

LILIAN GABRIELLA BATISTA GONÇALVES DE FREITAS

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E MINERALÓGICA DE PERFIS DE
INTEMPERISMO EM ARENITOS DA BACIA DO PARANÁ NO TRIÂNGULO
MINEIRO (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

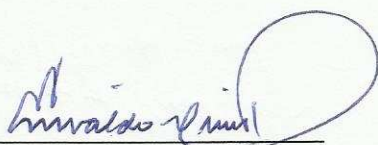
VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

LILIAN GABRIELLA BATISTA GONÇALVES DE FREITAS

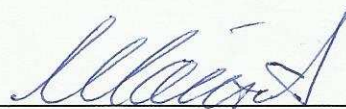
**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E MINERALÓGICA DE PERFIS DE
INTEMPERISMO EM ARENITOS DA BACIA DO PARANÁ NO TRIÂNGULO
MINEIRO (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

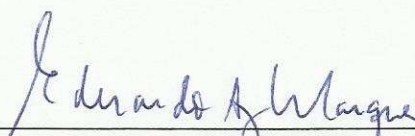
APROVADA: 05 de dezembro de 2016.



Enivaldo Minette



Cibele Cláuver de Aguiar



Eduardo Antônio Gomes Marques
(Orientador)

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

F866c Freitas, Lilian Gabriella Batista Gonçalves de, 1988-
2016 Caracterização morfológica e mineralógica de perfis de
intemperismo em arenitos da bacia do Paraná no Triângulo
Mineiro (MG) / Lilian Gabriella Batista Gonçalves de Freitas. –
Viçosa, MG, 2016.
ix, 80f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Eduardo Antônio Gomes Marques.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.75-80.

1. Arenito - Paraná, Rio, Bacia - Triângulo Mineiro/Alto
Paranaíba (MG : Mesorregião). 2. Estrutura do solo. 3. Física do
solo. 4. Geomorfologia. 5. Intemperismo. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa
de Pós-graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22 ed. 552.58151

AGRADECIMENTOS

Obrigada DEUS pela sua fidelidade e seu amor que me sustentou e me deu forças. Mesmo nos dias que eu desisti VOCÊ não desistiu de mim.

Obrigada mãe pelas palavras de consolo nos momentos mais difíceis.

Dani, eu não sei como agradecer tudo o que você fez por mim, obrigada por dividir a sua casa nos meus primeiros dias em Viçosa, obrigada pelos móveis, obrigada pelos almoços, obrigada pelas conversas que tivemos, obrigada por chorar e rir comigo nos meus melhores e piores momentos, obrigada pela amizade, obrigada, obrigada, obrigada, obrigada TE AMO.

Obrigada Jonathas, Renata e família, por me acolherem.

Laihane, Helo, amo vocês meninas.

Kharen, que surpresa boa Viçosa nos deu, obrigada pela sua amizade.

Obrigada PedroPizzol pelo companheirismo e me ensinar a enxergar o lado bom de TODAS as circunstâncias.

Obrigada amigos da Pós-Geotecnia 2015!

Obrigada pela oportunidade e pela paciência Edu, você me ensinou muito!!!

A todos que torceram por mim e me ajudaram, muito obrigada!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de abrangência da área de estudo.....	2
Figura 2 - Subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro e no estado de São Paulo. Fonte: Barcelos & Suguio, 1987.	5
Figura 3 - Mapa geológico do Triângulo Mineiro. Fonte: Modificado de Fernandes; Coimbra, 1996a...	6
Figura 4 - Afloramento com vista panorâmica da Formação Uberaba, localizado próximo à Universidade Federal do Triângulo Mineiro.	7
Figura 5- Arenito verde com intercalação de argilito vermelho.....	7
Figura 6 - Afloramento representativo com vista panorâmica da Formação Marília, localizado ao lado esquerdo da BR - 050 sentido Uberlândia.....	9
Figura 7- Arenito carbonático e arenito conglomerático intemperizado da Formação Marília.	9
Figura 8 - Mapa geológico da região em que se insere o estudo (www.cprm.gov.br, 2015).	10
Figura 9 - Alguns diagramas triangulares usados na classificação de arenitos. O primeiro diagrama mostra a Classificação de Folk (1968), enquanto no diagrama inferior mostra-se a classificação de Pettijohn et al (1972). Fonte: Suguio, 2003.....	12
Figura 10 - Série de cristalização de Bowen. Fonte: Guerner Dias A. et al. (2013).....	16
Figura 11 - Formação de um perfil de intemperismo. Fonte: Little (1969).....	17
Figura 12 - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades. Fonte: Adaptado de González de Vallejo et al. (2002).....	21
Figura 13 - Fases componentes de uma rocha. Fonte: Azevedo & Marques (2006).	22
Figura 14 - Estimativa da resistência á compressão uniaxial segundo o grau de alteração e litotipo. Fonte: Hoek et al (1998).	23
Figura 15 - Relação de dimensões dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios de carga pontual. a) para ensaio diametral; b) axialmente; c) para amostras em forma de blocos; d) para ensaio em formas irregulares. Fonte: ISRM (2007).	25
Figura 16- Equipamento utilizado para o ensaio de resistência à compressão puntiforme.	25
Figura 17- Esclerômetro portátil.	26
Figura 18- Localização dos Pontos na área de estudo.....	29
Figura 19 - Perfis de rugosidade na superfície da junta e o valor JRC correspondente. Fonte: Barton e Choubey (1977).	32
Figura 20 - Ábaco de correlação entre densidade, resistência à compressão uniaxial e resposta obtida com o esclerômetro. Fonte: Deere & Miller, 1966.	34
Figura 21- Amostras no dessecador com bomba à vácuo.	35
Figura 22 - Amostras em imersão (a) e amostras na estufa (b).	36
Figura 23 - Exemplo de amostras utilizadas nos ensaios de compressão puntiforme após a execução dos ensaios.....	38
Figura 24 - Vista frontal do Perfil P06 da Formação Uberaba. Em amarelo está o contato abrupto marcado por uma descontinuidade entre o Arenito Inferior e o superior do perfil. Neste contato dá-se a surgência de água que ocorre no local.....	41

Figura 25 - Vista frontal do perfil P02-03, pertencente à Formação Marília. Em vermelho mostra-se uma fina camada de solo, representativo da região.....	42
Figura 26 - Vista dos perfis do ponto P07, pertencente à Formação Uberaba. Detalhes da influência das estruturas geológicas sobre o desenvolvimento dos perfis de intemperismo no arenito com granocrescência ascendente. Nota-se o aumento da frequência de descontinuidades paralelas ao acamamento, devido ao alívio, causando aumento do intemperismo. Percebe-se também no local das descontinuidades a surgência de água destacado de azul.	42
Figura 27- Vista frontal do Perfil P04, pertencente à Formação Uberaba. Em vermelho contato abrupto entre os arenitos.	43
Figura 28 - Vista frontal do Perfil P01. Em vermelho, contato abrupto entre as rochas da Formação Marília.	43
Figura 29 - Exemplo de morfologia dos perfis em arenito, representado pelo Perfil P08 da Formação Uberaba). Detalhes da influência das estruturas geológicas sobre o desenvolvimento dos perfis de intemperismo no arenito. Nota-se o aumento da frequência de descontinuidades devido ao alívio, causando aumento do intemperismo, essas descontinuidades são sub-horizontais ao acamamento. Em vermelho tem-se as fraturas tectônicas verticais e em amarelo estratificação cruzada.....	44
Figura 30 – Exemplo de arenito na classe de intemperismo I (SR). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.....	49
Figura 31- Exemplo de arenito na classe de intemperismo II a (SW). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.....	49
Figura 32- Exemplo de arenito na classe de intemperismo II a (SW). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.....	49
Figura 33 – Exemplo de arenito classe de intemperismo II/III (SW a MW). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.....	50
Figura 34 – Exemplo de arenito na classe de Intemperismo III (MW). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.....	50
Figura 35 – Exemplo de arenito na classe de intemperismo III/IV (MW a HW). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.....	50
Figura 36- Classe de intemperismo IV (HW).	51
Figura 37- Fotografia de todas as lâminas que foram analisadas no microscópio de luz polarizada. .	51
Figura 38- Fotos da lâmina P06-1: sublitoarenito ressaltando algumas de suas características.	56
Figura 39- Fotos da lâmina P06-2: litoarenito ressaltando algumas de suas características.	56
Figura 40 - Fotos da lâmina P07-1: litoarenito ressaltando algumas de suas características.	56
Figura 41 - Fotos da lâmina P07-3: litoarenito P08-1: carbonato arenito ressaltando algumas de suas características.....	57
Figura 42 - Fotos da lâmina P07-4: litoarenito ressaltando algumas de suas características.	57
Figura 43 - Fotos da lâmina P08-1: quartzarenito ressaltando algumas de suas características	57
Figura 44 - Fotos da lâmina P08-2: litoarenito feldspático ressaltando algumas de suas características.....	58

Figura 45 - Fotos da lâmina P08-3: litoarenito ressaltando algumas de suas características.	58
Figura 46 - Fotos da lâmina P08-4: litoarenito ressaltando algumas de suas características.	58
Figura 47 - Fotos da lâmina P08-5: litoarenito feldspático ressaltando algumas de suas características.	59
Figura 48 - Gráficos mostrando a variação da porosidade (a), do peso específico saturado (b) e capacidade de absorção (c), com o intemperismo.	63
Figura 49 - Gráficos mostrando a variação da porosidade e capacidade de absorção em relação aos constituintes são.	64
Figura 50 - Comparação dos índices físicos com dados da literatura. A – Resultados médios de Marques & Williams (2015); B – Resultados de Tating et al. (2013); C – Resultados de Beavis (1985); D - Resultados do presente estudo.	66
Figura 51 – Classes de resistência a compressão uniaxial para os três arenitos, com base nos resultados do Esclerômetro de Schmidt.	67
Figura 52 - Valores de resistência a compressão uniaxial para as classes de intemperismo, obtidos a partir dos resultados do esclerômetro de Schmidt.	67
Figura 53 - Valores médios da compressão para cada Classe de intemperismo.	70
Figura 54 – Comparação dos valores médios de IS_{50} (PLT)(10^5 Pa), martelo de Schmidt (Mpa) e dos constituintes são(%) para cada Classe de intemperismo.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Graus de decomposição (modificado de ISRM, 1981 e ABGE, 1983)	14
Tabela 2 - Cadastro de testes da matriz aplicado para identificação das camadas intemperizadas (BARROSO, 1993).....	30
Tabela 3 - Classificação de abertura das descontinuidades (ISRM, 1978 e 1981).....	32
Tabela 4- Endereço e coordenadas geográficas dos perfis de intemperismo de arenito descritos e amostrados.	41
Tabela 5 – Características macroscópicas principais dos arenitos da Formação Uberaba, observadas nos perfis descritos.	46
Tabela 6 - Resultado da análise modal realizada nas lâminas petrográficas das rochas.	53
Tabela 7 - Resultado da análise modal das rochas de cada perfil.	54
Tabela 8 - Relação de grãos alterados ou não pelo intemperismo (%) - Índice micropetrográfico (I_{mp}).	54
Tabela 9 - Relação de grãos alterados ou não pelo intemperismo (%) - Índice micropetrográfico (I_{mp}) em cada perfil.	54
Tabela 10 - Resultados da Caracterização Física por amostra.	61
Tabela 11 - Valores médios para cada amostra.	68
Tabela 12 - Comparação da compressão puntiforme com dados da literatura.	69
Tabela 13 - Resultados dos ensaios/análise in situ para cada classe de intemperismo.	72

RESUMO

FREITAS, Lilian Gabriella Batista Gonçalves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2016. **Caracterização Morfológica e Mineralógica de Perfis de Intemperismo de Arenitos da Bacia do Paraná no Triângulo Mineiro (MG)**. Orientador: Eduardo Antônio Gomes Marques.

Esta pesquisa apresenta os resultados de um estudo da morfologia de perfis de intemperismo desenvolvidos em alguns arenitos sob condições climáticas tropicais na região de Uberaba, no Estado de Minas Gerais. Além disso, foi realizada uma caracterização geotécnica in situ detalhada, em que vários perfis foram analisados. Dentre os oito afloramentos visitados, três foram selecionados para descrições mais detalhadas de seus parâmetros físicos, mineralógicos, geológicos, estruturais e geotécnicos, com foco em diferentes classes de intemperismo, incluindo várias características da matriz das rochas (por exemplo, textura, mineralogia) e do perfil geológico como um todo (por exemplo, relação rocha: solo, características das discontinuidades, e resistência à compressão). Foram coletadas amostras com diferentes graus de alteração para determinar seus índices físicos, realizar descrição das características macroscópicas das rochas, preparar e descrever lâminas delgadas e realizar análises de testes de carga pontual. Os resultados mostram que os perfis de intemperismo dos arenitos apresentam uma fina camada de solo na sua porção superior dos perfis, os contatos entre diferentes camadas de material são tipicamente abruptos. Um forte controle estrutural sobre o intemperismo das rochas pode ser observado nos afloramentos, representado pela presença de juntas de alívio de tensão paralelas ao acamamento. Este controle desempenha um papel importante na diferenciação das camadas de rocha e nas classes de intemperismo. Os parâmetros físicos, especialmente a porosidade e a massa específica, provaram ser bons indicadores do grau de alteração na matriz rochosa. As descrições das lâminas permitiram a identificação de importantes mudanças mineralógicas devido ao intemperismo de todas as rochas estudadas. Finalmente, os parâmetros físicos e de resistência provaram serem úteis para a distinção de diferentes materiais intemperizados, principalmente quando relacionados com o estudo da matriz rochosa.

ABSTRACT

FREITAS, Lilian Gabriella Batista Gonçalves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2016. **Characterization of Morphology and Mineralogical of Weathering Profiles of Sandstone from Bacia do Paraná in Triângulo Mineiro (MG)**. Adviser: Eduardo Antônio Gomes Marques

This paper presents the results of sandstones weathering profiles morphology developed under tropical conditions in the region of Uberaba, state of Minas Gerais. Furthermore, several profiles were analysed for a detailed in situ geotechnical characterization. The most three representative profiles were selected in order to provide thorough description on physical, mineralogical, geologic, structural and geotechnical parameters, focusing on different classes of weathering, which includes both rock matrix (e.g. texture and mineralogy) and rock mass (e.g. rock:soil ratio, discontinuity characteristics, compression strength). The results show a tiny soil layer on top of the sandstones weathering profiles with sharp boundaries between material layers. The weathering is strongly influenced by geologic structures such as stress relief joints parallel to the bedding which plays an important role on both rock layers' differentiation and weathering classes. The physical parameters (porosity and density) have proven to be great indicators to the degree of rock matrix alteration. The thin sections descriptions allowed the identification of significant mineralogical changes due to rock weathering processes. Lastly, both physical and strength parameters have demonstrated to be useful for distinction among weathered materials, specially when related to rock matrix studies.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 Localização da área.....	2
1.3 Objetivos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Geologia Local	5
2.2 Arenitos	11
2.3 Caracterização Geotécnica	13
2.4 Grau de Alteração dos Maciços Rochosos.....	13
2.6. Caracterização Geomecânica das Descontinuidades	19
2.10 Análise Petrográfica.....	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Materiais e Métodos de Campo	29
3.2. Materiais e Métodos de Laboratório.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Morfologia dos Perfis de Intemperismo dos Arenitos Uberaba e Marília.....	40
4.1.2 Mineralogia Macroscópica e Trama	45
4.1.3 Descrição Petrográfica.....	51
4.2 Ensaio de Caracterização Física	60
4.3. Ensaio de Resistência	66
4.3.1 Ensaio <i>in situ</i> com Martelo de Schmidt	66
4.3.2 Ensaio de Carga Pontual (Point Load)	68
4.4 Parâmetros Geotécnicos Determinados <i>In Situ</i>	71
5 CONCLUSÃO	73
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

O intemperismo afeta consideravelmente as rochas, provocando modificações no comportamento mecânico dos materiais rochosos. A velocidade da ação dos processos intempéricos está ligada principalmente ao clima da região, ao relevo, a cobertura vegetal, ao tempo de exposição e à rocha de origem. Vale destacar que o caminho percorrido pela água para entrar no maciço está ligado ao grau de faturamento e à porosidade, causando a aceleração do processo de alteração. Tem-se, assim, um importante e complexo mecanismo de instabilização de maciços rochosos, que tem, comumente, sido responsável por uma série de problemas geotécnicos, com especial destaque para escorregamentos envolvendo taludes em vias (rodovias e ferrovias) e em mineração a céu aberto. Em regiões de clima tropical úmido é comum encontrar perfis de intemperismo com uma grande variedade de materiais de transição entre rocha sã e solo residual. A complexidade geológico-estrutural dos maciços rochosos e a ação do intemperismo no comportamento geotécnico das rochas são os principais motivadores dos problemas geotécnicos (MARQUES & WILLIAMS, 2015). Logo, é importante estudar de forma detalhada a caracterização da morfologia dos perfis de intemperismo a fim de identificar os diferentes materiais, do ponto de vista mecânico, que os compõem; a presença de estruturas; e como ocorre a atuação dos agentes climáticos na região, permitindo, desta forma, avaliar a consideração ou não destes diferentes materiais em projetos de escavação e de estabilização de taludes (ANONYMOUS, 1995; BEAVIS, 1985; BEAVIS et al. 1982; GUPTA & RAO, 2001; MARQUES, 1998; MARQUES et al, 2010; MARQUES & WILLIAMS, 2015).

No presente trabalho propôs-se estudar a morfologia dos perfis de intemperismo e a variação de resistência de alguns arenitos presentes na região do Triângulo Mineiro (MG). Este estudo é importante principalmente para gerar dados sobre propriedades mecânicas dos diversos materiais de intemperismo de arenitos desenvolvidos sob clima tropical úmido e no sentido de gerar um banco de dados para as análises de estabilidade, escavações e fundações, já que o processo de alteração, resultante dos processos de intemperismo, afeta os parâmetros geotécnicos da rocha sã. Assim, torna-se importante caracterizar o comportamento geomecânico de

materiais intemperizados transicionais entre rocha e solo de maneira a prover dados sobre características físicas, químicas, mineralógicas e mecânicas (resistência e deformabilidade). Esses dados podem, então, ser utilizados como base para melhorar projetos geotécnicos, investigações de campo e execução de obras civis e de mineração. Por fim, pretende-se comparar os resultados com aqueles de outros autores, inclusive para perfis de intemperismo desenvolvidos em diferentes condições climáticas.

1.2 Localização da área

A área de estudo está inserida na mesorregião geográfica do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e localiza-se a oeste do Estado de Minas Gerais, na região sudeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas de $17^{\circ}55'05''$ a $20^{\circ}26'35''$ de latitude Sul e $45^{\circ}38'25''$ a $51^{\circ}02'47''$ de longitude Oeste (Figura 1). As amostras dos perfis de intemperismo estudados foram coletadas na área urbana de Uberaba, ou em seus arredores, cuja localização mostrar-se-á posteriormente.

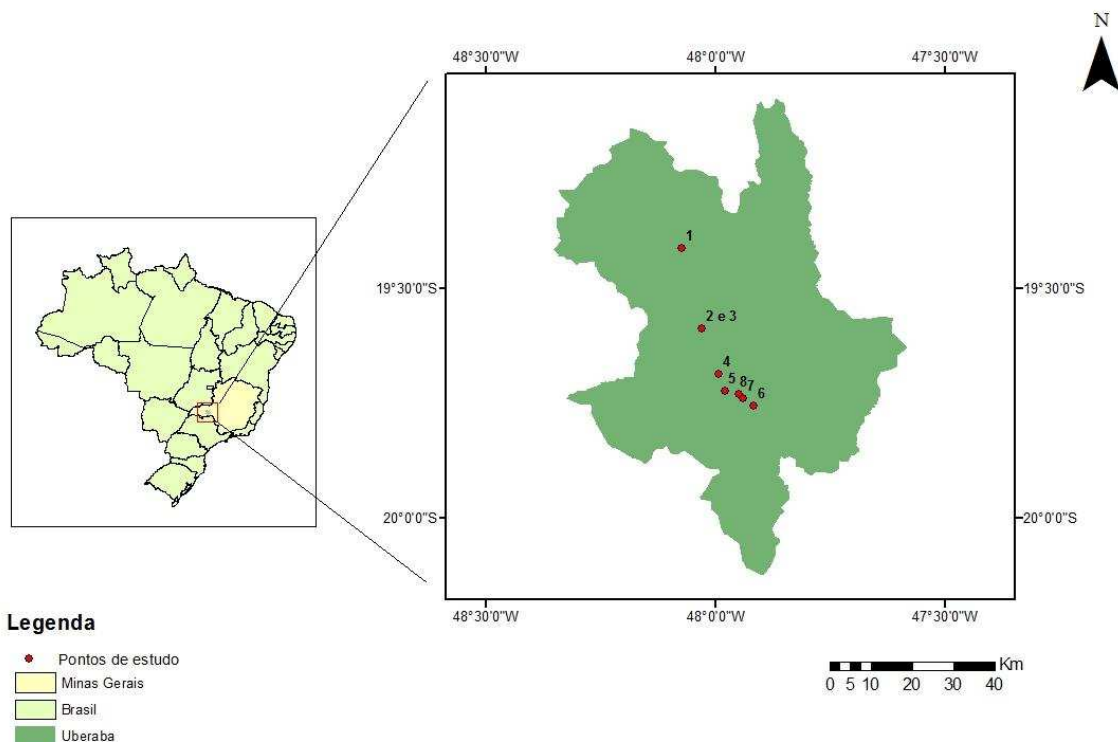


Figura 1 – Área de abrangência da área de estudo.

1.3 Objetivos

Os objetivos a serem alcançados neste trabalho estão relacionados aos seguintes aspectos principais:

- Caracterização morfológica dos perfis de intemperismo de rochas sedimentares (arenitos) existentes em Uberaba, na região do Triângulo Mineiro, em condições de clima tropical úmido.
- Caracterização geotécnica detalhada dos materiais resultantes do intemperismo para fins de engenharia geotécnica, considerando os seguintes aspectos:
 - ✓ Descrição da(s) rocha(s) e solo(s), incluindo textura e cor (matriz e maciço), em campo;
 - ✓ Índice de espaçamento de descontinuidades, I_f (maciço rochoso), em campo;
 - ✓ Razão solo-rocha (maciço), em campo;
 - ✓ Mineralogia, com base em descrição de lâminas;
 - ✓ Índices físicos, em laboratório; e
 - ✓ Determinação das propriedades de resistência da matriz rochosa através da realização de ensaios de compressão puntiforme (PLT).
- Caracterização de campo e/ou laboratório, das propriedades das descontinuidades principais, a saber:
 - ✓ Persistência;
 - ✓ Abertura;
 - ✓ Tipo e Material de Preenchimento;
 - ✓ Coeficiente de rugosidade de juntas (JRC);
 - ✓ Resistência à compressão de juntas (JCS), com esclerômetro de Schmidt.

Ressalta-se que o foco dos estudos desenvolvidos foram as camadas de rocha expostas nos perfis estudados. Assim, as camadas de solos residuais, maduro e jovem, não foram contempladas no presente estudo, em função da dificuldade de amostragem e do tempo necessário para realizar a pesquisa com esses materiais. A

realização dessa detalhada caracterização da morfologia dos perfis de intemperismo de arenitos em condições de clima tropical úmido, objetivou compreender o processo de desenvolvimento destes perfis de intemperismo e possibilitar uma identificação mais adequada dos diferentes materiais que os compõem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geologia Local

A área de estudo insere-se na região do Triângulo Mineiro (MG), no conjunto morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, e apresenta como litologias as rochas do Grupo Bauru também conhecido como Bacia Bauru (FERNANDES, 2004), que formou-se a partir do Cretáceo Inferior. Com a ruptura do Gondwana houve a retomada de subsidência em áreas intracratônicas, o que possibilitou acúmulo de sedimentos em diversas áreas geográficas, formando novas bacias (COIMBRA & FERNANDES, 1995; FERNANDES & COIMBRA, 1996). No Brasil esta bacia distribui-se pelos estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná e Goiás e, no total, abrange uma área de aproximadamente 370.000 Km² (FERNANDES & COIMBRA, 1996).

De acordo com Fernandes & Coimbra (1996) o Grupo Bauru é subdividido nas formações Uberaba, Marília e Adamantina e está sotoposto às rochas basálticas da Formação Serra Geral, do Grupo São Bento. Acima das rochas do Grupo Bauru, observam-se sedimentos inconsolidados Cenozóicos, que formam os terrenos de maiores altitudes (ROCHA et al., 2001). Na Figura 2 apresenta-se a subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro, enquanto na Figura 3 mostra-se o mapa geológico da região na qual a área de estudo está inserida.

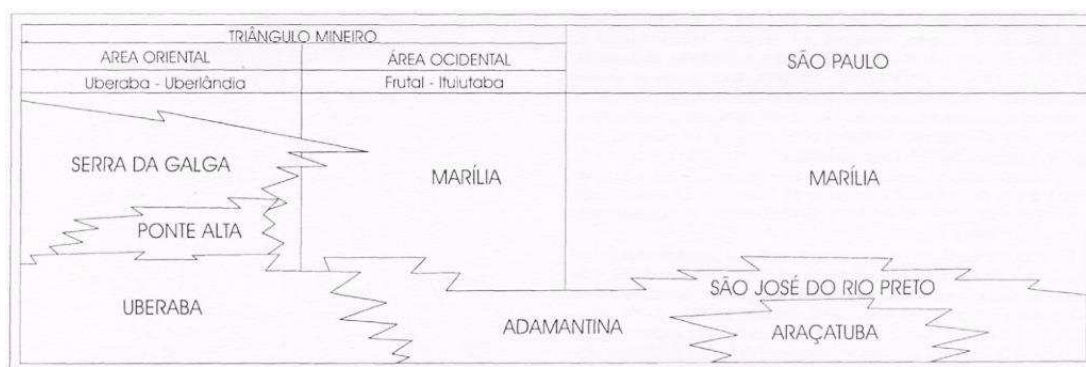


Figura 2 - Subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro e no estado de São Paulo. Fonte: Barcelos & Suguio, 1987.



Figura 3 – Figura do mapa geológico do Triângulo Mineiro. Fonte: Modificado de Fernandes; Coimbra, 1996a.

2.1.1. Formação Uberaba

Com idade Neocretácea a Formação Uberaba (HASUI, 1968) está exposta nas proximidades da cidade de Uberaba, no Triângulo Mineiro, e em porções isoladas do Alto Paranaíba (HASUI & CORDANI, 1968). Segundo Ferreira (1996), a área aflorante desta formação estende-se por uma faixa de direção E-W, desde a cidade de Sacramento até Veríssimo, passando por Ponte Alta, Peirópolis e Uberaba, no médio e alto vale do Rio Uberaba.

Hasui (1967, 1968) e Barcelos (1984) descrevem a Formação Uberaba (Figura 4) como sendo constituída por rochas epiclásticas, em que os sedimentos são derivados de materiais de retrabalhamento de rochas ígneas efusivas e intrusivas básicas, ultrabásicas e intermediárias, alcalinas ou não, também associadas a outras fontes não vulcânicas. Estas rochas podem ser classificadas como litoarenitos a litoarenitos feldspáticos, com baixa seleção e granulometria de areia muito grossa a fina (FERREIRA JÚNIOR & GUERRA, 1993).

Ainda de acordo com Fernandes e Coimbra (1996) esta formação possui arenitos com cimento calcítico e/ou matriz argilosa verde, com intercalações subordinadas de siltitos, argilitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados arenosos, vulcanoclásticos (Figura 5). Segundo Hasui (1967) os argilominerais mais comuns na unidade são a illita (detrítica) e a esmectita (autigênica). Os arenitos são frequentemente cimentados por CaCO_3 .



Figura 4 - Afloramento com vista panorâmica da Formação Uberaba, localizado próximo à Universidade Federal do Triângulo Mineiro.



Figura 5- Arenito verde com intercalação de argilito vermelho.

2.1.2. Formação Marília

Descrita por Almeida & Barbosa (1953), a Formação Marília foi proposta inicialmente para representar os arenitos grossos e conglomeráticos, cimentados por calcita, e correspondentes à parte superior do Grupo Bauru. Soares et al. (1980), descrevem esta formação como uma unidade composta por raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos, calcários e arenitos grosseiros a conglomeráticos,

ricos em feldspato, minerais pesados e minerais instáveis, raramente com estratificação cruzada.

A formação se estende, em parte na região do Triângulo Mineiro (Figura 3) e nos estados de Goiás e São Paulo (ALMEIDA & BARBOSA, 1953). Os afloramentos da área do Triângulo Mineiro ocorrem nas porções topográficas mais altas dos interflúvios, de maior expressão nas cidades de Uberaba e Prata (Barcelos, 1984) (Figura 6), em região com presença elevada de fósseis (RADAMBRASIL, 1983). Dias-Brito et al. (2001) atribuíram a idade Neomaastrichtiana (aproximadamente 71,3 a 65 milhões de anos), do Cretáceo Superior, a partir de dados obtidos de conteúdo fossilífero (ostracóides).

Barcelos (1984) subdivide esta formação nos Membros Ponte Alta e Serra da Galga, restritos à região do Triângulo Mineiro; e Echaporã, que além de aflorar nesta região, aparece nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e São Paulo. O Membro Ponte Alta possui os calcários do tipo calcretes e conglomerados com cimentação carbonática (RIBEIRO, 1997). Segundo Garrido et al. (1992) é composto de horizontes de calcários com seixos e nódulos de calcários depositados em lagos alcalinos (tipo playa lake) saturados com bicarbonato de cálcio. O Membro Serra da Galga é formado por arenitos imaturos e conglomerados, superpostos aos níveis carbonáticos do Membro Ponte Alta (Figura 7). Nestes conglomerados há uma predominância de seixos de quartzitos, quartzo, calcedônia, rochas ígneas básicas, calcárias e argilitos (BARCELOS, 1984). Segundo Fernandes & Coimbra (1996) leques aluviais medianos a distais com sistemas fluviais entrelaçados associados, e eventual alternância de depósitos de pequenas dunas eólicas (subordinadas) representam o contexto deposicional deste membro. O Membro Echaporã apresenta arenitos de granulação fina passando a grossa, frequentemente conglomerático, ricos em cimento carbonático. As possíveis condições de sedimentação deste membro parecem ter sido de alta energia e de deposição rápida, em formas de leques aluviais (BARCELOS, 1984).



Figura 6 - Afloramento representativo com vista panorâmica da Formação Marília, localizado ao lado esquerdo da BR - 050 sentido Uberlândia.



Figura 7- Arenito carbonático e arenito conglomerático intemperizado da Formação Marília.

2.1.3. Formação Adamantina

A Formação Adamantina foi proposta por Soares et al. (1980) e aflora nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais (Triângulo Mineiro) e São Paulo. Na região do Triângulo Mineiro esta formação ocorre em toda a extensão do Grupo Bauru, com um relevo ondulado e marcado pela presença de sedimentos da Formação Marília nos municípios de Monte Alegre de Minas e Uberaba.

Segundo Barcelos & Suguio (1987, p. 316) são constituídos de arenitos grossos, bem arredondados, dispersos em matriz fina e silticoargilosa, com calcretes nodulares também presentes. Para Fernandes & Coimbra (1996) constitui-se da associação de arenitos finos a muito finos e lamitos siltosos, de cor rósea a castanho, com intercalações de argilitos de cor castanho-avermelhado. Esta formação pode ser caracterizada pelos arenitos e raros pelitos, sendo, portanto, interpretada como fluvial entrelaçado (PEREIRA, 2012).

Na região do Triângulo Mineiro, a denominação Adamantina passar a ocorrer como Formação Vale do Rio do Peixe. Assim, a nova unidade ocuparia mais de 70%

de toda a sedimentação da Bacia Bauru na região (FERNANDES & COIMBRA, 1994; 1996; COIMBRA & FERNANDES, 1995; FERNANDES, 1992).

Na Figura 8 apresenta-se o mapa geológico do entorno de Uberaba, mostrando os pontos em que foram descritos os perfis de intemperismo estudados, sendo que nos pontos P06, P07 e P08 foram coletadas as amostras para a realização dos ensaios de laboratório.









- >> Rios <<
-  DRENAGEM
- >> Rod. Pavimentada <<
-  construída
- >> Geologia <<
-  Cob. Detrito-Laterítica
-  Formação Serra Geral
-  Formação Marília
-  Formação Uberaba

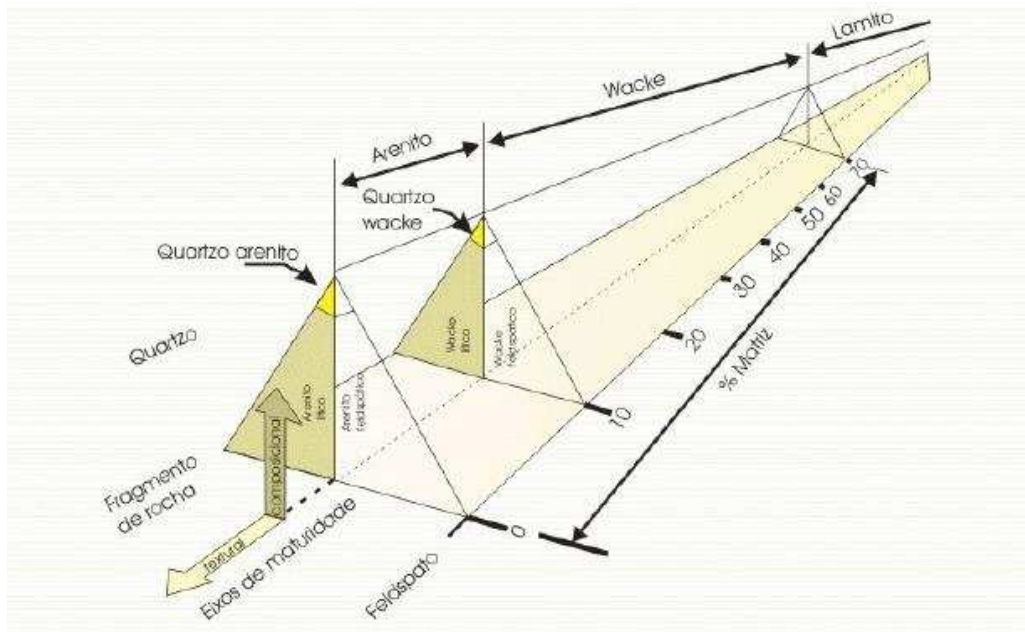
Figura 8 – Figura do mapa geológico da região em que se insere o estudo (www.cprm.gov.br, 2015).

2.2 Arenitos

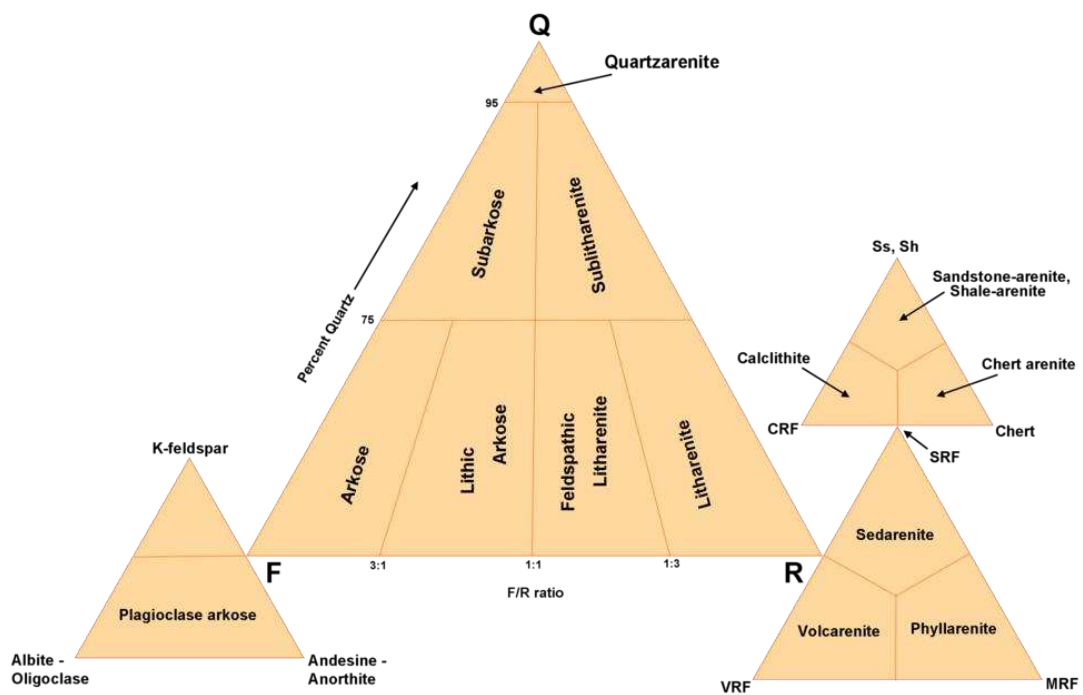
Os arenitos, foco do presente estudo, correspondem à areia litificada e seus grãos apresentam tamanho predominante entre 0,062 e 2mm, tendo como base a escala granulométrica de Wentworth. De uma maneira geral os arenitos são classificados por dois critérios fundamentais: o descritivo/granulométrico e o genético. A maioria dos autores atribui conotações genéticas ao termo apresentado (SUGUIO, 2003). Os arenitos são originalmente provenientes da erosão de vários tipos de rochas matrizes, implicando em uma grande variedade de minerais, tais como minerais pesados, minerais químicos (carbonatos, silicatos), minerais detríticos (feldspato), entre outros. Esses minerais podem ser provenientes de inúmeras áreas-fonte, caracterizando a complexidade dessa rocha.

Já Krynine (1940 a 1948) e Pettijohn (1943 a 1957) definiram as linhas básicas para esta classificação, reconhecendo a importância da mineralogia como índice de composição da rocha matriz e de tectonismo da área-fonte. O principal método de classificação usado é o diagrama triangular.

Segundo Folk (1951), outro fator muito importante para a classificação de arenitos baseia-se na ideia de maturidade. A maturidade dos arenitos é atingida de duas formas: química e física. Através do intemperismo, transporte e erosão, ocorre tanto o enriquecimento relativo de minerais mais estáveis quimicamente quanto em relação às mudanças na granulometria e arredondamento do material a ser depositado. A Figura 9 apresenta alguns diagramas triangulares usados na classificação de arenitos.



(a)



(b)

Figura 9 - Alguns diagramas triangulares usados na classificação de arenitos. (a) diagrama mostra a Classificação de Pettijohn et al (1972), enquanto no diagrama (b) mostra-se a classificação de Folk (1968). Fonte: Suguio, 2003

2.3 Caracterização Geotécnica

Segundo Azevedo & Marques (2006), um maciço rochoso é um meio descontínuo formado pelo material rocha e pelas discontinuidades existentes nas escalas de afloramento e regional.

As propriedades petrográficas são importantes para caracterização do comportamento do material. No caso dos arenitos algumas das mais relevantes são as mineralógicas e texturais, além da porosidade. Os principais minerais constituintes da rocha são os silicatos, seguidos pelos carbonatos, óxidos, hidróxidos e sulfatos.

O grupo dos silicatos, minerais mais comuns, denominados de essenciais, tem influência importante no comportamento das rochas nas quais estão presentes. Assim, rochas ricas em quartzo e feldspato são duras, com comportamento frágil. Rochas ricas em anfibólios e piroxênios alteram-se mais facilmente, originando perda de resistência. Rochas ricas em micas apresentam laminação. As rochas ricas em argilominerais têm seu comportamento influenciado pelo tipo de argilomineral presente. Por exemplo, as esmectitas têm comportamento expansivo e baixas resistência ao cisalhamento e permeabilidade. Os carbonatos formam os calcários, e são minerais de baixa resistência e solúveis, com comportamento frágil à baixas pressões (BUCHELI, 2005).

As características físicas condicionam a qualidade dos maciços rochosos e estão ligadas principalmente à litologia, ao estado de alteração, à coerência e principalmente, às discontinuidades e suas propriedades. Envolvem as seguintes características geológicas: mineralogia, textura, estrutura e os parâmetros de resistência, deformabilidade, permeabilidade e estado de tensões naturais (Fernandes, 2000). Elas são determinadas por investigações de campo e ensaios “*in situ*” e laboratoriais que são padronizados, dentre outras organizações, pela ISRM (2007).

2.4 Grau de Alteração dos Maciços Rochosos

Para a Geologia de Engenharia, a alteração intempérica favorece a diminuição da resistência mecânica, o aumento da deformabilidade e a modificação das propriedades de permoporosidade das rochas (ABGE, 1998). Isso ocorre pela remoção dos elementos solúveis constituintes dos próprios minerais, pela dissolução dos elementos com função de cimentação em solos ou rochas e pelo desenvolvimento de uma rede de microfaturas em um meio rochoso que não as possuía (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). Para um mesmo tipo litológico, a rocha se mostra menos resistente e mais deformável, quanto mais avançada a alteração, o que permite reconhecer estágios ou graus de intensidade da manifestação do processo (ABGE, 1998). Gupta e Rao (1998) afirmam que o processo de alteração é sequencial e degradacional, caracterizado pela descoloração, presença de manchas, minerais secundários, mudanças texturais, desenvolvimento de vazios, redução da resistência e desintegração.

A caracterização do estado de alteração realiza-se de maneira qualitativa ou quantitativa. A caracterização qualitativa consiste de uma avaliação visual da alteração dos minerais através de mudanças na cor, brilho e textura, como mostrado na Tabela 1.

À medida que a rocha se altera, passa da condição de rocha fresca para semialterada e daí para solo. Os valores de coesão e do ângulo de atrito diminuem gradualmente, até atingirem valores mínimos, na condição de solo, quando podem alcançar a condição de ruptura (FIORI & CARMIGNARI, 2001). Também o microfraturamento influencia fortemente no processo de alteração das rochas. Os maciços fraturados e expostos à ação do intemperismo tornam-se mais susceptíveis à penetração de água, facilitando a alteração química. Neste caso a degradação do maciço rochoso inicia-se ao longo destas fraturas.

Tabela 1: Graus de decomposição (modificado de ISRM, 1981 e ABGE, 1983)

Grau	Termo	Descrição
W1/D1	Rocha Sã	

			Alteração mineralógica nula a incipiente. Minerais preservam brilho original, cor e clivagem. Eventual descoloração nas descontinuidades. Foliação visível e selada.
W2/D2	Rocha Pouco Decomposta		Alteração mineralógica perceptível, cores esmaecidas e perda do brilho. Leve descoloração e oxidação na matriz e ao longo das descontinuidades. Foliação visível e selada. Juntas fechadas, paredes ligeiramente alteradas. Resistência original da rocha muito pouco afetada pela alteração
W3/D3	Rocha Moderadamente Decomposta		A matriz apresenta-se descolorida, com evidência de oxidado. Juntas abertas (<1,0 mm) e oxidadas, podendo ocorrer material mais alterado ao longo das descontinuidades. Foliação realçada pelo intemperismo. Resistência afetada pelo intemperismo e lixiviação.
W4/D4	Rocha Muito Decomposta		Alteração mineralógica muito acentuada, alguns minerais parcialmente decompostos em argilominerais. Matriz totalmente oxidada e cores muito modificadas. Fraturas abertas (2 < e < 5 mm) e oxidadas, preenchidas por materiais alterados. Foliação realçada pelo intemperismo. Deslocamentos ao longo da foliação. Resistência muito afetada pela alteração e lixiviação
W5	5	Rocha Completamente Decomposta	Toda material esta completamente decomposto/alterado para solo estruturado. Extremamente descolorido, minerais resistentes quebrados e outros transformados em argilo-minerais . Foliação preservada. Juntas não discerníveis. Desintegra em água após um período de imersão.
W6		Solo Residual	Material totalmente transformado em solo. Estruturação da rocha matriz destruída. Prontamente desintegrado em água.

A variação da umidade apresentada pelas rochas brandas pode provocar expansão-contração, queda de resistência e aumento na deformabilidade, como salientado por Marques & Vargas Jr. (1994). Taylor & Smith (1986) consideram a presença de descontinuidades e a expansão de argilominerais associada à elevada umidade como controladores do processo de decomposição das rochas.

Outro fator que deve ser ressaltado no processo de alteração é a composição mineralógica. A presença de certos minerais pode tornar os processos intempéricos mais acelerados, como mostrado na Figura 10. Um dos minerais que apresenta maior estabilidade diante dos processos intempéricos é o quartzo; minerais com estabilidade intermediária, em ordem decrescente são muscovita, ortoclásio potássico, plagioclásio sódico, plagioclásio cálcico, biotita, anfibólio, piroxênio e olivina. A olivina é o menos estável, sofrendo decomposição com facilidade em montmorilonita (HUNT, 1984). Pode-se dizer que rochas ricas em olivina e piroxênio são mais susceptíveis à

alteração, enquanto rochas com grande quantidade de quartzo possuem uma maior resistência à alteração.



Figura 10 - Série de cristalização de Bowen. Fonte: Guerner Dias A. et al. (2013).

4.6 Perfis de Intemperismo

O intemperismo e a pedogênese levam à formação de um perfil de alteração ou perfil de intemperismo (Figura 11). O perfil é estruturado verticalmente, a partir da rocha fresca, na base, sobre a qual formam-se o saprolito e o solum, que constituem, juntos, o manto de alteração ou regolito. Os materiais do perfil vão se tornando tanto mais intemperizados, quanto mais afastados se encontram dela (TEIXEIRA, 2003). Sendo dependentes do clima e do relevo, o intemperismo e a pedogênese ocorrem de maneira distinta nos diferentes compartimentos morfoclimáticos do globo, levando à formação de perfis de alteração compostos de horizontes de diferentes espessura e composição.

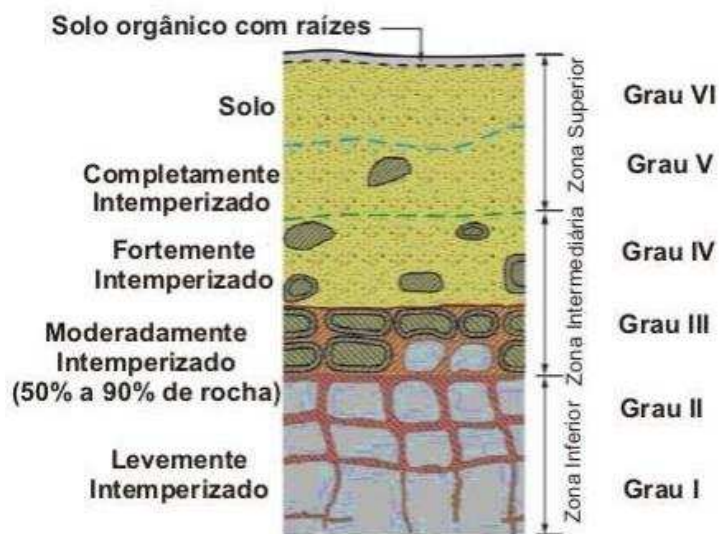


Figura 11 - Formação de um perfil de intemperismo. Fonte: Little (1969).

De acordo com Price (2009), quatro tipos principais de perfis de intemperismo podem ocorrer:

- ✓ Intemperismo uniforme – marcado por uma gradual e sequencial diminuição da intensidade de intemperismo com a profundidade;
- ✓ Intemperismo em blocos – caracterizado pela presença de blocos de rocha arredondados, são ou pouco intemperizados, rodeados por uma massa de solo residual e rocha intemperizada;
- ✓ Intemperismo complexo (irregular) – caracterizado pela irregularidade dos contatos entre as classes de intemperismo, em especial do contato solo-rocha. É comum em rochas metamórficas devido à presença de camadas com alterabilidade diferente e pela presença de muitas estruturas geológicas – juntas, falhas, foliação e dobras;
- ✓ Intemperismo por dissolução – tipo de intemperismo específico para rochas carbonáticas, nas quais juntas e o acamamento sedimentar tem sua abertura aumentada por dissolução e podem evoluir para formas cársticas.

Diversos autores estudaram perfis de alteração de rochas de diversas gêneses (sedimentar, ígnea e metamórfica), procurando caracterizar a variação de suas propriedades mecânicas ao longo de perfis de alteração, desde a rocha sã até a rocha

extremamente alterada dentre eles estão: Ruxton & Berry, 1957; Deere & Patton, 1971; Dearman, 1974, 1976; IAEG, 1981; Beavis, 1985; Somers, 1988; Lee & De Freitas, 1989; Dobereiner & Porto, 1990; Marques, 1998; Gupta & Rao, 2001; Arel & Önalp, 2004; Ramamurthy et al., 1993; Moon & Jayawardane, 2004; Marques et al., 2005; Basu et al., 2008; Marques et al., 2010; Tating et al., 2013; e Marques & Williams, 2015.

Dentre estes, destacam-se, especificamente para arenitos, os estudos de Beavis, 1985 e Marques & Williams, 2015, que estudaram arenitos do Sudeste e do Oeste da Austrália, respectivamente. Já Tating et al (2013) estudou arenitos da Malásia.

As análises feitas por Marques & Williams (2015) apresentaram resultados em conformidade com os Beavis (1985), principalmente os parâmetros físicos e os ensaios de resistência, provando que esses parâmetros são bons indicadores da ação do intemperismo na matriz rochosa para essas rochas.

Tating et al. (2013) também analisou algumas propriedades mecânicas (massa específica seca e compressão puntiforme) de arenitos e encontrou valores semelhantes para a compressão puntiforme com os resultados apresentados pelos autores anteriormente citados. Já para a massa específica seca apresentou valores em conformidade com Beavis (1985) e valores um pouco superior ao de Marques & Williams (2015).

Outros trabalhos sobre arenitos, apesar de não abordarem as propriedades mecânicas, foram analisados e discutidos no presente estudo, já que propriedades químicas e morfológicas também interferem nas características mecânicas da rocha. Destacam-se os trabalhos de Phillipis et al. (2008), desenvolvido no Arkansas (EUA), Vicini (2013) na Ligúria (Itália) e Straeten (2013), em Nova Iorque (EUA).

No Brasil, alguns trabalhos foram realizados com base na caracterização dos produtos resultantes da alteração intempérica e sua influência sobre as propriedades mecânicas, podendo-se destacar os trabalhos de Menezes Filho (1993), Barroso (1993), Marques (1998) e Marques et al. (2010), para rochas metamórficas. Com rochas graníticas, Basu et al. (2008) realizaram um estudo de avaliação do comportamento mecânico de um granito em diversos estágios de alteração. Em relação às rochas sedimentares, o trabalho de Marques et al. (2005) é um dos que procurou estudar a influência do intemperismo sobre propriedades mecânicas das

rochas sedimentares finas (folhelhos, siltitos) e o trabalho de Pedron (2010) estuda, dentre outras características, as propriedades mecânicas de um solo residual de rocha sedimentar (arenitos). Nenhum trabalho havia realizado no Brasil até o início da presente pesquisa, em relação a propriedades mecânicas em arenitos.

Outros trabalhos que tratam sobre arenitos no Brasil foram analisados e discutidos no presente estudo, apesar de não abordarem as propriedades mecânicas e sim propriedades químicas e morfológicas de rochas semelhantes aos arenitos do presente estudo, por exemplo, os trabalhos de Ferreira Júnior & Gomes (1999), Batezelli (2003), Fernandes (2004), Alves & Candeiro (2013), entre outros.

2.6. Caracterização Geomecânica das Descontinuidades

Designa-se, usualmente, por descontinuidade qualquer entidade geológica que interrompa a continuidade física de uma dada unidade geológica (ROCHA, 1981; BRADY & BROWN, 2004). Nos maciços rochosos as descontinuidades podem ser totalmente responsáveis pela estabilidade, uma vez que lhe conferem um comportamento, em termos de deformabilidade, de permeabilidade e de resistência ao corte, muito diferente do estado inicial. Estas superfícies distinguem-se não só pela sua origem e evolução, mas também pelas suas dimensões, propriedades mecânicas e frequência de ocorrência.

O termo descontinuidade, desta forma, trata de qualquer plano de separação no maciço rochoso, podendo este ter origem sedimentar (como as superfícies de estratificação ou laminação), diagenética (como as estruturas filonianas) ou tectônica (como as diaclases e falhas).

Os maciços rochosos, além de serem normalmente estruturas descontínuas e heterogêneas, apresentam, em regra, uma evidente anisotropia. Esta é devida, por um lado à anisotropia do material rochoso e, por outro lado, às famílias de descontinuidades que compartimentam os maciços.

Na descrição das características das descontinuidades devem-se considerar os parâmetros (ISRM, 1981) mostrados na Figura 12.

- **Orientação:** representa a atitude da descontinuidade no espaço, descrita pelo rumo de mergulho (azimute) e pelo mergulho;

- Espaçamento: é a medida da distância perpendicular entre descontinuidades adjacentes;
- Abertura: distância medida perpendicularmente entre paredes adjacentes de uma descontinuidade, cujo interior encontra-se preenchido por água ou ar;
- Persistência: comprimento do traço de uma descontinuidade ao longo de um afloramento, representando a extensão da descontinuidade;
- Resistência da Parede: equivalente à resistência compressiva das paredes rochosas adjacentes de uma descontinuidade;
- Preenchimento: é representado pelo material que preenche uma dada descontinuidade e que usualmente apresenta resistência mais baixa à da rocha intacta. Os materiais típicos de preenchimento são: areias, argilas, milonitos, brechas, siltes, quartzos, calcitas, etc. Os materiais de preenchimento tendem a apresentar uma grande variedade de comportamentos físicos quanto à resistência, deformabilidade e permeabilidade.
- Tamanho do Bloco: dimensões do bloco rochoso resultantes da orientação das famílias de descontinuidades que se interceptam e de seu espaçamento;
- Percolação: fluxo de água em uma descontinuidade ou no maciço como um todo;
- Número de Famílias: define o sistema de descontinuidades. O maciço rochoso pode conter também descontinuidades; individuais, como falhas, que influenciam o tamanho e a forma dos blocos isolados;
- Rugosidade: expressa as ondulações presentes nas superfícies da descontinuidade, influenciando na resistência ao cisalhamento.

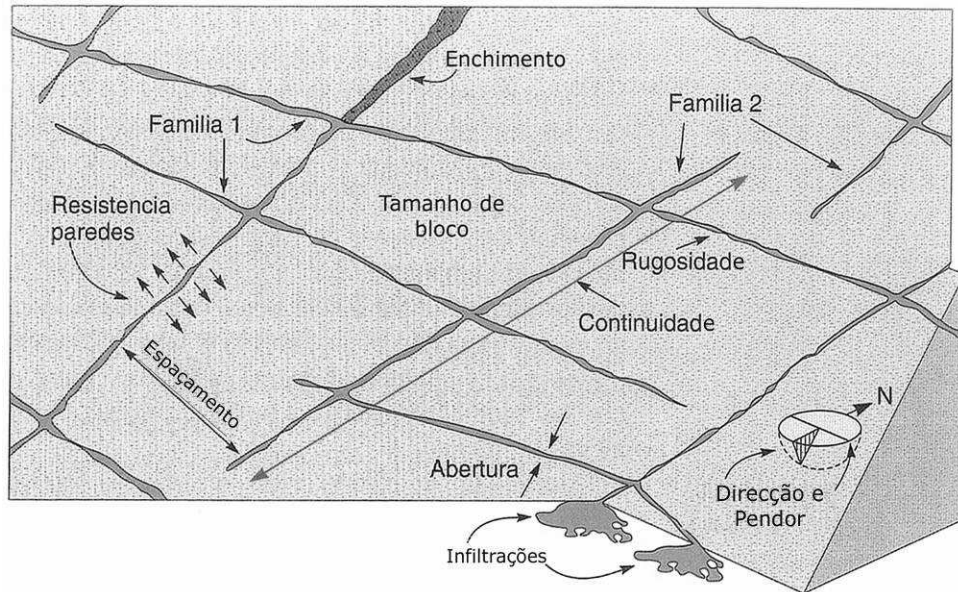


Figura 12 - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades. Fonte: Adaptado de González de Vallejo et al. (2002).

2.7 Índices Físicos Das Rochas

Como dito anteriormente a caracterização do estado de alteração realiza-se de maneira qualitativa ou quantitativa. A caracterização qualitativa consiste de uma avaliação visual da alteração dos minerais através de mudanças na cor, brilho e textura. Já quantitativamente, podem-se tomar como referência algumas medições básicas. Algumas propriedades, por serem relativamente fáceis de serem medidas, são muito úteis neste aspecto e podem ser designadas como propriedades-índice das amostras de rocha (AZEVEDO & MARQUES, 2006).

As propriedades-índice das rochas são propriedades físicas que refletem a estrutura, a composição, a trama (arranjo espacial) e o comportamento mecânico ou hidráulico do material, como:

- Densidade;
- Porosidade;
- Absorção;
- Teor de umidade;
- Velocidade de propagação de onda;
- Permeabilidade;
- Durabilidade.

Normalmente, esses índices são medidos em amostras de rocha intacta (componentes minerais + poros + microfissuras); dessa forma, as propriedades-índice medidas usualmente não são indicativas das propriedades do maciço rochoso. A lista destas propriedades de um espécime de laboratório ajuda a classificá-lo, primariamente, quanto ao comportamento somente da rocha e não do maciço rochoso (onde há interação da rocha com as descontinuidades).

A rocha, de modo similar ao solo, é composta de três fases (Figura13):

- ✓ Minerais sólidos
- ✓ Água e, ou, ar
- ✓ Vazios

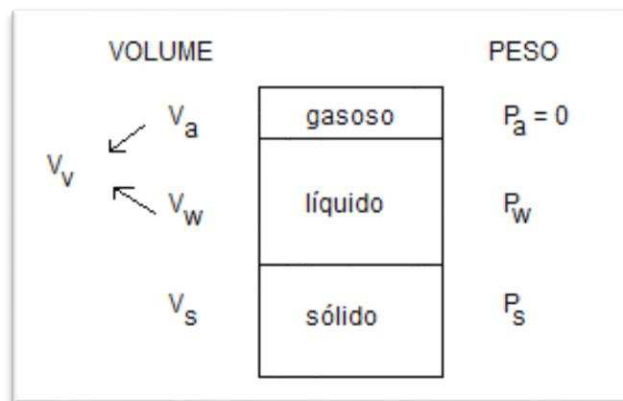


Figura 13 - Fases componentes de uma rocha. Fonte: Azevedo & Marques (2006).

A fim de alcançar os objetivos deste trabalho, atenção especial foi dada às propriedades-índice densidade (especificamente, massa específica), porosidade e resistência.

2.7.1. Resistência

A resistência de um maciço rochoso descontínuo depende das propriedades dos blocos de rocha intacta e também da liberdade desses blocos de deslizar e rotacionar em diferentes condições de tensão. Essa liberdade é controlada pela forma geométrica dos blocos de rocha, bem como da condição das superfícies que separam esses blocos (Ávila, 2012).

Existem três métodos básicos para a determinação da resistência mecânica da rocha e do grau de fissuramento, são eles: resistência à compressão da rocha intacta, a resistência à tração e a velocidade de onda. Admite-se ainda que a resistência dos maciços rochosos seja devida a dois elementos: a resistência ao longo das superfícies de descontinuidade e a resistência da rocha, mostrada na Figura 14. Dentre os problemas associados à determinação da resistência da rocha intacta destacam-se:

- efeito da anisotropia devido à orientação de estruturas presentes no corpo de prova que está sendo testado;
- influência da heterogeneidade do maciço rochoso (levando a um problema diretamente ligado à amostragem);
- efeito do tamanho do corpo de prova que está sendo testado;
- influência da presença de umidade na amostra;
- influência da velocidade de aplicação de carga.

Grau	Terminologia	Resistência à compressão uniaxial (MPa)	Índice de carga pontual (MPa)	Condições das amostras segundo sua resistência	Exemplos
R6	Extremamente forte	> 250	> 10	Amostra apenas pode ser lascada com um martelo geológico	Basalto recém-formado, chert, diabásio, gnaiss, granito, quartzito
R5	Muito forte	100 - 250	4 - 10	Amostra requer muitos golpes de martelo geológico para se fraturar	Anfibolito, arenito, basalto, gabro, gnaiss, granodiorito, calcário, mármore, riolito, turfa
R4	Forte	50 - 100	2 - 4	Amostra requer mais de um golpe de martelo geológico para se fraturar	Calcário, mármore, filito, arenito, xisto
R3	Medianamente forte	25 - 50	1 - 2	Não pode ser raspada ou descascada com uma faca de bolso. Amostra pode ser fraturada com um golpe do martelo geológico	Argilito, carvão, concreto, xisto, siltito
R2	Fraca	5 - 25	b	Pode ser descascada com um faca de bolso com dificuldade, ranhuras podem ser feitas com a ponte do martelo geológico	Giz, rocha salina ou sal, potássio
R1	Muito fraca	1 - 5	b	Desmorona sob golpes com a ponta do martelo geológico, pode ser descascada por faca de bolso	Altamente intemperizada ou rocha alterada
R0	Extremamente fraca	0.25 - 1	b	Ranhuras sob pequenos instrumentos	Abertura de falhas com paredes rígidas

Nota: grau segundo Brown (1981)

b – Testes de carga pontual em rochas com compressão uniaxial abaixo de 25 MPa são susceptíveis a produzir resultados ambíguos.

Figura 14 - Estimativa da resistência á compressão uniaxial segundo o grau de alteração e litotipo. Fonte: Hoek et al (1998).

2.8. Ensaio de Carga Pontual (Point Load Test)

Para determinar a resistência à compressão simples da rocha através de ensaios de compressão uniaxial, é preciso ter cuidado especial na preparação das amostras e condução dos ensaios. Um ensaio alternativo, simples e econômico em que os resultados podem fornecer índices correlacionáveis com a resistência à compressão das rochas consiste na determinação do Índice de Resistência ou Índice de Carga Pontual, através Ensaio de Carga Pontual (PLT), também conhecido por ensaio Franklin (ISRM, 1985). Este ensaio conduz, em termos genéricos, à determinação de dois índices, sendo eles:

- i) o Índice de Resistência a Carga Pontual, $I_s(50)$, e
- ii) o Índice de Anisotropia, $I_a(50)$, de carga pontual.

O ensaio consiste em provocar a ruptura de amostras de rochas sob a forma de blocos prismáticos, cilíndricos ou de forma irregular, desde que obedeçam aos critérios indicados na Figura 15, aplicando uma força pontual crescente, procedimento aconselhado pela ISRM. A amostra de rocha é comprimida entre duas ponteiros cônicos de metal duro, que provocam a rotura por desenvolvimento de fissuras de tração paralelas ao eixo da carga, sendo registado o valor da carga P que provoca a rotura (Figura 16); em que a direção de aplicação da carga pode ser axial ou diametral.

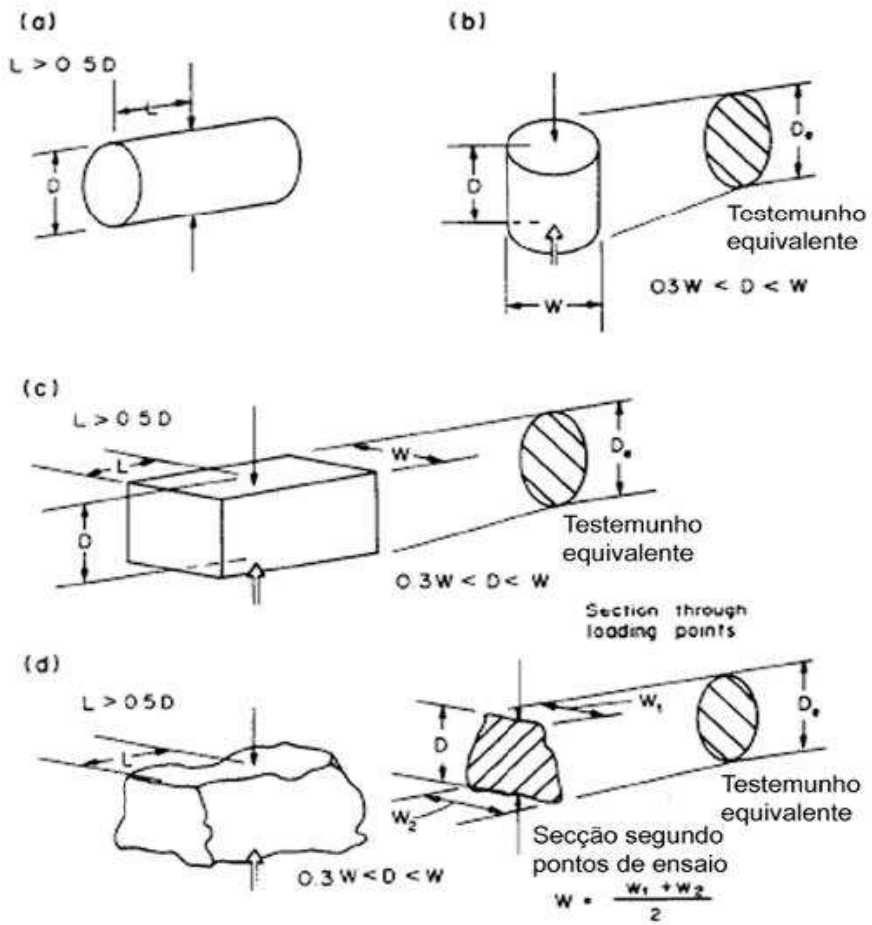


Figura 15 - Relação de dimensões dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios de carga pontual. a) para ensaio diametral; b) axialmente; c) para amostras em forma de blocos; d) para ensaio em formas irregulares. Fonte: ISRM (2007).



Figura 16- Equipamento utilizado para o ensaio de resistência à compressão puntiforme.

2.9 Dureza Schmidt

A resistência à compressão simples das rochas pode ser correlacionada com a sua dureza. A dureza nas rochas geralmente é associada com a chamada dureza de Schmidt, determinada através do ensaio esclerométrico. O esclerômetro portátil (Figura 17) foi desenvolvido em 1948, pelo Engenheiro Suíço Ernst Schmidt, como ensaio de natureza não destrutiva da dureza superficial do concreto (SCHMIDT, 1951), e mais tarde foi usado para estimar a resistência da superfície do concreto através de correlações empíricas e para avaliar a resistência de material rochoso (CARGILL & SHAKOOR, 1990). Este valor pode ser correlacionado com a resistência à compressão simples da rocha constituinte da superfície ensaiada de acordo com o valor do sua massa específica. Por se tratar de um ensaio de resistência superficial, os valores obtidos são apenas representativos de uma camada até 5 cm de profundidade.



Figura 17- Esclerômetro portátil.

O tipo L tem uma energia de impacto de 0.735 N/mm^2 , sendo o martelo mais utilizado em estudos de maciços rochosos. O aparelho permite um ensaio de campo que avalia a dureza do material-rocha através da medição do ressalto (“Rebound”) de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha. Na execução do ensaio, o aparelho deverá ser colocado perpendicularmente ou inclinado em relação à superfície estrutural a ser ensaiada. Em função da dureza (ou resistência) da rocha, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto (R), cujo valor é registado numa escala do aparelho (10-100). Os valores obtidos pelo Martelo Schmidt nas direções não horizontais são influenciados pelas forças gravitacionais em diferentes graus. Por isso, os valores devem ser normalizados em relação à horizontal. A ISRM e a ASTM estipulam que o ressalto dos valores devem ser normalizados, sempre que possível, utilizando as curvas de correção fornecida pelo fabricante (Ramos, 2009).

2.10 Análise Petrográfica

A petrografia microscópica foi reconhecida como ferramenta para estudo de rochas sedimentares por Henry Sorby, em meados do século XIX (Pettijonh et al, 1973).

A análise petrográfica é realizada através de exames macroscópico e microscópico, que permitem identificar a natureza ou tipo de rocha, os minerais presentes e suas inter-relações, o grau de alteração, o estado microfissural dos cristais, sua granulação e textura, além de outras características que possam influenciar na durabilidade da rocha. Através desse ensaio é possível se fazer uma reconstituição histórica da rocha, em que se incluem informações que vão desde as condições físicoquímicas atuantes na época de sua formação até a identificação de eventos geológicos a que foi submetida ao longo de sua existência (VIDAL, BESSA & LIMA, 1999). Certas estruturas, como, por exemplo, a microfissuração, podem exercer papel relevante no comportamento mecânico dos materiais rochosos, com influência significativa em suas propriedades.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma revisão bibliográfica inicial foi realizada, sobre os temas relativos à geologia da região e possíveis pontos de afloramento de perfis para levantamento em campo, além de métodos utilizados nos ensaios, análises e testes propostos realizados na pesquisa.

Em seguida, foi feita uma visita de campo inicial visando a identificação, seleção e treinamento para descrição da morfologia dos perfis de intemperismo observados na área de estudo e considerados, com base nesse levantamento de campo, representativos dos perfis existentes na região. Em uma segunda visita de campo realizou-se a identificação dos materiais existentes, de acordo com a classificação proposta pela ISRM (2007); a caracterização geológico-geotécnica in situ; e descrição detalhada da morfologia de todos os perfis considerados representativos da morfologia observada na região. Nessa etapa foram coletados, ainda, todos os dados relacionados às descontinuidades identificadas.

Nos locais considerados representativos do perfil de intemperismo típico das rochas existentes na área de estudo (P06, P07 e P08), mostrados na Figura 18, foram coletadas amostras de rocha de todos os materiais que compõem as classes de intemperismo identificadas, para realização de ensaios de caracterização geotécnica e para preparação de lâminas delgadas, sendo que nos outros pontos (P01, P02-03, P04 e P05) realizou-se apenas a descrição morfológica dos perfis.

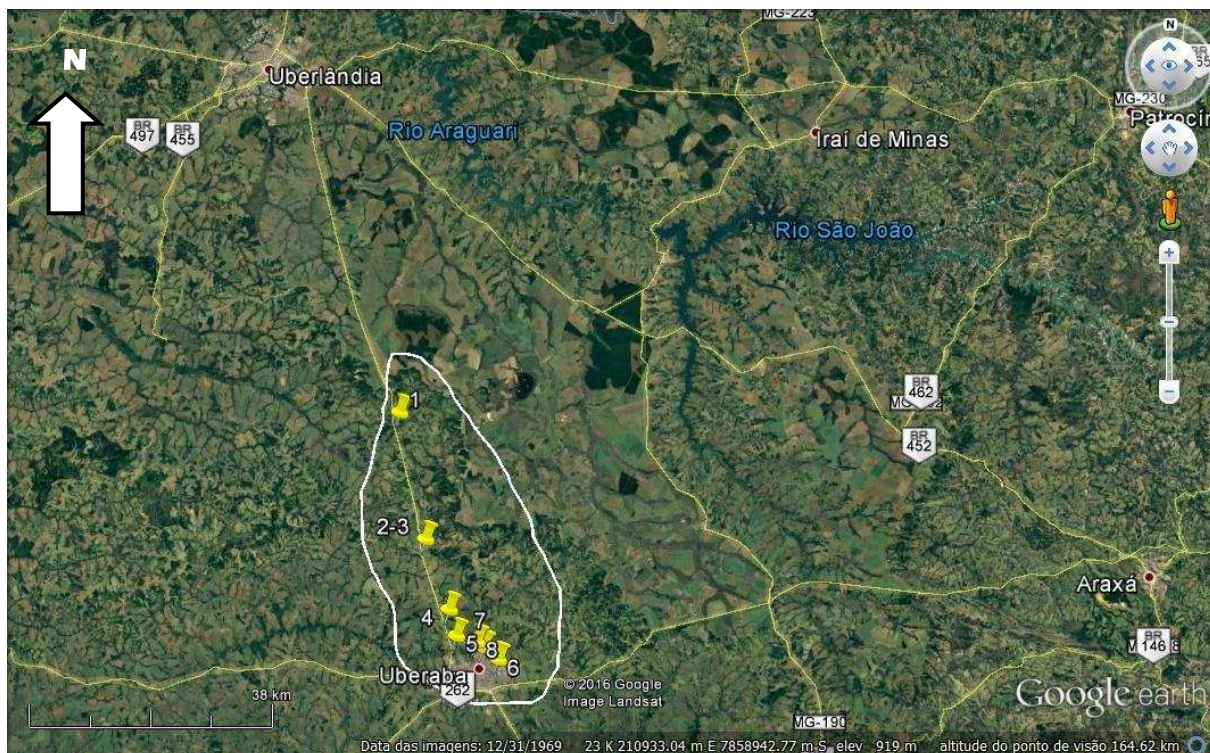


Figura 18- Localização dos Pontos na área de estudo.

3.1 Materiais e Métodos de Campo

Em cada um dos perfis selecionados para a execução do estudo detalhado para o arenito realizou-se, durante a primeira visita, o levantamento detalhado da morfologia dos perfis de intemperismo típicos observados na área de estudo, com especial ênfase nos seguintes aspectos:

- Identificação do perfil, através de nome, endereço e coordenadas geográficas (retiradas com GPS de mão);
- Descrição litológica macroscópica da rocha, com base em análise táctil-visual e com auxílio de uma lupa de bolso;
- Identificação das camadas com diferentes graus de intemperismo, existentes ao longo do perfil, de acordo com a classificação da ISRM (2007, Tabela 1) e com o cadastro de testes da matriz, mostrado na Tabela 2 (BARROSO, 1993);
- Identificação das principais estruturas geológicas e descontinuidades existentes;

- Descrição das características texturais (fabric, cor etc.) e espessuras de cada camada;
- Fotografias.

Após essa visita inicial, montavam-se vistas gerais (croquis) e de detalhe de cada perfil que eram posteriormente impressas. Sobre estas montagens era feita a interpretação da morfologia dos perfis considerando-se os diferentes materiais (camadas) resultantes do intemperismo identificados e as estruturas presentes, levantados em campo. Essa interpretação foi, então, levada a campo em uma segunda visita e revisada in situ. Ainda nessa segunda visita era coletado um segundo grupo de dados e realizados os seguintes ensaios e análises in situ:

- Razão solo-rocha;
- Grau de alteração do maciço rochoso, por observação direta do afloramento e comparação com os índices padrão recorrendo à Tabela 1 (Classificação do maciço) e à Tabela 2. Para isso é necessário fragmentar um pedaço de rocha para se analisar o estado da matriz rochosa.

Tabela 2 - Cadastro de testes da matriz aplicado para identificação das camadas intemperizadas (BARROSO, 1993).

Tipo de Observação	Parâmetros
Reconhecimento visual e geológico	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mineralogia/tamanho dos Grãos; ✓ Fabric; ✓ Grau de descoloração; ✓ Alteração dos minerais; ✓ Presença de estrutura original na matriz rochosa.
Testes de reconhecimento mecânico	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Resistência aos golpes do martelo de geólogo; ✓ Escavação manual; ✓ Risco pela unha ou canivete; ✓ Facilidade de arranchamento de grãos; ✓ Desagregação em água.

- Espaçamento de fraturas (índice de espaçamento de fraturas, em m);

A medição deste parâmetro é geralmente realizada com o auxílio de uma fita graduada e deve ser feita ao longo de um comprimento que seja suficientemente representativo da frequência de descontinuidades. A ISRM (1978, 1981) propõe que

seja utilizada uma terminologia para caracterizar os maciços em função do espaçamento das descontinuidades. A Figura 12 apresenta exemplos de descontinuidades com diferentes espaçamentos.

- Persistência das descontinuidades principais;

A continuidade ou persistência de um plano de descontinuidades é medida segundo o seu traço no plano de observação, através da utilização de uma fita graduada. É importante destacar as famílias mais contínuas, uma vez que geralmente, serão estas que condicionam os planos de rotura do maciço rochoso ISRM (1978, 1981).

- Preenchimento das descontinuidades principais;

A ISRM (1978, 1981) propôs que em termos de preenchimento a caracterização deve seguir a seguinte metodologia: A espessura do preenchimento deve ser medida diretamente com uma régua graduada; a descrição inclui a identificação do material, descrição mineralógica e tamanho do grão.

- Abertura das descontinuidades principais;

A abertura pode ser muito variável em diferentes zonas de um mesmo maciço rochoso, podendo ser elevada à superfície, enquanto que em profundidade tenderá a se encontrar fechada. A medida é feita através de uma régua graduada em milímetros (Figura 12).

A ISRM (1978, 1981) propôs que em termos de abertura de descontinuidades, os maciços sejam descritos como se apresenta no Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação de abertura das descontinuidades (ISRM, 1978 e 1981).

Abertura de descontinuidades (ISRM, 1978, 1981)	
Abertura (mm)	Descrição
<0,1	Muito fechadas
0,1 - 0,25	Fechadas
0,25 - 0,5	Parcialmente fechada
0,5 - 2,5	Abertas
2,5 - 10	Largas
10 - 100	Muito largas
100 - 1000	Extremamente Larga
>1000	Cavernosas

- Índice de Rugosidade de Juntas (JRC), conforme definido por Barton (1973, 1976) e Barton & Choubey (1977);

A medição é feita através da comparação visual das descontinuidades com os perfis padrão de rugosidade (Figura 19).

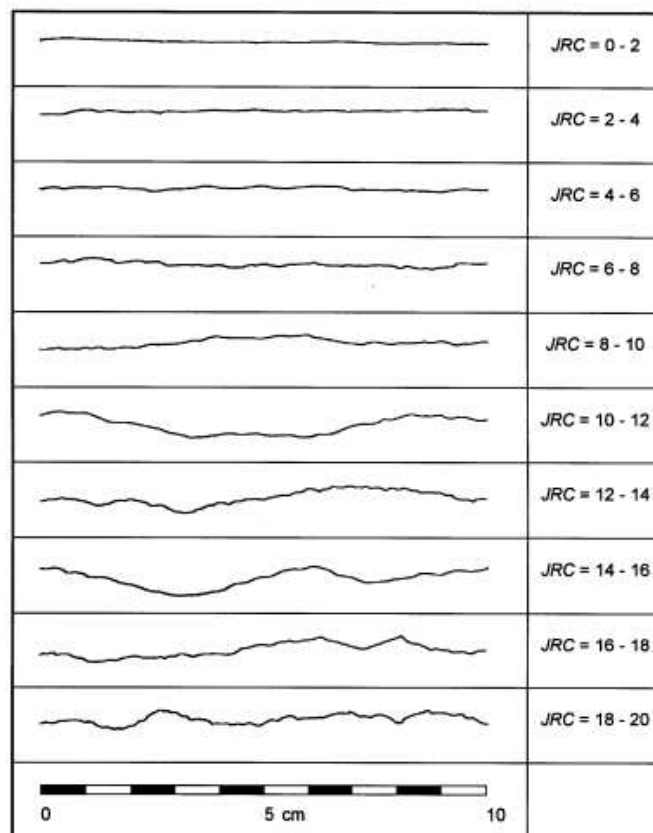


Figura 19 - Perfis de rugosidade na superfície da junta e o valor JRC correspondente. Fonte: Barton e Choubey (1977).

- Índice volumétrico de juntas (J_v)

Representa o número total de descontinuidades que interceptam uma unidade de volume (1 m^3) do maciço rochoso. Uma forma de estimar o valor J_v está representado pelas Equações 1 e 2 abaixo, nas quais, conta-se o número total de descontinuidades que intersectam um dado comprimento L , correspondendo este valor a uma frequência, λ :

$$\lambda = \frac{n^\circ \text{ descontinuidades}}{L(m)} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{Espaçamento.médio.descontinuidades}(m)} \quad (2)$$

- JCS (Resistência à compressão das paredes das descontinuidades), determinado a partir do rebote em ensaio com Esclerômetro de Schmidt;

A medição do ressalto correlaciona-se, geralmente, com a resistência do maciço, mediante o designado ábaco de Miller (Figura 20), que considera a massa específica da rocha e a orientação do martelo em relação à superfície de rocha ensaiada (i.e., perpendicular à superfície de ensaio, e normalizada para as orientações da superfície planar seja sub horizontal, 45° e sub vertical).

A ISRM (1981) recomenda, nos estudos de mecânica das rochas e de geologia de engenharia, a realização de 20 medições em cada superfície ensaiada, tomando como valor representativo a média dos 10 valores mais elevados. Com o valor médio obtido e conhecida a massa específica do material-rocha, recorre-se ao ábaco de Miller obtendo-se o valor da resistência à compressão uniaxial, σ_c , para o material ensaiado (Figura 20). A ISRM (1981, 1985) sistematiza, em termos de classificação, cinco termos de resistência à compressão (Figura 14).

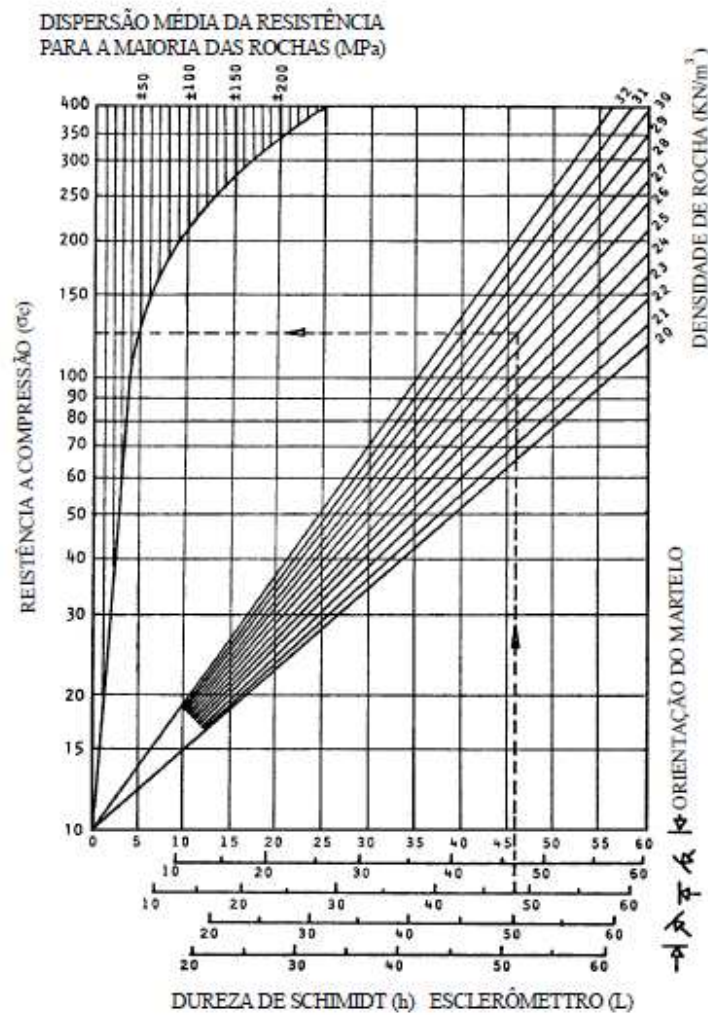


Figura 20 - Ábaco de correlação entre densidade, resistência à compressão uniaxial e resposta obtida com o esclerômetro. Fonte: Deere & Miller, 1966.

3.2. Materiais e Métodos de Laboratório

As amostras coletadas foram, posteriormente, transportadas para laboratório, onde os trabalhos realizados tiveram ênfase na caracterização da alteração e propriedades físicas e mecânicas das rochas selecionadas, através dos seguintes ensaios:

- ✓ Determinação de massa/peso específico aparente seco;
- ✓ Determinação de massa/peso específico aparente saturado;
- ✓ Determinação da porosidade aparente;
- ✓ Ensaios de Carga Pontual (PLT);

✓ Descrição de 10 lâminas delgadas de rocha, incluindo: determinação da mineralogia, textura, microestruturas e do índice micropetrográfico, caracterizado pela razão entre material são e material alterado, de acordo com a proposta de Irfan & Dearman (1978).

3.2.1. Ensaio de Caracterização Física

O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da UFV, seguindo a norma sugerida pela International Society Rock Mechanics (ISRM, 2007).

O ensaio deve conter pelo menos dez amostras representativas, de tamanho pelo menos dez vezes maior que o tamanho do maior grão ou poro da rocha. Pode ter geometria regular ou irregular, desde que cada um dos fragmentos tenha pelo menos 50g (ISRM, 2007).

O ensaio consiste em saturar em imersão total as amostras em um dessecador com bomba a vácuo por, pelo menos, 1 hora (Figura 21).



Figura 21- Amostras no dessecador com bomba à vácuo.

Após a saturação, as amostras foram transferidas para um cesto em imersão que estava preso a uma balança, para se obter o valor da massa saturada submersa (Figura 22a). Depois disso as amostras foram retiradas do cesto em imersão e suas superfícies foram secas por um pano molhado para retirar o excesso de água superficial, colocadas na balança e pesadas as amostras saturadas com superfície seca. Na sequência, para a determinação de massa de sólidos as amostras foram

então colocadas em um recipiente de massa inicial **A**. Então foi medida a massa **B** correspondente ao conjunto recipiente + amostras saturadas de superfície seca. Obviamente, a massa saturada M_{sat} corresponderá à diferença entre **B** e **A**. Na sequência, para determinação da massa de sólidos M_s os corpos de prova foram para a estufa (Figura 22b), a uma temperatura de $100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas, esperando-se 30 min para que eles resfriassem. A massa **C**, correspondeu ao peso do conjunto recipiente + amostras secas. Logo, a massa seca dos sólidos M_s corresponderá à diferença entre **C** e **A**.



(a) (b)
 Figura 22 - Amostras em imersão (a) e amostras na estufa (b).

Após isso pesou-se e anotou-se a massa de cada amostra e retornam-se os corpos de prova para a estufa. Foram realizados dois ciclos consecutivos de secagem, cada um de 1 hora após as 24 horas, para que se tivesse uma maior precisão da massa seca de sólidos.

- Calculou-se os índices físicos em análise como se segue:
- Massa saturada de superfície seca (M_{sat}):

$$M_{sat} = B - A \quad (3)$$

- Massa dos sólidos ou massa seca (M_s):

$$M_s = C - A \quad (4)$$

- Volume da amostra (V):

$$V = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{\gamma_w} \quad (5)$$

- Volume de vazios (V_v):

$$V_v = \frac{M_{sat} - M_s}{\gamma_w} \quad (6)$$

Obtiveram-se os valores porosidade (n) e massa específico seco (γ_d) como:

$$n = \frac{V_v}{V} 100 \quad (7)$$

$$\gamma_d = \frac{M_s}{V} \quad (8)$$

3.2.2 Ensaio de Carga Pontual

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UFV, seguindo a norma sugerida pela ISRM (2007). Neste ensaio a rocha é carregada pontualmente através de dois cones metálicos. A ruptura é provocada pelo desenvolvimento de fraturas de tração paralelas ao eixo de carregamento (Figura 23). De acordo com a ISRM (2007), o carregamento foi realizado de forma contínua e a uma taxa constante até que a ruptura ocorra entre 10 e 60 segundos. O máximo de carregamento em um corpo de prova deve ser gravado e anotado em Newtons. O índice de resistência à carga pontual é padronizado para um diâmetro de 50mm (IS_{50}). Para a obtenção deste valor é necessário calcular o valor do índice de resistência à carga pontual (IS) e multiplicar por um fator de correção, que é função entre o diâmetro da amostra e o diâmetro padronizado (50mm) (Ramos, 2007). Os cálculos basearam-se nas seguintes fórmulas:

$$A = WD = \frac{\pi}{4} D_e^2 \quad (9)$$

$$D_e = \sqrt{\frac{4}{\pi} WD} \quad (10)$$

$$IS_{(50)} = F \frac{P}{D_e^2} \quad (11)$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (12)$$

Em que:

D_e – diâmetro equivalente;

P – Carga de Ruptura;

IS, IS₅₀ – Índices de Resistência.



Figura 23 - Exemplo de amostras utilizadas nos ensaios de compressão puntiforme após a execução dos ensaios.

3.2.3 Análise Petrográfica

A análise microscópica das lamínas delgadas consiste na descrição dos minerais e suas inter-relações (ou arranjo textural), com a observação do estado microfissural e grau de alteração das rochas e de seus constituintes minerais, além da classificação da rocha. Foram analisadas 10 lâminas delgadas no laboratório de microscopia óptica do Instituto Federal do Espírito Santo. A análise petrográfica foi executada através do exame macroscópico de amostra in natura, segundo a NBR 15845:2010.

Em relação ao índice micropetrográfico (I_{mp}), dado pela razão entre constituintes sãos e os constituintes intemperizados, em percentual (% de constituintes sãos/ % constituintes intemperizados), desenvolvido por Irfan & Dearman (1978), observa-se que, para rochas com granulometria muito fina, como a analisada neste estudo, muitas vezes é difícil identificar o percentual do grão mineral que encontra-se intemperizado, já que usualmente apenas argilominerais e óxidos resultam desse processo e apresentam-se de tamanho reduzido como massas ou manchas entre e/ou ao redor dos grãos. Então, realizaram-se adaptações, de maneira a facilitar e agilizar seu uso. Fez-se uma avaliação geral da lâmina, e determinou-se um valor médio de alteração de cada tipo de mineral, através de análise modal. Esse

valor foi, posteriormente, multiplicado pelo percentual de cada mineral na lâmina resultando em um percentual total de material intemperizado.

Para cada lâmina delgada foram feitas 10 visadas. Utilizaram-se para isso objetivas com aumentos de 5x e 10x. Em todas as lâminas foram tiradas diversas fotografias mostrando aspectos de intemperismo de cada mineral, gerais da ação do intemperismo sobre a rocha, além da mineralogia e textura da rocha.

3.2.4 Análise de Dados

Todos os resultados obtidos em campo e em laboratório foram analisados e discutidos de maneira a se permitir:

- ✓ Identificar os principais processos envolvidos no intemperismo das rochas existentes na área de estudo;
- ✓ Determinar a morfologia do(s) perfil(is) de intemperismo observado(s) na área de estudo;
- ✓ Realizar Tentativas de correlação entre propriedades analisadas, em especial físicas e mecânicas;
- ✓ Determinar as principais características mineralógicas e físicas dos materiais existentes no(s) perfil(is) de intemperismo observado(s) na área de estudo, com ênfase na sua variação como resposta ao desenvolvimento do intemperismo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item apresentam-se os principais resultados obtidos na pesquisa realizada, para a rocha estudada.

4.1 Morfologia dos Perfis de Intemperismo dos Arenitos Uberaba e Marília

A observação e a descrição detalhada dos perfis de intemperismo em arenito permitiram obter um conhecimento consistente sobre a sua morfologia e desenvolvimento que, caracterizam-se pela presença de uma camada pouco espessa de cobertura de solos. A observação de alguns perfis mostrou que o solo da região apresenta comportamento predominante de pequena espessura. Esse fato, aliado ao objetivo da pesquisa, que foi o de avaliar os efeitos da ação do intemperismo sobre o maciço rochoso.

Foram visitados e descritos oito perfis de intemperismo, sendo três (P06, P07 e P08) localizados na cidade de Uberaba e outros dois (P04 e P05) localizam-se na BR-050 entre as cidades de Uberaba e Uberlândia pertencentes à Formação Uberaba. Os outros dois (P01, P02/P03) pertencem à Formação Marília, e também localizam-se na BR-050 entre as cidades de Uberaba e Uberlândia (Tabela 4). Os perfis estudados têm suas características são apresentadas na Tabela 4. Nesses perfis foi possível observar materiais das classes I, II, III, IV e V (solo residual), bem como zonas de transição entre essas classes, em especial entre II/III. O perfil P08 é o mais completo, com presença de materiais desde rocha pouco intemperizada até altamente intemperizada.

Tabela 4- Endereço e coordenadas geográficas dos perfis de intemperismo de arenito descritos e amostrados.

Arenitos	Endereço	Coordenadas UTM (Zona: 23 k, Datum SAD69)	
		N	E
P01	Afloramento localizado ao lado esquerdo da Br-050 sentido Uberlândia, do tipo corte de estrada.	7851063	0807394
P02 / P03	Afloramento localizado ao lado esquerdo da Br-050 sentido Uberlândia, com orientação N-S, do tipo corte de estrada.	7831418	0811628
P04	Afloramento localizado ao lado esquerdo da Br-050 sentido Uberlândia, do tipo corte de estrada.	7820514	0188629
P05	Afloramento localizado ao lado esquerdo da Br-050 sentido Uberlândia	7816472	0187620
P06	Afloramento localizado em um talude de aproximadamente 17 metros dentro da cidade de Uberaba, atrás de um posto de gasolina.	7813061	0194319
P07	Afloramento localizado ao lado esquerdo da rua em frente ao Estádio do Uberabão	7814825	0191944
P08	Afloramento localizado a caminho da Universidade	7815688	0190831

Da Figura 24 à Figura 29 apresentam-se os perfis de intemperismo em arenito, podendo-se observar as suas principais características morfológicas:

- O contato, abrupto, entre os materiais de diferentes classes de intemperismo;
- A reduzida espessura de solo na porção superior do perfil; e
- O controle das juntas de alívio localizadas de forma subhorizontal (paralela ao acamamento), sobre os contatos entre os materiais de classe de intemperismo diferente.



Figura 24 - Vista frontal do Perfil P06 da Formação Uberaba. Em amarelo está o contato abrupto marcado por uma descontinuidade entre o Arenito Inferior e o superior do perfil. Neste contato dá-se a surgência de água que ocorre no local.



Figura 25 - Vista frontal do perfil P02-03, pertencente à Formação Marília. Em vermelho mostra-se uma fina camada de solo, representativo da região.

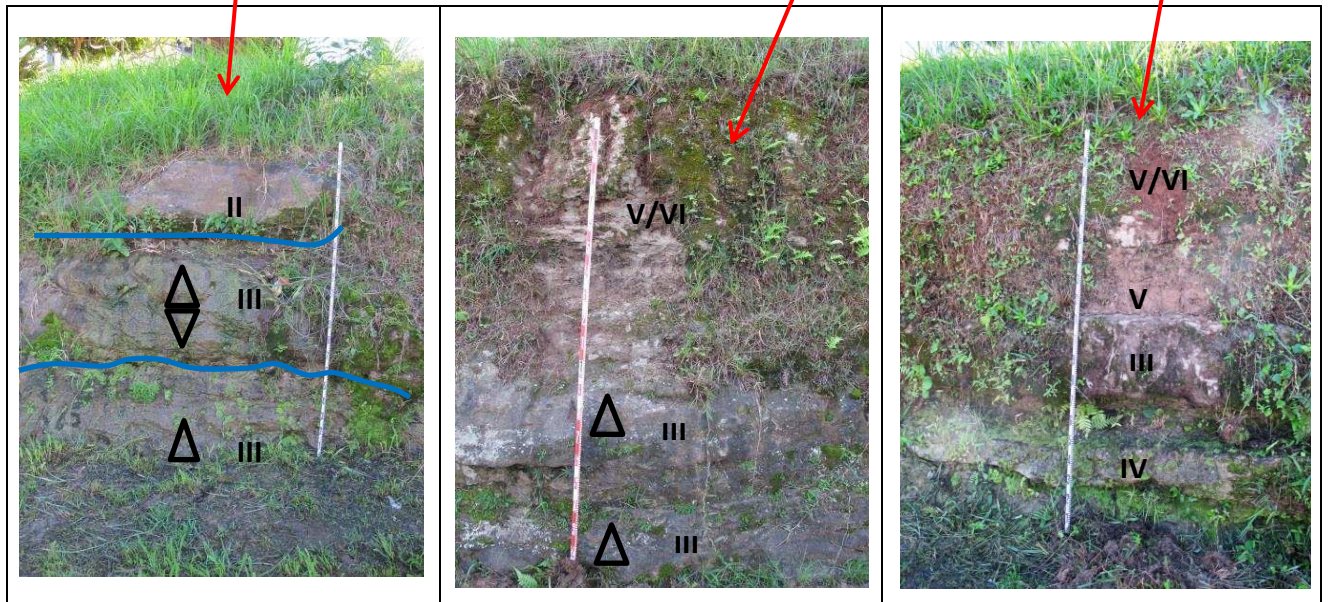


Figura 26 - Vista dos perfis do ponto P07, pertencente à Formação Uberaba. Detalhes da influência das estruturas geológicas sobre o desenvolvimento dos perfis de intemperismo no arenito com granocrescência ascendente. Nota-se o aumento da frequência de discontinuidades paralelas ao acamamento, devido ao alívio, causando aumento do intemperismo. Percebe-se também no local das discontinuidades a surgência de água destacado de azul.

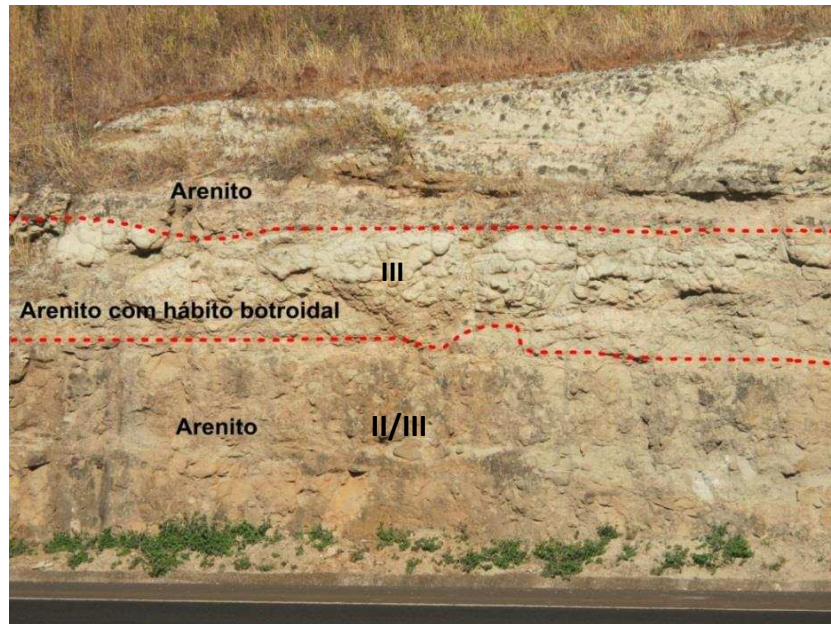


Figura 27- Vista frontal do Perfil P04, pertencente à Formação Uberaba. Em vermelho contato abrupto entre os arenitos.

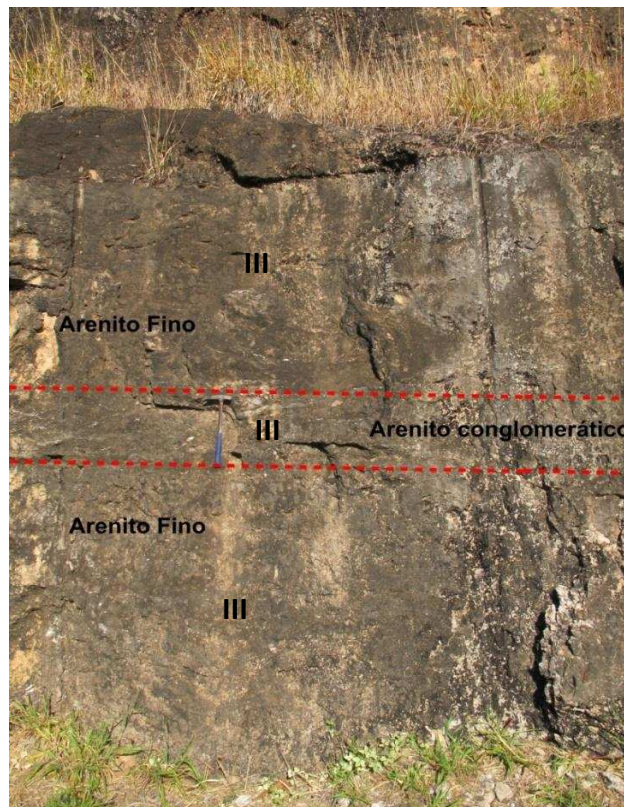


Figura 28 - Vista frontal do Perfil P01. Em vermelho, contato abrupto entre as rochas da Formação Marília.

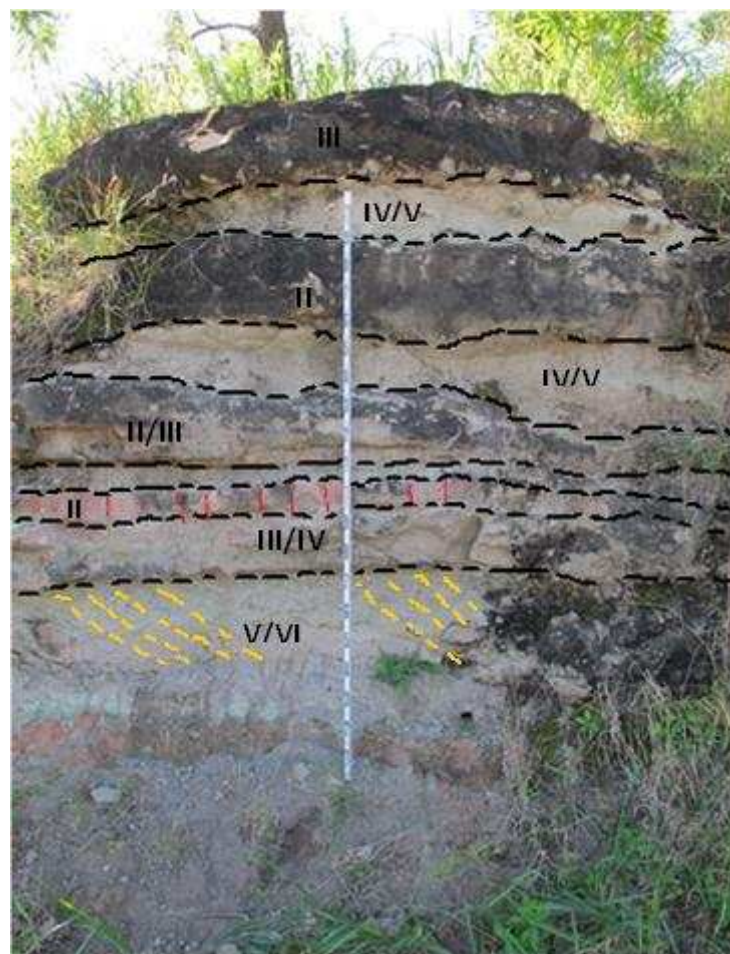


Figura 29 - Exemplo de morfologia dos perfis em arenito, representado pelo Perfil P08 da Formação Uberaba). Detalhes da influência das estruturas geológicas sobre o desenvolvimento dos perfis de intemperismo no arenito. Nota-se o aumento da frequência de discontinuidades devido ao alívio, causando aumento do intemperismo, essas discontinuidades são sub-horizontais ao acamamento. Em vermelho tem-se as fraturas tectônicas verticais e em amarelo estratificação cruzada.

Ressalta-se que o ponto P07 é bastante distinto do comportamento observado nos outros perfis, já que esse é único no qual os contatos são por vezes gradacionais entre as classes de intemperismo diferentes, desenvolvendo uma granocrescência ascendente no perfil. E o controle estrutural é marcado pelo aumento da frequência de discontinuidades paralelas ao acamamento, devido ao alívio, causando aumento do intemperismo.

Nos demais perfis os contatos entre diferentes classes de intemperismo dentro do maciço rochoso são abruptos e apresentam controle estrutural, dado principalmente pelas juntas de alívio e, de forma secundária, pelas fraturas, essas últimas sendo observadas no perfil P06 e P08. O acamamento sedimentar apresenta mergulhos baixos, variando entre 00° e um máximo 10° . Em função desses baixos

valores de mergulho, o alívio de pressão resultante da erosão e do soerguimento tectônico que atua sobre esses arenitos resulta em um aumento da intensidade do faturamento paralelo ao acamamento, bem como também na abertura dessas descontinuidades, com a surgência de água nesses locais, como mostrado nos pontos P07 e P06 (Figura 24 e 26).

Os dados da morfologia de perfis de intemperismo foram comparados com os dados de arenitos de Marques & Williams (2015), Pedron et al. (2010), Phillips et al. (2008), Batezelli (2003) e Beavis (1985). Os dados permitem constatar que os resultados obtidos no presente trabalho são semelhantes aos obtidos por esses autores. Em todos os perfis foi possível observar a pequena espessura do solo vista tanto nos perfis na Austrália por Marques & Williams (2015) e Beavis (1985), em Arkansas (EUA) visto por Phillips et al. (2008), quanto no Brasil, visto no Rio Grande do Sul por Pedron et al. (2010), e no presente estudo, o que acreditava-se ser diferente devido ao clima das dessas regiões que os perfis de arenitos do Brasil poderiam apresentar um manto de intemperismo maior. Além disso, foi possível observar semelhança entre a influência estrutural sobre a morfologia nos arenitos de Marques & Williams (2015) e Beavis (1985), na medida em que os contatos entre materiais com níveis de intemperismo diferente são definidos pelas juntas de alívio paralelos ao acamamento. Nos arenitos de Batezelli (2003) da Formação Uberaba observa-se nas análises macro e micro estratificações do tipo: cruzada acanalada, tabular e plano paralela, que também foram observadas em perfis do presente estudo. Nas fotos da Figura 25 e Figura 29, apresentam-se detalhes dessa influência.

4.1.2 Mineralogia Macroscópica e Trama

De acordo com o que foi observado em campo constatou-se que as rochas da Formação Uberaba representadas pelos perfis P04, P05, P06, P07 e P08 são constituídas por arenitos e, subordinadamente, intercalações por lamitos, siltitos, e conglomerados, derivados do retrabalhamento de rochas vulcânicas pré-existentes associadas a sedimentos de outras fontes não vulcânicas. Em alguns pontos, os estratos arenosos encontram-se amalgamados. As estruturas sedimentares presentes são estratificações cruzadas acanaladas e tabulares de pequeno a médio porte, estratificação plano-paralela e feições acanaladas. Em termos texturais, os

arenitos dessa formação apresentam seleção moderada, com granulometria variando de fina a grossa, sendo frequentes intraclastos de argila, fragmentos de rochas e nódulos carbonáticos, com tamanhos milimétricos a centimétricos, com teor de matriz variável. Os arenitos ainda apresentam coloração esverdeada e avermelhada. Essa coloração, possivelmente, é resultante da concentração de materiais vulcânicos alcalinos e a cor avermelhada deriva da oxidação do ferro. Composicionalmente o arenito apresenta fragmentos líticos e grãos máficos (provável contribuição das rochas vulcânicas, vulcanoclásticas e alcalinas), os argilominerais que ocorrem como revestimento dos espaços intergranulares, quartzo e em alguns pontos feldspatos (plagioclásio). É comum também a presença de níveis cimentados por carbonato de cálcio.

Também com base no que foi observado em campo constatou-se que os arenitos da Formação Marília, representados pelos perfis P01 e P02/P03 são constituídos por sedimentos detríticos finos a grossos, com presença de nódulos e de cimentação carbonática. É composta por conglomerados, com clastos milimétricos a centimétricos e teor de matriz variável de coloração branca amarelada, com estrutura maciça ou em acamamento incipiente, subparalelo. Apresentam grãos subangulosos a subarredondados e mal selecionados. Os arenitos grossos a conglomeráticos ocorrem na forma de estratos com estratificações cruzadas acanaladas e tabulares e plano-paralelas. Em alguns locais, aparecem níveis de argilito marrom-avermelhados, às vezes com clastos espalhados, imersos na matriz. Composicionalmente essa formação apresenta intraclastos e nódulos de argila, carbonato, fragmentos de rocha ígnea e de arenito recristalizado e quartzo. A matriz é de areia fina composta por quartzo, granada, fragmentos líticos e feldspato, e máficos e cimento carbonático.

Na Tabela 5 apresentam-se as características macroscópicas principais (mineralógicas, estruturais e de fabric) de todas as classes de intemperismo observadas para os arenitos, enquanto nas Figuras 30 à 36 apresentam-se fotos tiradas em Microscópio Estereoscópio Lupa com Aumento de até 80X representando cada uma das classes.

Tabela 5 – Características macroscópicas principais dos arenitos da Formação Uberaba, observadas nos perfis descritos.

Classes de Intemperismo	Descrição
-------------------------	-----------

I (SR)

A rocha é um arenito duro (vários golpes de martelo são necessários para quebrá-la), com pouco ou nenhum sinal de alteração da matriz, de coloração esverdeada e estrutura maciça, textura equigranular. Sinais de óxido de ferro podem ser observados na matriz e uma alta porcentagem de poros. A mineralogia (macroscópica) é principalmente composta por quartzo, carbonato, argila, feldspato e minerais máficos. Sua granulometria varia de fina a média e os grãos são subarredondados a arredondados. Frequentemente são observados seixos espalhados em meio ao arenito, ao longo do afloramento. Em determinadas camadas há maior concentração de seixos de tamanhos variados. A principal estrutura observada é uma fratura atectônica, paralela ao acamamento, que corta todo o afloramento e apresenta surgência de água. Além de fraturas tectônicas (três famílias) sendo duas subverticais e uma sub-horizontal. As fraturas apresentam-se visível e selada a mm abertas. Essa Classe ocorre somente no Perfil P06. O contato entre as camadas é brusco e controlado pelo acamamento.

A rocha é um arenito duro (vários golpes de martelo são necessários para quebrá-la), mas apresenta áreas um pouco mais brandas do que a rocha sã. Esta Classe ocorre em dois perfis (P07 E P08) e apresentam-se bem distintos um do outro. No perfil P07 este arenito ocorre apenas em alguns metros do afloramento. Apresenta granulometria predominantemente fina e os grãos sub angulares a sub arredondada. Textura equigranular e estrutura maciça, de coloração cinza/esverdeada. A mineralogia (macroscópica) é principalmente composta por argila, quartzo, carbonato, fragmentos de rochas, feldspato e minerais máficos e sinais de óxido de ferro podem ser observados na matriz. O grau de fraturamento do maciço aumenta em relação a Classe I, sendo concordante com o acamamento sedimentar e ocorre surgência logo abaixo deste arenito. Solo residual ocorre ao longo das descontinuidades formadas pelo acamamento sedimentar. O contato com a camada superior e inferior é brusco e controlado pelo acamamento.

II a (SW)

Já no perfil P08 a Classe II apresenta-se com coloração predominantemente avermelhada resultante do intemperismo com a formação do óxido de ferro e apresenta algumas porções/manchas esverdeadas. Possui granulometria fina a média e com alguns níveis com granulação grossa. Sua composição macroscópica se dá por grãos mais grosseiros de quartzo, fragmentos de outras rochas (pequenos seixos) e nódulos de argila. A granulometria fina é composta por uma matriz argilosa com sinais de alteração, carbonato, minerais máficos e feldspatos alterados transformando-se em argilominerais. O cimento de óxido de ferro também pode ser observado contornando os grãos. Quanto ao arredondamento dos grãos os mesmos apresentam-se sub arredondados a angulares. A textura dessa rocha é principalmente equigranular, levemente estratificada e com estrutura principal. As descontinuidades observadas neste litotipo se desenvolvem ao longo do acamamento (subhorizontal) e em maior quantidade que no ponto P07. O contato com a camada superior e inferior é brusco e controlado pelo acamamento. Algumas manchas vermelhas resultantes da precipitação de óxido de ferro ocorrem. Apresentam pequenas fraturas tectônicas verticais, sendo todas elas seladas.

II/III (SW a MW)	<p>A rocha é um arenito resistente (vários golpes de martelo são necessários para quebrá-la), mas apresenta áreas levemente a moderadamente intemperizada. Leve descoloração e oxidação na matriz e ao longo das descontinuidades. Apresenta-se no perfil P08 com coloração predominantemente verde tendendo para vermelha. Sua granulometria varia de fina a média. Sua composição macroscópica se dá por grãos de quartzo, fragmentos de outras rochas, matriz argilosa com sinais de alteração, carbonato, minerais máficos e feldspatos alterados. O cimento de óxido de ferro pode ser observado contornando os grãos, mas em menor quantidade que encontrado na Classe II. Os grãos apresentam-se sub arredondados a angulares com textura principalmente equigranular, a estrutura encontra-se levemente estratificada. As descontinuidades observadas se desenvolvem ao longo do acamamento (subhorizontal) e em maior quantidade que no ponto P07. O contato com a camada superior e inferior é brusco e controlado pelo acamamento. A maior mudança perceptível na mineralogia do III para o II é o aumento da porcentagem de argila.</p>
III (MW)	<p>Esta Classe é vista somente no Perfil P07, em que a matriz rochosa encontra-se moderadamente alterada e mais friável que na classe II/III; alguns golpes de martelo de geólogo são suficientes para quebrá-la. A única mudança na mineralogia do III para o II do perfil P07 é o aumento do teor do carbonato, sinais de óxido de ferro e um aumento do teor de silte/argila na matriz. O contato com a camada anterior é brusco e controlado pelo acamamento, já o contato com as camadas sobrejacentes são gradacionais. Possui coloração cinza esverdeada, granulometria fina a média inferior, textura equigranular, os grãos são predominantemente subangulosos a angulosos. As principais estruturas observadas são o acamamento sedimentar (subhorizontal) e a estratificação.</p>
III/IV (MW a HW)	<p>Essa Classe encontra-se apenas na base do perfil P08. Apresenta matriz rochosa composta por material entre moderadamente e altamente intemperizado. As principais características macroscópicas que distinguem esse material para a material Classe III são: um maior intemperismo da matriz, dado principalmente pela presença de óxido de ferro e do aumento de carbonato, menor porcentagem de poros; e um maior intemperismo ao longo das descontinuidades. A mineralogia (macroscópica) é principalmente composta por quartzo, carbonato, argila, fragmentos de rocha e minerais máficos. Sua granulometria varia de fina (matriz) a grossa (representada pelos clastos). Algumas manchas vermelhas resultantes da precipitação de óxido de ferro ocorrem. O grau de fraturamento do maciço aumenta. O acamamento sedimentar, subhorizontal (00° a 10°), controla os contatos com a camada IV, sobrejacente e com conseqüente aumento da relação solo- rocha. Solo residual ocorre ao longo das descontinuidades formadas pelo acamamento sedimentar.</p>
IV (HW)	<p>Essa classe ocorre apenas no perfil P07 e apresenta material predominantemente altamente intemperizado, mas rocha medianamente intemperizada pode estar presente, em especial ao longo das descontinuidades principais. É possível quebrar a rocha com poucos golpes do martelo, e arrancar porções e desagregá-los sob a pressão dos dedos, com alguma dificuldade. A alteração mineralógica muito acentuada, se dá por alguns minerais parcialmente decompostos em argilominerais. Matriz encontra-se oxidada e as cores modificadas. O acamamento é sub-horizontal (0 a 10°) e controla contatos com camadas sub e sobrejacentes. As principais características macroscópicas que distinguem esse material para a material Classe III são: um maior intemperismo da matriz, dado principalmente pelo aumento de carbonato, menor porcentagem de poros, e um maior intemperismo ao longo das descontinuidades. Há surgência de água acima no contato com a camada superior, o que provavelmente contribuiu para a maior alteração e lixiviação de alguns minerais.</p>



Figura 30 – Exemplo de arenito na classe de intemperismo I (SR). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.



Figura 31- Exemplo de arenito na classe de intemperismo II a (SW), P07. À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.

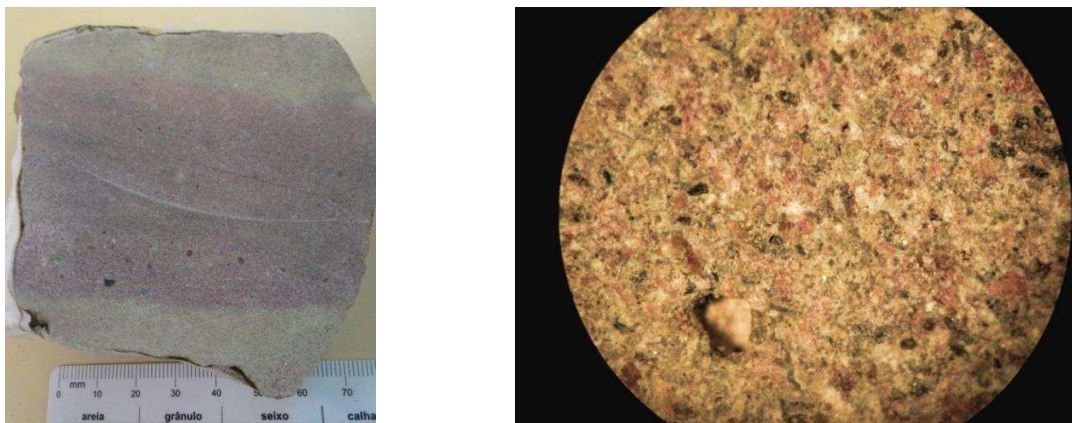


Figura 32- Exemplo de arenito na classe de intemperismo II a (SW) P08. À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.

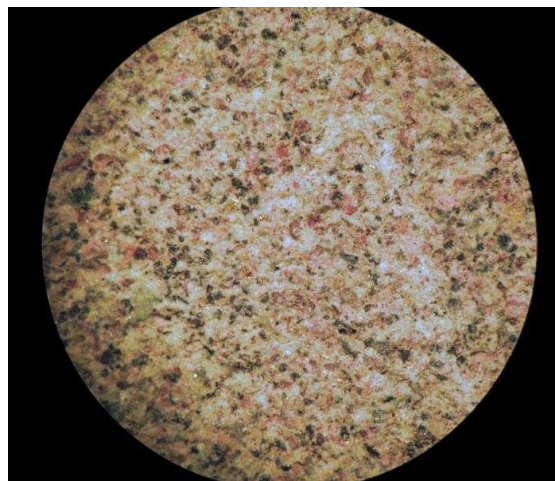


Figura 33 – Exemplo de arenito classe de intemperismo II/III (SW a MW). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.

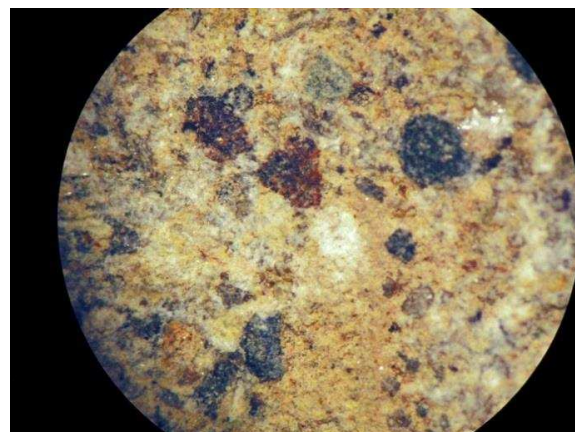


Figura 34 – Exemplo de arenito na classe de Intemperismo III (MW). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.

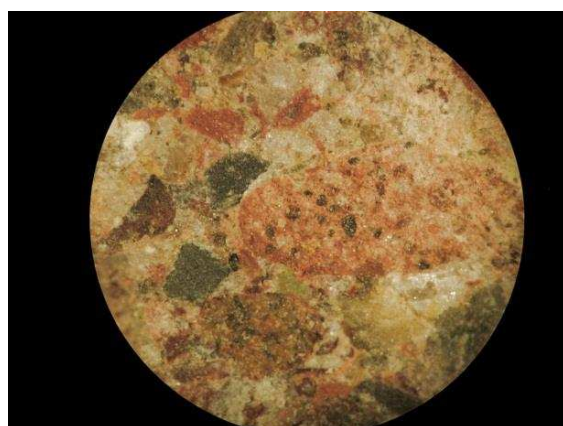


Figura 35 – Exemplo de arenito na classe de intemperismo III/IV (MW a HW). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.



Figura 36- Classe de intemperismo IV (HW).). À esquerda amostra de mão e à direita imagem tirada em lupa com aumento de 80x.

4.1.3 Descrição Petrográfica

As lâminas delgadas das rochas analisadas no microscópio de luz polarizada foram amostradas em três pontos distintos (P06, P07, P08), dentro da cidade de Uberaba-MG. Assim, de acordo com a geologia regional e dados da bibliografia elas pertencem à Formação Uberaba. Na Figura 37 apresentam-se as fotografias das lâminas.



Figura 37- Fotografia de todas as lâminas que foram analisadas no microscópio de luz polarizada.

Os litotipos, no geral, são inequigranulares e mal selecionados. A granulação do arcabouço varia de areia fina a grossa. Quando presente, a matriz é afanítica, constituída de argila por vezes esverdeada e óxido de ferro. As lâminas P06 (P06-1; P06-2) e P07 (P07-1; P07-3; P07-4) têm predomínio de grãos (granosuportadas). Já as lâminas P08 (P08-1; P08-2; P08-3; P08-4; P08-5) têm porções matriz suportada, sendo a P08-4 granosuportada.

Os grãos de quartzo são subangulosos a arredondados com esfericidade moderada. Observa-se pontualmente gradação granulométrica. Os fragmentos líticos ocorrem angulosos a arredondados com esfericidade baixa a moderada. Comumente apresentam substituição por carbonato, assim como os feldspatos e piroxênios.

Grande parte dos grãos teve a identificação obliterada pela oxidação que também é observada na matriz, onde a cor da argila muda de marrom para vermelho ou preto. Nas lâminas P08-3 e P08-4 observa-se a matriz com coloração verde.

Segundo a descrição microscópica das amostras foram identificados os seguintes litotipos, segundo a classificação de Folk (1968): sublitoarenito (P06-1); litoarenito (P06-2); litoarenito (P07-1); litoarenito (P07-3); litoarenito (P07-4); quartzarenito (P08-1); litoarenito feldspático (P08-2); litoarenito (P08-3); litoarenito (P08-4); litoarenito feldspático (P08-5).

As lâminas analisadas indicam que as rochas estudadas foram pouco soterradas, pois a compactação mecânica não é efetiva. As porções granosuportadas apresentam poucos grãos com contatos serrilhados e com caráter de quebra e partição.

Segundo Júnior & Gomes (1999), na diagênese dos arenitos da Formação Uberaba houve formação autigênica de zeólitas, sílica, atapulgita, silcretos, calcretos, óxidos de ferro e titânio, barita e, principalmente, carbonatos. Nas lâminas do presente estudo identificaram-se carbonatos e óxido de ferro secundário, formados provavelmente da precipitação de elementos químicos em solução nos poros dos sedimentos.

Assim como foram observadas alterações nas rochas em afloramento também foi averiguado em microscópio, em que se encontram grãos com feições de dissolução, substituição, oxidação, recristalização e porosidade secundária. Por isso, concluiu-se que o intemperismo químico ainda é o maior responsável pela “destruição”

dessas rochas, resultante do influxo de águas meteóricas nas rochas altamente porosas.

A análise modal realizada nas rochas, cujos resultados são apresentados em relação às lâminas analisadas na Tabela 6, e na Tabela 7 em relação aos perfis estudados, indica como os principais componentes desses litotipos: quartzo, fragmentos de rochas, opacos e matriz (constituída de argila esverdeada e óxido de ferro). As lâminas do grupo P06 e P07 têm maiores quantidades de quartzo que as do grupo P08, que apresentam mais matriz e fragmentos de rocha. A presença de minerais opacos é maior nas lâminas P07, mas, ainda assim, menor que nas lâminas P08.

Tabela 6 - Resultado da análise modal realizada nas lâminas petrográficas das rochas.

Minerais	P06-1	P06-2	P07-1	P07-3	P07-4	P08-1	P08-2	P08-3	P08-4	P08-5
poros	20	25	30	15	25	25	15	10	5	
Cimento carbonático	15	15	10	24	10	24	10	5	10	25
anfíbólio	–	–	–			–				
piroxenios	1	1	5		5	5	3	5	3	1
fedspato	1	1	1	1	1	1	8			10
quartzo	30	30	20	20	20	15	7	14	5	25
biotita	1	1	1	1	1		5	5	5	4
muscovita	1			1			2			
opacos	6	2	3	5	4		5	5	8	3
frag. Líticos	10	15	15	20	10	–	15	8	6	20
matriz argilosa	15	10	15	12	24	20	30	45	67	15
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
CLASSIFICAÇÃO	Sub-litoarenito	litoarenito	litoarenito	litoarenito	litoarenito	quartzarenito	litoarenito feldspático	litoarenito	litoarenito	litoarenito feldspático

Tabela 7 - Resultado da análise modal das rochas de cada perfil.

minerais	P06	P07	P08
poros	22,5	23,3	13,8
Cimento carbonático	15	14,7	14,8
anfíbólio	-	-	-
piroxenios	1	5	3,4
feldspato	1	1	6,3
quartzo	30	20	13,2
biotita	1	1	4
muscovita	1	1	2
opacos	4	4	5,2
frag. Liticos	12,5	15	12,2
matriz argilosa	12,5	17	35,4

De acordo com os minerais encontrados na rocha apresenta-se, em seguida, as alterações observadas em lâminas das camadas de rochas e por perfil de intemperismo analisado (Tabela 8 e 9).

Tabela 8 - Relação de grãos alterados ou não pelo intemperismo (%) - Índice micropetrográfico (I_{mp}).

Minerais	P06-1	P06-2	P07-1	P07-3	P07-4	P08-1	P08-2	P08-3	P08-4	P08-5
Constituintes Sãos	30	37	33	26	42	20	35	47	20	24
Constituintes Intemperizados	70	63	67	74	58	80	65	53	80	76
I_{mp}	2,3	1,7	2,0	2,8	1,4	4	1,9	1,1	4	3,2

Tabela 9 - Relação de grãos alterados ou não pelo intemperismo (%) - Índice micropetrográfico (I_{mp}) em cada perfil.

Minerais	P06	P07	P08
Constituintes Sãos	33,5	33,7	29,2
Constituintes Intemperizados	66,5	66,3	70,8
I_{mp}	2,0	2,0	2,4

As rochas analisadas apresentaram a porcentagem dos grãos intemperizados maior que 60% nos três perfis estudados, sendo que os grãos de quartzo não apresentam alteração por intemperismo químico, o que se observa é a impregnação

de óxido de ferro nas bordas e na superfície dos grãos. Os grãos de feldspato são poucos, possivelmente por terem sido alterados quimicamente e também lixiviados. A exceção são algumas lâminas do ponto P8. Os feldspatos identificados apresentam feições de dissolução, oxidação, corrosão e substituição por carbonato.

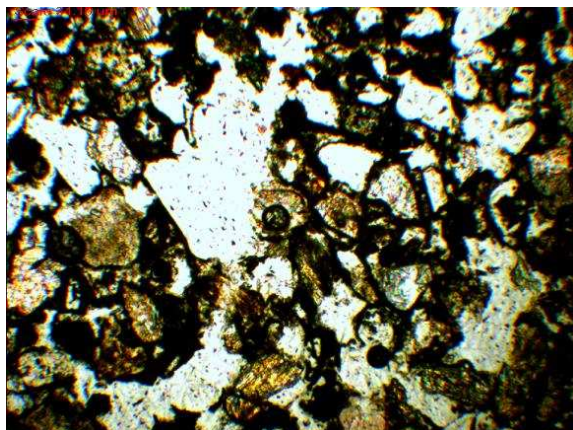
Em todas as lâminas identificou-se os cimentos carbonático e ferruginoso (óxido de ferro). Os cimentos normalmente estão preenchendo vazios intergranulares e/ou substituindo parcialmente os grãos alterando não só as propriedades químicas, mas também as propriedades físicas da rocha (diminuindo a porosidade do arenito e aumentando a massa específica). Também foi constatada porosidade secundária, identificada por poros com formato de grãos.

Os grãos líticos são abundantes nas amostras e compreendem fragmentos de rochas vulcânicas máficas/ultramáficas e ácidas. Assim como os feldspatos, apresentam feições de dissolução, corrosão, oxidação e substituição por carbonato.

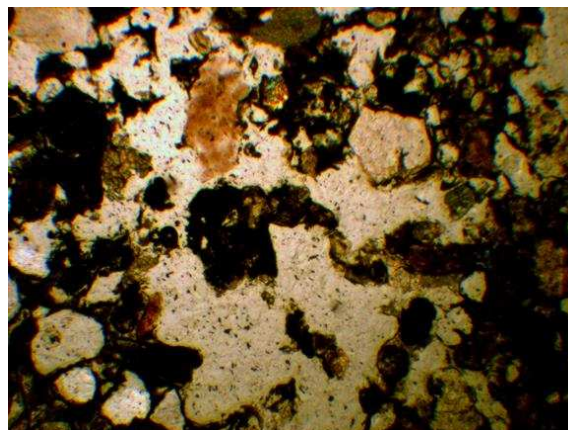
Piroxênios e anfibólios ocorrem como minerais acessórios, muitos sendo substituídos por carbonatos. Também foram identificados epidoto e ilmenita. A dissolução desses minerais pesados ocorre de forma precoce a partir da classe de intemperismo II, mas com maior intensidade entre as Classes III e III/IV nesses sedimentos o que pode ter contribuído para a formação de óxido de ferro e argilominerais, a partir de íons de Mg, Fe e Ti. Essa dissolução e substituição dos minerais pelos cimentos (carbonático e ferruginoso) acabaram contribuindo como dito anteriormente para um aumento na massa específica e diminuição da porosidade desses arenitos.

Os grãos líticos e a matriz são os componentes mais intemperizados observados. A composição dos fragmentos de rocha favoreceu a ação de processos de intemperismo e substituição química. Por isso, seu intemperismo pode ser considerado marcador do intemperismo nas rochas. Na matriz ocorreu preferencialmente a oxidação das argilas e argilominerais autigênicos.

Não foram encontradas fraturas em escala microscópica. Apesar disso, deve-se considerar a baixa força de tração dessas rochas, devido à elevada porosidade. A dissolução da cimentação carbonática causa a diminuição da resistência dessas rochas em meio saturado. A seguir apresentam-se fotos das lâminas dos litotipos estudados (Figuras 38 A 47).

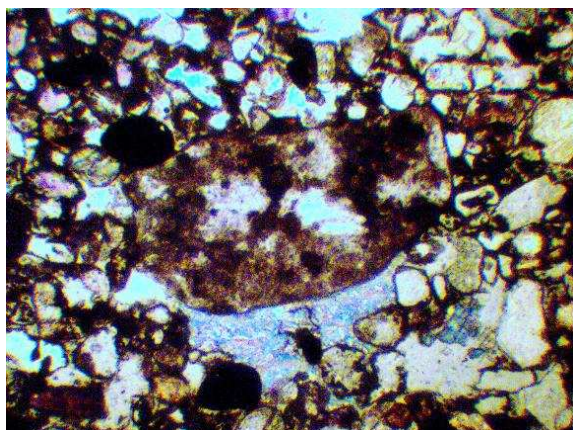


Rocha apresentando grãos corroídos e elevada porosidade. (5x-nicol cruzado)

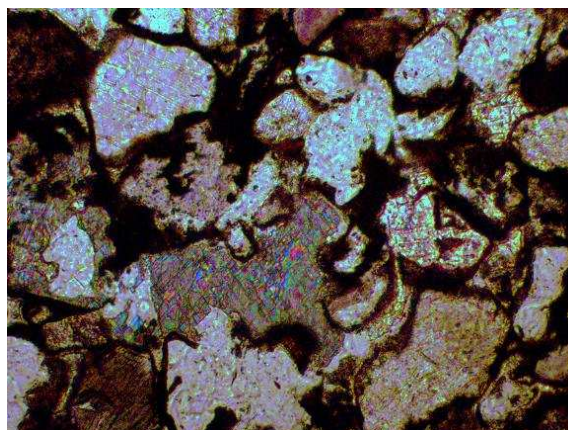


Porosidade secundária elevada (10x-nicol descruzado)

Figura 38- Fotos da lâmina **P06-1: sublitoarenito** ressaltando algumas de suas características.

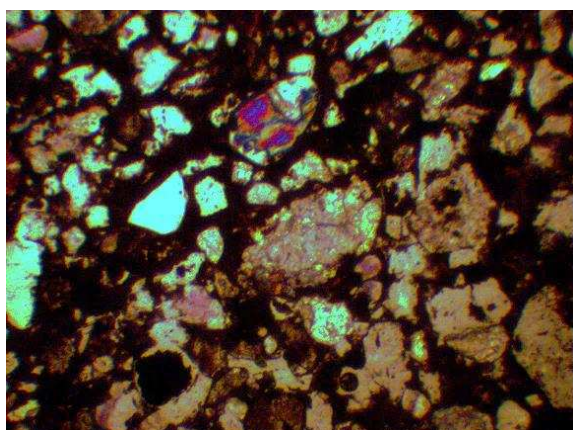


Cimento carbonático preenchendo vazios entre grãos. (5x-nicol cruzado)

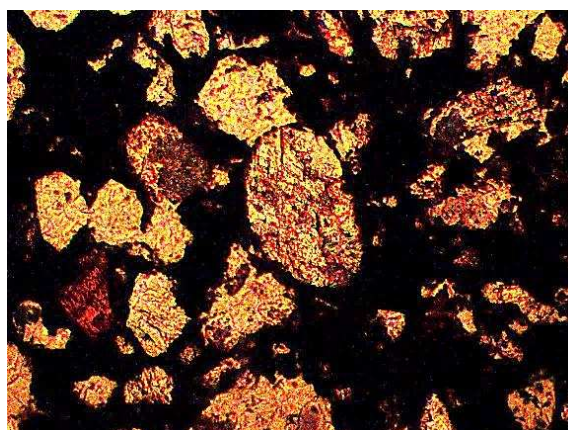


Processo de carbonatação em grãos de quartzo e feldspato. (10x- nicol cruzado)

Figura 39- Fotos da lâmina **P06-2: litoarenito** ressaltando algumas de suas características.

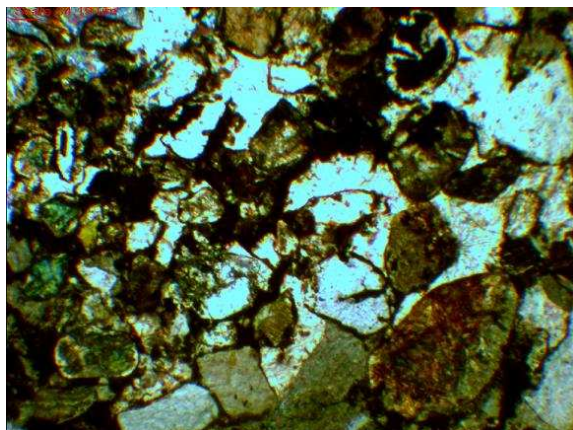


Visão geral de litotipo matriz suportado. (5x-nicol cruzado)

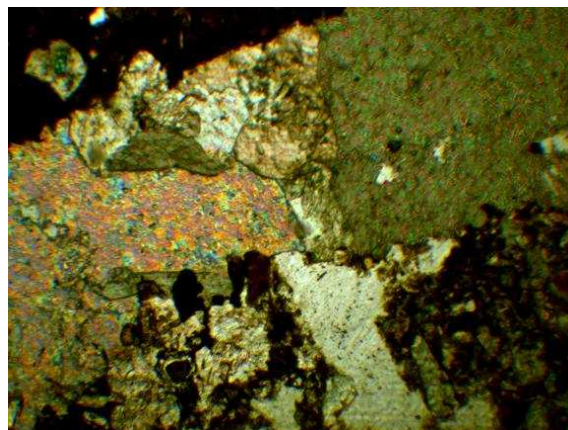


Matriz argilosa oxidada. Ao centro litoclastos máficos/ultramáficos. (10x-nicol descruzado)

Figura 40 - Fotos da lâmina **P07-1: litoarenito** ressaltando algumas de suas características.

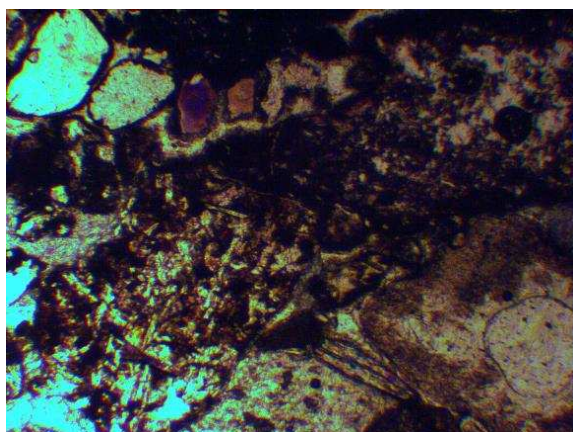


Litoclastos máficos apresentando alteração secundária (5x- nicol cruzado)

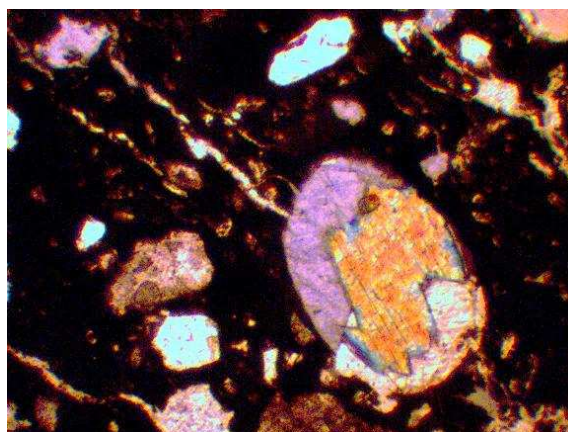


Substituição de fragmento vulcânico por carbonato (5x-nicol cruzado)

Figura 41 - Fotos da lâmina **P07-3: litoarenito P08-1: carbonato arenito** ressaltando algumas de suas características.

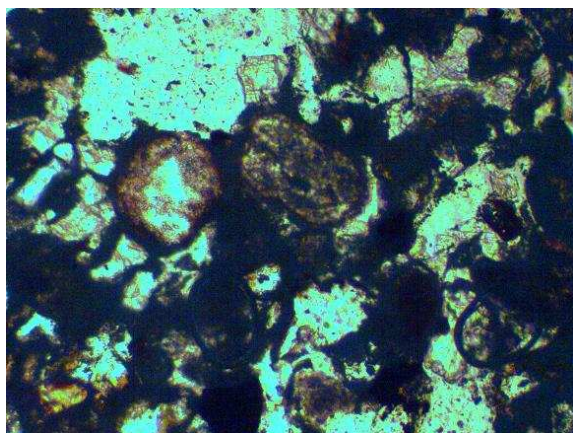


Litoclasto de rocha máfica, apresentando alteração e porosidade intragranular (5x-nicol descruzado)

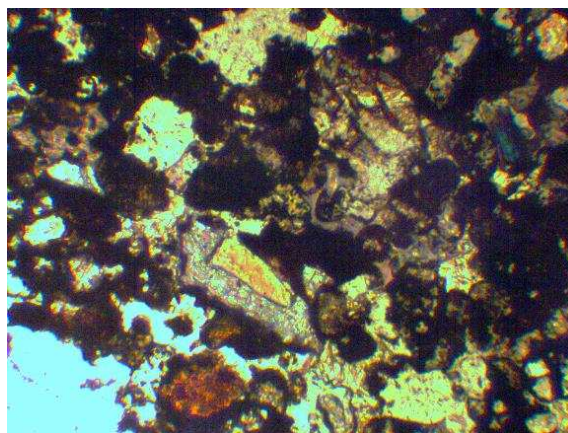


Dissolução e precipitação de calcita em grão de augita parcialmente substituído (10x-nicol cruzado)

Figura 42 - Fotos da lâmina **P07-4: litoarenito** ressaltando algumas de suas características.

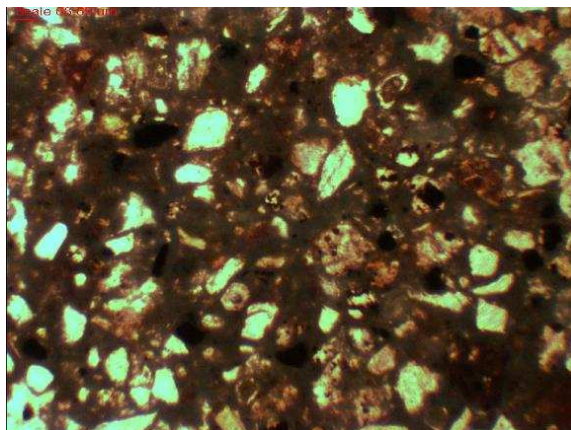


Porosidade secundária e intragranular. Grãos fortemente oxidados (10x-nicol cruzado)

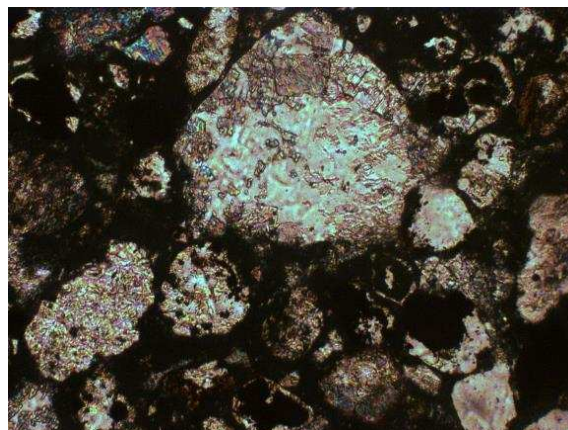


Visão geral da lâmina (5x-nicol cruzado)

Figura 43 - Fotos da lâmina **P08-1: quartzarenito** ressaltando algumas de suas características .

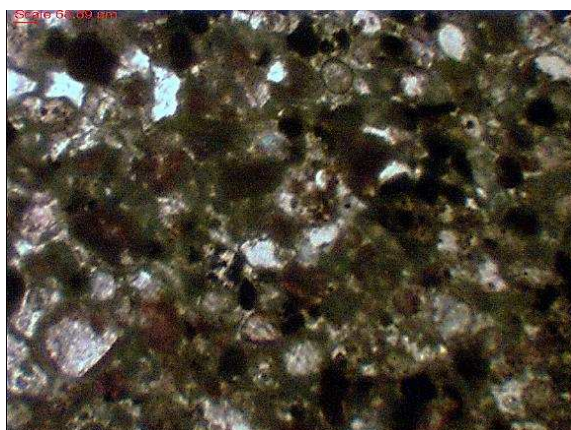


Grãos suportados por matriz argilosa (5x-nicol descruzado)

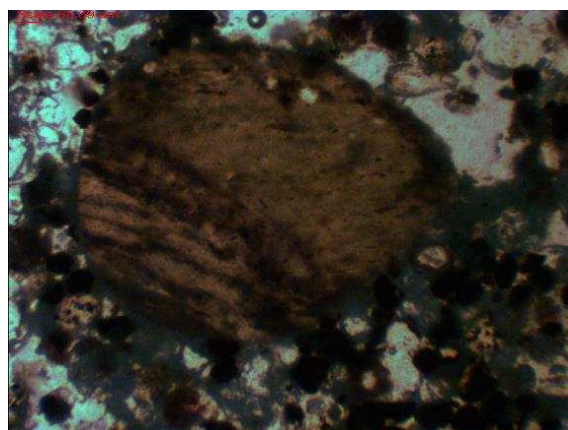


Processo de carbonatação em grãos líticos (10x-nicol cruzado)

Figura 44 - Fotos da lâmina **P08-2: litoarenito feldspático** ressaltando algumas de suas características.

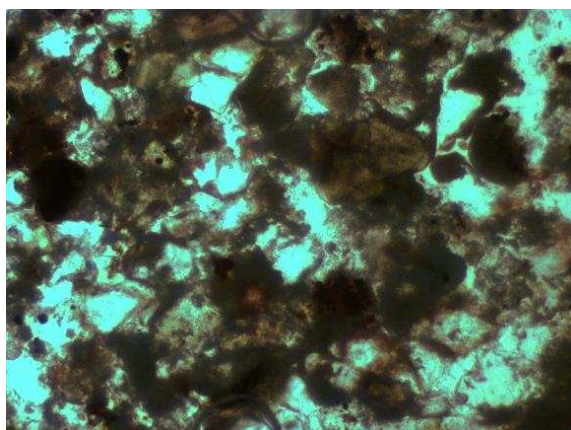


Matriz argilosa de coloração esverdeada (5x-nicol descruzado)



Litoclasto de origem não reconhecida (10x-nicol descruzado)

Figura 45 - Fotos da lâmina **P08-3: litoarenito** ressaltando algumas de suas características.

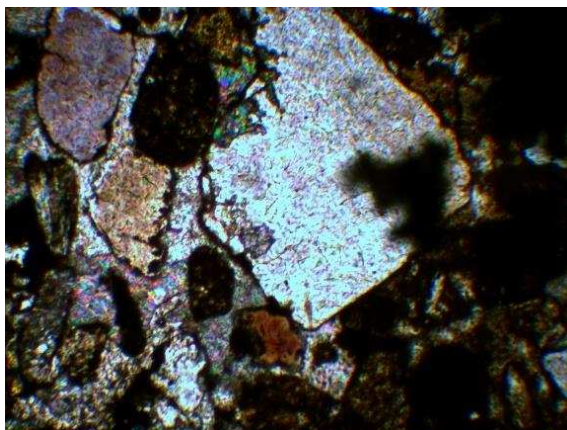


Observa-se alteração ferruginosa na superfície dos grãos. (5x-nicol descruzado)



Litoclasto apresentado maclapolissintetica (10x-nicol cruzado)

Figura 46 - Fotos da lâmina **P08-4: litoarenito** ressaltando algumas de suas características.



Vista geral da lâmina. Observa-se dissolução das bordas do grão de feldspato associada a precipitação de carbonato (10x-nicol cruzado)

Figura 47 - Fotos da lâmina **P08-5: litoarenito** feldspático ressaltando algumas de suas características.

A análise modal realizada nas lâminas foi comparada com os resultados apresentados por Batezelli (2003) para rochas da mesma região de estudo. De forma semelhante à apresentada neste estudo os arenitos observados por Batezelli (2003) apresentam baixa maturidade textural, com contatos flutuantes entre os grãos do arcabouço. Batezelli (2003), notou também uma intensa substituição dos grãos do arcabouço pelo cimento carbonático e uma maturidade mineralógica baixa devido à presença de grãos instáveis (intemperizáveis) de piroxênios, anfibólios e fragmentos de rochas vulcânicas e à infiltração mecânica de argilas. A composição mineralógica é bastante variada, predominando os grãos de quartzo, fragmentos de rocha, feldspato e minerais pesados, o que está em concordância com a identificada por Batezelli (2003). Entretanto, esse autor identificou apenas litoarenitos feldspáticos, enquanto na presente pesquisa foram identificados quatro litotipos diferentes.

Além de Batezelli (2003) os dados obtidos foram comparados com arenitos de outras regiões/países que foram estudados pelos seguintes autores: Marques e Williams (2015), Straeten (2013) e Vicini et al. (2013). Comparado com os arenitos de Ligúria (Itália) descritos por Vicini (2013) os arenitos descritos no presente estudo também apresentam cimento carbonático (cerca de 5 a 20%) e grãos com baixa maturidade textural. A mineralogia é predominantemente composta por grãos de quartzo (30%), plagioclásio (~ 20%), K-feldspato (~ 5%), frequentemente alterados para filossilicatos. A biotita ocorrem em proporções geralmente inferiores a 5%, muitas vezes substituída por agregados de mica branca e clorita. De forma semelhante à observada nos arenitos Uberaba, os arenitos estudados por Vicini (2013) apresentam

grande influência de rochas ígneas e metamórficas, sendo 40% dos componentes clásticos oriundos de rochas vulcânicas ácidas, graníticas e metamórficas. Nesse arenito também ocorre a substituição dos feldspatos por cimento carbonático, de forma semelhante à observada para os arenitos da Formação Uberaba. Porém, os arenitos estudados por Vicini et al. (2013). apresentaram porosidade com valores discrepantes de 3 a 4%, valores muito diferentes dos arenitos Uberaba.

Os arenitos estudados por Straeten (2013), classificados como litoarenitos, vistos na região de Nova Iorque, são constituídos principalmente por grãos de quartzo e fragmentos de rocha metamórfica, além de outros grãos em menor quantidade (feldspato, fragmentos de rocha ígnea e algum carbonato), além de apresentar óxido de ferro precipitado. Essas características também foram observadas nos arenitos estudados.

Em relação aos arenitos estudados por Marques & Williams (2015), pode ser feita uma análise comparativa com base nos efeitos do intemperismo. Para o arenito Myrtle Creek, estudado por esses autores, observou-se um grande predomínio de quartzo, seguidos por matriz, óxido de ferro e vazios. Como resultado da ação do intemperismo, observou-se um aumento do teor de ferro e dos argilominerais e uma redução dos vazios, muito provavelmente preenchidos por precipitação de óxido de ferro.

Para o segundo arenito estudado por Marques & Williams (2015), denominado Landsborough, também se observa uma predominância de quartzo, seguidos pelos argilominerais, óxido de ferro, micas, matriz, fragmentos de rocha e plagioclásios. Como resultado da ação do intemperismo, assim como observado para o arenito Myrtle Creek, notou-se um aumento da quantidade de óxido de ferro e, de forma menos evidente, dos argilominerais, esses últimos formados a partir dos feldspatos e da matriz.

Assim como os arenitos Myrtle Creek e Landsborough, os arenitos do perfil P08 também apresentam, como resultado da ação do intemperismo, a partir da Classe II/III, uma redução dos vazios, preenchidos por precipitação de óxido de ferro e cimento carbonático, como observado, por exemplo, nas Figuras 43, 46 e 47 no perfil P08.

4.2 Ensaio de Caracterização Física

A caracterização física em laboratório baseou-se na determinação da massa específica aparente seca e saturada, da porosidade, e da capacidade de absorção de água. Na Tabela 10 apresentam-se os resultados obtidos para cada uma das camadas observadas.

Tabela 10 - Resultados da Caracterização Física por amostra.

N°	Amostras	Grau de Alteração	Massa específica (kg/m³)		Porosidade (%)	Absorção (%)
			Seca	Saturada		
1	P06 1	I	2085	2225	13,94	6,69
2	P06 2	I	2136	2253	11,69	5,47
3	P07 1	II	2222	2331	10,86	4,89
4	P07 2	III	2257	2330	7,29	3,23
5	P07 3	III	1823	2148	32,42	17,78
6	P07 4	IV	1989	2229	23,99	12,06
7	P08 1	II	2107	2255	14,78	7,02
8	P08 2	II	1879	2110	23,10	12,30
9	P08 3	II/III	1934	2194	25,93	13,41
10	P08 4	II	1950	2120	17,01	8,72
11	P085	III/IV	2438	2540	10,13	4,16

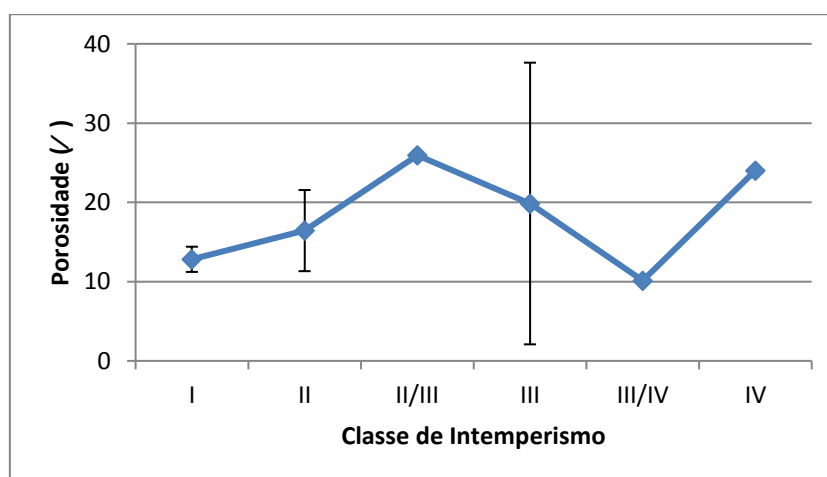
Como se observa na análise dos dados referentes para o perfil P07, todos os parâmetros físicos (massa específica, porosidade e capacidade de absorção de água), mostram que os mesmos podem ser utilizados como índices para a avaliação da ação do intemperismo. A massa (seca ou saturada) apresentou uma leve diminuição com o intemperismo, enquanto a porosidade e a capacidade de absorção aumentam, como é usualmente esperado. O intemperismo observado nas rochas deste perfil é predominantemente físico, dado pelo aumento do fraturamento. Os resultados demonstram que o intemperismo atuante na rocha modifica completamente suas características físicas. Este resultado é significativo, na medida em que sua variação possui forte influência sobre as propriedades mecânicas (resistência e deformabilidade) e de permeabilidade da rocha.

Já para o arenito do ponto P06, as duas camadas apresentam o mesmo grau de alteração, mas é possível notar uma diminuição na massa da camada inferior para a superior, resultante do aumento da porosidade e, conseqüentemente, da

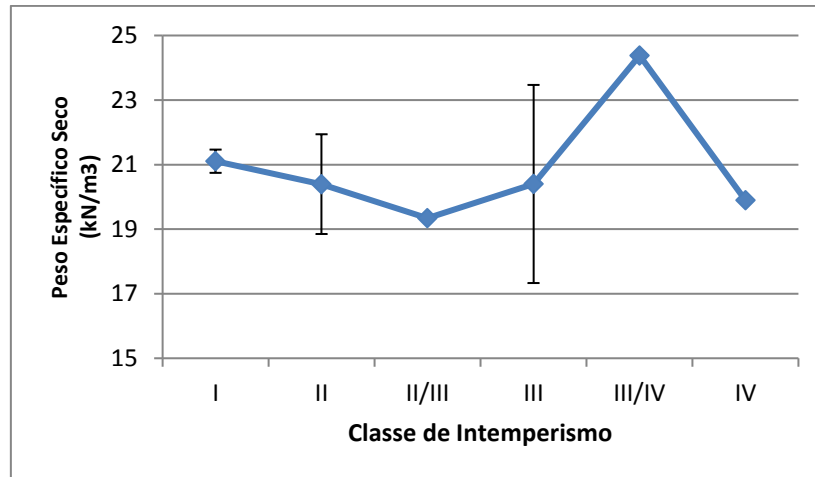
capacidade de absorção, esse resultado pode ser relacionado com o alívio de pressão, em virtude, do arenito P06 1, estar mais próximo da superfície do terreno.

A respeito do arenito P08, a análise da Tabela 10 permite observar em relação aos parâmetros (porosidade, massa e absorção) que entre as Classes II e Classe II/III houve pouca alteração nos valores em relação ao aumento do grau de alteração. Mas em relação à Classe II/III para a Classe III/IV ocorre um comportamento não usual que pode ser relacionado entre os parâmetros físicos com a mineralogia, houve aumento de massa específica e diminuição de porosidade. Este resultado pode ser relacionado com minerais que liberam óxido de ferro. Destaca-se que esses arenitos foram aqueles que apresentaram a maior quantidade de óxido de ferro precipitado, resultando em um cimento ferruginoso facilmente visualizado nas imagens das Figuras 40 e 46, logo, este resultado provavelmente está associado à precipitação desse cimento. Outra característica nesse arenito é que as amostras com menor massa (saturada e seca) apresentam maior porcentagem de absorção e porosidade, como é de se esperar.

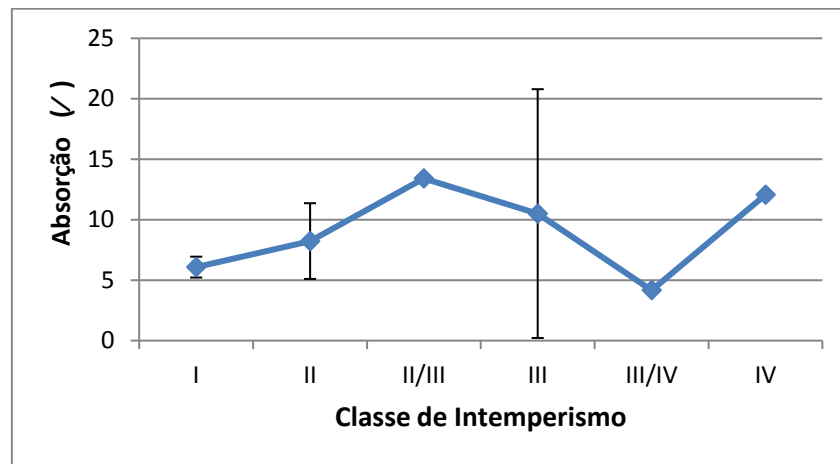
Nos gráficos apresentados na Figura 48 têm-se os valores da porosidade, peso específico seco e da capacidade de absorção de água para cada uma das Classes de intemperismo identificadas. O aumento da porosidade conferiu menor massa específica às mesmas como é de se esperar.



(a)



(b)



(c)

Figura 48 - Gráficos mostrando a variação da porosidade (a), do peso específico seco (b) e capacidade de absorção (c), com o intemperismo.

Os parâmetros físicos dos arenitos estudados correlacionam-se de forma razoável com o intemperismo observado. Nota-se um comportamento anômalo, dado pela redução da porosidade e da capacidade de absorção e aumento da massa específica na passagem começando na Classe II/III, mas principalmente para os valores das Classes III e III/IV, que pode ser justificada por uma maior ação do intemperismo, relacionado á um aumento na precipitação de cimento carbonático e ferruginoso nessas Classes.

Pelo exposto, esses parâmetros podem ser utilizados como índice para o intemperismo, mas essa análise deve estar associada à uma detalhada descrição da

matriz rochosa, em especial da mineralogia, já que comportamentos não usuais podem ser explicados por intemperismo químico de alguns minerais.

Os resultados de porosidade e capacidade de absorção encontrados a partir das classes de intemperismo foram comparados com os dados apresentados na Tabela 8 (constituintes são), obtidos na descrição petrográfica e apresentados na Figura 49.

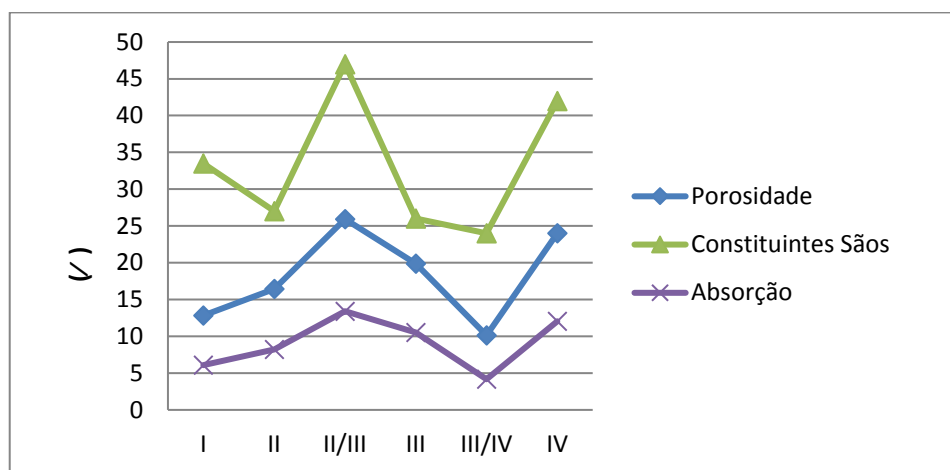


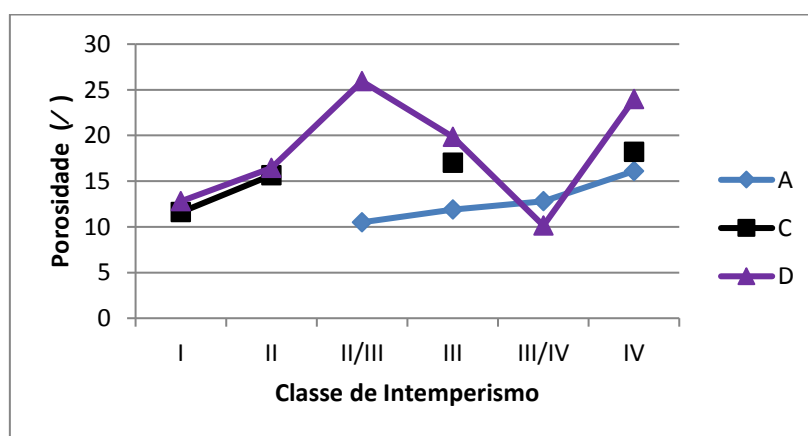
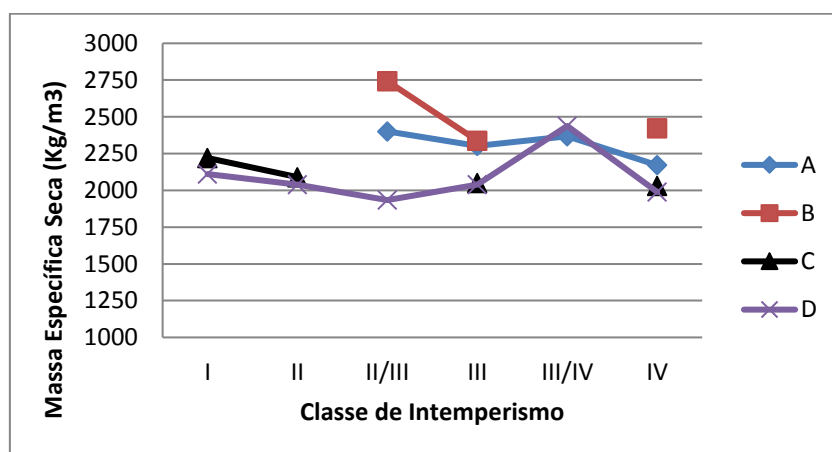
Figura 49 - Gráficos mostrando a variação da porosidade e capacidade de absorção em relação aos constituintes são.

Através da análise desses dados, tem-se uma relação diretamente proporcional entre a porosidade e o material são da rocha a partir da Classe II/III, em que com o aumento da porosidade, também ocorre um aumento dos grãos são e vice versa. Essa característica dá-se a partir do avanço do grau de alteração na rocha, os cimentos, carbonático e ferruginoso, precipitam e ocupam os poros da rocha, diminuindo a porosidade e aumentando constituinte intemperizado. Nas Classes I e II, a relação da porosidade com os constituintes são acontece de forma inversamente proporcional, como é de se esperar. Já em relação a massa específica a variação é pequena, mas nota-se uma relação inversamente proporcional. A precipitação dos cimentos, carbonáticos e ferruginoso, faz com que os poros da rocha sejam preenchidos, ocupando os espaços vazios e aumentando a massa específica da rocha, isso acontece a partir da Classe II/III.

Os resultados obtidos também foram comparados, de acordo com a Classe de intemperismo das rochas analisadas, com dados de Tating et al. (2013), Beavis (1985) e Marques & Williams (2015) e são mostrados nos gráficos apresentados a seguir

(Figura 50). Os dados permitem constatar que os resultados obtidos no presente trabalho apresentam valores um pouco acima aos obtidos por esses autores.

O trabalho de Tating et al. (2013) apresenta, para os índices físicos, apenas resultados de massa específica seca. A massa específica obtida no presente estudo mostra valores um pouco inferiores, mas próximos, aos obtidos por esse autor. A comparação dos dados com os de Beavis (1985) mostra valores semelhantes para massa específica seca, para porosidade e capacidade de absorção de água apresenta valores superiores. Já em relação aos dados de Marques & Williams (2015), a massa específica apresenta valores inferiores e para porosidade e capacidade de absorção de água apresenta valores superiores. Os resultados apresentam boas correlações com intemperismo, com exceção do material Classe III/IV (com base em apenas uma amostra), que exibe valores mais discrepantes dos apresentados.



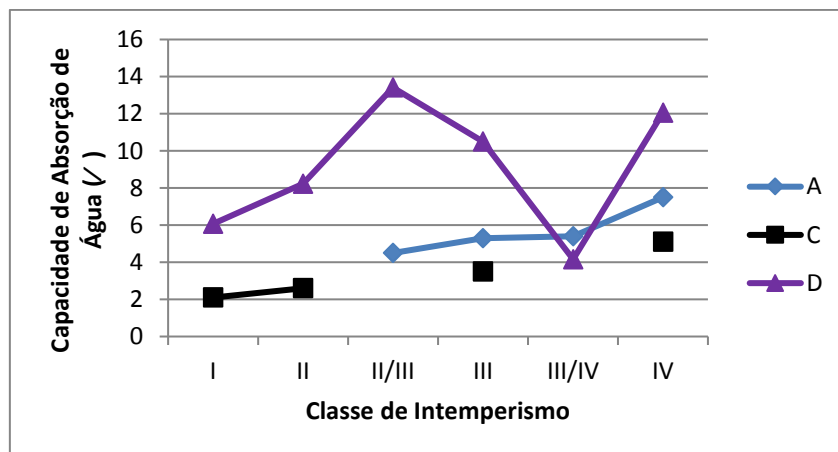


Figura 50 - Comparação dos índices físicos com dados da literatura. A – Resultados médios de Marques & Williams (2015); B – Resultados de Tating et al. (2013); C – Resultados de Beavis (1985); D - Resultados do presente estudo.

4.3. Ensaio de Resistência

4.3.1 Ensaio in situ com Martelo de Schmidt

Para a caracterização de um maciço rochoso é de grande utilidade o conhecimento da resistência à compressão da matriz rochosa, a qual se pode avaliar recorrendo à determinação da dureza como esclerômetro portátil (ou martelo de Schmidt), podendo conduzir a uma estimativa do valor da resistência à compressão uniaxial (ISRM, 2007). Em relação ao parâmetro JCS ressalta-se que o equipamento utilizado, um esclerômetro do tipo L, permitiu diferenciar a matriz rochosa entre as classes de intemperismo. Constatou-se (Figura 51), que o arenito e os produtos de seu intemperismo se classificam como sendo do tipo R2 (resistência baixa) em sua maioria (aproximadamente 73%) ou do tipo R3 (resistência mediana), segundo a classificação da ISRM (1981), e a razão solo/rocha aumenta de forma inversamente proporcional ao intemperismo.

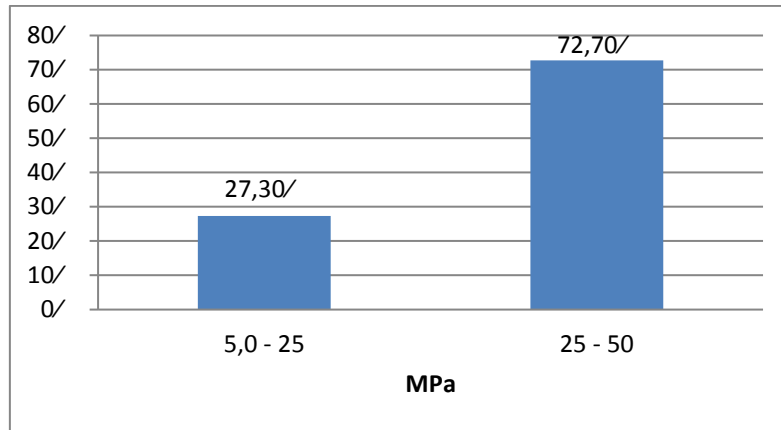


Figura 51 – Classes de resistência a compressão uniaxial para os três arenitos, com base nos resultados do Esclerômetro de Schmidt.

A Figura 52 apresenta um gráfico que mostra a resistência á compressão uniaxial dos arenitos de acordo com o avanço no grau de alteração dessas rochas.

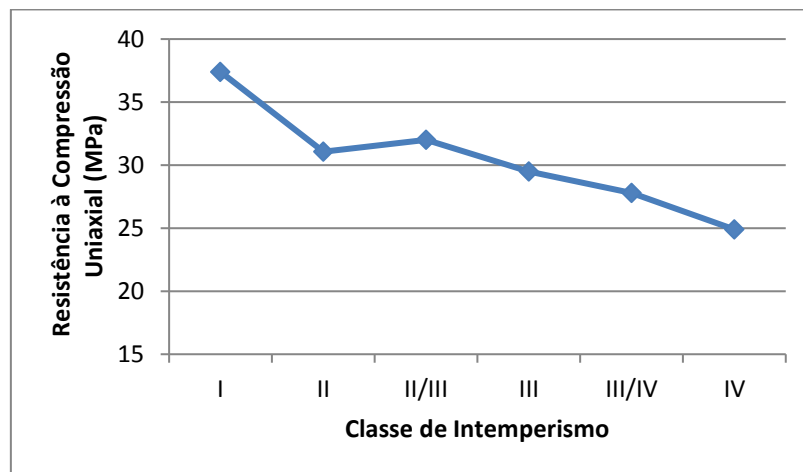


Figura 52 - Valores de resistência à compressão uniaxial para as classes de intemperismo, obtidos a partir dos resultados do esclerômetro de Schmidt.

Como apresentado, existe uma relação de proporcionalidade intrínseca entre a dureza da rocha e o aumento do grau de intemperismo. O comportamento do gráfico em geral, mostra essa relação.

Já o arenito do perfil P08 2 apresentou o material da Classe II com valores um pouco menores em relação à dureza da rocha, em comparação com os materiais da Classe II/III, considerando os testes realizados. Essa mudança pode estar relacionada ao massa específica do material, já que para o cálculo da Dureza da rocha utilizam-se dois parâmetros (o rebote do martelo e o massa específica) e ao aumento do teor de argila na rocha. Como o massa específica do material III/IV é superior ao do

material III, por conta da deposição de óxido de ferro nos poros, há um aumento da massa específica com o avanço do intemperismo entre essas duas classes.

4.3.2 Ensaio de Carga Pontual (Point Load)

De maneira a se avaliar a influência do intemperismo sobre a resistência dos materiais, foram coletadas amostras para a realização de ensaios de carga pontual (PLT) em corpos de prova irregulares, de acordo com a norma da ISRM (2007).

Os resultados do PLT indicam que o intemperismo afeta a resistência das rochas consideradas neste estudo. Tanto na análise individualizada, ao longo de cada perfil (Tabela 11), quanto na análise dos valores médios, considerando todos os perfis juntos (Figura 53), é possível observar esse comportamento. No entanto, este processo não é uniforme, e variações na intensidade são menores em material mais intemperizado. Na Tabela 11 apresentam-se os resultados médios obtidos em cada ensaio, para cada amostra, enquanto na Figura 53 apresentam-se os resultados médios obtidos para cada classe de intemperismo.

Tabela 11 - Valores médios para cada amostra.

Nº	Amostras	Grau de Alteração	Is50	Desvio Padrão	Corpos de Prova Ensaçados	Corpos de Prova Descartados
1	P06 1	I	1,43	0,49	12	1
2	P06 2	I	1,32	0,43	14	1
3	P07 1	II	1,28	0,73	11	1
4	P07 2	III	1,08	0,6	10	2
5	P07 3	III	0,87	0,4	11	1
6	P07 4	IV	0,98	0,54	11	1
7	P08 1	II	2,08	0,31	10	1
8	P08 2	II	2,52	1,2	11	6
9	P08 3	II/III	2,01	1,06	10	2
10	P08 4	II	1,15	0,29	14	4
11	P08 5	III/IV	0,83	0,42	12	1

Tabela 12 - Comparação da compressão puntiforme com dados da literatura.

Rocha	Classe de intemperismo	Média dos valores IS ₅₀ (MPa) ^a	Média dos valores na literatura (MPa) ^b	Média dos valores na literatura (MPa) ^c	Média dos valores na literatura (MPa) ^d
Arenitos	IV	0,98	0.91	0.9	0,04-0,52
	III/IV	0,83	1.61	N.D.	0,44
	III	0,975	2.23	N.D.	N.D
	II/III	2,01	N.D		N.D
	II	1,7575	3.60	1.8	N.D
	I	1,375	N.D		N.D

A – Resultados médios do presente estudo; B – Resultados de Marques & Williams (2015); C – Resultados de Beavis (1985); D – Resultados apresentados por Tating et al. (2013). N.D. – Não determinado.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 11 e a classificação de resistência sugerido por Hoek et al (1998), materiais de média (classes II/III, III e IV) e elevada resistência (Classe I e II) foram identificados. Os resultados dos ensaios realizados no PLT para os arenitos foram semelhantes aos obtidos por Beavis (1985) e diferentes dos de Marques & Williams (2015), como indicado na Tabela 12.

Beavis (1985) apresentou resultados PLT de arenitos e relatou que o IS₅₀ varia de 0,9 em material de Classe IV para 1,8 em material de Classe II. Estes resultados são semelhantes aos do presente estudo para estas classes e os relatados por Tating et al. (2013). Já Marques & Williams (2015) encontrou para a Classe II valores um pouco acima nos apresentados neste estudo. Ou seja, os resultados obtidos no presente estudo encontram-se, via de regra, entre os resultados obtidos por esses dois autores.

Na Figura 53 apresentam-se os resultados médios obtidos para cada classe de intemperismo e o desvio padrão em cada uma das Classes. A análise das unidades de arenito (Figura 53) indica uma diminuição permanente da capacidade de carga pontual com o aumento do grau de intemperismo, esse fato pode ser proporcionado pelo leve aumento da porosidade e/ou aumento de propagação de microfissuras o que deixa o conteúdo granulométrico das rochas (matriz e arcabouço) e do cimento mais frágeis.

Porém, nota-se que, na transição entre II e III de material, existe uma grande variação no valor do desvio padrão que exibem resistências superiores. Esse fato pode estar relacionado à variação do material com os efeitos do avanço do intemperismo sobre a matriz rochosa dos arenitos, podendo-se observar os efeitos da alteração química, com liberação e precipitação de óxidos de ferro a partir do

intemperismo das biotitas e/ou pela percolação de água pelos poros da rocha, que são depositados nos poros em zonas mais intemperizadas, onde atuam como um cimento, e esse processo aumenta a resistência da rocha.

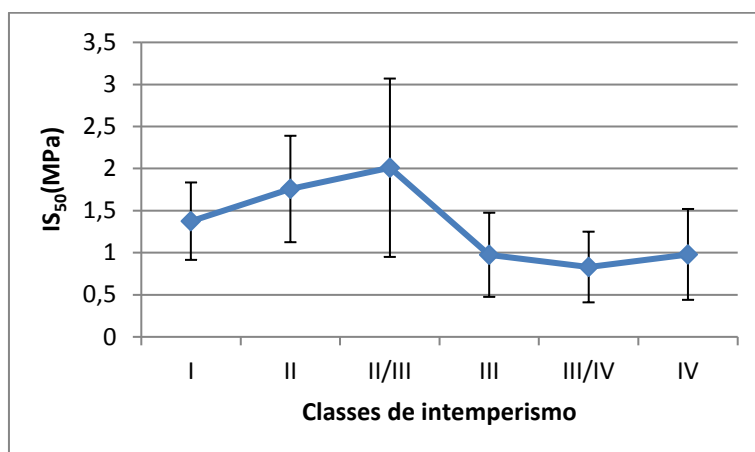


Figura 53 - Valores médios da compressão para cada Classe de intemperismo.

Comparando-se o uso do Martelo de Schmidt com o ensaio de PLT, com base nestes resultados, a abordagem utilizada neste estudo pode ser aplicada só para maciços rochosos, e a avaliações de matriz de rocha devem ser realizadas com base em amostras obtidas a partir de diferentes classes de intemperismo identificados no campo. A área ensaiada pelo martelo de Schmidt usualmente desconsidera os defeitos estruturais (foliação, fraturas etc.) enquanto que no PLT, mesmo a carga sendo pontual, a superfície de ruptura atravessa uma área muito maior da amostra e, portanto, pode se aproveitar de defeitos estruturais nela existentes. Entretanto, no presente estudo, não foram observadas rupturas no PLT através de planos de fraqueza, apenas pela matriz. Assim, é possível tentar correlacionar os resultados desses ensaios junto com os dados apresentados na Tabela 8 referente aos constituintes sãos, destas rochas (Figura 54).

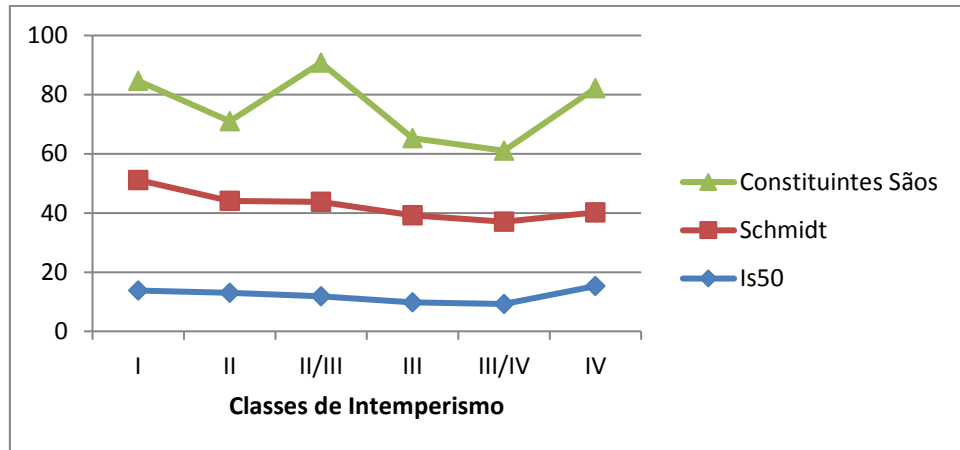


Figura 54 – Comparação dos valores médios de IS₅₀ (PLT)(10⁵ Pa), martelo de Schimdt (Mpa) e dos constituintes sãos(%) para cada Classe de intemperismo.

Como mostrado no gráfico acima, os resultados seguiram uma tendência semelhante nos dados encontrados. Com o avanço do grau intempérico os resultados achados para a dureza (Schimdt), resistência (IS₅₀) e constituintes sãos de cada Classe de arenito, tiveram uma leve diminuição nos valores, como é de se esperar, porém nas Classes II/III e IV é possível perceber um aumento nos parâmetros de resistência (IS₅₀) e dureza (Schimdt) das rochas, esse fato pode estar relacionado ao aumento dos constituintes sãos, juntamente com a forte precipitação de cimento (carbonático e ferruginoso) que diminui a porosidade e aumenta a massa específica do arenito.

4.4 Parâmetros Geotécnicos Determinados In Situ

Conforme apresentado anteriormente, uma série de parâmetros geotécnicos foram determinados durante os trabalhos de campo:

- Razão solo-rocha;
- Espaçamento de fraturas (índice de espaçamento de fraturas);
- Persistência das descontinuidades principais;
- Abertura das descontinuidades principais;
- Índice de Rugosidade de Juntas (JRC), conforme definido por Barton (1973, 1976);
- J_v, de acordo com a sugestão de Palmstrom (2005).

Na Tabela 13, abaixo, apresenta-se um resumo dos resultados obtidos para cada camada observada no perfil, quando disponível.

Tabela 13 - Resultados dos ensaios/análise in situ para cada classe de intemperismo.

Amostr s	Grau de Alteraçã o	Razão Solo:Ro cha (%)	JV	Espaçament o (m)	Fratura				
					JRC	Abert ^a (mm)	Pers ^b (m)	Preen. ^c	
P06 1	I	15-20	1	1,2	Fr 10-12	0,1-0,2 cm	15 m	Ausente	
P06 2	I	15-20		1,1	Ac 14-16	Selada/0,1cm	17 m	Matéria Orgânica	
				0,9	Fr 8-10	0,1-0,2 cm	8 m	Ausente	
P07 1	II	25-30	3-4	1,00	Ac 10-12	1,0- 1,5 cm	50 m	Matéria orgânica	
P07 2	III	40		0,40	Ac 8-10	Selada	50 m	Ausente	
P07 3	III	45		0,29	Ac 14-16	27 cm	50 m	Matéria orgânica e solo residual	
P07 4	IV	50-55		0,37	Ac12-14	0,5 cm	50 m	Matéria orgânica	
P08 1	II	40	4-6	0,32	Ac 14-16	Selada/0,1	65m	Ausente	
P08 2	II	35-40		0,30	Ac 10-12	Selada/0,1	65m	Ausente	
P08 3	II/III	40		0,23	Ac 10-12	Ac e Fr Selada/0,1	65m	Ausente	
P08 4	II	55-60		0,12	Ac 10-12	Ac e Fr Selada/0,1	65m	Ausente	
P08 5	III/IV	70		0,20	Ac 10-12	Ac e Fr Selada/0,1	65m	Ausente	

^a Abert = Abertura media; ^b Pers = Persistência media; ^c Preen = Material de preenchimento; Fr = Fratura, Ac= Acamamento.

Com base nos dados apresentados na Tabela 13 alguns dos parâmetros apresentam variações aleatórias, portanto não se correlacionam bem com os agentes atmosféricos logo, eles não podem ser utilizados para identificar e diferenciar os efeitos do intemperismo na matriz de rocha e em maciços. Por outro lado, o parâmetro razão solo/rocha, apresentou boa resposta em relação à classificação do intemperismo, expressa pelas classes de intemperismo.

Alguns destes resultados foram comparados com os apresentados por Marques (2015).

Assim como os arenitos analisados por Marques & Williams (2015), os parâmetros Jv, JRC, persistência e material de preenchimento, não apresentaram comportamento capaz de permitir a individualização de materiais de classes diferentes.

5 CONCLUSÃO

Através de observações, análise e comparação dos resultados dos estudos morfológicos, mineralógico e testes mecânicos produziram-se informações importantes sobre os efeitos do intemperismo no comportamento dos arenitos da Formação Uberaba. Concluiu-se que os perfis de intemperismo exibem características morfológicas que permitem a identificação de diferentes materiais com classe de intemperismo diferentes. Outro aspecto que merece destaque é o fato de que a metodologia de determinação recomendada pela ISRM (2007) para índices físicos não é aplicável aos termos mais intemperizados dos arenitos, usualmente muito friável, já que a saturação à vácuo resultava na desagregação completa da amostra. Devido a isso não foram realizados ensaios em todas as camadas dos perfis, logo como sugestão para trabalhos futuros poderiam ser utilizadas formas alternativas de saturação, como por exemplo, saturação progressiva sem vácuo. Além da realização de mais ensaios (fluorescência de raio X) e a realização de estudos tendo como foco as zonas de transição, já que elas apresentam comportamentos que distoam das classes intempéricas.

Com base nos resultados, foram desenvolvidas as seguintes conclusões:

- Os contatos entre as classes de intemperismo desempenham um papel importante na morfologia dos contatos entre os materiais de intemperismo, eles são principalmente abruptos e controlados pelo acamamento e juntas de alívios paralelos ao acamamento. Notou-se também um aumento da frequência de descontinuidades paralelas ao acamamento, devido ao alívio, causando aumento do intemperismo.
- Além disso, certos parâmetros de campo e características tais como a relação solo/rocha e JCS podem ser utilizados como índices de diferenciação da resistência.
- Parâmetros relacionados à resistência da rocha indicaram que a ação dos agentes intempéricos afeta a resistência das rochas, causando uma diminuição da resistência da rocha com o avanço do intemperismo.
- A caracterização mineralógica com base nas lâminas petrográficas permite observar aspectos importantes referentes ao intemperismo. Várias mudanças causadas pelo intemperismo (químico, principalmente) pode ser facilmente

identificado. Concluiu-se que o intemperismo químico é o maior responsável pela alteração dessas rochas, resultante do influxo de águas meteóricas nas rochas porosas, sendo uma característica de clima tropical úmido, como o Brasil.

- Os parâmetros físicos (porosidade, massa específica e capacidade de absorção de água) podem ser relacionados ao intemperismo, quando analisados junto com a mineralogia, já que a precipitação de cimentos (óxido de ferro e carbonatos) podem alterar alguns desses dados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M.; BARBOSA, O. 1953. Geologia das quadrículas Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. Boletim DGM/DNPM, Rio de Janeiro, n. 143, p. 1-96.

ALVES, D. S. J. & CANDEIRO, C. R. A. (2013). LEVANTAMENTO DOS AFLORAMENTOS DE ARENITOS CARBONATADOS DA FORMAÇÃO MARÍLIA (GRUPO BAURU, CRETÁCEO SUPERIOR) NO MUNICÍPIO DE MONTE ALEGRE DE MINAS, ESTADO DE MINAS GERAIS. Revista Eletrônica Georaguaiá. Barra do Garças-MT. V 3, n.1, p 114 - 138. Janeiro/julho.

ANONYMOUS. 1995. The description and classification of weathered rock for engineering purposes. Geol. Soc. Eng. Group Working Party Report: Q. J. Eng. Geol., vol. 28(3), pp. 207–242.

AREL, E.; ÖNALP, A. 2004. Diagnosis of the transition from rock to soil in a granodiorite. J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE 130: 968–974.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE). 1983. Métodos para Descrição Quantitativa de Descontinuidades em Maciços Rochosos. São Paulo: ABGE. 132p. Tradução de "Suggested Methods for the Quantitative

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1998. Geologia de Engenharia. ABGE/FAPESP/CNPq. São Paulo. 576 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2010. ABNT NBR 15845. Rochas para Revestimento - Métodos de Ensaio, contendo oito anexos, 32p.

ÁVILA, C. R. 2012. Determinação as Propriedades Mecânicas De Maciços Rochosos E/Ou Descontinuidades Utilizando Classificações Geomecânicas – Uma Comparação Entre Os Diversos Métodos De Classificação. Dissertação de Mestrado, UFOP, Ouro Preto, MG. 173 p.

AYDIN, A. & BASU, A. 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. Engineering Geology, 41: 1211–14.

AZEVEDO, I.C.D., MARQUES, E.A.G. 2006. Introdução à Mecânica das Rochas. Editora UFV - Universidade Federal de Viçosa.

BARCELOS, J.H. & SUGUIO, K. 1987. Correlação e extensão das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru, definidas em território paulista e nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. In: Simpósio Regional de Geologia, 6, Rio Claro. Atas. Rio Claro, Sociedade Brasileira de Geologia, v.I, p. 313-321.

BARCELOS, J.H. 1984. Reconstrução paleo geográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do estado de São Paulo. Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP. 191p. (Tese de Livre Docência).

BARROSO, E. V. 1993. Estudo das características geológicas e do comportamento geotécnico de um perfil de intemperismo em leptinito no Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Dep. Geologia, IGEO/UFRJ, RJ, 251 p.

BARTON N. R., CHOUBEY V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice, Rock Mech, 10(1-2): 1-54.

BARTON, N. R. 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints. Eng. Geol. 7, 287-332.

BARTON, N. R. 1976. The shear strength of rock and rock joints. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 13, 1-24.

BASU, A; CELESTINO, T. B. ; BORTOLUCCI, A. A. 2008. Evaluation of rock mechanical behaviors under uniaxial compression with reference to assessed weathering grades. *Rock Mech. Rock Engng.* 42: 73–93.

BATEZELLI, A. 2003. Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes. Rio Claro. 183 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

BEAVIS, F. C., I. ROBERTS AND L. MINSKAYA. 1982. “Engineering aspects of weathering of low grade metapelites in an arid climatic zone”. *Q. J. Eng. Geol.* 15, 29–45.

BEAVIS, F.C. 1985. *Rock weathering. Engineering Geology.* Blackwell Scientific, Melbourne.

Boletim Paranaense de Geociências, n. 55, p. 53-66, 2004.

BRADY, B. H. G. & BROWN, E. T. (2004). *Rock mechanics for underground mining.* Kulwer Academic Publishers, Dordrecht. 628 pp.

BUCHELI, A, J.2005. Estudo de Propriedades e Comportamento Geomecânico de Rochas Reservatório, Rio de Janeiro, RJ: Dissertação de M.Sc. COPPE/UFRJ.

BUENO, J, F.; SOUZA, J, J, DE.; ARAUJO, M, N, C.; OLIVEIRA, E, P, DE.; 2009. Evolução tectono-cronológica da estrutura de interferência de Nossa Senhora de Lourdes, Faixa Sergipana, NE-Brasil. *Rev. bras. geociênc.* [online], vol.39, n.4, pp. 608-623. ISSN 0375-7536.

CARGILL J.S. & SHAKOOR A. 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 27: 495–503.

COIMBRA, A, M.; FERNANDES, L, A. 1995. Paleogeografia e Considerações Paleoecológicas Sobre a Bacia Bauru (Cretáceo Superior do Brasil). In: CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGIA BIOESTRATIGRAFIA, 4., Trelew. Actas. Argentina, 1995. p. 85-90.

DEARMAN, W. R. 1974. Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 9, 33–42.

DEARMAN, W. R. 1976. Weathering classification in the characterisation of rock: a revision. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, 13: 123-127.

DEERE, D. U. & MILLER, R. P. 1966 – Engineering Classification and Index Properties for intact rock. Technical Report N.AFWL – TR – 65 – 116, Univ. of Illinois, Urbana, 299 p.

DEERE, D. U. , PATTON, F. D. 1971. Slope stability in residual soils. In: PAN. CONF. SOIL MECH. FOUND. ENG., 4. Puerto Rico, 1971. Proceedings... Puerto Rico, ISSMFE, p. 87-170.

DIAS-BRITO, D; MUSACCHIO, E. A.; CASTRO, J. C.; MARANHÃO, M. S. A.; SUÁREZ, J. M.; RODRIGUES, R. 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil– concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isótopos e estratigráficos. *Revue Paléobiologique*, Genève, v. 20, n. 1, p. 245-304.

DOBEREINER, L., PORTO, C. G. 1990. Considerations on the weathering of gneissic rocks. In: Eng. Group Meeting on the Geol. of Weak Rock, 26th ANNUAL CONF. OF B.G.S., Leeds, 1990. Proceedings... Leeds, B.G.S., p. 228-241.

FERNANDES, G. 2000. Caracterização Geológico-Geotécnica e Proposta de Estabilização da Encosta do Morro do Curral. Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, UFOP, Ouro Preto, MG.136 p.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, p. 195-205.

FERNANDES, LUIZ ALBERTO. 1992. A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Baurú e Caiuá. 1992. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERNANDES, L. A. 2004. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1000.000.

FERREIRA JR. P.D. & CASTRO P.T.A. 1996. Análise de elementos arquiteturais em sistemas aluviais: o exemplo da Formação Uberaba (K, Bacia do Paraná) no Triângulo Mineiro, MG. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Salvador, Anais..., 1:270-272.

FERREIRA JÚNIOR P. D.; GOMES N. S. 1999. Petrografia e diagênese da formação uberaba, cretáceo superior da bacia do paraná no triângulo mineiro. Revista Brasileira de Geociências 29(2): 163-172, junho.

FERREIRA JUNIOR, P. D. 1996. Modelo Depositional e Evolução Diagenética da Formação Uberaba, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, na Região do Triângulo Mineiro. Vol. 1 e 2. 248 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, MG.

FERREIRA JÚNIOR, P.D. & GUERRA, W. J. 1993. Estudo preliminar sobre o ambiente deposicional da Formação Uberaba. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 7 e Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 4, Belo Horizonte, 1993. Anais, Belo Horizonte, SBG/MG.p.17-21.

FIORI, P.A., CARMIGNANI. 2001. Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas-Aplicações na estabilidade de Taludes. Ed. UFPR. 550 p.

FOLK, R. L. 1951. Stages of Textural Natu Stages of Textural Natyry in Sedimentary Rocks. Journal of Sedimentary Petrology, 21: 127-130.

FOLK, R. L. 1968. Petrology of sedimentary rocks. Austin, Texas, Hemphill's, Pub., 107p.

GARRIDO, A. E.; FERREIRA, A. M.; GARCIA, A. J. V. 1992. Estratigrafia e sedimentologia do Grupo Bauru em Peirópolis Município de Uberaba, Minas Gerais. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v. 45, p. 112-114.

GEOLOGICAL SOCIETY OF AUSTRALIA (GSA), 2007. Rocks and landscapes of the Sunshine Coast. Second Edition. Editor: Warwick Willmott; contributors, Warwick Willmott et al. Geological Society of Australia, Queensland Division. 66 p.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. & OTEO, C. 2002. Ingeniería geológica. Prentice Hall, Madrid, 715 pp.

Guerner Dias A. et al, Geologia (2013) 11ºano -Areal Editores.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. 1984. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2a.edição. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 195p.

GUPTA, A. S. AND K. S., RAO. 2001. Weathering indices and their applicability for crystalline rocks. Bull. Eng. Geol. Env., 56, 257–274.

GUPTA, A.S., SESHAGIRI RAO, K. 1998. Index properties of weathered rocks: inter-relationships and applicability. Bulletin Engineering Geological Environment. 57. 161-172p.

HASUI, Y. & CORDANI, U.G. 1968. Idades potássio-argônio de rochas eruptivas mesozóicas do oeste mineiro e sul de Goiás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais, Belo Horizonte, SBG. p. 139-143.

HASUI, Y. 1967. Geologia das Formações Cretáceas do Oeste de Minas Gerais. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado).

HASUI, Y. 1968. A Formação Uberaba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais, Belo Horizonte, SBG. p. 167-179. ROCHA, J. S. M. da; KURTZ, S. M. de J. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. 4ª ed. Santa Maria: Edições UFSM CCR/ UFMS, 2001. 302 p.

HOEK, E.; BRAY, J. W. 1981. Rock slope engineering, IMM. 358p.

HUNT, R.E. 1984. Geotechnical Engineering Investigation Manual. McGraw-Hill, USA. 983 p.

INTERNATIONAL ASSOCIATION ON ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT (IAEG), 1981. Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 24, 235–274.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS 1978. "Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses." Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, Nº 16, pp. 319-368.

INTERNATIONAL SOCIETY ON ROCK MECHANICS (ISRM), 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006, eds.: Ulusay, R. and Hudson, J. 628 pp.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, (ISRM). 2007. The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 pp.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, (ISRM). 1981b. Basic geotechnical description of rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: 85-110.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, (ISRM). 1985. Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 22: 51-60.

IRFAN, T. Y., DEARMAN, W. R. 1978. Engineering classification and index properties of a weathered granite. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 17, 79–90.

KAHRAMAN, S. 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 38: 981–94.

KAHRAMAN, S., FENER M. & GUNAYDIN O. 2002. Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 39: 395-399.

KATZ, O., RECHESA, Z. & ROEGIERSC J.-C. 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 37: 723-728.

KRYNINE, P. D., 1940, Petrology and genesis of the Third Bradford Sand: Pennsylvania State Coll. Mineral Indus. Expt. Sta. Bull. 29, 134 p.

KRYNINE, P. D., 1948, The megascopic study and field classification of the sedimentary rocks: Jour. Geology, v. 56, p. 130-165.

LEE, S. G., DE FREITAS, M. H. 1989. Quantitative definition of highly weathered granite using the slake durability test. Geotechnique, 38: 635-640.

MARQUES, E.A.G., VARGAS JR, E.A. 1994. Weatherability and alteration studies of some shales and siltstones from the Recôncavo sedimentary basin. In: INTERNATIONAL IAEG CONGRESS, 7. Rotterdam. p.729–738.

MARQUES, E. A. G. 1998. Caracterização geomecânica de um perfil de intemperismo em Kinsigitos. Tese de Doutorado, Dep.de Geologia, IGEO/UFRJ, RJ, 261 p.

MARQUES, E. A. G., VARGAS JÚNIOR, E. A., ANTUNES, F. S., DOBEREINER, L. 2005 A study in the durability of some shales, mudrocks and siltstones from Brazil. *Geotechnical and Geological Engineering*, v.23, p.321 - 348.

MARQUES, E. A. G.; E.V. BARROSO, A.P. MENEZES FILHO, E. A. VARGAS JR., 2010. Weathering zones on metamorphic rocks from Rio de Janeiro - Physical, mineralogical and geomechanical characterization, *Engineering Geology*. 111: 1–18.

MARQUES, E.A.G, WILLIAMS, D.J. (2015). Weathering profiles of some sandstones from Sunshine Coast, Australia – Morphological and geotechnical approach. In: ARMA 2015 – 49th United States Rock Mechanics / Geomechanics Symposium. Proceedings...American Rock Mechanics Association. San Francisco (USA). p. 1-8.

MARQUES, E.A.G., 2015. Morphological and mineralogical characterization of weathering profiles in Some Rocks from Southeast Queensland, Australia. Technical Report. 106 p.

MENEZES FILHO, A. P. 1993. Aspectos geológico-geotécnicos de um perfil de alteração de gnaiss facoidal. Dissertação de Mestrado, DEC/PUC-RJ, 229p.

MOON, V.; JAYAWARDANE, J. 2004. Geomechanical and geotechnical changes during early stages of weathering of Karamu basalt, New Zeland. *Engineering geology*, 74: 57-72.

MORAD, S. 1991. Diagenesis of clastic sedimentary rocks. Uppsala: Department of Mineralogy and Petrology. Institute of Geology, Uppsala University, 287p.

PALMSTROM, A., 2005. Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). *Tunnels and Underground Space Technology*. 20, 362-377.

PEDRON, F, de A., Fink, J, R., Dalmolin, R, S, D., Azevedo, A, C. 2010. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em neossolos derivados de arenitos da formação caturrita no Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 34, n. 6, dez. 2010.

PETTIJOHN, F. J., 1943, Archean sedimentation: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 54, p. 925-972.

_____ 1949, *Sedimentary rocks*, 1st ed.: New York, Harper and Bros., 526 p.

_____ 1954, Classification of sandstones: *Jour. Geology*, v. 62, p. 360-365.

_____ 1957, *Sedimentary rocks*, 2d ed.: New York, Harper and Bros., 718 p

PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E.; SIECER, R. 1972. *Sand and sandstones*. Springer Verlag.

PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E. & SIECER, R. 1973. *Sand and sandstone*. New York, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag. 618p.

PEREIRA, C. T.; SIMBRAS, F. ; CANDEIRO, C. R. A. . LEVANTAMENTO DA GEOLOGIA DA BACIA BAURU (CRETÁCEO SUPERIOR) NA REGIÃO PONTAL DO TRIÂNGULO MINEIRO, MINAS GERAIS. *Horizonte Científico (Uberlândia)*, v. 6, p. 1-20, 2012.

PHILLIPS, J.D., TURKINGTON, A.V., MARION, D.A., 2008b. Weathering and vegetation effects in early stages of soil formation. *Catena* 72, 21–28.

PRICE, D. G. 2009. *Engineering geology, principles and practice*. Ed.: de Freitas, M.H., Springer-Verlag, Berlin. 442 pp.

- RADAMBRASIL.1983. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, Folha SE,22. Goiânia, vol. 31.
- RAMAMURTHY, T.; VENKATAPPA RAO, G AND SINGH, J. 1993. Engineering behavior of phyllites. *Engineering Geology*. 33, 209-225.
- RIBEIRO, D. T. P. 1997. Diagênese e Petrologia das Rochas do Membro Serra da Galga, Formação Marília, Grupo Bauru (Cretáceo da Bacia do Paraná), na Região de Uberaba, MG. 108 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, MG.
- ROCHA M., 1981. Mecânica das rochas. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 445 pp.
- RUXTON, B. P. & BERRY, L. 1957. Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 68: 1263-1292.
- SCHMIDT, E. 1951. A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59 (8): 34-35.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FULFARO, V.J.; SOBREIRO NETO, A.F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*. 10:177-185.
- SOMERS, G. F. 1988. Foundation problems of residual soils. *International Conference on Engineering Problems of Residual Soils*, Beijing, China, 1988. *Proceedings...*, p. 154-171.
- SOUSA, S. B. Desenvolvimento de um protótipo para análise dinâmica da dureza de superfícies metálicas, 2010. 78 p. Dissertação de mestrado (Ciencia e Eng. De Materias), universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Souza, J, R. 2007. RESPOSTA da Resina Epóxi ao Riscamento Esclerométrico. Grupo de Estudos de Tribologia da UFRN, Natal/RN.
- STRAETEN, C. A. V. 2013. Beneath it all: bedrock geology of the Catskill Mountains and implications of its weathering. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1298 (2013) 1–29 C_ 2013 New York Academy of Sciences.
- SUGUIO, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. São Paulo: Editora Edgar Blucher.
- TATING, F.; HACK, R.; JETTEN, V. 2013. Engineering aspects and time effects of rapid deterioration of sandstone in the tropical environment of Sabah, Malaysia. *Engineering Geology*, 159: 20-30. Doi: 10.1016/j.enggeo 2013.03.009.
- TAYLOR, R.K., SMITH, T.J. 1986. The engineering geology of clay minerals: swelling, shrinking and mudrock breakdown. *Clay Minerals*.21. 235-260 p.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. 2003. *Decifrando a terra*. São Paulo:Oficina de textos, 558p.
- VICINI, S., GAGGERO, L., PRINCI, E. 2013. Characterization, weathering, and protection of sandstones: The case of ‘Agro d’Ardesia’. *The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*. VOL. 58 N° 1.
- VIDAL, F.W.H., BESSA, M. F., LIMA, M.A.B. 1999. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. *CETEM/MCT, Série Tecnologia Mineral* 76, 30p.
- YASSAR, E. & ERDOGAN, Y. 2004. Estimation of rock physicochemical properties using hardness methods. *Engineering Geology*, 71: 281–88.