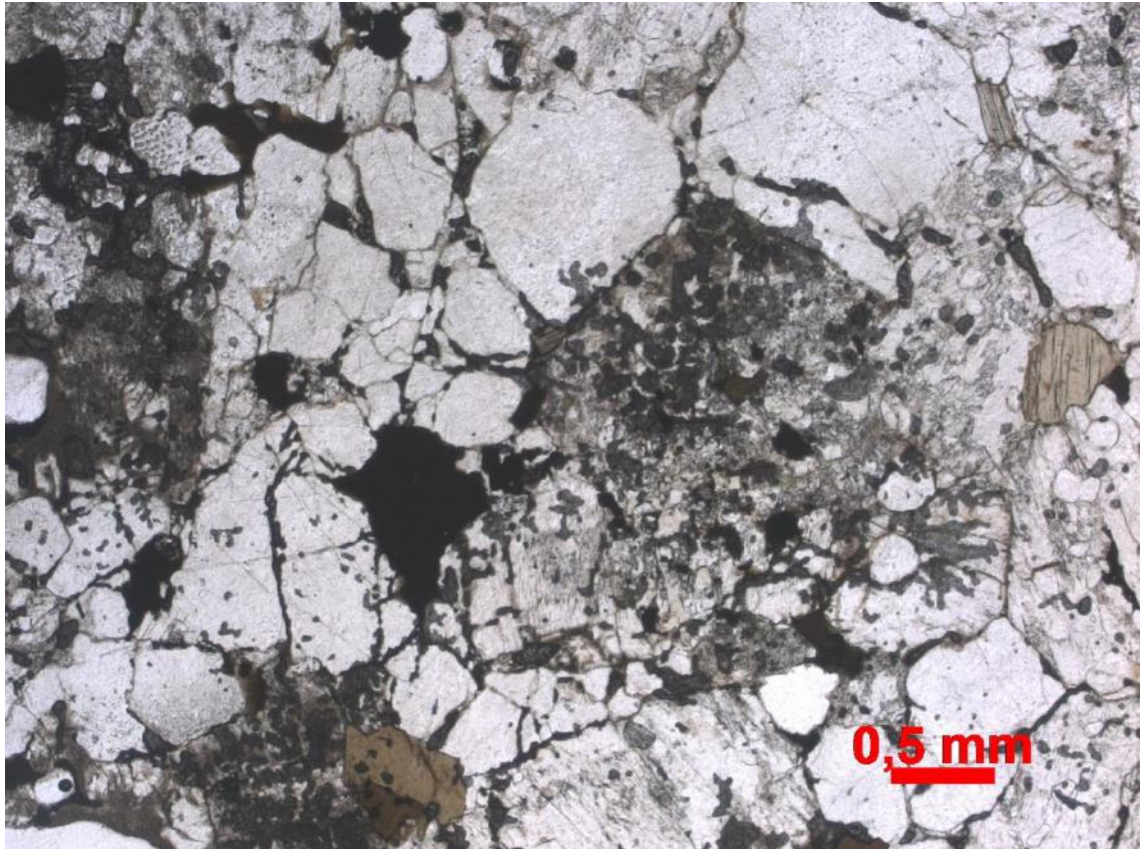
Rocha holocristalina, leucocrática, com índice de cor entre 15 e 20%, fanerítica. Textura inequigranular, hipidiomórfica com granulação média a grossa, variando de 0,25 a 5,0 milímetros. A composição mineralógica principal corresponde a quartzo, K-feldspato (microclina), plagioclásio e biotita (Figura 30 e Figura 31). Os minerais acessórios presentes são opacos, apatita, zircão e titanita. Os minerais secundários são provenientes da alteração

dos K-feldspatos (sericita, caulinita, muscovita), plagioclásios (epidoto) e biotita (clorita e opacos).



**Figura 30** - Fotomicrografia da lâmina W4 a nicóis cruzados. Intenso processo de sericitização dos feldspatos. Grau de fraturamento permanece praticamente constante em relação a W3.

KF=Microclina, PLG=Plagioclásio, BT=Biotita, QTZ=quartzo.



**Figura 31** - Fotomicrografia da lâmina W4 a nicóis descruzados.

Descrição dos minerais:

- Quartzo – Cristais euédricos a subédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca, cinza ou amarela. Granulação variando de 0,25 – 3,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita, biotita e titanita. Os cristais possuem mais fraturas que as lâminas anteriores.
- Microclina – Cristais euédricos a subédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca a cinza e geminação *tartan*. Granulação variando de 0,5 – 3,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita, biotita, bastante titanita e sericita. Os cristais apresentam-se fraturados, com alto grau de sericitização e muscovita como minerais de alteração com forte intercrescimento peritítico.
- Plagioclásio – Cristais euédricos a subédricos, incolor a nicóis descruzados, cor de interferência branca a cinza, geminação polissintética e *Carls-Bad*. Granulação variando de 0,25 – 5,0 milímetros. Apresenta inclusões de opacos, apatita, biotita, titanita e sericita. Os cristais apresentam-se fraturados, com alto grau de saussuritização, com forte intercrescimento anti-peritítico.



- Biotita - Cristais euédricos a subédricos, castanho claro a marrom, cor de interferência de terceira ordem. Granulação variando de 0,5 – 1,2 milímetros. Apresentam-se inclusos em quartzo, microclina e plagioclásio. Os cristais apresentam-se pouco ou nada fraturados. Alguns cristais de biotita apresentam-se totalmente alterados, cor marrom, sem pleocroísmo e clivagem a nicóis paralelos.

As tabelas 12 e 13 referem-se respectivamente ao total de minerais formadores de rocha e a porcentagem dos minerais que apresentam mais de um terço da sua área alterada (lâmina **W4**). Esses dados serão utilizados para calcular o índice micropetrográficos de alteração proposto por Momeni (2014).

**Tabela 12 - Contagem modal microscópica dos minerais formadores de rocha W4.**

<b>MINERAIS TOTAIS</b>	<b>CONTAGEM MODAL</b>
Quartzo	35%
K-Feldspato	45%
Plagioclásio	6%
Biotita	11%
Opacos	3%

**Tabela 13 - Contagem modal microscópica dos minerais alterados W4.**

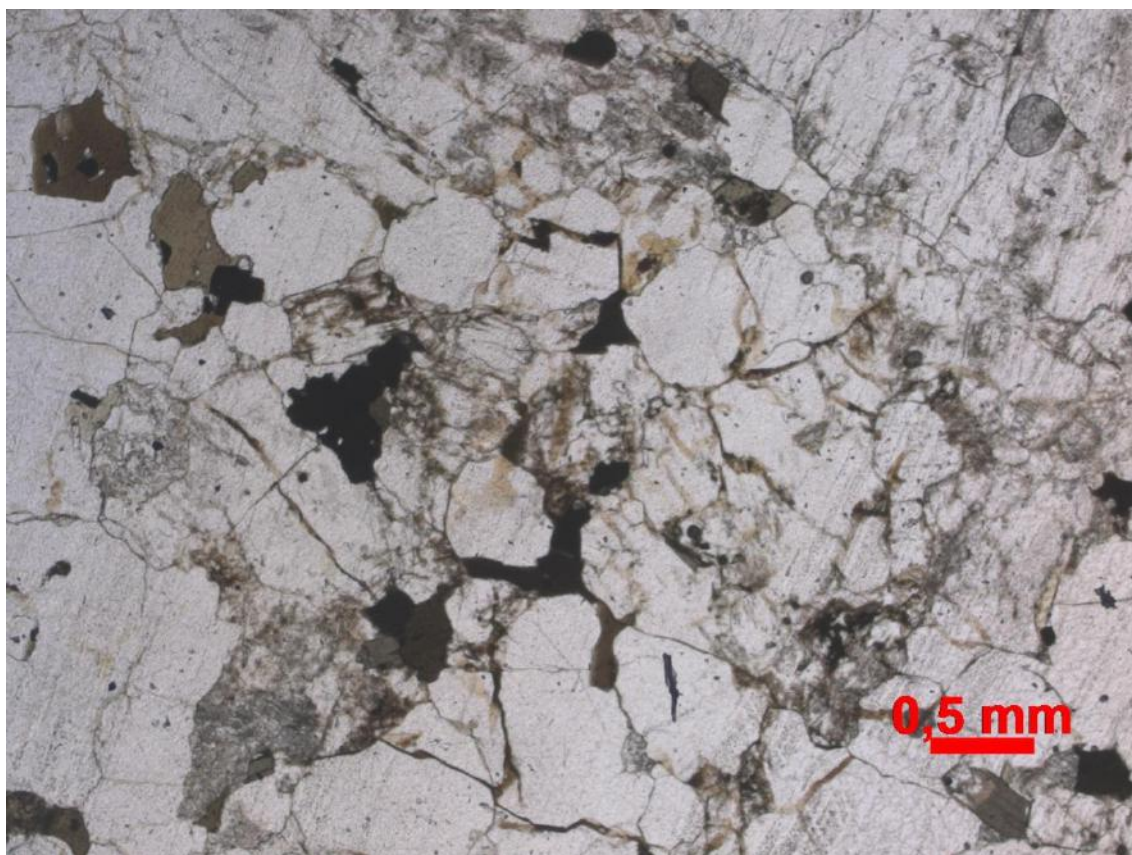
<b>MINERAIS ALTERADOS</b>	<b>CONTAGEM MODAL</b>
Quartzo	0%
K-Feldspato	52%
Plagioclásio	67%
Biotita	72%
Opacos	0%

De acordo com as contagens modais das quatro descrições petrográficas, o resultado obtido desta contagem aponta para um Sienogranito (Quartzo 38%, Álcali Feldspato 46% e Plagioclásio 16%).

## 6.4. ÍNDICES MICROPETROGÁFICOS

### 6.4.1. ALTERAÇÕES QUÍMICAS

As alterações mineralógicas tornam-se mais intensas e frequentes conforme o grau de alteração aumenta. O grau de faturamento também aumenta, porém sem a mesma intensidade que as alterações mineralógicas. De **W3** para **W4**, não há mudança relevante no padrão e intensidade do fraturamento. As alterações são mais intensas nas fraturas, devido à percolação de fluidos, alterando as paredes dos minerais (Figura 32).



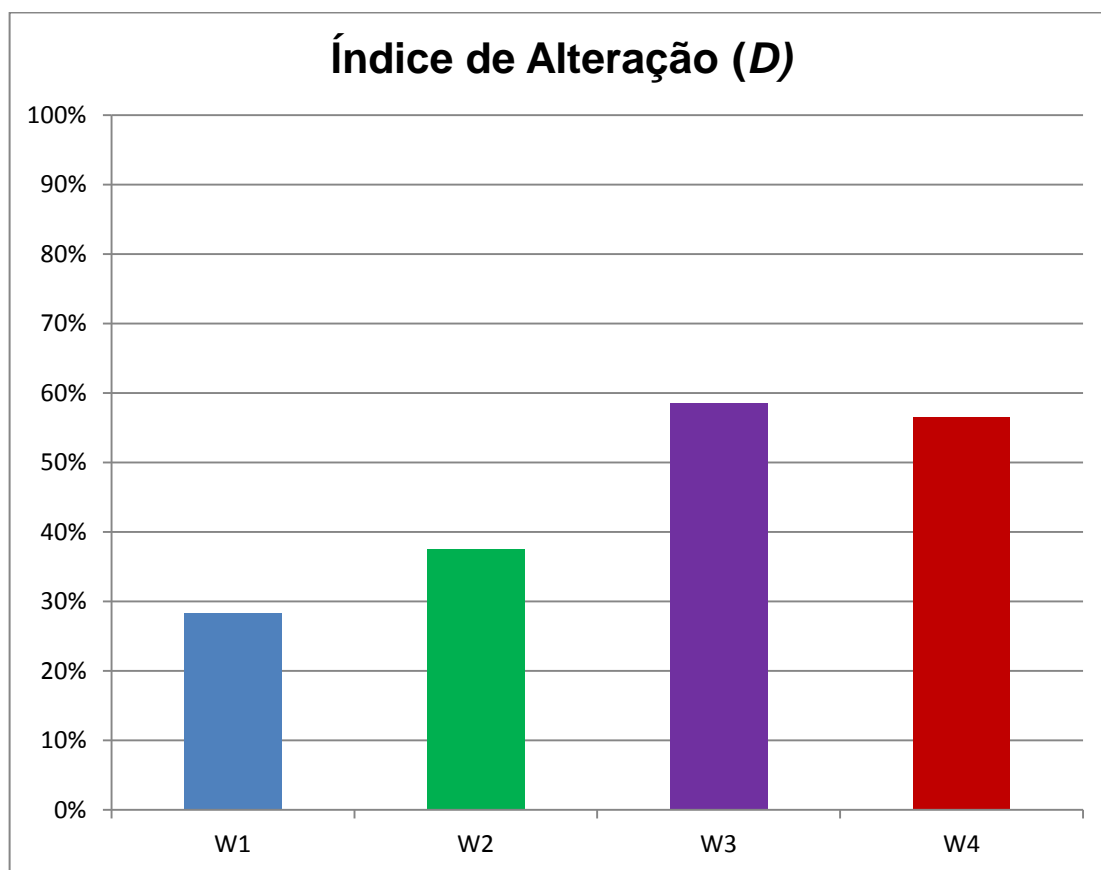
**Figura 32** - Microfissuras condicionam as alterações dos minerais.

Foram produzidos gráficos e tabelas para ilustrar a razão Quarto/Feldspato (Tabela 14), o índice de alteração entre as amostras (Figura 33) e a relação entre os minerais primários e argilominerais.

**Tabela 14** - Razão Quartzo/Feldspatos por classe de alteração.

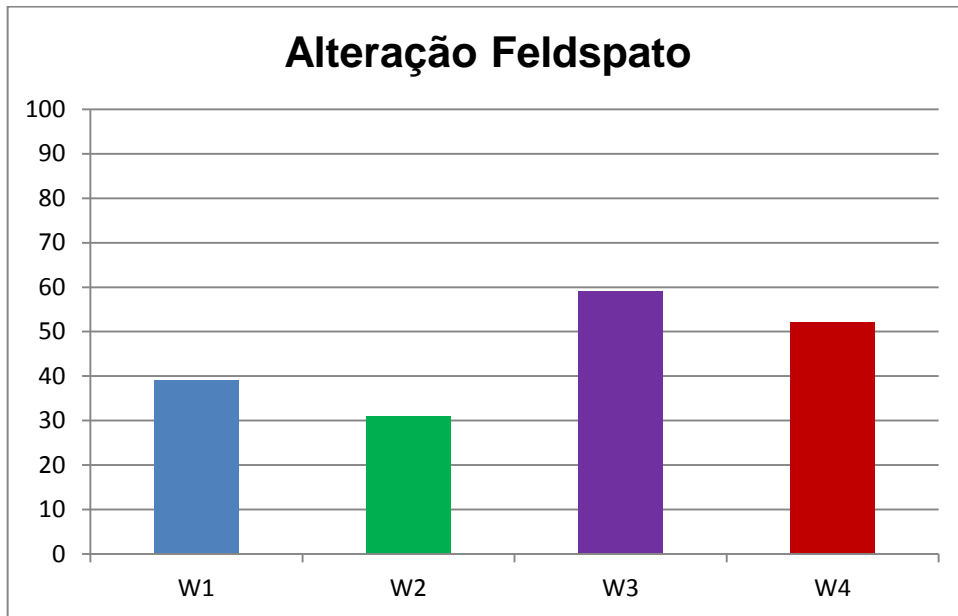
<b>AMOSTRA</b>	<b>QUARTZO (%)</b>	<b>FELDSPATOS (%)</b>	<b>RAZÃO</b>
<b>W1</b>	27	43	0,62
<b>W2</b>	34	36	0,94
<b>W3</b>	32	34	0,94
<b>W4</b>	35	45	0,77

Utilizando os dados obtidos da contagem modal na equação para quantificar o grau de alteração, proposta por Momeni 2016, chega-se ao gráfico da Figura 33.

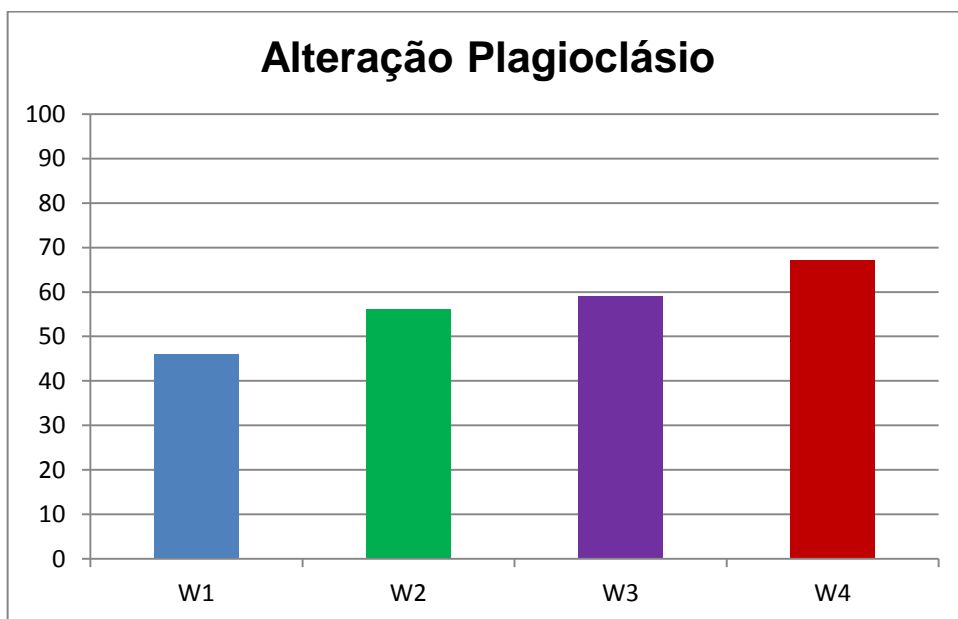


**Figura 33** - Gráfico do índice de alteração adaptado de Momeni (2014).

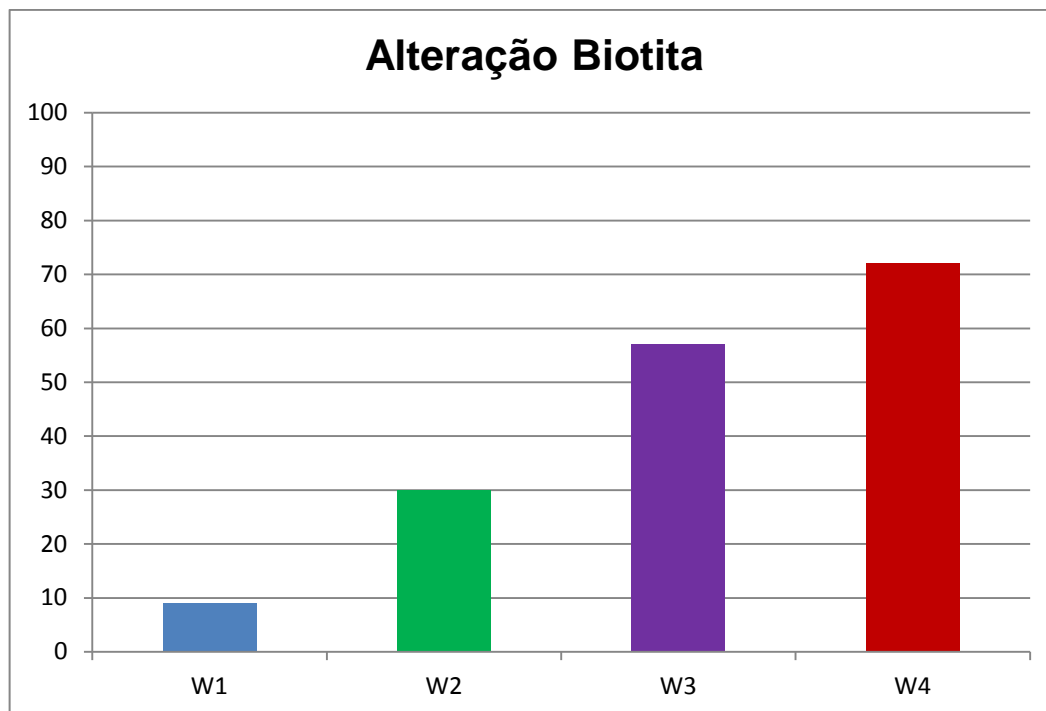
Os níveis de alteração avançam devido a maior porcentagem de minerais secundários em relação aos totais (Figura 34, Figura 35 e Figura 36).



**Figura 34** - Gráfico de porcentagem de Feldspatos alterados em relação ao total, separado por classe de alteração.



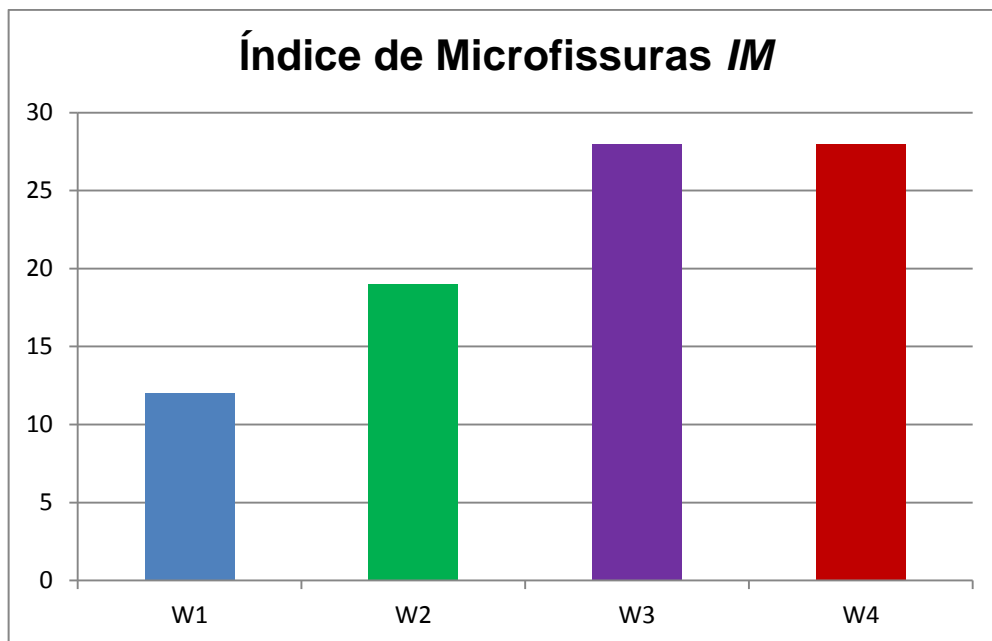
**Figura 35** - Gráfico de porcentagem de Plagioclásios alterados em relação ao total, separados por classe de alteração.



**Figura 36** - Gráfico de porcentagem de Biotitas alteradas em relação ao total, separados por classe de alteração.

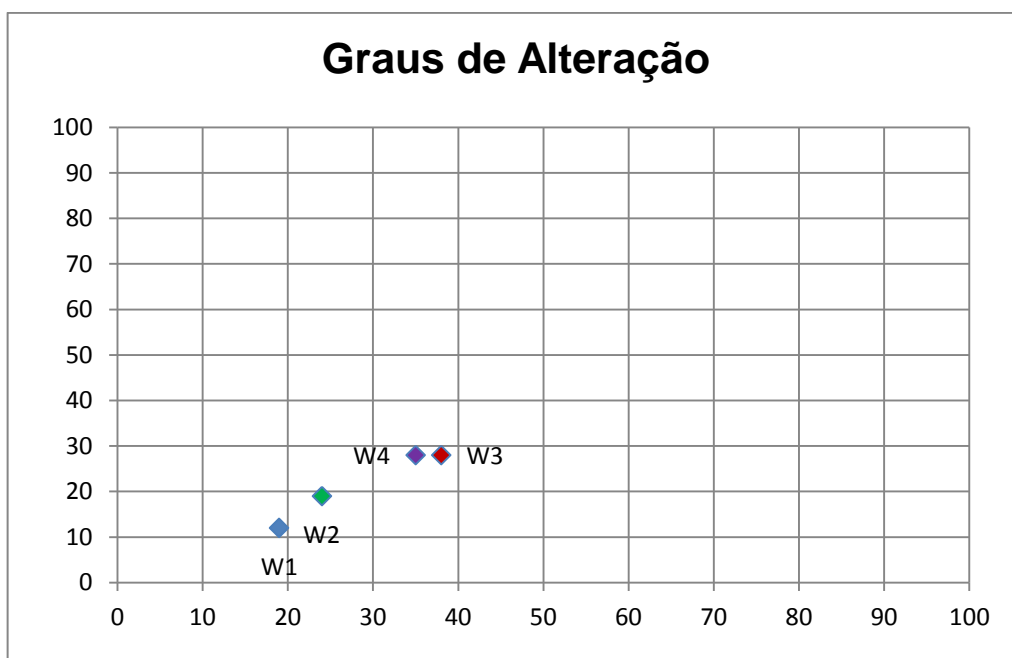
#### 6.4.2. MICROFISSURAS

O fraturamento na lâmina **W1** é incipiente, possui alto espaçamento e baixa persistência. Em **W2** já é possível observar nos cristais de feldspatos potássicos e principalmente plagioclásios fraturas ortogonais em relação ao seu maior eixo cristalográfico. Esse padrão vale para as lâminas **W3** e **W4**. Em **W3** e **W4** as fraturas são mais persistentes e possuem pouco espaçamento. São muito frequentes nos contatos entre os minerais, devido à diferença de reologia. Utilizando a fórmula proposta por Momeni (2014), foi obtido o seguinte resultado apresentado pela Figura 37.



**Figura 37** - Gráfico do índice de microfissuras adaptado de Momeni (2014).

De posse de todas as informações apresentadas, é possível utilizar o gráfico proposto por Ceryan (2008) e quantificar o grau de intemperismo das rochas estudadas através dos Índices Micropetrográficos (Figura 38).



**Figura 38** - Gráfico de alteração adaptado de Ceryan (2008). Eixo das ordenadas marca a porcentagem de microfissuras enquanto as abscissas marcam a porcentagem de minerais secundários.

## 7. CONCLUSÃO E DISCUSSÕES

Com base nos resultados obtidos no mapeamento geológico-geotécnico dos perfis A e B em campo, foi possível observar em termos das propriedades das descontinuidades no maciço rochoso: a redução da persistência e abertura, bem como o aumento do espaçamento entre descontinuidades conforme a profundidade aumenta. As descontinuidades do maciço são a condicionante geológica mais importante em termos de distribuição dos graus de alteração, pois controlam a percolação de água meteórica no maciço, isolando *corestones* em matriz de solo, gerando um padrão de contatos bruscos entre as classes de alteração. Ao analisarmos *corestones* e porções mais profundas e menos fraturadas, é possível observar que o contato entre as classes ocorre de maneira gradual, da borda para o centro da rocha.

A classe de alteração **W5** não é facilmente encontrada nesses perfis. Isso é uma evidência que a partir da classe **W4** o intemperismo químico ocorre de maneira acelerada, onde a classe **W5** rapidamente passa para solo residual.

Do ponto de vista de engenharia, essa morfologia de perfil em situações de fortes chuvas pode acarretar em escorregamentos planares (mais comum em solos rasos em contato direto sobre a rocha) e *debris flow*, onde solo e blocos dispersos na matriz aumentam o poder destrutivo do evento.

Economicamente, é interessante para a mineração de rocha ornamental ter mapeadas as descontinuidades e a razão solo/rocha. Descontinuidades muito próximas não permitem que se retire um volume de rocha necessário para os blocos de lavra. A persistência muito alta propaga o problema anterior em profundidade. Uma razão solo/rocha bem conhecida permiteubar a jazida mais precisamente, gerando maior confiabilidade nos dados de viabilidade econômica da mesma.

As análises micropetrográficas refletiram satisfatoriamente os padrões de alteração observados macroscopicamente. As microfissuras condicionam o processo intempérico da mesma forma que na escala de maciço rochoso. É necessária a separação das microfissuras quanto à sua gênese, pois as pedreiras são frequentemente alvo de detonações que podem desenvolver microfissuras que não são naturais da própria rocha.

Os índices micropetrográficos não seguiram exatamente o mesmo padrão esperado definido pelas amostras de mão. Apesar do grau de alteração dos minerais aumentar gradativamente, as lâminas W3 e W4 praticamente obtiveram o mesmo resultado, mesmo W4 possuindo os minerais secundários bem mais desenvolvidos, pois em termos de “porcentagem de minerais alterados”, atingiram valores similares. Da mesma forma isso

ocorre com o Índice de Microfissuras, W3 e W4 possuem praticamente a mesma quantidade de fraturas, sendo a diferença percebida somente em relação à persistência e ao espaçamento. Isso se dá pelo fato destes índices apesar de bem definidos, acabam por levar muito em conta a descrição de cada observador, tendo um caráter mais qualitativo que o esperado. Para solução deste problema o ideal seria utilizar ensaios químicos analíticos. Principais alterações mineralógicas observadas:

- De **W1** para **W2**: aumento do grau de sericitização.
- De **W2** para **W3**: marcante alteração da biotita; presença marcante de inclusões de titanita nos feldspatos; aumento do grau de sericitização e saussuritização.
- De **W3** para **W4**: Sericita muito abundante; aumento do grau de sericitização e saussuritização.

De acordo com as descrições em lâmina, o aparecimento em maior quantidade de sericita é o que caracteriza um intemperismo avançado, sendo esse o principal mineral marcador do intemperismo.

Não foi possível observar com clareza que a razão Quartzo/Feldspato à medida que se avança nas classes de alteração, tem seu valor aumentado. A literatura mostra que devido à lixiviação dos argilominerais que alteram os feldspatos, este índice seria um bom indicador para intemperismo químico em climas tropicais.

Utilizando a classificação proposta por Ceryan (2008), que relaciona o índice de microfissuras versus a porcentagem de minerais secundários, as lâminas foram classificadas como:

- **W1** – Moderadamente alterado ( $10 < \text{Índice de Microfissuras} < 20$ ;  
 $10 < \text{Porcentagem de minerais secundários} < 30$ ).
- **W2** – Moderadamente alterado ( $10 < \text{Índice de Microfissuras} < 20$ ;  
 $10 < \text{Porcentagem de minerais secundários} < 30$ ).
- **W3** – Altamente alterado ( $20 < \text{Índice de Microfissuras} < 35$ ;  
 $20 < \text{Porcentagem de minerais secundários} < 60$ ).
- **W4** – Altamente alterado ( $20 < \text{Índice de Microfissuras} < 35$ ;  
 $20 < \text{Porcentagem de minerais secundários} < 60$ ).

Segundo esta metodologia as amostras estudadas se localizam em apenas duas classes: Rochas Moderadamente Alteradas e Rochas Altamente Alteradas. Fica claro tanto



em amostras de mão como em lâmina que estas rochas pertencem a quatro classes diferentes. Este resultado apesar de não ter tido uma boa correlação com a realidade observada, é importante porque mostra que as mudanças mineralógicas e físicas ocorrem de forma mais bruscas a partir de certo nível de alteração, mais precisamente de W2 para W3 (W1 e W2 possuem características em comum enquanto W3 e W4 são similares entre si).

Os resultados obtidos neste trabalho servem de *background* para futuras pesquisas acadêmicas, obras de engenharia e mineração. São indispensáveis outros ensaios, como ensaios físicos, geomecânicos e químicos, de forma que se tenha uma análise mais completa e mais robusta sobre o tema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, S.V.A.N.K. *et al.* **Characteristics of weathering zones of granitic rocks in Malaysia for geotechnical engineering design.** Engineering Geology, v. 200. 2016.
- Alavi Nezhad Khalil Abad, S.V., Mohamad, E.T., and Komoo, I. (2014). **Dominant weathering profiles of granite in southern Peninsular Malaysia.** Engineering Geology 183, 208–215.
- ALKMIM, F.F., PEDROSA-SOARES, A.C., ... CRUZ, S.C. P., 2013. **Sobre a evolução tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo ocidental.**
- ALMEIDA, F. F. M. **O Cráton do São Francisco.** Revista Brasileira de Geociências, v. 7, p. 349–364,1977.
- ALMEIDA, F.F.M de “**O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco**”. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, v.1, Salvador, 1979. Anais..., Salvador, Soc. Bras. De Geol./Coord. Prod. Min., 1981. P. 1-10.
- CERYAN, S., TUDES, S., and CERYAN, N. (2008). **A new quantitative weathering classification for igneous rocks.** Environmental Geology 55, 1319–1336.
- DEARMAN, W.R. **Weathering Classification in the Characterisation of Rock for Enginnering Purpose in British Practice.** Engineering Geology, n. 9. 1974.
- DEARMAN, W.R.; BAYNES, F.J.; IRFAN, T.Y. **Engineering Grading of Weathered Granite.** Engineering Geology, v. 12. 1976.
- DEERE D.U., HENDRON A.J., PATTON F.D., CORDING E.J. **Design of surface and near surface construction in rock Proceedings of the 8th U.S. Symposium on Rock Mechanics.** Failure and Breakage of Rock, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York. 1967
- DEWANDEL, B. *et al.* **A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering.** Journal of Hidrology, v. 330. 2016.
- HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A.C.,... JANASI, V.de A., 2004. **Província Mantiqueira. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida** 203–234.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGYAEG (IAEG). **Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geology Mapping.** 1981.

ISRM (1972): **Suggested methods of determining the point load strength index**. ISRM Committee on Laboratory Tests.

JQUES, D. **Tese de doutorado em andamento**. Universidade Federal de Viçosa. 2018

MOMENI, A.A., KHANLARI, G.R., HEIDARI, M., SEPAHI, A.A., and BAZVAND, E. (2015). **New engineering geological weathering classifications for granitoid rocks**. *Engineering Geology* 185, 43–51.

MOYE, D. **Engineering Geology for the Snowy Mountains Scheme**. *Engineering Geology*. 1955.

OLIVEIRA & BRITO. **Geologia de Engenharia**. ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia). 1998

OLLIER, C.D. **Very deep weathering and related landslides**. *Engineering Geology Special Publications*, v.23. 2010.

RUXTON, B.P.; BERRY, L. **Weathering of Granite and Associated Erosional Features in Hong Kong**. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 68. 1957.

Vasconcelos, V.K. (2011). Instituto de Geociências **“APLICAÇÃO DO MODELO ELASTOPLÁSTICO DE LADE KIM A UM PERFIL DE INTEMPERISMO DE LEPTINITO”** Tese de Doutorado Vanessa Kfuri Vasconcelos.

VIEIRA, V.S. **Programa de Levantamento Geológicos Básicos do Brasil**; Projeto Cachoeiro de Itapemirim; Carta Geológica, Carta Metalogenética/Previsional, Folha Cachoeiro de Itapemirim SF.24-V-A, Escala 1:250.000, Estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e Minas gerais, DNPM/CPRM 1997.

WIEDEMANN-LEONARDOS C. M., LUDKA I. P., DE MEDEIROS S. R., MENDES J. C., COSTA-DE-MOURA J. **Arquitetura de Plútons Zonados da Faixa Araçuaí-Ribeira**. *geonomos.v8i1.145* 2001.