



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

FRANCISCO DIONES OLIVEIRA SILVA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E RADIOMÉTRICA DE  
UM DIABÁSIO DA REGIÃO DE APUIARÉS - CE

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO

FORTALEZA

2011

FRANCISCO DIONES OLIVEIRA SILVA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E RADIOMÉTRICA DE  
UM DIABÁSIO DA REGIÃO DE APUIARÉS - CE

Dissertação submetida à Coordenação do Programa  
de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito para obtenção do  
grau de Mestre em Geologia

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto.

FORTALEZA

2011

Silva, Francisco Diones Oliveira  
S58c Caracterização tecnológica e radiométrica de um diabásio da  
região de Apuiarés-CE / Francisco Diones Oliveira Silva. – For-  
leza : 2011.  
80 f. ; il. ; enc.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Cen-  
tro de Ciências, Departamento de Geologia. Fortaleza, 2011.  
Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais  
Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

1. Rochas ígneas. 2. Mineralogia – Apuiarés-CE. I. Nogueira  
Neto, José de Araújo. II. Título

CDD 558

FRANCISCO DIONES OLIVEIRA SILVA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA E RADIOMÉTRICA DE  
UM DIABÁSIO DA REGIÃO DE APUIARÉS - CE

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geologia. Linha de Pesquisa: Geodinâmica e Recursos Minerais,

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (Orientador)

Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Dr. Antônio Carlos Artur

Universidade Estadual Paulista – UNESP

---

Prof. Dr. Horst Frischkorn

Universidade Federal do Ceará – UFC

**A aqueles que são importantes na minha vida!**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao projeto PROCAD-NF nº 08/2008, por ter dado suporte financeiro ao desenvolvimento das análises tecnológicas e radiométricas na Universidade Estadual Paulista em Rio Claro-SP

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro, no ano de 2010 que foi primordial para a realização deste trabalho.

A FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico), pelo apoio financeiro no período de 2009.

Ao Orientador e amigo, Dr. José de Araújo Nogueira Neto, pelas oportunidades e incentivo dados a para a elaboração dessa dissertação.

Ao Prof Antonio Carlos Artur, pelo apoio e orientação na minha estadia na UNESP-Rio Claro.

Aos Professores do Departamento de Geologia, Loreci (In Memoriam), Tereza, Cajaty, Christiano, Afonso, Wellington, Irani que foram importantes nesta caminhada do Mestrado.

A companheira Gabi, pelos momentos de alegria durante o período do mestrado e nos aeroportos esperando muito tempo a conexão com outro voo.

Aos meus amigos da Geologia UFC, Ailton, Agnaldo, Adriano, Barná, Cecilio, Jackson, Ricardo, Talita (companheira de Guerra), Debora do Junior e Debora do Doutorado, Andressa, Naedja e freqüentadores da sala do Zeca.

Aos meus amigos da Geologia de Rio Claro, Igor Margalhães, Paulo Giovany (Capixaba), Cassio (de Mimoso do Sul), Thiago, Thais, Dennin, Leiliane, Denise, Simone que me ajudaram muito na minha estadia em Rio Claro

E ao amigos e amigas que me ajudaram direta e indiretamente , e em especial a minha futura noiva (Cleudiane) que agüenta viver longe de mim e me dar força pra continuar lutando pelos meus objetivos.

**Agradeço a todos vocês!!!!**

## *OTIMISMO GEOLÓGICO*

*Se, de repente, sentires  
A regressão da linha de costa  
E o downlap progradando sobre seus sentimentos,  
Dobras isoclinais e pitigmáticas apertando e  
Metamorfisando em fácies granulito o seu coração,  
Se falhas extensionais e fraturas mil deixarem  
Seus birdseyes em inunditos,  
Não fiques em tratos de mar baixo.  
Mesmo que a sedimentação episódica  
De um evento precambriano cause hiatos  
Em sua coluna stratigráfica de lembranças,  
Lembre-se que são apenas breves instantes  
Do tempo geológico,  
E que o espaço para o aporte de alegria  
Está sempre sendo criado.  
Não importa quantas fases de deformação  
Tu tens ainda que sofrer,  
Pois certamente o seu caminhar  
Terminará com um perfil de sucesso.*

*(Romário Carvalho Campelo)*

## RESUMO

O presente documento apresenta as características mineralógicas e tecnológicas de um diabásio, cujo afloramento, sob a forma de dique, está localizado no distrito de Canafístula, em Apuiarés – CE. Com o intuito de avaliar suas qualidades para aplicação como rocha ornamental, foram efetuados ensaios tecnológicos de índices físicos e físico-mecânicos, baseados em normas da ABNT, assim como medições radiométricas da quantidade de urânio, tório e potássio radioativos presentes na rocha, além da taxa de exalação de radônio. As medições radiométricas foram realizadas através da aplicação de métodos de espectrometria gama e de detecção ativa de exalação do gás radônio para o monitoramento da quantidade de  $^{222}\text{Rn}$ . Adicionado aos principais objetivos deste trabalho foram também efetuadas análises petrográficas voltadas ao reconhecimento da composição mineralógica e feições texturais dentre outras características. As análises petrográficas permitiram classificar a rocha como olivina diabásio, com textura porfirítica, mineralogicamente composto por titanaugita + plagioclásio + olivina + opacos + apatita  $\pm$  iddingsita  $\pm$  clorofeita  $\pm$  biotita. Tal litotipo possui cor cinza que varia a preto, com estrutura isotrópica. O grau de microfissuramento da rocha situa-se em torno de  $3,53/\text{mm}^2$ , em que 97,9% das fissuras são do tipo intragrão e 2,1% são do tipo intergrão. Os índices físicos apresentaram valores superiores a média para rochas siliciclásticas brasileiras, quais sejam, massa específica aparente, porosidade e absorção d'água respectivamente com  $3113 \text{ kg/m}^3$ , 0,17% e 0,06%. Os valores de resistência à compressão uniaxial também superam a média para rochas siliciclásticas brasileiras e também dentro dos limites da ASTM, com uma ótima resistência a compressão de 192 MPa. Com relação ao ensaio de flexão 3 pontos, a rocha exibiu valor de 20,4 MPa, bem superior a média para rochas siliciclásticas brasileiras e ASTM. O comportamento das amostras quando submetidas ao desgaste AMSLER, forneceu um desempenho com 0,66mm de desgaste para um percurso de 1000m, abaixo da média para rochas siliciclásticas brasileiras. As análises por espectrometria gama forneceram valores para  $^{238}\text{U}$  e  $^{40}\text{K}$ , de 0,54 ppm e 2,88 %, e quando transformados para  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , corresponderam a 6,8 e 48,3, respectivamente. A atividade de final de emissão de radônio ( $C_{\text{Rn}}$ ) e taxa de exalação de radônio (E) registraram, conteúdos de  $<0,016 \text{ Bq.kg}^{-1}$  ( $<0,432 \text{ pCi.kg}^{-1}$ ) e  $<0,002 \text{ Bq.m}^{-2}\text{h}^{-1}$  ( $<0,054 \text{ pCi.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ). Dentro deste contexto, o olivina diabásio porfirítico demonstrou possuir aplicações diversificadas como material ornamental pelas ótimas características mecânicas e baixa concentrações de elementos radioativos, bem como baixa emissão e exalação de  $^{222}\text{Rn}$ , isso devido a suas características de material de composição básica, boa resistência mecânica, baixa porosidade e baixa quantidade de microfissuramento.

## ABSTRACT

This paper presents the technological and mineralogical characteristics of a diabase, which outcrop in the form of dike is located in the district Canafístula in Apuiarés - CE. In order to assess their qualities for application as ornamental, were carried out technological tests of fitness levels and physical-mechanical, based on standards from ABNT, as well as radiometric measurements of the amount of uranium, thorium and radioactive potassium in the rock, beyond radon exhalation rate. The radiometric measurements were performed using the methods of gamma spectrometry and detection of active exhalation of radon gas to monitor the amount of  $^{222}\text{Rn}$ . Added to the main objectives of this study were also made petrographic directed to the recognition of the mineralogical composition and textural features among other features. The petrographic analysis allowed to classify the rock as olivine diabase, porphyritic texture, composed of mineralogically titanogita olivine + plagioclase + + + apatite  $\pm$  opaque  $\pm$  iddingsita cloroféita  $\pm$  biotite. This has lithotype ranging gray to black, with isotropic structure. The degree of microcracking of the rock is located around  $3.53 / \text{mm}^2$ , where 97.9% of the cracks are of the type intragrão and 2.1% are of the intergrain. The physical indices showed higher than average for siliciclastic rocks in Brazil, namely, apparent specific gravity, porosity and water absorption with respectively  $3113 \text{ kg} / \text{m}^3$ , 0.17% and 0.06%. The values of uniaxial compressive strength also exceed the average for Brazilian siliciclastic rocks and also within the limits of ASTM, with an excellent compressive strength of 192 MPa. Regarding the 3-point bending test, the rock exhibited value of 20.4 MPa, well above the average for Brazilian siliciclastic rocks and ASTM. The behavior of the samples when subjected to wear AMSLER, gave a performance with 0.66 mm wear for a journey of 1000m below the average for Brazilian siliciclastic rocks. The analysis by gamma spectrometry provided values for  $^{238}\text{U}$  and  $^{40}\text{K}$ , of 0.54 ppm and 2.88%, and when transformed into  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , corresponded to 6.8 and 48.3, respectively. The final activity of radon emanation (CRN) and radon exhalation rate (E) registered a content of  $<0.016 \text{ Bq.kg}^{-1}$  ( $<0.432 \text{ pCi.kg}^{-1}$ ) and  $<0.002 \text{ Bq.m}^{-2}\text{h}^{-1}$  ( $<0.054 \text{ pCi.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ). Within this context, the olivine diabase porphyry shown to have diverse applications such as ornamental material for optimal mechanical characteristics and low concentrations of radioactive elements as well as low emanation and exhalation of  $^{222}\text{Rn}$ , that due to its material characteristics of basic composition, good mechanical strength, low porosity and low amount of microcracking.

## Lista de Ilustrações

Figura 1.1: Localização do dique de diabásio.....	16
Figura 2.1 - Tipos de contatos minerais considerados para avaliação qualitativa (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995) (Fonte: NAVARRO, 2006).....	19
Figura 2.2: Imagem do corpo de prova na máquina de compressão uniaxial do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.....	23
Figura 2.3: Imagem do corpo de prova na máquina para o ensaio de resistência a flexão 3 pontos do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.....	24
Figura 2.4: Imagem mostrando a) corpos de prova para desgaste Amsler e b) Máquina Amsler do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.....	25
Figura 2.5: Imagem do a) moinho oscilatório utilizado para a moagem da rocha e b) amostra moída com 200 mesh dentro do moedor de ágata.....	27
Figura 2.6: Cápsula com amostra para análise de espectrometria gama.....	28
Figura 2.7: Espectrômetro de raios gama da EG & G – ORTEC do Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.....	28
Figura 2.8: Sistema espectrométrico gama instalado no LABIDRO. Modificado de DUARTE (2002).	29
Figura 2.9: Detector de radônio AlphaGUARD utilizado para medição da concentração de radônio.	31
Figura 2.10: Sistema utilizado para a medição de radônio .....	32
Figura 2.11: Esquema simplificado do sistema utilizado pra a medição da concentração de radônio as amostras de rocha. Produzido pelo autor .....	32
Figura 3.1: Fotomicrografias do Olivina Diabásio Porfírico. (1) Fenocristal de titanaugita, idiomórfica, mostrando contato plano com a matriz. (2) Cristais de olivina e titanaugita apresentando microfissuras intragrão. (3) Fenocristal de titanaugita apresentando zoneamento oscilatório. (4) Fotomicrografia mostrando minerais opacos, iddignisita e apatitas. (5) Fenocristal formado pela junção de três de titanaugita. (6) Cristais de olivina apresentando alteração pra biotita, cristais de iddignisita (cor vermelha) na borda da titanaugita e na matriz de plagioclásio. Fotomicrografia (1), (2), (4) e (6) a luz natural e (3) e (5) de nicóis cruzados.....	36
Figura 4.1: Série de decaimento do $^{232}\text{U}$ e seus filhos. Fonte: Wikipédia, 2008.....	50
Figura 4.2: Decaimento do isótopo de $^{226}\text{Ra}$ , gerando o isótopo de $^{222}\text{Rn}$ . Modificado de PEREIRA, 2009.....	51
Figura 4.3: Equilíbrio radioativo entre $^{226}\text{Ra}$ e seu filho $^{222}\text{Rn}$ (LIMA, 1993).....	52
Figura 4.4: Atividade do $^{222}\text{Rn}$ e de seus filhos em função do tempo (LIMA, 1993).....	52
Figura 4.5: Princípios da emanção de radônio proveniente de um grão mineral (modificado de TANNER, 1980).....	53

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Exemplos de massa específica aparente de diversos grupos de rochas. Fonte: Neville (1997).....	21
Tabela 2.1 : Classificação das rochas quanto à resistência à compressão simples. Fonte: ISRM (1979).....	24
Tabela 3.1: Síntese das características petrográficas do diabásio porfirítico.....	38
Tabela 3.2 – Síntese das características petrográficas do Preto Apiáí (Artur, inédito).....	39
Tabela 3.3 – Síntese das características petrográficas do Diamante Negro (Pazeto, inédito).....	40
Tabela 3.4: Resultados dos ensaios tecnológicos medidos para o olivina diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com rochas composição básica comercializadas no mercado.....	42
Tabela 3.5: Comparação dos resultados medidos para o olivina diabásio porfirítico com os da ASTM C-615(1992) e os de Frazão & Farjallat (1995).....	42
Tabela 4.1: Resultado da concentração de $^{238}\text{U}$ obtido para a amostra estudada.....	54
Tabela 4.2: Resultado da concentração de $^{40}\text{K}$ obtido para a amostra estudada.....	54
Tabela 4.3: Comparação do teor de U (ppm) do Olivina Diabásio Porfirítico com rochas de composição básica obtidas por Anjos <i>et al.</i> (2004).....	55
Tabela 4.4: Comparação do teor de $^{40}\text{K}$ (%) do Olivina Diabásio Porfirítico com rochas de composição básica obtidas por Anjos <i>et al.</i> (2004).....	56
Tabela 4.5: Concentração de atividade de $^{238}\text{U}$ e $^{40}\text{K}$ , em $\text{Bq.kg}^{-1}$ de alguns “granitos” utilizadas como rochas ornamentais. Fonte: Tzortzis <i>et al.</i> (2003).....	57
Tabela 4.6: Concentração de atividade de $^{238}\text{U}$ e $^{40}\text{K}$ , em $\text{Bq.kg}^{-1}$ do olivina diabásio porfirítico (O.D.P.).....	57
Tabela 4.7: Valores obtidos por Al-Jarallah (2001) para atividade de radônio e sua taxa de exalação nos contêiner de emanção. Fonte Al-Jarallah (2001). (AS – Arábia Saudita; U.A.E. – Emirados Árabes Unidos).....	59
Tabela 4.8: Valores obtidos do O.D.P., em ciclos de 10 minutos no detector de Rn AlphaGUARD, medidos em $\text{Bq.m}^{-3}$ .....	59
Tabela 4.9: Valores de atividade de final de emanção de radônio ( $C_{\text{Rn}}$ ) e taxa de exalação de radônio (E) obtidos do O.D.Pl.....	60

## Lista de Gráficos

Gráfico 3.1: Resultados de massa específica aparente do diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiaí (P.A.) e Diamante Negro (D.N.).....	43
Gráfico 3.2: Resultados de porosidade aparente e absorção d'água para o diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiaí (P.A.) e Diamante Negro (D.N.).....	44
Gráfico 3.3: Resultados de resistência a compressão uniaxial obtidos para o diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiaí (P.A.) e Diamante Negro (D.N.).....	45
Gráfico 3.4: Resultados de resistência a flexão 3 pontos obtidos para o diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiaí (P.A.) e Diamante Negro (D.N.).....	46
Gráfico 3.5: Resultados de resistência ao desgaste abrasivo obtidos para o diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiaí (P.A.) e Diamante Negro (D.N.) e relacionados com seus respectivos valores de porcentagem de Piroxênios (Px) e Olivina (Ol).....	47
Gráfico 4.1: Fontes de exposição à radiação (ICRP 60, 1991).....	49
Gráfico 4.2: Teor de $^{238}\text{U}$ em comparação com rochas de composição básica obtidas por Anjos <i>et al.</i> (2004).	55
Gráfico 4.3: Teor de $^{40}\text{K}$ em comparação com rochas de composição básica obtidas por Anjos <i>et al.</i> (2004).....	56

## ÍNDICE

<b>CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 - Contexto Geral de Estudo.....	13
1.2 - Problemática do Radônio.....	14
1.3 – Objetivos.....	14
1.4 - Localização e Acesso da Área de Estudo.....	15
<b>CAPITULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
2.1 – Materiais.....	17
2.2 – Métodos.....	17
2.2.1 – Levantamento Bibliográfico.....	17
2.2.2 – Trabalhos de Campo e Coleta de Amostras.....	17
2.2.3 – Análise Petrográfica.....	18
2.2.4 - Ensaio físico-mecânico .....	20
2.2.4.1 – Índices Físicos das Rochas .....	21
2.2.4.2 - Compressão Uniaxial Simples.....	22
2.2.4.3 - Resistência à Flexão (método dos três 3 pontos).....	24
2.2.4.4 - Desgaste por Abrasão Amsler.....	25
2.2.5 – Determinações Radiométricas.....	26
2.2.5.1 - Espectrometria Gama.....	26
2.2.5.2 - Detecção Ativa de <sup>222</sup> Rn e Filhos.....	30
2.2.8 - Etapa final.....	33
<b>CAPITULO 3 – CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....</b>	<b>34</b>
3.1 - Análise Petrográfica .....	34
3.2 – Resultados Físico-Mecânicas.....	41
3.2.1 - Índices físicos.....	43
3.2.2 - Resistência a Compressão Uniaxial Simples.....	44
3.2.3 - Resistência a Flexão 3 pontos.....	46
3.2.4 - Desgaste Abrasivo Amsler.....	47
<b>CAPITULO 4 – CARACTERIZAÇÃO RADIOMÉTRICA .....</b>	<b>49</b>
4.1 – Radônio .....	49
4.1.1 - Mecanismos de transporte do radônio.....	53

<b>4.2 – Resultados Espectrometria Gama.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 – Resultados Emissão de Radônio.....</b>	<b>54</b>
<b>CAPITULO 5 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>CAPITULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>
<b>CAPITULO 7 – ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

## **CAPITULO I - OBJETIVOS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PESQUISADA**

### **1.1 - Contexto Geral de Estudo**

A história da utilização de rocha como material de construção remonta ao Egito antigo, quatro milênios antes de Cristo, alcançando seu total desenvolvimento na Idade Média com a construção de catedrais por toda a Europa. Exemplos de espetaculares construções em rocha existem em todo o mundo, o que pode dar uma idéia de sua resistência e durabilidade.

Como material ornamental e de revestimento as rochas começaram a ser utilizadas na Itália por volta do ano 80 a.C. Atualmente, a aplicação ocorre principalmente no setor da construção civil, em fachadas, revestimentos de interiores, pisos, soleiras, degraus, bancadas, tampos de mesa etc. O seu emprego vem sendo cada vez mais difundido à medida que a modernização da produção promove a redução de custos e oferece melhoria na qualidade dos produtos brutos a acabados.

Com relação ao mercado de rochas ornamentais no Brasil, no 1º semestre de 2010, as exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram US\$ 457,56 milhões, correspondentes à venda de 1.053.994,81 t de materiais brutos e processados (ABIROCHAS, 2010). Em relação ao mesmo período de 2009, registrou-se uma variação positiva de 50,15% no faturamento e de 45,75% no volume físico comercializado. A variação de vendas de rochas processadas, frente a 2009, foi de 47,65% no faturamento e de 39,40% no volume físico. Para as rochas silicáticas brutas (blocos de granito), esses índices de variação foram de respectivamente 59,84% e 52,75%.

As importações brasileiras de materiais rochosos de revestimento, tanto naturais quanto aglomerados / industrializados, seguem a mesma tendência positiva das exportações, retratando, no caso, o aquecimento do mercado interno. As compras de materiais naturais somaram US\$ 21,7 milhões e 39.121,85 t, com variação de respectivamente 43,69% e 33,37% frente ao 1º semestre de 2009 (ABIROCHAS, 2010). As importações de materiais aglomerados somaram, por sua vez, US\$ 10,38 milhões e 12.544,17 t, com variação de respectivamente 71,68% e 60,92%. O preço médio desses produtos industrializados é bastante superior ao dos produtos naturais equivalentes, em se tratando de chapas.

## 1.2 - Problemática do Radônio nas Rochas

Devido à descoberta de altos níveis do gás radônio no interior de residências norte-americanas, estão sendo conduzidas várias investigações de materiais utilizados nas obras civis e dos processos naturais que controlam a sua presença. O  $^{222}\text{Rn}$ , um gás nobre radioativo de ocorrência natural, produto do decaimento da série  $^{238}\text{U}$ , vem sendo estudado mundialmente, e estima-se que em muitos casos está associado a processos epidemiológicos, porque apesar de não ficar retido nas vias respiratórias, os seus filhos  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{214}\text{Po}$  são elementos metálicos que ao decaírem podem se fixar nos pulmões causando patologias importantes na área respiratória.

Apesar das rochas apresentarem baixa atividade radiométrica, a crescente utilização de rochas como materiais de revestimento em ambientes de interiores, onde muitas vezes devido a uma baixa ventilação podem favorecer um efeito acumulativo desse gás, altamente danoso à saúde humana ao longo dos anos, tem despertado a preocupação da comunidade do setor para a quantificação e o conhecimento dos mecanismos de sua transferência para o ar (ANJOS *et. al.*, 2005; MOURA, 2005; MOURA *et al.*, 2004; 2005; 2006; 2007a, b).

Por esta razão, é extremamente importante que as concentrações de radônio sejam conhecidas em ambientes fechados, residências, minas, galerias dentre outros. Como tais concentrações estão sendo emanados de rochas e outros materiais, estas se difundem com a probabilidade de causar sérios riscos às pessoas que vivem dentro desses ambientes ou transitam pelos mesmos. (BINNS *et. al.*, 1995).

## 1.3 – Objetivos

O presente documento tem como objetivo apresentar os resultados de estudos sobre as características mineralógicas e tecnológicas sobre um dique de diabásio, denominado por Black Panter, com o intuito de obter características voltadas à aplicação como rocha ornamental e para revestimentos, por meio de ensaios tecnológicos baseados em normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), bem como avaliar as concentrações de  $^{238}\text{U}$  e  $^{40}\text{K}$  presentes na rocha e respectiva taxa de exalação de radônio, através da aplicação de métodos de espectrometria gama e detecção ativa do gás radônio.

Para se atingir os objetivos, foram realizadas as seguintes atividades:

1. Análises petrográficas, voltadas a determinação da associação mineralógica das amostras estudadas, com definição da textura, estrutura, relação de contatos, grau de microfissuramento e grau de alteração mineral;
2. Caracterização tecnológica da rocha pela determinação de índices físicos (densidade, porosidade e absorção d'água), características físico-mecânicas (compressão uniaxial simples, resistência à flexão, desgaste por abrasão - Amsler) e relacionar estas propriedades com as velocidades de ondas ultra-sônicas;
3. Quantificar a emissão do gás radônio das amostras de diabásio estudado, por meio de determinações radiométricas, estabelecendo índices de radioatividade segundo os teores de urânio, tório e potássio radioativo e correspondentes taxas de emissão de radônio, correlacionando-os entre si e às principais características petrográficas, ensejando a possibilidade de uso como rocha ornamental em condições de ambientes fechados.

#### **1.4 - Localização do dique**

O dique está localizado no município de Apuiarés, mais especificamente no distrito de Canafístula, distando aproximadamente 25 km da sede municipal.

O município de Apuiarés situa-se na porção centro-norte do Estado do Ceará, (figura 1.1), compreendendo uma área irregular de 390 km<sup>2</sup>, limitando-se com os municípios de Tejuçuoca, General Sampaio e Pentecoste. O município está localizada nas cartas topográficas S. Luís do Curu (SA.24-Y-D-VI) e Canindé (SB.24-X-A-I). A Figura 1.1 mostra a localização da área da rocha que foi estudada:

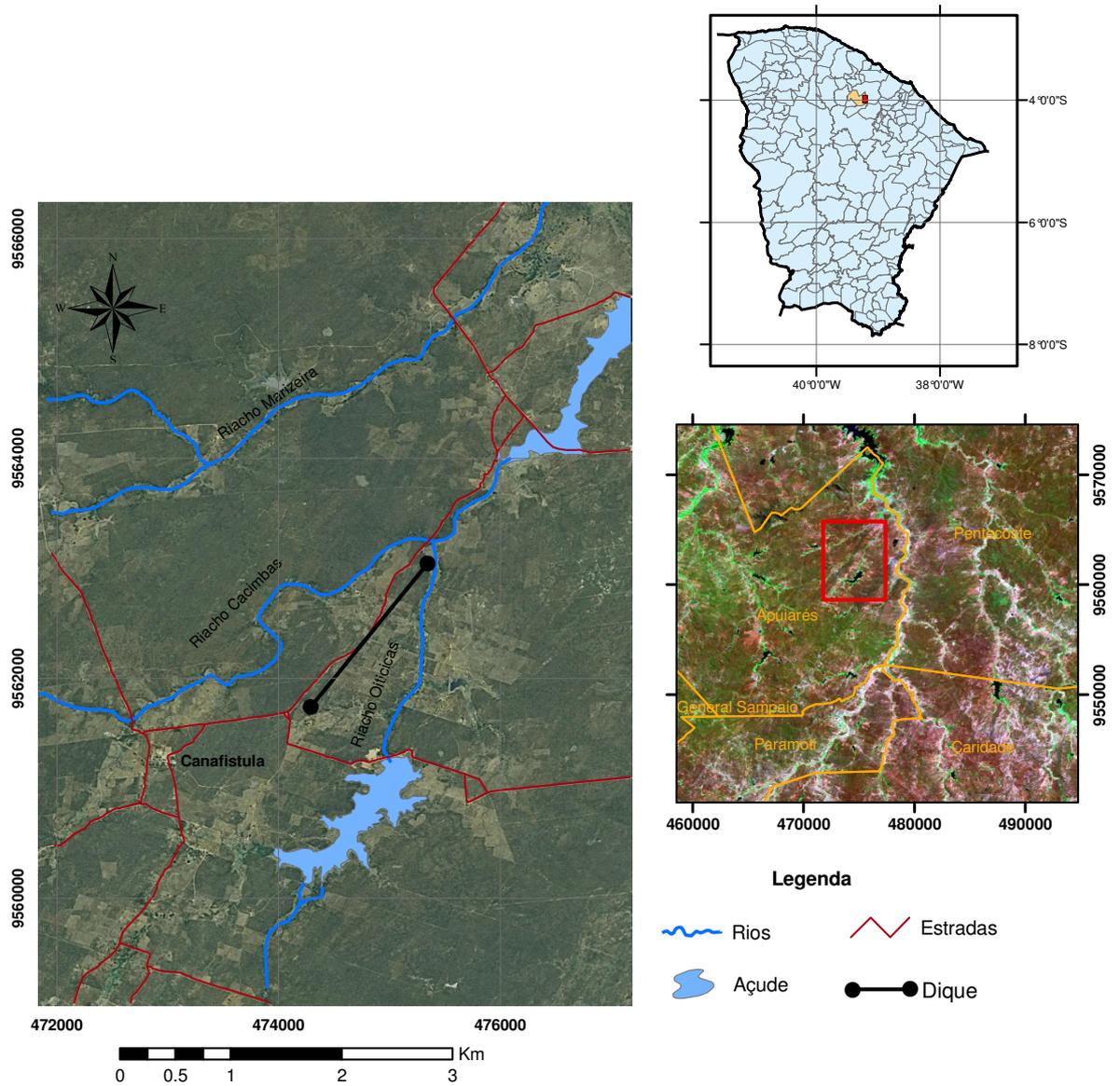


Figura 1.1: Localização do dique de diabásio.

## **CAPITULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o cumprimento dos objetivos deste trabalho, foram adotados procedimentos metodológicos envolvendo atividades de gabinete, laboratoriais e de campo. Assim as especificidades aplicadas em cada uma destas etapas vêm descritas abaixo.

### **2.1 – Materiais**

Para o presente trabalho, foram extraídos blocos de um dique de diabásio e estes foram encaminhados para o Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro onde foram confeccionados os corpos-de-prova para a realização dos ensaios tecnológicos e radiométricos.

### **2.2 – Métodos**

#### **2.2.1 - Levantamento bibliográfico**

O levantamento bibliográfico buscou pesquisar informações sobre diques de diabásio existentes da região abrangida pelo município de Apuiarés e suas rochas encaixantes, foram, então, consultadas diversas fontes bibliográficas, como relatórios de graduação, dissertações de mestrado, teses de doutorado, projetos de mapeamento, etc. Para a execução dos ensaios de caracterização de rochas ornamentais e para revestimentos foram consultadas as normas NBR's da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992), bem como descrições de métodos e técnicas utilizados em teses e dissertações, artigos em periódicos científicos, publicações em anais de simpósios e congressos. Os levantamentos sobre trabalhos voltados a determinação dos índices de radioatividade e taxa de emanção de radônio foram efetuados a partir de trabalhos publicados em revistas internacionais, bem como dissertações e teses da UNESP – Rio Claro.

#### **2.2.2 - Coleta de Amostras**

Os trabalhos de campo foram realizados com o objetivo de definir os locais de ocorrência de diques para a escolha do melhor material para sua avaliação, e a coleta de amostras.

A coleta de amostras para análises de índices físicos, físico-mecânicas, petrográficas e radiométricas, tendo em vista comparar os resultados com de outras rochas

afim de indicar possíveis utilizações do material como rocha ornamental, foram extraídos dois blocos de um dique de diabásio com medições de 30 x40x30 cm para a preparação dos corpos-de-prova.

### 2.2.3 - Análises Petrográficas

As análises petrográficas seguiram a norma NBR 12768 (ABNT, 1992a), assim como as orientações presentes em NAVARRO (1998), RODRIGUES *et al.* (1996, 1997) e ARTUR *et al.* (2001).

Como a análise petrográfica possibilita uma aferição do comportamento tecnológico das rochas, o trabalho procurou analisar e quantificar os aspectos e/ou parâmetros composicionais, texturais e estruturais, como tamanho absoluto e relativo dos minerais, forma dos minerais, relações de contatos entre os cristais, tipos e graus de alteração e de microfissuramento mineral. Assim nesta etapa foram analisadas duas seções delgadas polida, onde foram atribuídos os seguintes parâmetros:

#### **Granulação dos minerais da rocha**

A dimensão de grãos minerais em rochas para fins ornamentais merecem especial atenção, pois se trata de um parâmetro que pode influir nas propriedades físico-mecânicas e na alterabilidade do material.

Os seguintes parâmetros foram considerados para a caracterização da granulação das rochas estudadas:

- *Densa*: diâmetro médio dos cristais inferior 0,5mm;
- *Fina*: diâmetro médio predominante dos cristais 0,5 a 1,0 mm;
- *Média-fina*: diâmetro médio predominante entre 1 e 3 mm;
- *Média*: diâmetro médio entre 3 e 7 mm;

#### **Tamanho Relativo dos Minerais**

Com relação ao tamanho relativo dos cristais as rochas foram classificadas em:

- *Equigranulares*: quando os grãos minerais das rochas possuem o mesmo tamanho, ou quando as dimensões dos grãos variam dentro de uma estreita faixa;
- *Inequigranulares*: quando apresentam grãos minerais que diferem de tamanho numa relação de até 1:10, sem que os grãos maiores sobressaiam em relação aos menores;

- *Porfíricas*: quando exibem megacristais de dimensões pelo menos 5 vezes superiores a média dos grãos da matriz, sobressaindo-se nitidamente em relação às dimensões destes.

### Relações de Contatos

De acordo com as análises microscópicas realizada, os contatos entre os minerais foram classificados e divididos em três tipos básicos: plano; côncavo-convexo e serrilhado (Figura 2.1).

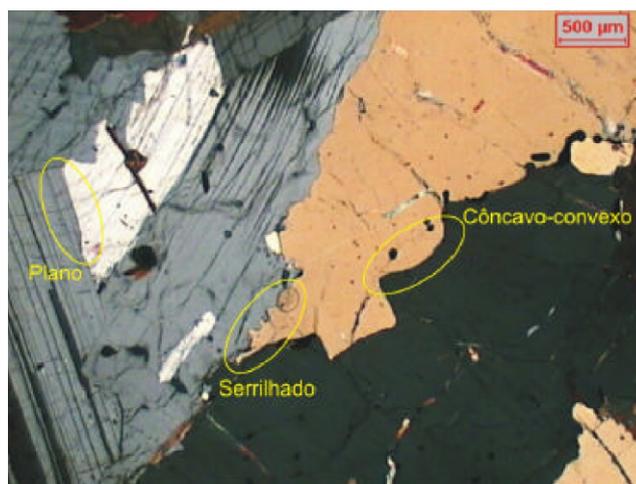


Figura 2.1 - Tipos de contatos minerais considerados para avaliação qualitativa (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995) (Fonte: NAVARRO, 2006).

Como a rocha apresenta granulação fina, a quantidade de medidas dos tipos de contato variou entre 200 a 400 contagens em toda a área das seções, as quais foram transformadas em percentuais de acordo com cada seção petrográfica analisada, para a avaliação, por exemplo, da resistência da rocha ao desgaste em ambientes externos e internos, e grau de alterabilidade da rocha.

### Grau de Alteração Mineral

A alteração sofrida pelos minerais constituintes das rochas influi na qualidade tecnológica das rochas ornamentais e de revestimento, pois a formação de neominerais mais facilmente removíveis pode aumentar o grau de porosidade da rocha, diminuir sua resistência físico-mecânica e potencializar os processos de alteração.

O grau e o tipo de alteração observados em microscópio foram analisados para cada mineral passível de alteração, tais como plagioclásios (saussuritização, sericitização, epidotização e transformação para carbonatos), feldspato potássico (sericitização, argilo-minerais) e minerais máficos (cloritização, epidotização e transformações para óxidos e

hidróxidos). De acordo com a intensidade da alteração adotou-se a classificação sugerida por NAVARRO (2002):

- *Grau de alteração intenso: > 60%*;
- *Grau de alteração moderado: > 30 a 60%*;
- *Grau de alteração incipiente: > 10 a 30%*;
- *Grau de alteração muito incipiente: > 5 a 10%*;
- *Ausente: até 5%*.

### **Densidade de Microfissuras**

A caracterização e quantificação do microfissuramento são importantes atributos, pois o grau de fissuramento pode ser determinante no comportamento da rocha quanto à porosidade, absorção d'água e resistência mecânica.

A presença de fissuras intercomunicadas acarreta um aumento do coeficiente de permeabilidade. Esse fator pode ser preponderante no surgimento de patologias, como eflorescências e manchas, ou mesmo permitir a formação e/ou alojamento de sais bem como favorecer o desenvolvimento de fungos e bactérias, podendo aumentar a velocidade do processo de deterioração da rocha.

As microfissuras são analisadas em termos de vazias ou preenchidas, localização relativa (inter ou intragrãos), existência de orientação preferencial, tipo de preenchimento e comunicabilidade entre si.

O índice de microfissuramento mineral é expresso em número de microfissuras por área (mm<sup>2</sup>) e equivale à média de contagem das microfissuras existentes nas lâminas petrográficas estudadas, dividida pela área de observação. As observações foram realizadas com o aumento da objetiva de 10X (área de 3,8 mm<sup>2</sup>), para que fosse possível uma maior precisão da quantidade de microfissuras.

### **2.2.4 – Ensaio físico-mecânicos**

A caracterização tecnológica é utilizada para avaliar as características físicas e físico-mecânicas das rochas através de ensaios normatizados pela ABNT. Neste trabalho, foram realizados os ensaios de índices físicos, resistência à compressão, resistência à flexão com três pontos e desgaste AMSLER e velocidade de pulso ultra-sônico, onde esta última, foi

relacionada aos ensaios de resistência a compressão e flexão com três pontos, na procura de uma melhor avaliação do grau de sanidade do material estudado.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogênia do curso de Geologia – UNESP/Rio Claro, seguindo as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) de 1992.

#### 2.2.4.1 - Índices Físicos das Rochas

De acordo com a norma NBR 12766 (ABNT, 1992b), são designadas de índices físicos as propriedades de massa específica aparente seca e massa específica aparente saturada, porosidade aparente e a absorção de água, onde as determinações de tais propriedades refletem várias características das rochas. Os valores de porosidade, que representam o volume de espaços “vazios” de uma rocha, e a absorção de água, que corresponde à capacidade da rocha para absorver e reter água nos seus poros e descontinuidades, são bem correlacionáveis com a resistência mecânica da rocha.

As propriedades das rochas são muito influenciadas pela absorção de água. rochas com alta absorção de água apresentam aumento na massa específica aparente saturada e na condutividade térmica, dentre outras, enquanto a resistência mecânica diminui, por enfraquecimento das ligações intergranulares.

Segundo Neville (1997), os grupos rochosos mais comuns possuem valores de massa específica aparente entre 2,6 e 2,8 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 2.1). O efeito da água contida nos poros ou cavidades rochosas reflete-se em todas as propriedades físico-mecânicas, uma vez que a densidade da água é muito maior que a do ar. Isso faz aumentar a densidade aparente da rocha, mesmo sem qualquer alteração estrutural.

Tabela 2.1: Exemplos de massa específica aparente de diversos grupos de rochas. Fonte: Neville (1997).

Grupo de rochas	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Varição
Basalto	2,80	2,6-3,0
Sílex	2,54	2,4-2,6
Granito	2,69	2,6-3,0
Arenito	2,69	2,6-2,9
Hornfels	2,82	2,7-3,0
Calcário	2,66	2,5-2,8
Quartzito	2,62	2,6-2,7

Seguindo o procedimento determinado na norma, foram confeccionados 10 cubos com dimensões em torno de 5 X 5 X 5 cm, pensando entre 230 e 270g. Os corpos-de-prova foram lavados e colocados em estufa com temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , durante 24 horas.

Após esse tempo, os corpos-de-prova foram retirados da estufa e resfriados a temperatura ambiente por 30 minutos e pesados individualmente. Os respectivos valores resultantes são designados por peso seco (massa A).

Em seguida, foi efetuada a imersão e saturação dos corpos-de-prova em água destilada por mais 24 horas, em temperatura ambiente. Após o período de 24 horas, os corpos-de-prova foram retirados da água, enxutos em suas superfícies, e pesados ao ar, determinando-se assim, o peso saturado (massa B). Logo após, efetua-se uma nova pesagem de cada corpo-de-prova. Desta vez, são imergidos em um recipiente com água destilada, suspensos e presos sobre a balança, em fio de *naylon*, para se garantir efeito de empuxe. Tal procedimento resulta no peso submerso (massa C).

Os cálculos para cada corpo-de-prova seguiram as fórmulas abaixo e, ao final, foram calculadas as médias aritméticas para os 10 valores obtidos no ensaio.

**Massa específica aparente seca  $\rho_{\text{seca}} = A / (B - C)$  (Kg/m<sup>3</sup> ou ton/m<sup>3</sup>);**

**Massa específica aparente saturada  $\rho_{\text{sat.}} = B / (B - C)$  (Kg/m<sup>3</sup> ou ton/m<sup>3</sup>);**

**Porosidade =  $((B - A) / (B - C)) \times 100$  (%);**

**Absorção de água =  $(B - A) / A \times 100$  (%).**

#### 2.2.4.2 - Compressão Uniaxial Simples

Este ensaio tem como objetivo a determinação da tensão de ruptura de um material, quando submetida a esforços compressivos. A tensão suportada varia de acordo com a composição mineralógica, a textura, o estado de alteração e a porosidade do material.

A resistência à compressão uniaxial simples permite quantificar a carga máxima suportada pela rocha quando submetida a esforços compressivos, sendo indispensável para testes de materiais pétreos destinados a funções estruturais. Este ensaio mostra as qualidades mecânicas da rocha, onde os valores obtidos fornecem uma indicação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo através da determinação do valor máximo de tensão que a rocha suporta antes de sua ruptura e também permite avaliar a integridade física do material, sobretudo para as rochas aplicadas como elementos de sustentação. Segundo CICCUCI *et al.* (1996), elevados valores de resistência à compressão implicam, de um modo

geral, baixos valores de porosidade e alta resistência à flexão. Quanto mais alterada e microfraturada for a rocha analisada, menor será o valor correspondente a esse ensaio.

A compressão foi executada em cinco corpos-de-prova de forma cúbica com arestas de aproximadamente 7cm, no estado seco submetidos a esforços compressivos, com taxa de carregamento de 600 kPa/s em uma prensa hidráulica com capacidade de 200 t (Figura 2.2). A tensão de ruptura na compressão é determinada pela relação:

$$\sigma_c = P/A,$$

onde  $\sigma_c$  é a tensão de ruptura (MPa),  $P$  é a força de ruptura (kN) e  $A$  é a área de carga do corpo-de-prova (m<sup>2</sup>).

Os valores detectados fornecem uma indicação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo, mostrando o valor máximo de tensão que a rocha suporta antes de sua ruptura. Estes valores são funções da composição mineralógica, textura, estado de alteração, microfissuramento e porosidade do material.



Figura 2.2: Imagem do corpo de prova na máquina de compressão uniaxial do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.

*A Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses* - ISRM (1979), classifica as rochas segundo a resistência à compressão uniaxial desde extremamente brandas a extremamente resistentes de acordo com o Tabela 2.2.

Tabela 2.2 : Classificação das rochas quanto à resistência à compressão simples. Fonte: ISRM (1979)

$\sigma_c$ (MPa)	Classificação
<1	Extremamente branda (solo)
1 – 5	Muito branda
5 – 25	Branda
25 – 50	Resistência média
50 – 100	Resistente
100 – 250	Muito resistente
> 250	Extremamente resistente

### 2.2.4.3 - Resistência à Flexão (método dos três 3 pontos)

Este ensaio visa determinar a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores (flexão e tração simultaneamente). Para cada amostra foram ensaiados cinco corpos-de-prova com dimensões de aproximadamente 20x10x5cm. A prensa hidráulica é a mesma usada nos ensaios de compressão, porém com uma taxa de carregamento de 4.500 N/min e apoiados em dispositivo apropriado, que possui dois cutelos inferiores (de reação) espaçados de 18 cm e um superior (de ação) posicionado ao meio da peça, em seu sentido longitudinal (Figura 2.3).



Figura 2.3: Imagem do corpo de prova na máquina para o ensaio de resistência a flexão 3 pontos do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR-12763 (ABNT, 1992d), obtendo-se a tensão de ruptura a partir da fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{3PL}{2bd^2}$$

onde  $\sigma_1$  é tensão de ruptura (MPa),  $P$  é a força de ruptura (KN),  $L$ , a distância entre os cutelos de reação (m),  $b$  largura do corpo-de-prova (m) e  $d$  é a altura do corpo-de-prova (m).

Os valores determinados indicam a tensão máxima de flexão que a rocha suporta e permitem determinar o tamanho e a espessura de placas externas (painéis) para suportar as solicitações de flexão entre outros índices, causadas pela carga de vento.

#### 2.2.4.4 - Desgaste por Abrasão Amsler

Este ensaio segue a norma NBR 12042 (ABNT, 1992e), e mede a resistência do material à solicitação abrasiva por meio da verificação na redução de espessura (em mm) que duas placas de rochas apresentam após um percurso abrasivo de 1000 metros, medidas em equipamento apropriado denominado “Máquina Amsler” (Figura 2.4). O resultado obtido do desgaste é um reflexo da mineralogia, do grau de irregularidade da superfície, do estado de agregação dos minerais e da orientação da rocha.



Figura 2.4: Imagem mostrando a) corpos de prova para desgaste Amsler e b) Máquina Amsler do Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.

Foram utilizados dois (2) corpos-de-prova com dimensões de aproximadamente 7 x 7 x 2,5cm. Inicialmente foram selecionadas as superfícies que não seriam desgastadas e as arestas enumeradas de um a quatro (1, 2, 3 e 4). Com auxílio de um micrômetro (relógio comparador), foram efetuadas as medidas iniciais nos quatro cantos dos corpos-de-prova. Os valores foram devidamente anotados em planilha.

O ensaio na Máquina Amsler é feito com dois corpos fixados nas sapatas de acoplamento que os mantêm em contato e girando em torno do seu próprio eixo, sobre um

anel de ferro fundido com perímetro de 2 metros (superfície de abrasão), tendo areia média como abrasivo, com vazão de  $76 \pm 2 \text{ cm}^3/\text{min}$ , a uma velocidade de rotação de  $0,6 \pm 0,02 \text{ rpm}$ .

Os corpos-de-prova foram então submetidos a um desgaste equivalente a 500 metros, ou 250 voltas. Retirados os corpos-de-prova da máquina, estes são limpos, invertidos e novas medidas são efetuados por mais 500 metros.

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

$$\mathbf{d = a - b;}$$

$$\mathbf{e = a - c;}$$

onde:

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

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

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

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

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

## **2.2.5 – Determinações Radiométricas**

### **2.2.5.1 - Espectrometria Gama**

A análise da espectrometria gama foi realizada no Laboratório de Isótopos e Hidroquímica (LABIDRO) do DPM/IGCE - UNESP de Rio Claro, na amostra do diabásio com o intuito de sua utilização como rocha ornamental objetivando avaliar sua radioatividade.

O método espectrométrico tem o propósito de identificar e quantificar elementos, e, em se tratando de elementos radioativos, a medida espectrometria é feita com base na propriedade da radioatividade (DUARTE, 2002).

A espectrometria de raios gama, utilizando a análise da energia dos picos possibilita a identificação direta dos radionuclídeos em amostras que emitem radiação gama. Tais determinações, assim como a espectrometria alfa ou beta, são possíveis porque as transições nucleares relacionadas com a emissão gama são específicas a cada radionuclídeo. Entretanto, a espectrometria gama tem algumas vantagens sobre os outros métodos, principalmente por causa da grande penetração dos raios gama se comparada com a das partículas alfa e beta (IVANOVICH & MURRAY, 1992).

A preparação das amostras para leituras de espectrometria de raios gama é simples e podem ser analisados diversos radioelementos de interesse simultaneamente.

### Preparação da amostra e sistema gama espectrométrico

Para a preparação da amostra para aplicação da análise de espectrometria gama iniciou-se com o corte ou quebra do material, britagem, quarteamento e pulverização da amostra a ser analisada. O corte ou quebra do material teve por finalidade diminuir o tamanho dos fragmentos da amostra, variando de 0,5 a 2 cm, para sua britagem e para retirada de porções alteradas. A britagem foi realizada em britadores de mandíbula e posteriormente foi levado a moinho oscilatório de ágata e moídos por um período de aproximadamente 15 minutos para que fosse alcançada a granulometria inferior a 200 mesh (Figura 2.5).



Figura 2.5: Imagem do a) moinho oscilatório utilizado para a moagem da rocha e b) amostra moída com 200 mesh dentro do moedor de ágata.

Após a pulverização foi feito o acondicionamento das amostras em cápsulas de alumínio para uso da espectrometria gama (Figura 2.6). O alumínio foi escolhido porque apresenta menor perda de radônio em relação a frascos de plástico. Entre o acondicionamento das amostras nas cápsulas e a leitura espectrométrica, a amostra foi colocada em repouso por 30 dias para que seja atingido o equilíbrio radioativo secular entre o  $^{226}\text{Ra}$  e seus filhos de meia vida curta. Após este período é feita a leitura da amostra no sistema espectrométrico gama, instalado no LABIDRO da UNESP de Rio Claro.



Figura 2.6: Cápsula com amostra para análise de espectrometria gama

Este sistema é formado por uma blindagem de chumbo onde estão colocados o pré-amplificador e o cristal cintilador de NaI(Tl), sendo que estes estão conectados a uma fonte de alta tensão (Figura 2.7). É nesta blindagem de chumbo que é inserida a amostra acondicionada no recipiente de alumínio. Do pré-amplificador parte um cabo que conduz o sinal ao amplificador, e deste para o multicanal ligado ao microcomputador que processa o sinal efetuando a sua contagem (DUARTE, 2002).



Figura 2.7: Espectrômetro de raios gama da EG & G – ORTEC do Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do DPM/IGCE – UNESP/Rio Claro.

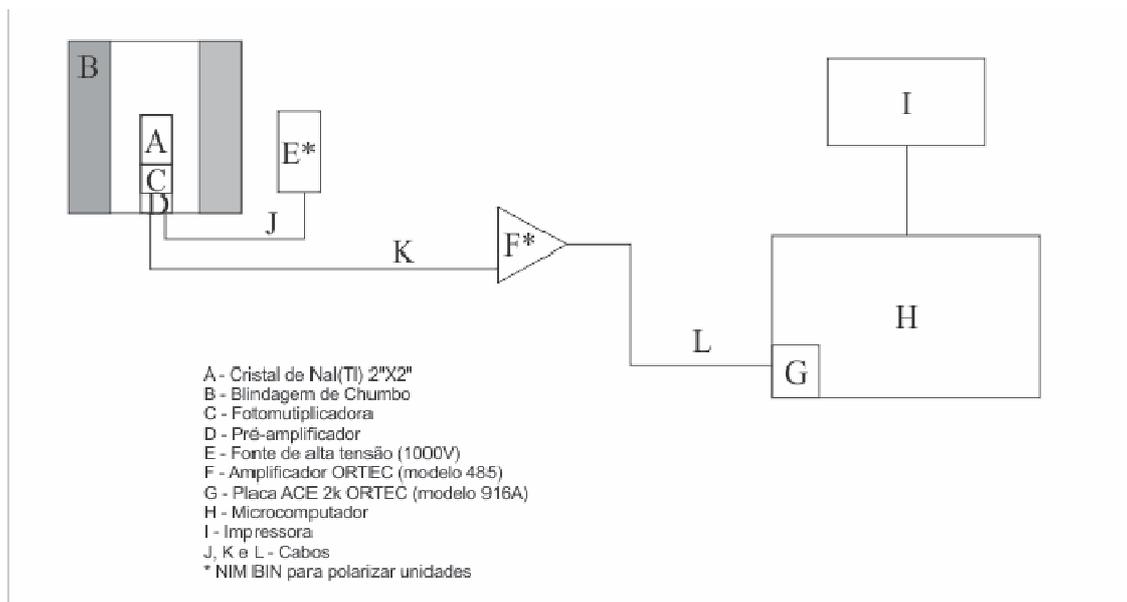


Figura 2.8: Sistema espectrométrico gama instalado no LABIDRO. Modificado de DUARTE (2002).

O espectrômetro de raios gama é composto de um sensor gama e circuitos eletrônicos que separam a radiação incidente no cristal em dois ou mais componentes de energia. Em decorrência da interação entre a radiação gama emitida pela fonte radioativa e um cristal cintilador de NaI(Tl) são produzidos pulsos de pequena amplitude no ânodo de uma fotomultiplicadora, sendo que para que sejam detectados, cada pulso é pré-amplificado e aplicado a um amplificador, onde é conformado para ser analisado no próximo estágio (Bonotto, 1990). Os pulsos que são produzidos apresentam alturas variáveis que dependem diretamente da energia das radiações, onde depois que são discriminados de acordo com suas alturas, fornecem espectros relacionados com a energia da radiação gama emitida nas transições nucleares (BONOTTO, 1990; DUARTE, 2002).

O processamento dos dados obtidos é efetuado através do software Maestro II, da EG & G - ORTEC, instalado no sistema disponível no LABIDRO.

Como existem três tipos de isótopos naturais do gás radônio,  $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  e  $^{222}\text{Rn}$ , cada um gerado a partir de uma série de decaimento radioativo originado dos elementos  $^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  e  $^{238}\text{U}$  respectivamente, o método da espectrometria gama permite quantificar tais elementos, sendo que essa técnica utilizada tem por objetivo de determinar as concentrações de U e Th em ppm e K em %, ou em atividades radioativas em Bq/kg desses elementos no litotipo estudado para rochas ornamentais. Contudo, devido a adaptações no cristal no equipamento de medição, foram obtidos somente os espectros do urânio e do potássio radioativo e, conseqüentemente, não foi possível obter a radioatividade total do material.

### 2.2.5.2 - Detecção Ativa de $^{222}\text{Rn}$ e Filhos

O método de detecção da exalação do gás radônio descrita neste trabalho esta sendo desenvolvida pelo Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE – UNESP de Rio Claro para a sua aplicação na medição da taxa de exalação de radônio das rochas.

Para a determinação da atividade de radônio existem duas técnicas: a amostragem passiva e ativa. A amostragem passiva de radônio não requer de energia elétrica utilizando filtros plásticos e a amostragem ativa de radônio requer energia para realizar a medição.

Exemplos de sensores que podem medir níveis de radônio incluem detectores de traço alfa, dispositivos de absorção de carvão ativado, e o monitor AlphaGUARD. Detectores de traço Alfa são dispositivos de amostragem passiva de radônio. Eles contem um fino pedaço de plástico ou filme montado no detector. O radônio flui no detector através de uma abertura no filtro. Como o radônio dentro do detector decai, as partículas alfa emitidas atingem o filme formando traços no filme. Os traços são contados para determinar a concentração de radônio. Estes detectores não são muito eficientes na medição de altas concentrações de radônio (SPEELMAN *et. al.*, 2004).

O monitor de radônio AlphaGUARD é um sensor de amostragem ativa continua de radônio. Ele possui uma câmara de ionização e usa espectroscopia alfa para detectar o radônio. Os dois isótopos de radônio mais comum ( $^{222}\text{Rn}$  e  $^{220}\text{Rn}$ ) são identificadas através de suas respectivas energias do decaimento alfa (SWAKON *et. al.*, 2004). O sinal gerado da detecção alfa é convertido em um sinal. Este sinal pode ser lido pelo AlphaGUARD ou computador. O AlphaGUARD é ideal para aplicações na exalação de radônio, radônio no solo, interior, exterior, nas minas e nas medições de radônio em reservatórios de água.

#### O Detector

O detector AlphaGUARD é designado para monitoramento da concentração de radônio a logo prazo e o aparelho registra simultaneamente em seus sensores a temperatura ambiente, umidade relativa e pressão atmosférica. Ele possui sensibilidade de medição que varia de 2 a 2.000.000 Bq/m<sup>3</sup> (0,05 a 50.000 pCi/l).

O AlphaGUARD (Figura 2.8) mede as concentrações de radônio utilizando espectroscopia alfa 3D. Existe um atraso no sinal devido ao tempo requerido para a difusão do radônio dentro da câmara de ionização. Quando exposto a uma mudança na concentração de

radônio, o AlphaGUARD vai chegar a 30% do novo valor de concentração após 10 minutos, 70% após 20 minutos e 90% após 30 minutos.



Figura 2.9: Detector de radônio AlphaGUARD utilizado para medição da concentração de radônio.

### **Armazenamento das amostras e leitura**

Da rocha de estudo, o diabásio, foram cortados 4 filetes da amostra com formato prismático, apresentando cada um deles dimensões de 25 x 4,5 x 2cm. Após os cortes, as amostras foram levadas a estufa por um período 24 horas, a temperatura de 70°C, para a retirada de umidade das amostras. Depois da retirada e resfriamento a temperatura ambiente, as amostras foram colocadas em garrafões com capacidade de 19 litros (Figura 2.9).

As amostras foram condicionadas nesse garrafão, lacrados com rolhas de borracha apresentando válvulas de saída e entrada de ar. A partir daí, as amostras foram colocadas no vácuo a pressão de 400 mmHg, logo após fechando as válvulas para que obtivesse o fechamento do sistema, conforme o mostrado na figura 2.10.

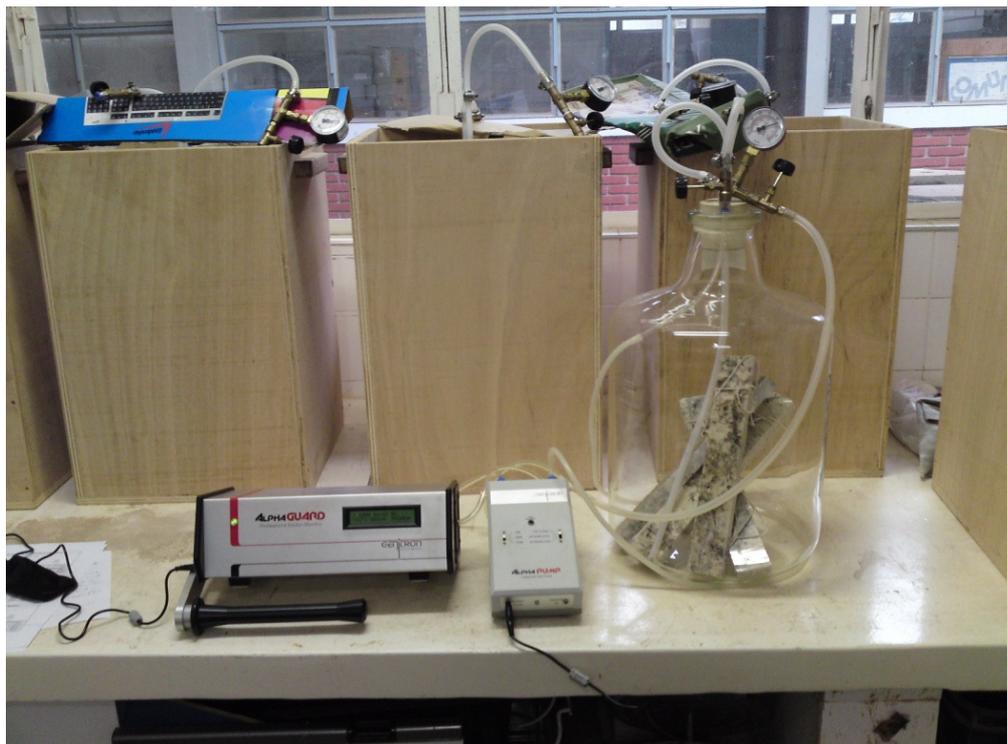


Figura 2.10: Sistema utilizado para a medição de radônio

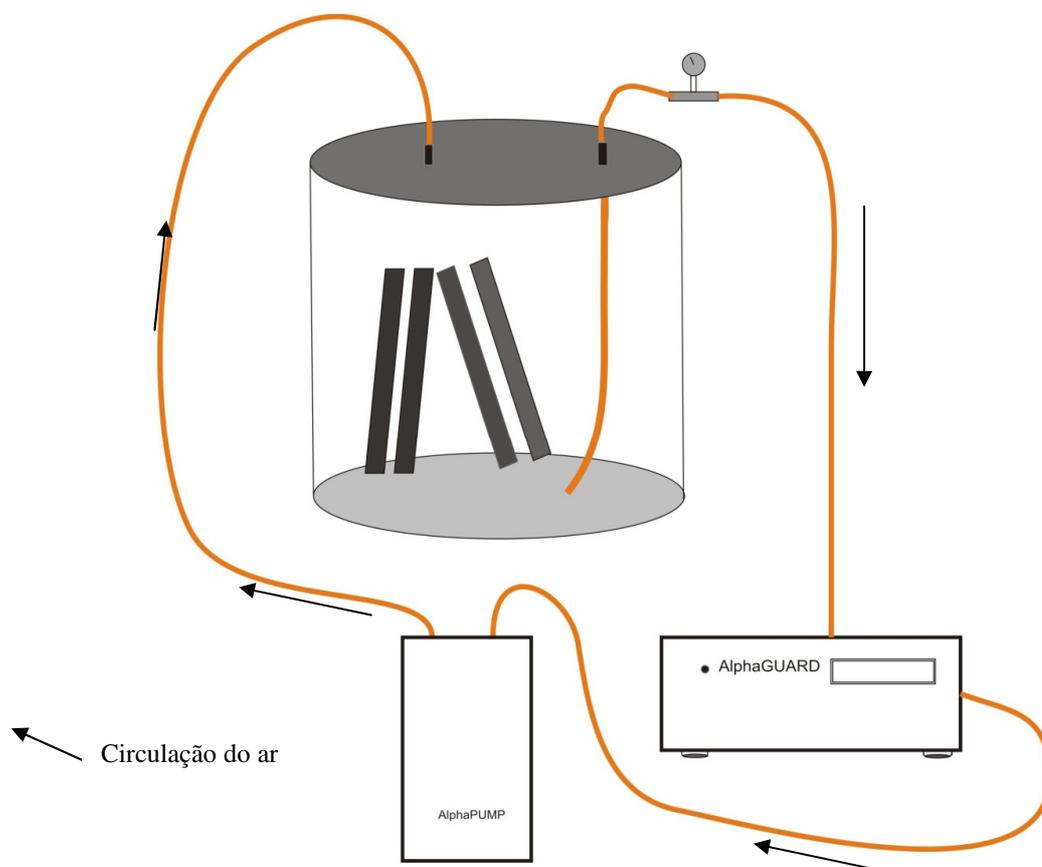


Figura 2.11: Esquema simplificado do sistema utilizado pra a medição da concentração de radônio as amostras de rocha. Produzido pelo autor.

A concentração de radônio emanado de cada amostra dentro do contêiner de emanção foi calculada pela acumulação pelo tempo e ele foi medido em ciclos de 10 minutos por um tempo médio de 30 minutos. A acumulação da atividade de radônio dentro do contêiner de emanção segue a equação (AL-JARALLAH, 2001):

$$A_t = A_0(1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

onde  $\lambda$  é a constante de decaimento do nuclídeo em questão e  $A_0$  é o valor final de atividade em  $t \sim 7T_{1/2}$ , que é de aproximadamente 27 dias para o radônio. A taxa de exalação de radônio por unidade de área do diabásio,  $E$ , é definido como o fluxo de radônio liberado na superfície do material. Este foi calculado usando a seguinte formula (BARTON & ZIEMER, 1986; AL-JARALLAH, 2001):

$$E = A_0 \lambda(V/F) \quad (2)$$

onde  $\lambda$  é a constante de decaimento do radônio ( $7,567 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$ ),  $V$  é o volume do contêiner de emanção (19 l ou  $19 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ) e  $F$  é a área da superfície total das amostras. A unidade da taxa de exalação de radônio ( $E$ ) é em  $\text{Bq m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . A atividade de final de radônio emanado por percentual de massa  $C_{\text{Rn}}$  foi calculado usando a seguinte formula:

$$C_{\text{Rn}} = A_0 V/m$$

onde  $m$  é a massa das amostras e  $A_0$  e  $V$  são definidos na equação (1) e (2), respectivamente. A unidade da  $C_{\text{Rn}}$  é  $\text{Bq kg}^{-1}$ .

Os dados obtidos para o diabásio porfiritico foram correlacionados com a análise petrográfica e índices físicos obtidos na caracterização tecnológica e posteriormente com os resultados obtidos por AL-JARALLAH, 2001 para avaliar se o material possui alta concentração de radônio.

#### 2.2.2.8 - Etapa final

Os dados obtidos em campo e pelos ensaios laboratoriais acima citados, foram tratados, integrados e interpretados, e subsidiaram a confecção do texto final da dissertação.

## CAPITULO 3 - CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Neste capítulo, são apresentados os resultados da análise petrográficas e das determinações das propriedades físicas e mecânicas (caracterização tecnológica) do diabásio. Os resultados físico-mecânicos obtidos são discutidos em função das características petrográficas da rocha estudada virando a definição de propriedades petrográficas capazes de explicarem o comportamento tecnológico da rocha durante o uso em obras civis. Os resultados também foram comparados com alguns litotipos máficos cedidos por Atur (inédito) e Pazeto (inédito), os quais já são aplicados como rochas ornamentais, e estes estão descritos de forma simplificada nas tabelas 3.2 e 3.3 e serão utilizadas para comparação com os ensaios físico mecânicos.

### 3.1 - Análise Petrográfica

#### **Olivina Diabásio Porfirítico (O.D.P.)**

O olivina diabásio corresponde a uma rocha de cor cinza escuro com variações para preto, estrutura isotrópica e textura porfirítica. Esta rocha não exhibe manchamentos ou irregularidades na textura que venham a comprometer o padrão estético para uso como rocha ornamental.

A rocha possui mineralogia composta por titanaugita (38%), plagioclásio (32%), olivina (18%), opacos (7%), apatita (3%) e acessórios (2%) que são compostos por iddingsita, clorofeita e biotita, como mostra a Tabela 3.1.

A textura porfirítica exibida pela rocha se caracterizada por megacristais euédricos a subédricos de titanaugita, medindo de 1 a 8mm, com predominância de cristais de 2 a 5mm, de forma hexagonal nas seções basais ao prisma, onde alguns destes fenocristais são constituídos por 2 ou mais cristais, sendo que em alguns ocorrem um zoneamento oscilatório. Os cristais de titanaugita estão dispostos em uma matriz fina, que varia de 0,3 a 0,5mm, constituída de plagioclásio, olivina e óxidos de ferro, distribuídas aleatoriamente. Os contatos entre os grãos minerais apresentam-se em maior quantidade como do tipo côncavo-convexo e plano, com bom engrenamento. O tipo plano ocorre em maior quantidade no contato entre os cristais de titanaugita e os outros grãos minerais da matriz, por vezes, a olivina também mostra comportamento similar. A olivina ocorre em grãos com dimensões de 0,5 a 2 mm,

geralmente apresentando formas subédricas (subidiomórficas) e anédricas (xenomórficas) quando constituídos de cristais isolados na matriz. A olivina pode ocorrer inclusa e/ou parcialmente inclusa nas bordas de titanaugita, e neste caso, geralmente apresentam contatos do tipo côncavo-convexo. O tipo serrilhado é mais freqüentes em grãos subédricos de olivina e titanaugita quando estes estão em contato com plagioclásio da matriz.

Os plagioclásios são os principais constituintes da matriz da rocha, em dimensões que variam de 0,3 a 0,7mm de comprimento, dispostos de forma irregular na rocha, com um bom engrenamento entre os seus contatos minerais.

Os opacos são constituídos, sobretudo por magnetita, possuem formas anédricas e aparecem dispersos em toda a rocha, tanto na matriz em conjunto com plagioclásio e olivina, quanto nas bordas e em algumas fraturas mais externas de titanaugita. Apresentam dimensões inferiores a 0,4 mm e geralmente formam aglutinação de grãos menores. Provavelmente foram gerados a partir da alteração da olivina.

A apatita está presente em meio a matriz, sendo incolor e de forma acicular muito fino, com formato hexagonal dos cristais vistos na seção basal, dispostos de maneira aleatória pela matriz, perfazendo cerca de 3% dos minerais da rocha. Possuem dimensões máximas de 0,7mm.

A iddingsita e clorofeita ocorrem na rocha gerada a partir de produtos de alteração da olivina. A iddingsita ocorre na matriz, nas bordas e/ou dentro de cristais de titanaugita apresentando formas anédricas, coloração vermelho-sangue a vermelho claro, cujos grãos variam de 0,1 a 1mm de comprimento.

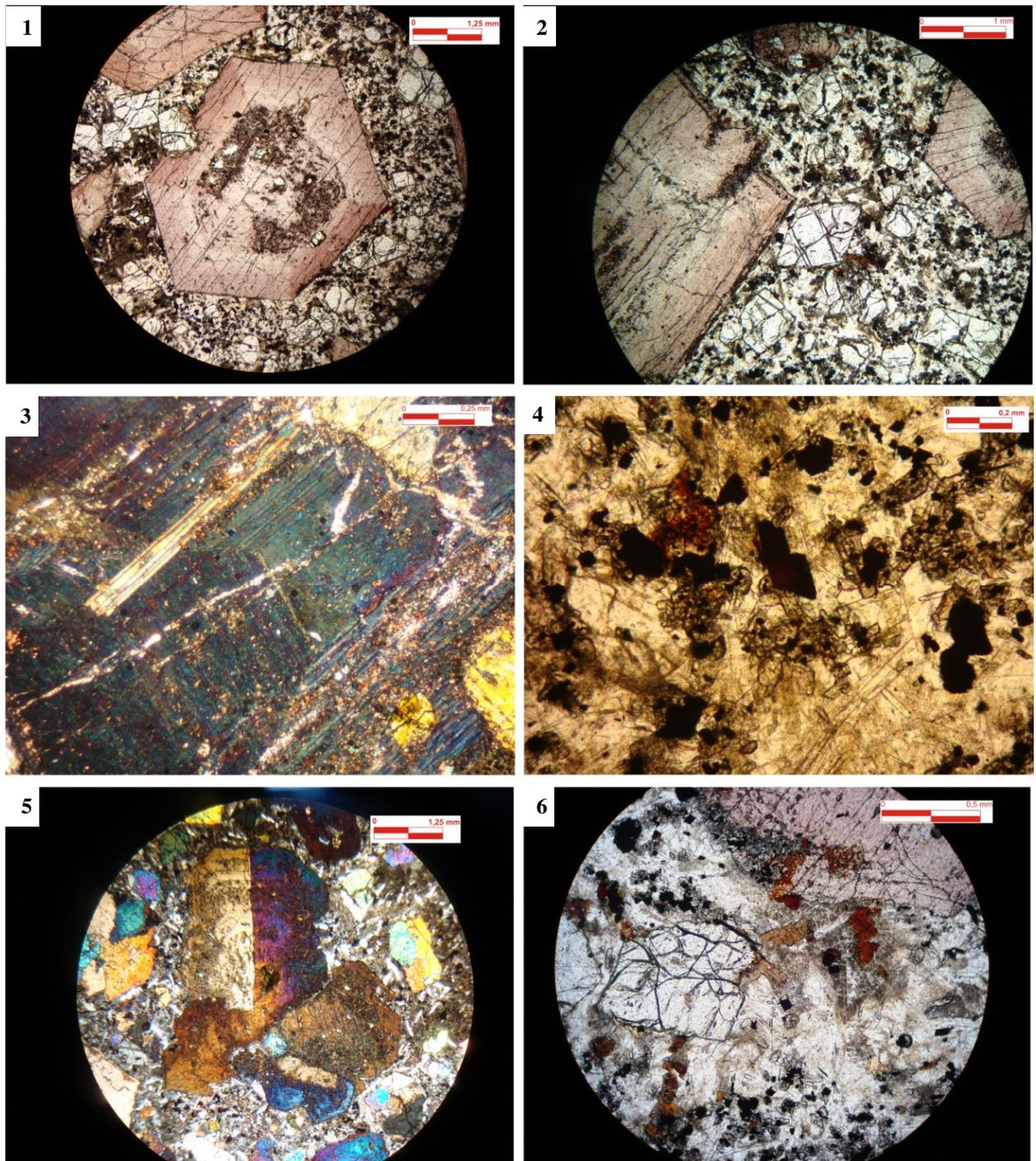


Figura 3.1: Fotomicrografias do Olivina Diabásio Porfírico. (1) Fenocristal de titanogita, idiomórfica, mostrando contato plano com a matriz. (2) Cristais de olivina e titanogita apresentando microfissuras intragrão. (3) Fenocristal de titanogita apresentando zoneamento oscilatório. (4) Fotomicrografia mostrando minerais opacos, iddignisita e apatitas. (5) Fenocristal formado pela junção de três de titanogita. (6) Cristais de olivina apresentando alteração para biotita, cristais de iddignisita (cor vermelha) na borda da titanogita e na matriz de plagioclásio. Fotomicrografia (1), (2), (4) e (6) a luz natural polarizada e (3) e (5) a luz ortoscópica.

A rocha apresenta uma média de densidade em microfissuras de 3,53/mm<sup>2</sup>, reconhecida como de alto grau, por outro lado 97,9% das fissuras são do tipo intragrão, cuja presença em maior frequência esta restrita aos cristais de olivina e titanaugita. Apenas 2,1% destas microfissuras são do tipo intergrão, e geralmente limitadas ao contato entre titanaugita e a matriz. As dimensões das microfissuras intragrãos variam de 0,5 a 4 mm de comprimento, com cerca de 70% registradas nos grãos de olivinas, e os restantes 30% estão dispostos em cristais de titanaugita. Na olivina as microfissuras exibem comprimentos que variam entre 0,5 a 1,5mm, enquanto na titanaugita, variam de 0,5 a 3,5 mm, com fissuras irregulares e retas.

Nas amostras analisadas não foram identificadas fortes alterações, presentes em porções restritas da lâmina, de forma incipiente como turvação nos grãos de plagioclásio da matriz. Foram reconhecidas alterações de algumas olivinas, com geração de iddingsita, clorofeita, óxidos de ferro e biotita, entretanto não comprometem a durabilidade e resistência da rocha, como demonstram os ensaios de caracterização tecnológica.

Nas tabelas 3.1, 3.2 e 3.3, estão dispostas de forma reduzidas as principais características das rochas utilizadas como comparativo para a análise petrográfica, bem como estas foram utilizadas para os ensaios físico-mecânicos.

Tabela 3.1: Síntese das características petrográficas do diabásio porfirítico..

<b>Características Petrográficas</b>		<b>O.D.P.</b>
Mineralogia (%)	Titanaugita	38
	Plagioclásio	32
	Olivina	18
	Opacos	7
	Apatita	3
	Iddingsita, Clorofaeita, biotita	2
Granulação (mm)	Variação	0,1 a 8
	Predominância	2 a 5
	Matriz	0,1 a 1
	Fenocristal	1 a 8
Microfissuras	Total/mm <sup>2</sup>	3,53
	Intragrão (%)	97,9
	Intergrão (%)	2,1
	Comunicabilidade	Muito baixa
Contatos (%)	Côncavo/Convexo	37,9
	Dentado	28,4
	Plano	33,7
Alteração Mineral	Titanaugita	Fraco/Incipiente
	Plagioclásio	Fraco
	Olivina	Fraco/Incipiente
Coloração		Preta
Estrutura		Isotrópica
Textura		Porfirítica
Granulação		Fina
Classificação Petrográfica		Olivina Diabásio Porfirítico

Tabela 3.2 – Síntese das características petrográficas do Preto Apiaí (Artur, inédito).

<b>Mineralogia %</b>		<b>Preto Apiaí</b>
Quartzo		< 2,5
Feldspato Potássico		< 2,5
Plagioclásio		61,0
Biotita		< 1,0
Hornblenda		4,6
Piroxênio		30,6
Opacos		< 2,5
Apatita/titanita/ zircão/granada		< 2,5
Sericita/epidoto/ clorita/carbonatos/ argilo-minerais		Tr
Granulação	Variação	0,2 mm a 2,0 cm
	Predominância	Fina-Média
Classificação (QAP)		Gabro-norito
Cor da Rocha		Cinza-Escuro
Estrutura		Isotrópica
Textura		Equi-granular
Grau de Alteração		Incipiente

Tabela 3.3 – Síntese das características petrográficas do Diamante Negro (Pazeto, inédito)

Características Petrográficas		Diamante Negro	
Coloração		Preta	
Estrutura		Isotrópica	
Textura		Fanerítica Equigranular	
Matriz		Fina	
Mineralogia (%)	Quartzo	tr	
	Feldspato potássico	tr	
	Plagioclásio	48,0	
	Biotita	1,0	
	Anfibólio	6,5	
	Piroxênio	36,0	
	Opacos	5,5	
	Apatita	tr	
	Zircão	tr	
	Sericita/Muscovita	tr	
	Actinolita	3,0	
Carbonatos	tr		
Total máficos (%)		52,0	
Granulação (mm)	Variação	0,5 a 2,0	
	Predominância	0,6 a 1,0	
Microfissuras	Total/mm <sup>2</sup>	0,13	
		Abertas	Preenchidas
	Intragrão (%)	80,0	5,0
	Intergrão (%)	13,0	2,0
	Comunicabilidade	Baixa	
Contato Mineral (%)	Lobulado/engrenado	41,0	
	Plano	45,5	
	Côncavo-convexo	13,5	
Alteração Mineral			
	Plagioclásio	Incipiente	
	Biotita	Ausente	
	Piroxênio	Moderado	
Classificação Petrográfica		Microgabro	

### **3.2 – Resultados Físico-Mecânicas**

Os resultados das análises físico-mecânicas do O.D.P. encontram-se reunidos na Tabela 3.4, assim como os dados das rochas Preto Apiai (P.A.) e Diamante Negro (D.N.) que serão utilizados para efeitos de comparativo. Os resultados também serão representados em gráficos de correlações ao longo do texto. As discussões e interpretações dos resultados obtidos para os ensaios tecnológicos, em termos da qualificação dos materiais, baseiam-se na análise comparativa dos valores limítrofes divulgados pela literatura pertinente e, fundamentalmente, nos valores fixados pela norma ASTM (C 615) (1992) e àqueles valores médios medidos no trabalho de Frazão e Farjallat (1995), conforme representados na Tabela 3.5.

Tabela 3.4: Resultados dos ensaios tecnológicos medidos para o olivina diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com rochas composição básica comercializadas no mercado.

Rocha/ Ensaios	Classificação Petrográfica	Massa Específica Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )		Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)	Compressão Uniaxial (MPa)	Flexão 3 Pontos (MPa)	Desgaste Abrasivo p/ 1000 m (mm)
		Seca	Saturada					
O.D.P.	<b>Olivina Diabásio Porfirítico</b>	<b>3113</b>	<b>3115</b>	<b>0,17%</b>	<b>0,06%</b>	<b>192,0</b>	<b>20,4</b>	<b>0,66</b>
Preto Apiaí (ES)	Gabronorito	3045	3048	0,23%	0,07%	255,6	26	0,76
Diamante Negro (BA)	Microgabro	3100	3103	0,26%	0,08%	196,10	22,10	0,76

Tabela 3.5: Comparação dos resultados medidos para o olivina diabásio porfirítico com os da ASTM C-615(1992) e os de Frazão &amp; Farjallat (1995)

ENSAIOS	ASTM C 615	FRAZÃO & FARJALLAT	Olivina Diabásio Porfirítico
Massa Especifica Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	≥ 2,560	≥ 2,550	3,113
Porosidade Aparente (%)	n.e.	≤ 1,0	0,17
Absorção d'água (%)	≤ 0,4	≤ 0,4	0,06
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	≥ 131,0	≥ 100,0	192,0
Flexão 3 Pontos (MPa)	≥ 10,34	≥ 10	20,4
Desgaste Amsler para 1000m (mm)	n.e.	≤ 1,0	0,66

## 3.2.1 - Índices físicos

A determinação dos índices físicos (massa específica, porosidade e absorção d'água) da rocha são fundamentais para o estudo de rochas ornamentais e de revestimento, pois estas propriedades refletem diretamente em várias características das rochas, como resistência à compressão, resistência à flexão, alterabilidade, manchamentos, entre outros.

Uma síntese dos resultados obtidos dos índices físicos estão dispostos na Tabela 3.4. Visando um conhecimento mais amplo dos comportamento desses resultados fornecidos pela rocha foi correlacionado com os valores de microfissuramento intragrão e intergrão obtidos na análise petrográfica da rocha estudada. Estas correlações estão representadas nos gráficos 3.1 e 3.2.

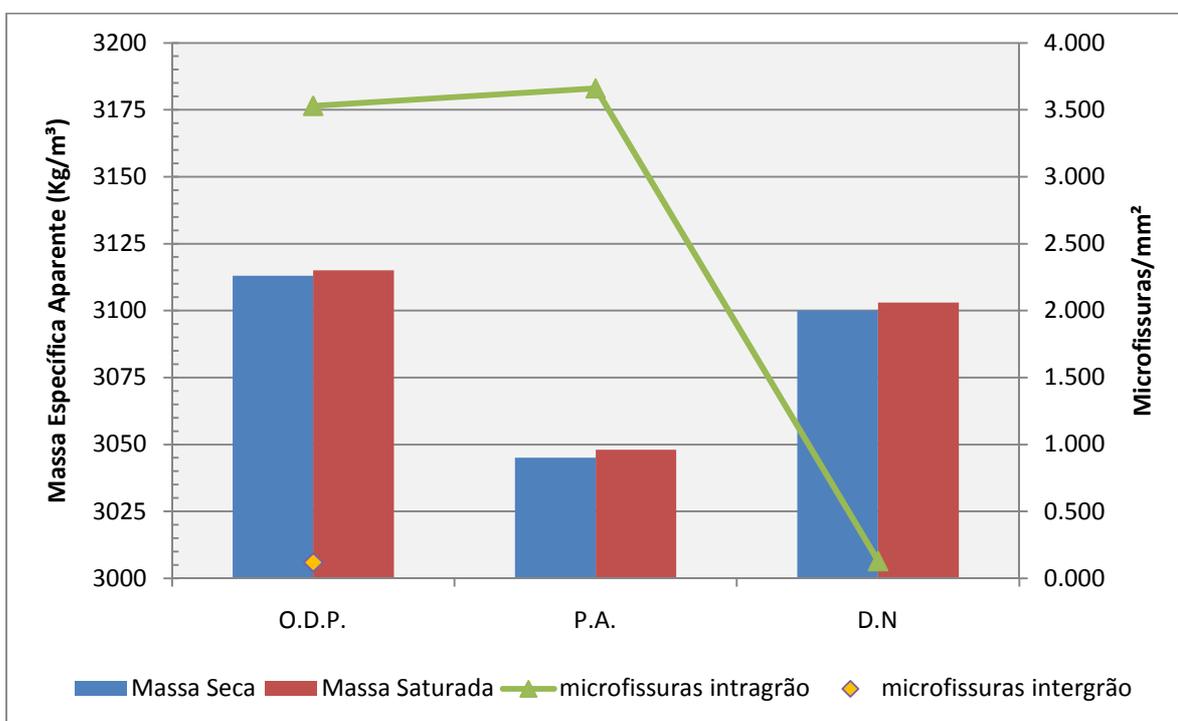


Gráfico 3.1: Resultados de massa específica aparente do diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiaí (P.A.) e Diamante Negro (D.N.).

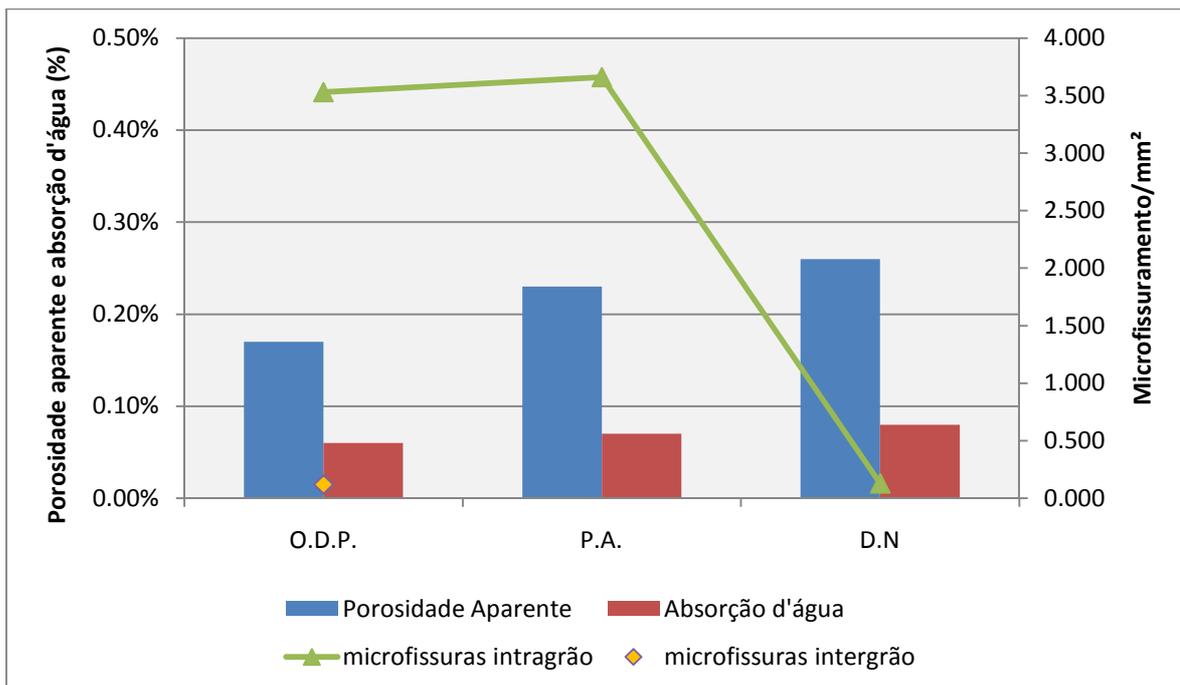


Gráfico 3.2: Resultados de porosidade aparente e absorção d'água para o diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiá (P.A.) e Diamante Negro (D.N.).

A análise conjunta dos resultados em relação a massa específica aparente, porosidade e absorção de água indicam que material estudado apresenta qualidades superiores a dos valores médios obtidos por Frazão & Farjallat (1995). A massa específica aparente apresentou valor de 3113 kg/m<sup>3</sup> e os valores de porosidade e absorção d'água mostraram valores de 0,17% e 0,06%, respectivamente. Quando relacionados aos dados comparativos (Gráficos 5.1 e 5.2), o diabásio porfirítico apresentou massa específica um pouco superior a dos demais valores especificados obtidos de rochas máficas. Este fato deve a características composicionais do material, como minerais com densidade alta e estrutura muito compacta.

A porosidade (0,17%) e absorção de água (0,06%) são praticamente iguais com os descritos na literatura, mas apresentando valores um pouco inferiores. Este fato deve-se a presença de um bom engrenamento mineral que, apesar do elevado microfissuramento intragrão (3,53/mm<sup>2</sup>), estas não apresentam comunicabilidade entre se e os minerais ficando apenas restritos a alguns cristais mostrando em torno de 0,12/mm<sup>2</sup>, inferindo uma baixa absorção de água.

### 3.2.2 - Resistência à Compressão Uniaxial Simples

A ISRM (1979) classifica as rochas segundo a resistência à compressão simples desde extremamente brandas a extremamente resistentes, de acordo com a Tabela 2.2. Valores

limites de resistência à compressão para rochas com fins ornamentais são estipulados pela ASTM-C-615 (ASTM, 1992) como maior ou igual a 130 MPa. Frazão & Farjallat (1995) indicam um valor médio resistência à compressão igual ou superior a 100 MPa para rochas silicáticas (Tabela 3.5), baseados em valores estatísticos de mais de uma centena de rochas brasileiras. O gráfico 3.3 relaciona os resultados obtidos para o O.D.P. e com os dados do P.A. e o D.N.

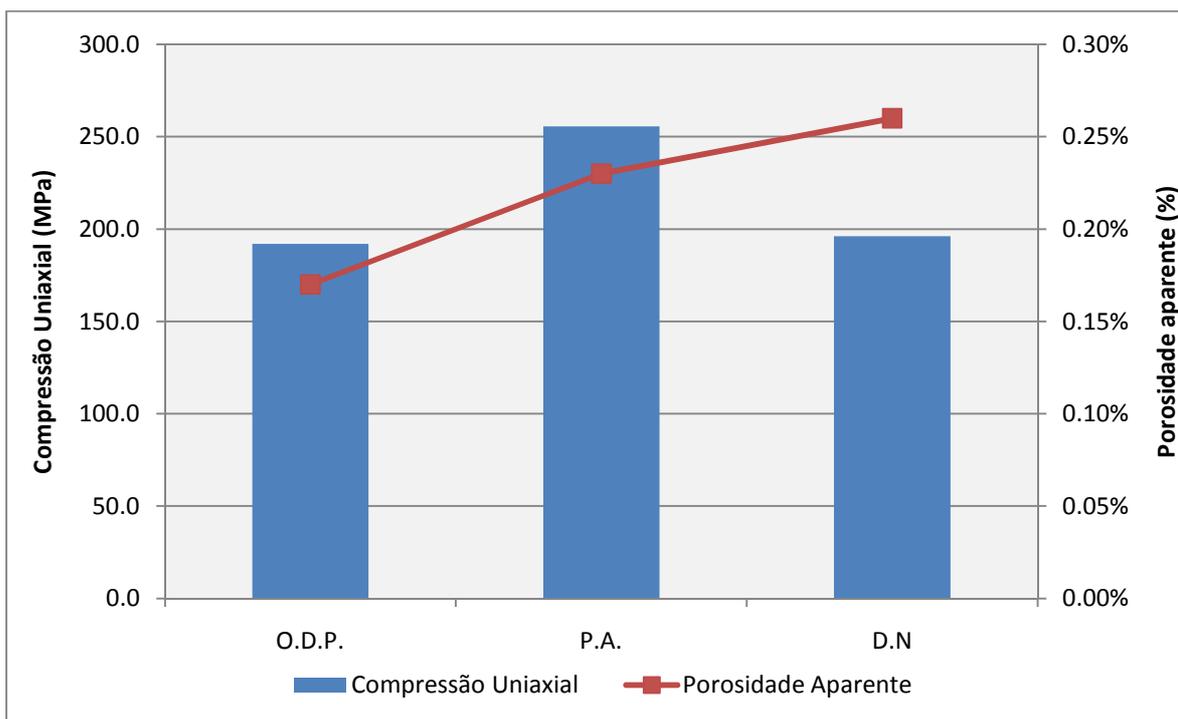


Gráfico 3.3: Resultados de resistência a compressão uniaxial obtidos para o diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiaí (P.A.) e Diamante Negro (D.N.).

Em comparação aos valores propostos pela ISRM (1979), pode-se concluir que o material estudado, O.D.P., é classificado como muito resistente (100-250 MPa), permitindo qualificá-los como adequados para uso com funções estruturais, sendo ainda necessário realizar ensaios com amostras saturadas para avaliar sua resistência em ambientes úmidos. Os valores de resistência à compressão uniaxial apresentados são também superiores aos valores médios obtidos por Frazão & Farjallat (1995), e também dentro dos limites da ASTM – C 615 (1992).

Em relação aos dados comparativos, o O.D.P. apresentou um ótima resistência a compressão (192 MPa), ficando próximo ao D.N. (196 MPa) e abaixo do P.A. (255,6 MPa). Essa sua maior resistência deve-se isotrópico, bom engrenamento mineral com contatos minerais do tipo côncavo-convexos, planos e serrilhados, granulação fina da matriz (0,1 a 1

mm) com comunicabilidade de microfissuras muito baixa. Provavelmente não apresenta maior resistência em relação ao P.A., pois este apresenta predominantemente contatos tipo plano e o O.D.P. apresenta uma maior predominância de fenocristais de titanaugita, que apresentam cristais com tamanho de até 8 mm perfazendo 38% dos minerais presentes na rocha e possuindo, na sua maioria, contatos planos, influenciando no embricamento dos pórfiros com a matriz.

### 3.2.3 - Resistência a Flexão 3 pontos

Para este parâmetro o valor mínimo exigido pela norma C-615 da ASTM (1992) é de 10,34 MPa e o valor médio sugerido por Frazão & Farjallat (1995) é de 10 MPa. Os resultados estão reunidos na tabela 3.4 e foram correlacionados com os dados do P.A. e com D.N., onde estão representados na forma do gráfico 3.4.

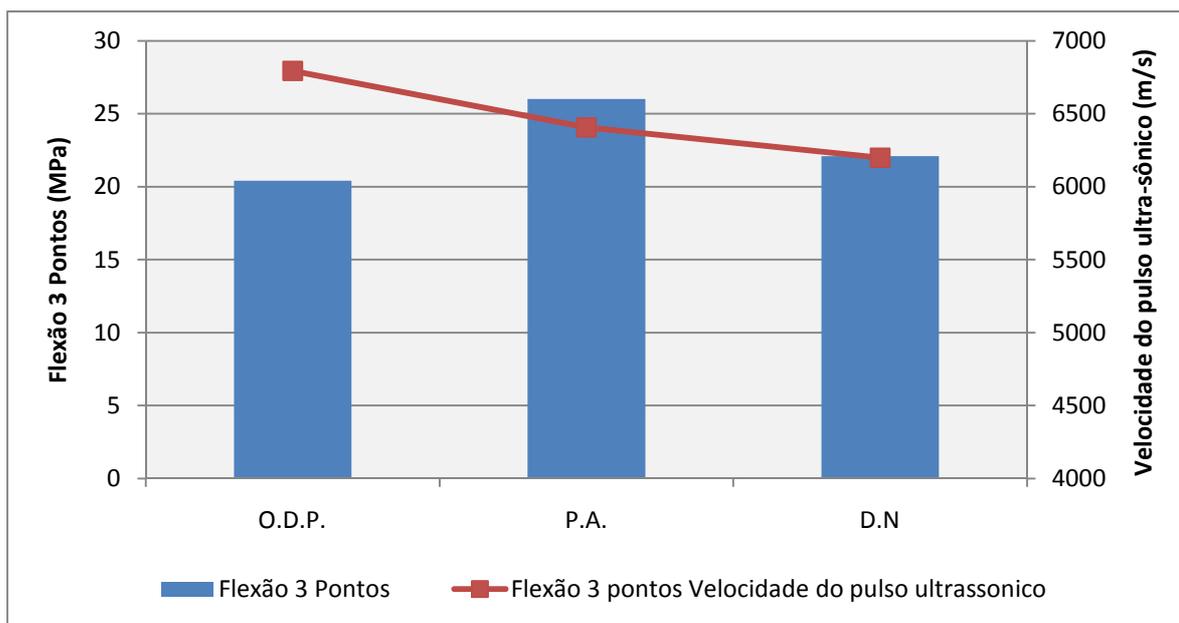


Gráfico 3.4: Resultados de resistência a flexão 3 pontos obtidos para o diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiaí (P.A.) e Diamante Negro (D.N.).

O O.D.P. apresentou valor de 20,4 MPa, bem superior aos valores médios sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) e ASTM (1992). Com relação aos materiais utilizados de comparativo, o O.D.P. mostrou valor muito próximo a eles, evidenciando que o material possui uma alta resistência mecânica devido ao material apresentar uma estrutura isotrópica, alta densidade da rocha, baixo grau de microfissuramentos intergrão, diminuindo a comunicabilidade de fissuras entre os minerais, bom engrenamento entre os minerais e

incipiente grau de alteração, sendo semelhante a outras rochas comparativas. Apesar de o O.D.P. apresentar uma alta velocidade de pulso ultrassônico, a menor resistência em relação as rochas comparativas foi facilitada pelo grande quantidade de fenocristais, onde os outros não os apresentaram.

### 3.2.4 - Desgaste Abrasivo Amsler

Os resultados do ensaio e os dados das rochas comparativas estão dispostos na tabela 3.4 e os valores médios sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) para o desgaste Amsler é  $\leq 1,0$  mm. No gráfico 3.5 mostra o resultado obtido para o O.D.P. e os valores das rochas P.A. e D.N..

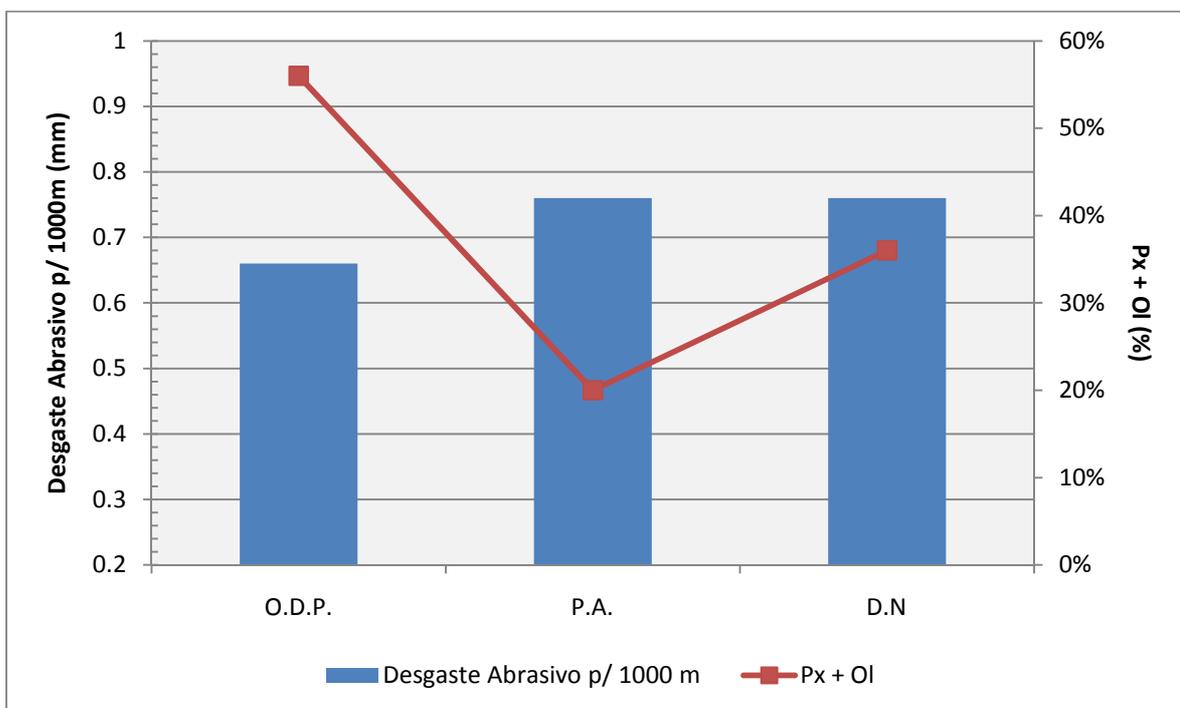


Gráfico 3.5: Resultados de resistência ao desgaste abrasivo obtidos para o diabásio porfirítico (O.D.P.) e comparação com Preto Apiá (P.A.) e Diamante Negro (D.N.) e relacionados com seus respectivos valores de porcentagem de Piroxênios (Px) e Olivina (Ol).

O material estudado apresentou desgaste de 0,66mm para um percurso de 1000m, mostrando valor bem abaixo do valor médios sugerido por Frazão & Farjallat (1995), indicando que a rocha possui boa resistência mecânica ao desgaste. Em comparação com os materiais da literatura, o O.D.P. apresentou um menor desgaste com relação ao P.A. e o D.N.

Mesmo devido o material apresentar teores de máficos muito alto e possuir uma matriz com granulação fina, características estas semelhantes as do Preto Apiaí e o Diamante Negro, a rocha apresentou boa resistência a abrasão. Quando relacionados com os respectivos valores em porcentagem de piroxênios e olivinas dos materiais comparados, o diabásio porfirítico apresentou 56 % enquanto que os demais apresentaram 20% para o Preto Apiaí e 36% para o Diamante Negro, sendo que nesses dois últimos, segundo os autores, não apresentava olivina na composição. A quantidade desses minerais máficos e pelo diabásio porfirítico apresentar uma matriz fina e homogênea pode ter ajudado a aumentar a resistência mecânica do material.

## CAPITULO 4 – CARACTERIZAÇÃO RADIOMÉTRICA

### 4.1 - Radônio

A radioatividade natural é responsável por 81% da dose anual total recebida pela população e o radônio contribui com 55% dessa dose, proveniente de materiais de construção e solo – dados mundiais (ICRP 60, 1991). Outras fontes naturais, como  $^{40}\text{K}$  e raios cósmicos, excluindo o radônio, representam 26% da dose anual recebida. Os 19% restantes advêm das fontes artificiais de radiação. No gráfico 4.1 pode-se observar que no caso das doses provenientes de fontes artificiais (19%) a maior contribuição é devida à exposição ao raio X para fins médicos. Pode-se verificar também que as doses decorrentes do ciclo do combustível nuclear, incluído em outras, para obtenção de energia elétrica são muito pequenas, quando comparadas com as demais (ICRP 60, 1991).

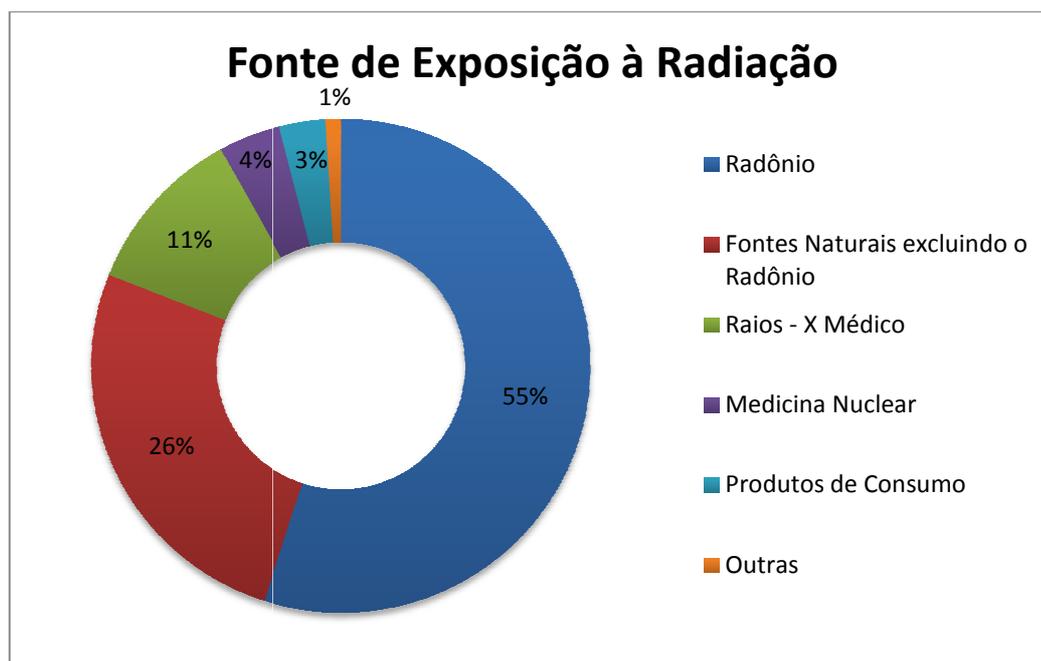


Gráfico 4.1: Fontes de exposição à radiação (ICRP 60, 1991)

Para melhor entender a geologia associada ao radônio e, conseqüentemente, como e onde ele se forma e como se move, é necessário irmos à primeira fonte de geração, o urânio. O  $^{238}\text{U}$ , que corresponde a 99,27% de todo o urânio natural existente, sendo, portanto, o elemento que encabeça a série radioativa de maior interesse, de onde o  $^{222}\text{Rn}$  se forma em um dado momento (Figura 4.1).

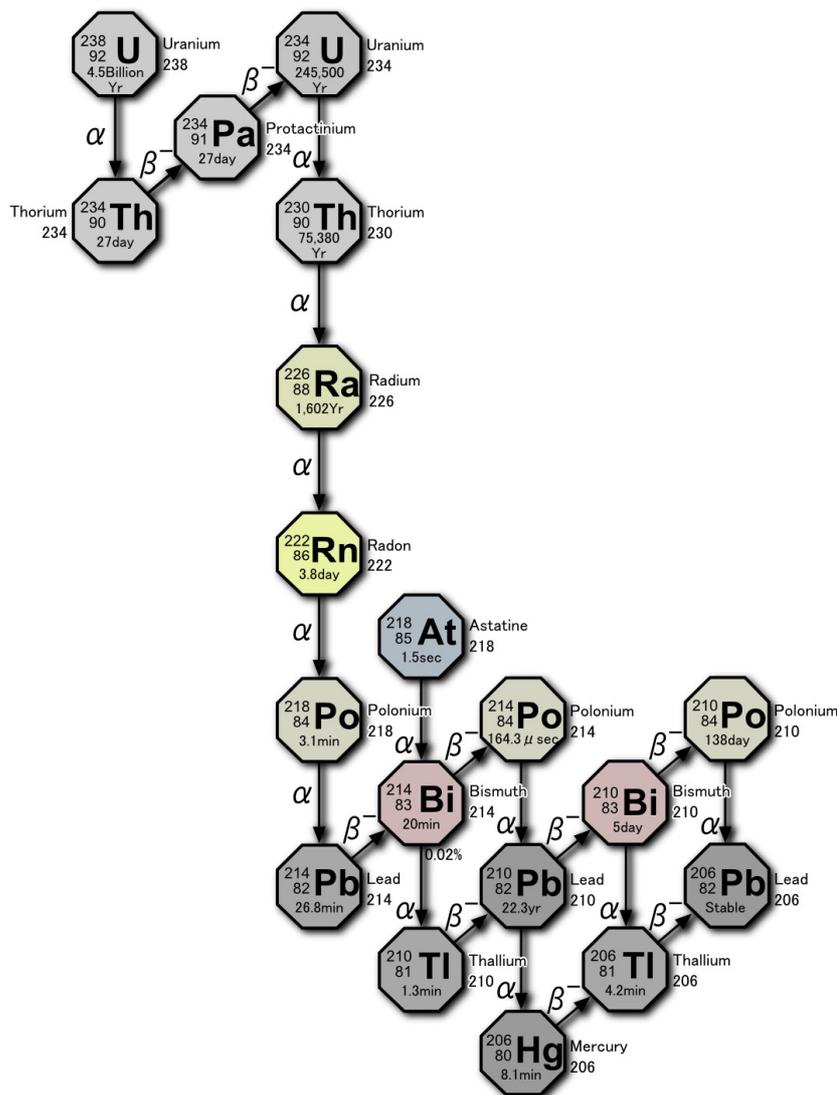


Figura 4.1: Série de decaimento do  $^{238}\text{U}$  e seus filhos. Fonte: Wikipédia, (2008).

Todas as rochas contêm certa quantidade de urânio em sua composição. Muitas rochas contêm cerca de 1 a 3 ppm (partes por milhão). Algumas rochas, entretanto, contêm até 100 ppm, como o caso de algumas rochas ígneas de composição granítica, rochas sedimentares que contêm fosfato e seus respectivos correspondentes metamórficos.

O radônio é um gás nobre responsável por grande parte da radioatividade natural (SHARAF, 2005). Foi descoberto em 1899, por R. B. Owens e E. Rutherford, e é proveniente do decaimento alfa e gama do rádio, e está presente no solo, rochas e água. É um gás pesado (7,58 vezes mais pesado que o ar), incolor, inodoro, insípido e sua meia vida é de 3,823 dias (WOLBARST, 1993).

Os isótopos de radônio de maior interesse geológico, ambiental e sanitário, são o  $^{222}\text{Rn}$  e o  $^{220}\text{Rn}$ . Formado na cadeia do  $^{238}\text{U}$ , pelo decaimento do  $^{226}\text{Ra}$ , o  $^{222}\text{Rn}$  é o isótopo de radônio de maior relevância por ter a meia-vida mais longa, 3,8 dias. O  $^{220}\text{Rn}$ , também

chamado torônio, embora seja gerado em quantidades expressivas, neste caso pelo decaimento do  $^{224}\text{Ra}$  da cadeia do  $^{232}\text{Th}$ , quantidades substancialmente menores alcançam a atmosfera devido à sua curta meia-vida, 55,6 segundos, que limita a distância que o mesmo pode percorrer antes de decair (REBELO, 2002). Ainda são conhecidos mais de doze isótopos artificiais do radônio (METERS, 1992).

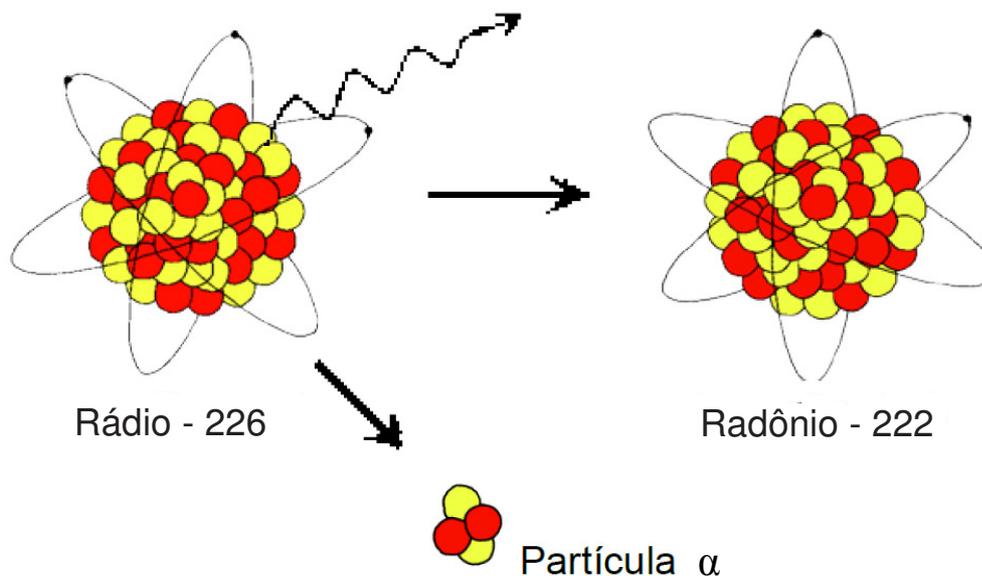


Figura 4.2: Decaimento do isótopo de  $^{226}\text{Ra}$ , gerando o isótopo de  $^{222}\text{Rn}$ . Modificado de PEREIRA, 2009

A migração de  $^{222}\text{Rn}$  ocorre principalmente por difusão através dos poros das rochas e solos, falhas e fissuras, bem como por dissolução nas águas subterrâneas e superficiais, verificando-se sua incorporação na fase líquida quando ele percola a fase sólida portadora do  $^{226}\text{Ra}$ , com ou sem a presença de  $^{238}\text{U}$ , e também quando a fase líquida localiza-se em uma distância correspondente a do alcance de difusão do gás emanado (BOWIE & PLANT, 1983 *apud* BONOTTO, 1996).

O  $^{222}\text{Rn}$  atinge o equilíbrio radioativo com seu progenitor, a  $^{226}\text{Ra}$ , após aproximadamente 27 dias (Figura 4.3). Com relação aos seus filhos, o equilíbrio radioativo do  $^{222}\text{Rn}$  é alcançado em 3 horas, existindo assim uma variação na atividade em função do tempo (Figura 4.4).

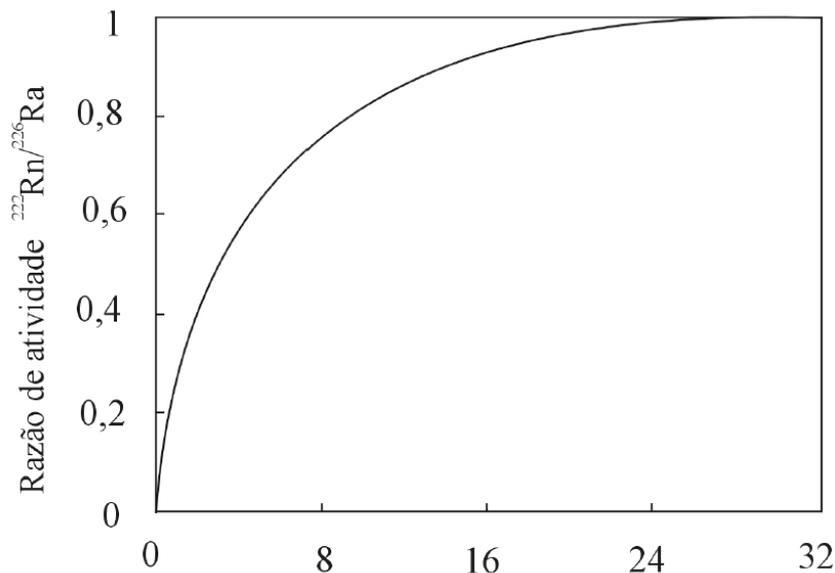


Figura 4.3: Equilíbrio radioativo entre  $^{226}\text{Ra}$  e seu filho  $^{222}\text{Rn}$  (LIMA, 1993)

O aumento da concentração de radônio no ar implica imediato aumento da concentração de seus filhos de meia-vida curta que são absorvidos nas partículas atmosféricas dando origem a um aerossol radioativo.

Segundo PRICHARD (1987) e NAZAROFF *et al.* (1988) apud BONOTTO (1996), existe a necessidade adicional de uma dosagem desse gás pois há a possibilidade de inalação através da respiração em radônio, de maneira que pode ocorrer um acúmulo nos pulmões dos seus descendentes emissores  $\alpha$ , aumentando, portanto, a intensidade de dose interna de radiação.

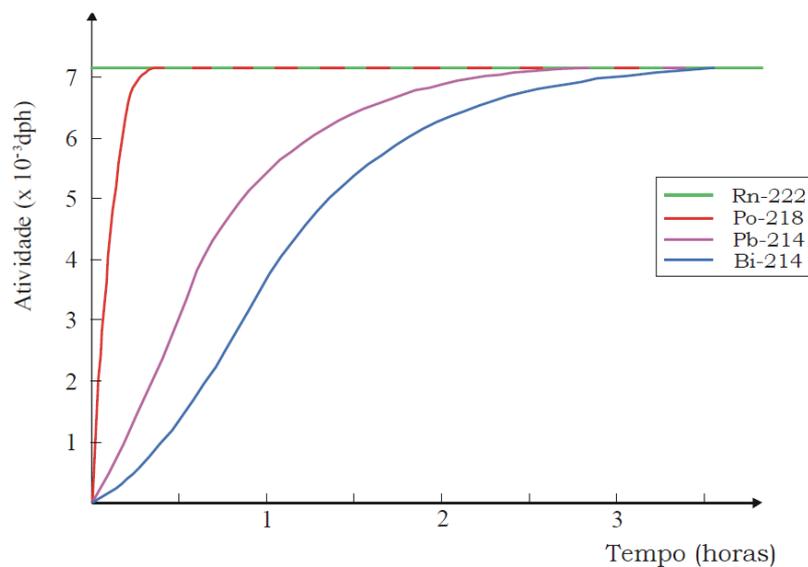


Figura 4.4: Atividade do  $^{222}\text{Rn}$  e de seus filhos em função do tempo (LIMA, 1993)

#### 4.1.1 - Mecanismos de transporte do radônio

O  $^{222}\text{Rn}$  formado nas rochas e solos, por se tratar de um gás, tem uma mobilidade muito maior do que a dos demais elementos formados na série radioativa. O radônio pode escapar através de fraturas nas rochas e através dos poros da rocha ou solo onde se forma.

Quando um núcleo de Ra decai pela emissão alfa para formar um novo núcleo de Rn, este é lançado em direção oposta àquela em que foi lançada a partícula alfa (TANNER, 1980, *apud* GUNDERSEN, 1992). Este é o principal fator que faz com que o novo átomo de Rn formado possa escapar do grão mineral em que o elemento radio estava (Figura 4.5).

A localização do elemento radio no grão mineral e a direção de lançamento do radônio formado irá determinar se o novo átomo de Rn será lançado para o espaço entre os grão ou não.

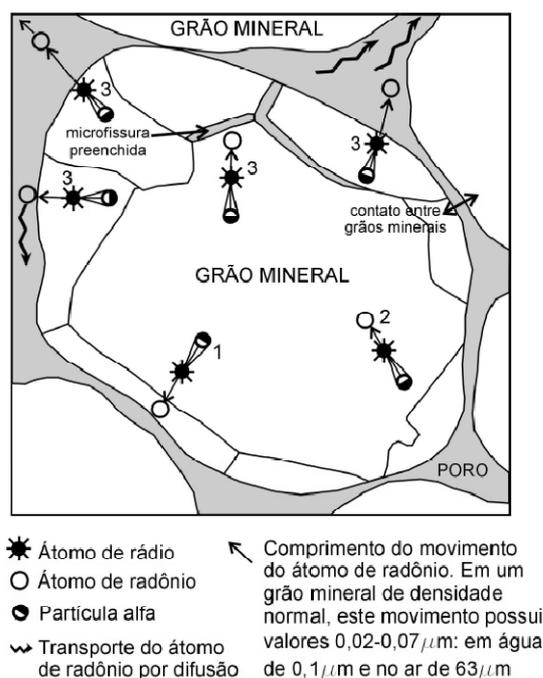


Figura 4.5: Princípios da emissão de radônio proveniente de um grão mineral (modificado de TANNER, 1980)

Se o lançamento do Rn for em direção à superfície do grão o mesmo poderá escapar para o espaço poroso, porém como o lançamento do Rn é muito forte, o Rn assim formado sai do grão inicial onde formou, atravessa o espaço poroso entre os grão e se aloja em outro grão mineral (USGS, 1995).

Isto é o que ocorre geralmente, a menos que haja a presença de água preenchendo o espaço poroso intergranular (no caso dos solos) ou preenchendo fraturas das rochas. Nestes

casos, o Rn formado fica nesses espaços, uma vez que a água absorve energia cinética do novo núcleo formado (TANNER, 1980).

O escape do radônio para a superfície pode ser afetado por vários fatores como variações de pressão barométrica, umidade, temperatura do ar e do solo (SIGRID *et al.*, 1995), mas principalmente pelas características de porosidade, permeabilidade e umidade das rochas e solos.

#### 4.2 – Resultados Espectrometria Gama

Os resultados obtidos na espectrometria gama realizada no O.D.P., a fim de obter os teores de urânio, tório e potássio radioativo, estão dispostos nas tabelas abaixo. Devido a adaptações no dispositivo, foram obtidos apenas os valores de  $^{238}\text{U}$ , em ppm, e  $^{40}\text{K}$ , em % (Tabela 4.1 e 4.2). Os valores obtidos com a espectrometria gama foram comparados com os dados do trabalho de Anjos *et al.* (2004), que realizou análises em 95 tipos de rochas comerciais, sendo que destes foram escolhidos o hiperistenio gabro, diorito norítico e diabásio por se tratar de rochas que podem apresentar características semelhantes à rocha estudada; e estão dispostos na Tabela 4.3 e 4.4, onde o objetivo de avaliar a quantidade de urânio e potássio radioativo encontrados na rocha estudada e posteriormente foram comparados com os dados obtidos na emissão de radônio que será discutido na seção de emissão de radônio.

Tabela 4.1: Resultado da concentração de  $^{238}\text{U}$  obtido para a amostra estudada.

Amostras	Massa(g)	Taxa de contagem Específica (cpm.g <sup>-1</sup> )	Concentração (ppm)
<b>O.D.P.</b>	66,76	0,00203	<b>0,54</b>

Tabela 4.2: Resultado da concentração de  $^{40}\text{K}$  obtido para a amostra estudada.

Amostras	Massa(g)	Taxa de contagem Específica (cpm.g <sup>-1</sup> )	Concentração (%)
<b>O.D.P.</b>	66,76	0,08845	<b>2,88</b>

Como pode ser observado, a concentração de urânio apresentou valor de 0,54 ppm, muito baixo em relação a tipos de granitos comerciais, mas apresenta valor normal em comparação com rochas básicas intrusivas que normalmente mostram valores variando de 0,1 a 1,1 ppm. Em comparação com rochas básicas do trabalho de Anjos *et al* (2004), o

hiperistenio gabro apresentou valores de 1,2 ppm, o diabásio e o diorito norito apresentaram valores de 0,4 ppm, evidenciando que os resultados obtidos para o olivina diabásio porfirítico mostraram-se coerentes com dados de outras rochas de composição básica (Gráfico 4.2).

Tabela 4.3: Comparação do teor de U (ppm) do Olivina Diabásio Porfirítico com rochas de composição básica obtidas por Anjos *et. al.* (2004).

Rochas	Estado Produtor	U (ppm)
Olivina Diabásio Porfirítico	CE	0,54
Hiperistenio Gabro	MG	1,2
Diorito Noritico	MG	0,4
Diabásio	BA	0,4

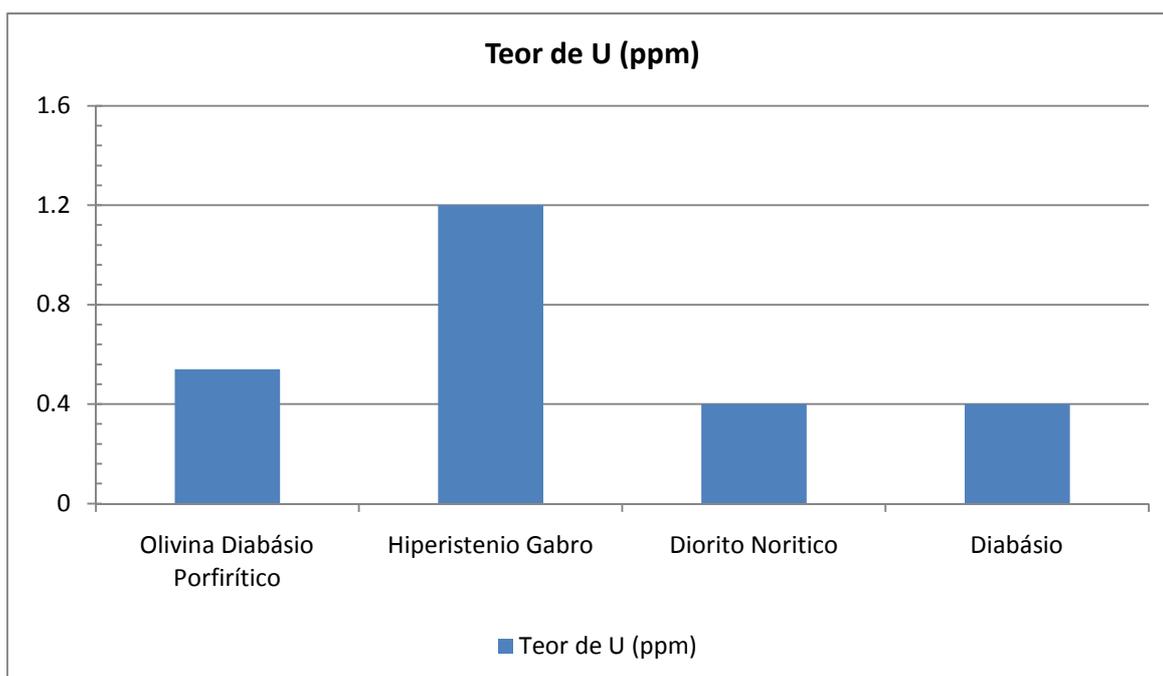


Gráfico 4.2: Teor de  $^{238}\text{U}$  em comparação com rochas de composição básica obtidas por Anjos *et al.* (2004).

O teor de potássio apresentou valor de 2,88 %, um pouco acima dos valores de  $^{40}\text{K}$  do hiperistenio gabro e do diabásio, que apresentaram valores de 1,3% e 0,6%, respectivamente, e em relação ao diorito norito e o olivina diabásio porfirítico, os resultados mostram valores praticamente iguais, de 2,8% e 2,88%, respectivamente.

Tabela 4.4: Comparação do teor de  $^{40}\text{K}$  (%) do Olivina Diabásio Porfirítico com rochas de composição básica obtidas por Anjos *et al.* (2004).

Rochas	Estado Produtor	K(%)
Olivina Diabásio Porfirítico	CE	2,88
Hiperistenio Gabro	MG	1,3
Diorito Noritico	MG	2,8
Diabásio	BA	0,6

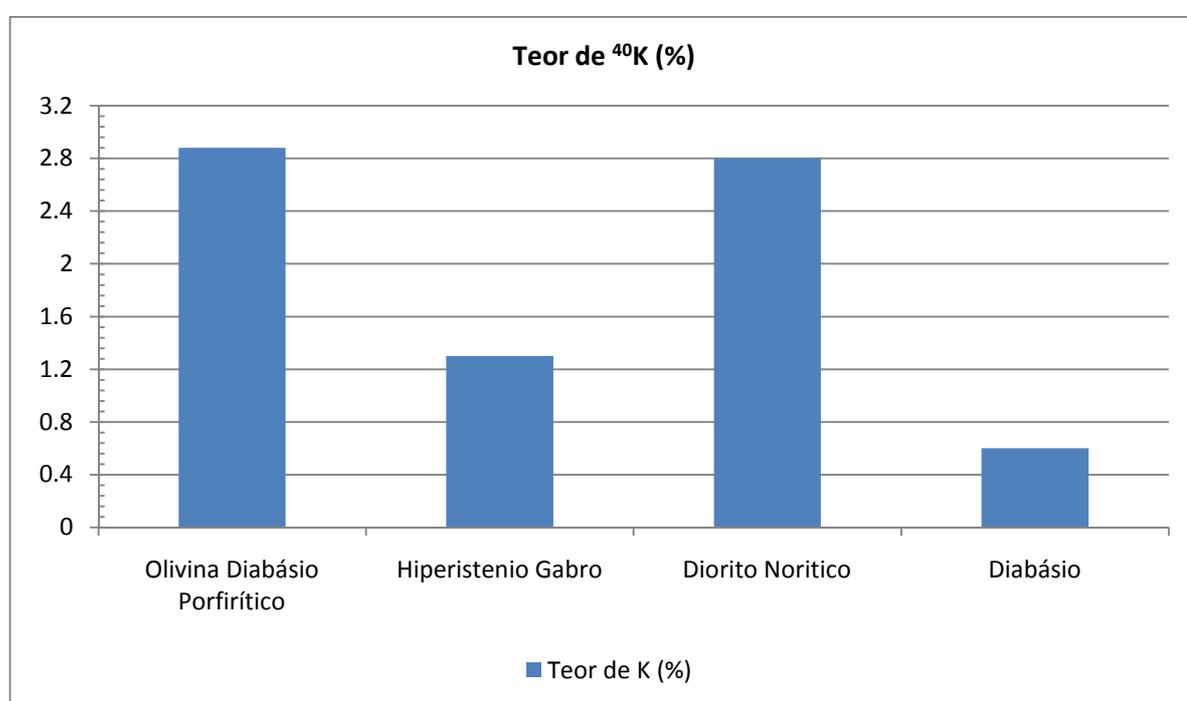


Gráfico 4.3: Teor de  $^{40}\text{K}$  em comparação com rochas de composição básica obtidas por Anjos *et al.* (2004).

Os dados de urânio e potássio foram transformados para  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , para que fossem comparados com os resultados obtidos no trabalho de Tzortzis *et al.* (2003), que realizou a medida de concentração de atividade de  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{40}\text{K}$  em 28 tipos de rochas comerciais de diferentes países. Essa comparação foi realizada para avaliar os valores encontrados de U e K, em  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , com outros materiais comercializados, com o intuito de mostrar a qualidade do O.D.P. para o uso como rocha ornamental. Os dados adquiridos por Tzortzis *et al.* (2003) estão dispostos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Concentração de atividade de  $^{238}\text{U}$  e  $^{40}\text{K}$ , em  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de alguns “granitos” utilizadas como rochas ornamentais. Fonte: Tzortzis *et al.* (2003).

Nome Comercial	País	Concentração de $^{238}\text{U}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )	Concentração de $^{40}\text{K}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )
Bianco Perla	Itália	$57 \pm 2$	$1228 \pm 48$
Santa Cecilia	Brasil	$45 \pm 1$	$1435 \pm 55$
Blue Paradise	Brasil	$15 \pm 1$	$1246 \pm 48$
Blue Pearl	Bélgica	$68 \pm 2$	$1129 \pm 44$
Verte Brasil	Brasil	$5 \pm 1$	$1200 \pm 44$
Upatuba	África	$17 \pm 1$	$1581 \pm 61$
Verte Eukaliptos	Brasil	$45 \pm 1$	$1522 \pm 59$
Red Africa	África	$57 \pm 1$	$1360 \pm 38$
Tropical Japorana	Brasil	$13 \pm 1$	$1048 \pm 30$
Astudo	África	$18 \pm 1$	$254 \pm 11$
Baltic Brown	Brasil	$102 \pm 3$	$1520 \pm 58$
Rosso Balmoral	Holanda	$162 \pm 5$	$1540 \pm 60$
Rossa Porino	Itália	$103 \pm 3$	$1424 \pm 55$
Giallo Penere	Brasil	$31 \pm 1$	$1230 \pm 47$
Nero Africa	África	$1 \pm 1$	$50 \pm 3$
Rosa Beta	Itália	$40 \pm 1$	$1123 \pm 44$
White Arbesco	N/A	$108 \pm 3$	$1359 \pm 52$
Saint Tropez	Brasil	$8 \pm 1$	$1021 \pm 40$
Kinawa	Brasil	$58 \pm 2$	$1168 \pm 45$
Multi-colour	N/A	$10 \pm 1$	$1485 \pm 57$
Capão Bonito	Brasil	$84 \pm 2$	$1313 \pm 51$
New Imperial	N/A	$285 \pm 8$	$1273 \pm 49$
Japarana	Brasil	$35 \pm 1$	$1446 \pm 56$
Grand Paradisso	N/A	$29 \pm 1$	$1013 \pm 39$
Café Brown	Brasil	$588 \pm 16$	$1606 \pm 62$
Rosa Ghiandone	Itália	$57 \pm 2$	$1047 \pm 41$
Jacaranda	Brasil	$68 \pm 2$	$1031 \pm 40$
Colibri	Brasil	$53 \pm 1$	$1365 \pm 53$

A Tabela 4.6 mostra os resultados obtidos da transformação da quantidade de U e  $^{40}\text{K}$  em concentração de atividade ( $\text{Bq. kg}^{-1}$ ).

Tabela 4.6: Concentração de atividade de  $^{238}\text{U}$  e  $^{40}\text{K}$ , em  $\text{Bq.kg}^{-1}$  do olivina diabásio porfirítico (O.D.P.).

Nome	País	Concentração de $^{238}\text{U}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )	Concentração de $^{40}\text{K}$ ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ )
O.D.P.	Brasil	6,8	48,3

Os baixos valores de U e K do O.D.P. deve-se provavelmente a que o diabásio é de origem toleítica, gerado a partir de manto empobrecido em elementos incompatíveis, não permitindo que o urânio e potássio radioativo concentrassem na fase líquida do magma. Este fato deve-se, segundo FAURE (1986) e MÈNAGER *et al.*(1993), a que magmas de composição granítica têm mais susceptibilidade a serem mais ricos em urânio e potássio devido a sua concentração nas fases de fusão parcial e cristalização fracionada, onde o urânio e o potássio concentram-se na fase líquida e são incorporados a produtos ricos em sílica,

fazendo com rochas de composição granítica seja mais fortemente enriquecidas em urânio e potássio que rochas de composição basálticas ou ultramáficas.

### 4.3 – Resultados Emissão de Radônio

Os resultados obtidos foram realizados de acordo com o método utilizado descrito no capítulo de “Materiais e Métodos”, e posteriormente foram transformados em atividade final de emissão de radônio  $C_{Rn}$ , em  $Bq.kg^{-1}$ , e em taxa de exalação de radônio por unidade de área (E), em  $Bq.m^{-2}.h^{-1}$ , e posteriormente foram transformados pCi, para uma melhor avaliação dos resultados e comparação com os limites aceitáveis de exposição do gás radônio em ambientes internos indicados pelas agências de saúde dos Estados Unidos e Canadá. Estes valores foram comparados com alguns materiais que AL-JARALLAH (2001) realizou medições de emissão de radônio em 50 tipos de materiais utilizados na construção civil, sendo que 32 tipos eram granitos (Tabela 4.7), onde neste trabalho utilizou técnica semelhante. Logo após os valores foram comparados com os indicados pelas agências de saúde dos Estados Unidos e Canadá que estabelece o máximo recomendado a 4 pCi/litro e 20 pCi/litro, respectivamente. Os valores serviram de base para saber se o O.D.P. possui ou não valores altos de radônio.

Os valores obtidos neste trabalho, medidos em ciclos 10 minutos no AlphaGUARD, foram transformados em  $C_{Rn}$  e E, e estão dispostos na Tabela 4.8 e 4.9.

Tabela 4.7: Valores obtidos por Al-Jarallah (2001) para atividade de radônio e sua taxa de exalação nos contêiner de emanção. Fonte Al-Jarallah (2001). (AS – Arábia Saudita; U.A.E. – Emirados Árabes Unidos).

Origem	Massa (kg)	$C_{Rn}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> ) ± 2%	E (Bq.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> ) ± 3%
AS	1,326	18,3	2,75
AS	0,456	17,9	2,21
AS	1,162	10,9	1,68
AS	1,144	4,60	0,705
AS	1,425	4,27	0,767
AS	1,164	2,25	0,348
Índia	0,544	72,4	10,6
Índia	0,474	50,2	5,14
Índia	0,524	2,81	0,387
Índia	0,521	<1,11	<0,119
Finlândia	0,524	39,8	5,63
Finlândia	0,594	18,5	2,46
Finlândia	0,507	<1,19	<0,119
Canadá	0,585	9,97	0,864
Itália	0,554	<1,09	<0,119
Noruega	0,480	<1,26	<0,119
AS	1,277	23	0,439
AS	0,925	17,8	0,804
AS	1,162	11,1	1,98
AS	1,529	7,25	1,59
AS	1,555	4,1	0,895
AS	0,982	4,01	0,642
AS	1,092	3,98	0,671
AS	0,830	2,45	0,332
AS	0,864	<0,70	<0,119
AS	0,986	<0,61	<0,119
AS	0,885	<0,68	<0,119
AS	0,870	<0,70	<0,119
Indeterminado	0,516	<1,17	<0,119
Irã	0,522	<1,16	<0,119
Irã	0,447	<1,35	<0,119
U.A.E.	1,743	<0,35	<0,119

Tabela 4.8: Valores obtidos do O.D.P., em ciclos de 10 minutos no detector de Rn AlphaGUARD, medidos em Bq.m<sup>-3</sup>.

Hora da medição	Tempo de Medida (min)	T (°C)	Umidade Relativa (%rH)	Pressão (mbar)	Emanção (Bq/m <sup>3</sup> )
15:38	0	25	48	944	0 ± 15
15:48	10	25	49	944	0 ± 4
15:58	20	25	49	944	0 ± 3
16:08	30	25	48	944	1 ± 3

Os valores obtidos pelo detector AlphaGUARD, mostraram a atividade de <sup>222</sup>Rn dentro do contêiner de emanção, onde foram medidos em Bq.m<sup>-3</sup>, sendo que como o

equipamento obtêm maior precisão após 30 minutos de leitura, o resultado que foi utilizado será o do ciclo de 30 minutos.

Tabela 4.9: Valores de atividade de final de emissão de radônio ( $C_{Rn}$ ) e taxa de exalação de radônio (E) obtidos do O.D.P.

Amostra	Massa (kg)	$C_{Rn}$ (Bq.kg <sup>-1</sup> ) ± 2%	$C_{Rn}$ (pCi.kg <sup>-1</sup> )	E (Bq.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> ) ± 3%	E (pCi.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )
O.D.P.	3,1108	< 0,016	< 0,432	< 0,002	< 0,054

O resultado para a atividade final de emissão de radônio mostrou valor de < 0,016 Bq.kg<sup>-1</sup> (<0,432 pCi.kg<sup>-1</sup>), apresentando baixa quantidade de radônio na amostra do O.D.P.. Em comparação com os dados de AL-JARALLAH (2001), o O.D.P. apresentou valor inferior aos resultados obtidos nas análises realizadas. Devido o autor não identificar a composição de seus materiais estudados, não foi possível fazer uma comparação direta com os dados obtidos na análise deste trabalho. Em comparação com os dados obtidos de espectrometria gama realizados neste trabalho, a baixa concentração de <sup>222</sup>Rn na amostra de estudo era esperada devido o material apresentar pouca quantidade de <sup>238</sup>U (0,54 ppm), e como o radônio é um dos filhos radioativos do urânio, iria apresentar baixa quantidade desse elemento na rocha.

O provável motivo do O.D.P. apresentar valores baixos na quantidade de <sup>222</sup>Rn deve-se ao fato de que rochas intrusivas de composição básica serem empobrecidas em elementos radioativos, como U, Th e K, pois esta é derivada de magma toleítico originada do manto empobrecido fazendo com que essas rochas terem tendência a apresentar baixa concentração de elementos radioativos.

Com relação à taxa de exalação de radônio (E), O.D.P. apresentou valor de < 0,002 Bq.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> (<0,054 pCi.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>), abaixo dos resultados obtidos nas rochas estudadas por AL-JARALLAH (2001). Devido aos dados o autor não identificar a composição dos seus materiais estudados, também não foi possível fazer uma comparação direta com os dados obtidos neste trabalho, mas a baixa taxa de exalação de radônio do olivina diabásio porfirítico deve-se provavelmente a sua composição mineralógica, baixa porosidade e permeabilidade e baixa quantidade microfissuras intergrão por mm<sup>2</sup>, pois não havendo muita comunicabilidade entre os cristais da rocha os valores de exalação tendem a serem pequenos em comparação a rochas que possuem comunicabilidade entre as microfissuras nos cristais, aumentando a porosidade e permeabilidade, permitindo com que o gás gerado possa se difundir entre as aberturas e sair da rocha.

## CAPITULO 5 - CONCLUSÃO

O trabalho realizado nesta dissertação permitiu apresentar as seguintes conclusões:

O dique estudado foi caracterizado petrograficamente a um olivina diabásio porfirítico, apresentando coloração que varia do cinza-escuro a preto, com estrutura isotrópica, textura porfirítica. O material não possui manchamentos ou irregularidades na textura que venham a comprometer o padrão estético no uso como rocha ornamental. Sua matriz possui granulação fina exibindo fenocristais de titanaugita de cor preta geralmente exibindo forma hexagonal, dispostos aleatoriamente na rocha.

Os contatos entre os grãos minerais ocorrem em maior quantidade do tipo côncavo-convexo e planos com bom engrenamento, onde os do tipo plano ocorrem maior quantidade nos cristais de titanaugita. Os cristais de olivina que ocorrem inclusos e/ou parcialmente inclusos nas bordas dos cristais de titanaugita geralmente apresentam contatos do tipo côncavo-convexo. Contatos do tipo serrilhado ocorrem com cristais subédricos de olivina e titanaugita em contato com cristais de plagioclásio da matriz.

O microfissuramento da rocha apresenta uma média de 3,53/mm<sup>2</sup>, caracterizando um alto grau de microfissuras, mas 97,9% das fissuras são do tipo intragrão ocorrendo principalmente nos cristais de olivina e titanaugita, e 2,1% são do tipo intergrão, geralmente entre os cristais de titanaugita com a matriz. O tamanho das microfissuras intragrãos variam de 0,5 a 4 mm de comprimento onde cerca de 70% das microfissuras ocorrem nas olivinas e 30% nos cristais de titanaugita.

O diabásio é caracterizado petrograficamente como olivina diabásio porfirítico. A rocha possui mineralogia composta por titanaugita (38%), plagioclásio (32%), olivina (18%), opacos (7%), (secundários) apatita (3%) e acessórios (2%) que são compostos por iddingsita, clorofeita e biotita.

Os índices físicos indicam que material estudado apresentou resultados superiores aos valores médios sugeridos por Frazão & Farjallat (1995). Quando comparados aos dados da literatura, o diabásio porfirítico apresentou massa específica um pouco superior a dos demais valores especificados obtidos de rochas ultramáficas. Este fato deve a características composicionais do material, como minerais com densidade alta e estrutura muito compacta.

A porosidade (0,17%) e absorção de água (0,06%) são praticamente iguais com os descritos na literatura, mas apresentando valores um pouco inferiores. Este fato deve-se a presença de um bom engrenamento mineral que, apesar do elevado microfissuramento

intragrão ( $3,53/\text{mm}^2$ ), estas não apresentam comunicabilidade entre se e os minerais ficando apenas restritos a alguns cristais mostrando em torno de  $0,12/\text{mm}^2$ , inferindo uma baixa absorção de água.

Os valores de resistência à compressão uniaxial apresentados são também superiores aos valores médios sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), que é de 100 MPa e também dentro dos limites da ASTM - 615 que apresenta valor de 131 MPa. O material apresentou ótima resistência a compressão (192 MPa), ficando próximo ao Diamante Negro e abaixo do Preto Apiaí. Essa maior resistência do diabásio porfirítico deve-se ao forte caráter isotrópico, bom engrenamento mineral com contatos minerais do tipo côncavo-convexos, planos e serrilhados, granulação fina da matriz (0,1 a 1 mm) com comunicabilidade de microfissuras muito baixa. Provavelmente não apresenta maior resistência em relação ao Preto Apiaí devido a uma maior predominância de fenocristais de titanaugita, que apresentam cristais com tamanho de até 8 mm perfazendo 38% dos minerais presentes na rocha e possuindo, na sua maioria, contatos planos, influenciando no embricamento dos pórfiros com a matriz.

O diabásio porfirítico apresentou valor bem superior aos valores médios sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) e ASTM (1992). Com relação aos materiais comparativos, a rocha mostrou valor muito próximo a eles, evidenciando que o material possui uma alta resistência mecânica. Isso se deve ao fato de o material apresentar um forte caráter isotrópico, baixo grau de microfissuramentos intergrão, diminuindo a comunicabilidade de fissuras entre os minerais, bom engrenamento mineral e incipiente de alteração, mas a menor resistência em relação a eles deve-se provavelmente a presença de grande quantidade de fenocristais, onde os materiais comparados não os apresentaram.

Em relação ao desgaste Amsler, o material estudado apresentou desgaste abaixo dos valores médios sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), indicando que a rocha possui boa resistência mecânica ao desgaste, sendo que o material apresentou um menor desgaste com relação ao Preto Apiaí e o Diamante Negro. Quando relacionados com os respectivos valores em porcentagem de piroxênios e olivinas dos materiais comparados, o diabásio porfirítico apresentou 56 % enquanto que os demais apresentaram 20% para o Preto Apiaí e 36% para o Diamante Negro, sendo que nesses dois últimos, segundo os autores, não apresentava olivina na composição. A quantidade desses minerais máficos e pelo diabásio porfirítico apresentar uma matriz fina e homogênea pode ter ajudado a aumentar a resistência mecânica do material.

Com relação os resultados da quantidade de urânio e potássio radioativo obtidos na espectrometria gama, a concentração de urânio apresentou valor muito baixo em relação a

tipos de granitos comerciais, mas apresenta valor normal em comparação com rochas básicas intrusivas que normalmente mostram valores variando de 0,1 a 1,1 ppm. Em comparação com rochas básicas do trabalho de Anjos *et al* (2004), o diabásio porfirítico mostrou-se coerente com dados de outras rochas de composição básica. O teor de potássio apresentou valor um pouco acima dos valores de  $^{40}\text{K}$  do hiperistenio gabro e do diabásio e em relação ao diorito norito e o diabásio porfirítico, os resultados mostram valores praticamente iguais

Os dados de urânio e potássio que foram transformados para  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , para que fosse comparados com os resultados obtidos no trabalho de Tzortzis *et al.* (2003), mostraram-se baixos, devido provavelmente a que o diabásio é de origem toleítica, gerado a partir de manto empobrecido em elementos incompatíveis, não permitindo que o urânio e potássio radioativo concentrassem na fase líquida do magma.

O resultado para a atividade final de emanção de radônio mostrou valor de  $< 0,016 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , apresentando baixa quantidade de radônio na amostra do olivina diabásio porfirítico. Em comparação com os dados de Al-Jarallah (2001), a rocha apresentou valor inferior aos resultados obtidos nas análises realizadas. Em comparação com os dados obtidos de espectrometria gama realizados neste trabalho, a baixa concentração de  $^{222}\text{Rn}$  na amostra de estudo era esperada devido o material apresentar pouca quantidade de  $^{238}\text{U}$  e como o radônio é um dos filhos radioativos do urânio, iria apresentar baixa quantidade desse elemento na rocha. Isso se deve ao fato de rochas intrusivas de composição básica serem empobrecidas em elementos radioativos, como U, Th e K, pois esta é derivada de magma toleítico originada do manto empobrecido fazendo com que essas rochas terem tendência a apresentar baixa concentração de elementos radioativos.

Com relação a taxa de exalação de radônio (E), olivina diabásio porfirítico apresentou valor abaixo dos resultados obtidos nas rochas estudadas por Al-Jarallah (2001), mas a baixa taxa de exalação de radônio do olivina diabásio porfirítico deve-se provavelmente a sua composição mineralógica, baixa porosidade e permeabilidade e baixa quantidade microfissuras intergrão por  $\text{mm}^2$ , pois não havendo muita comunicabilidade entre os cristais da rocha os valores de exalação tendem a serem pequenos em comparação a rochas que possuem comunicabilidade entre as microfissuras nos cristais, aumentando a porosidade e permeabilidade, permitindo com que o gás gerado possa se difundir entre as aberturas e sair da rocha.

## CAPITULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento no 1º Semestre de 2010. Informe 010/2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. 3 p. (Norma ABNT-NBR 12042). 1992 (e).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento – Análise petrográfica. 3 p. (Norma ABNT – NBR 12768). 1992 (a).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 2 p. (Norma ABNT – NBR 12766). 1992 (b).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimento – Determinação da resistência à compressão uniaxial. 2 p. (Norma ABNT – NBR 12767). 1992 (c).

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

AL-JARALLAH, M.; 2001; Radon exhalation from granites used in Saudi Arabia. Journal of Environmental Radioactivity, 53, p. 91-98, 2001

ANJOS, R.M.; Veiga, R.; Santos, A.M.A.; Aguiar, J.G.; Frasca, M.H.B.O.; Brage, J.A.P.; Uzêda, D.; Mangia, L.; Facure, A.; Mosquera, B.; Carvalho, C. 2005. Natural radionuclide distribution in Brazilian commercial granites. *Radiation Measurements*; 39:245-253.

ARTUR, A.C.; MEYER, A.P.; WERNICK, E.; 2001. Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1 / SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2, 2001, Salvador. Anais... Salvador: Museu Geológico da Bahia, 2001, p. 13-19.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (C-615).  
Sloudart specification for granite dimension stone. 2 p. 1992.

BINNS, D.A.C.; 1995; Radon Concentration in Brazilian Environments: Preliminary Data. In: Congresso Brasileiro de Geofísica, 1. Rio de Janeiro. Resumos. Rio de Janeiro: SBGF.

BONOTTO, D.M.; 1990; Espectrometria gama com detector de cintilação de NaI (TI). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, campus de Rio Claro. Apostila da disciplina Radioelementos no Ambiente. Inédito.

BONOTTO, D.M., 1996; Comportamento Hidrogeoquímico do  $^{222}\text{Rn}$  e Isótopos de  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$  sob Condições Controladas em Laboratório e em Sistemas Naturais. 223f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

BRITO NEVES, B. B. 1995. Crátons e faixas móveis. *Boletim IG-USP, Série didática*, V. 7; 187 p.

CICCU, R. et al., 1996; Valutazione Sperimentale Delle Caratteristiche di lavoro Degli Utensili Diamantati. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 4, Canela-RS. Anais... Canela, 1996, p. 131–139.

DANTAS , E.L. 1992. Evolução tectono magmática do maciço polidiapírico de São Vicente Florânia. Instituto de Geociências, UNESP, Rio Claro-SP, Dissertação de Mestrado.

DANTAS, E. L. 1997. Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos arqueanos e paleoproterozóicos do maciço Caldas Brandão, NE do Brasil. Instituto de Geociências, Unesp-Rio Claro-SP, Tese de Doutorado.

DUARTE, R. M., BONOTTO, D. M., 2000; A radioatividade das rochas na área do projeto rio Preto (GO), *Geochimica Brasiliensis*, 14 (2), p 191 - 207

DUARTE, R. M. 2002. Radioelementos naturais na área do projeto Rio Preto (GO). 2002. 169 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2002.

FAURE, G., 1986. *Principles of Isotope Geology*, second ed. John Wiley & Sons, ISBN: 0471864129.

FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J.E.S., 1995; Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: Congresso Internacional da Pedra Natural, 1, Lisboa. Lisboa: 1995, p.47-58.

GUNDERSEN, L. C. S.; SCHUMANN, R.R.; OTTON, J. K.; DUBIEL, R. F.; OWEN, D. E.; DIKINSON, K. A., 1992; *Geology of Radon in the United States*. In Gates, A. E. et. Al., *Geologic Controls of Radon*. Geology Society of America – Special Paper 271: 1-16.

HARTMANN, M. B., DONATO, M. T. R., SOUSA, L. C., TAGLIANI, T. R., 1984; Zoneamento metamórfico da porção centro-leste da Folha Independência (CE). Atlas do 11º Simpósio de Geologia do Nordeste, p. 93-103.

HIBBARD, M.J. Petrography to petrogenesis. USA.1995. p. 596

ICRP 60 - International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Oxford: Pergamon Press, 1991.

IVANOVICH, M.; MURRAY, A., 1992; Spectroscopic Methods. In: IVANOVICH, M., HARMON, R.S. (Ed.) Uranium-series disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences. Oxford: Clarendon Press. cap. 5, p. 127 – 73.

I.S.R.M. – INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. International Journal of Rock Mechanics, v. 16, 1979. (Abstract).

LIMA, J.L.N., 1993; Implementação de Metodologia para a Mensuração de <sup>222</sup>Rm e sua Aplicação no Estudo da Radioatividade de Águas de Águas da Prata (SP). 200f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP).

MÉNAGER, M.T., HEATH, M.J., IVANOVICH, M., MONTJOTIN, C., BARILLON, C.R., CAMP, J., HASLER, S.E., 1993. Migration of uranium from uranium-mineralised fractures into the rock matrix in granite: implications for radionuclide transport around a radioactive waste repository. Fourth International Conference of Chemistry and Migration Behaviour of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration, 1993), Charleston, USA, 12-17, December 1993, Radiochimica Acta 66/67, 47–83.

METTERS, J., 1992; Radon in context. Radiation Protection Dosimetry, v. 42, p. 159-164.

MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; GUEDES, S. 2004. Rn-222 concentrations of the building stones from different magmatic series. 32nd Int. Geol. Cong., Abs. Vol., pt, abs. 56-25, p. 286. Florença - Itália.

MOURA, C.L. 2005. Radioatividade Natural e Emissão de  $^{222}\text{Rn}$  em rochas Ornamentais Provenientes de Diferentes Séries Magmáticas Utilizadas como Revestimento Interno. Tese Doutorado apresentada ao IGCE/UNESP. 195p.

MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; BONOTTO, M.D. 2007a. A influência da porosidade na taxa de exalação de  $^{222}\text{Rn}$  de rochas utilizadas como ornamental e de revestimento. Livro de Resumos do X Simp. Geologia do Sudeste (SBG - Núcleos SP/ES/MG). p. 111. Casa da Glória, Diamantina - MG; nov./2007.

MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; BONOTTO, M.D. 2007b. A importância dos aspectos petrográficos no estudo da radioatividade natural e de emissão de radônio de rochas ornamentais utilizadas em revestimento. Boletim de Resumos do III Congr.Bras. de Rochas Ornamentais e VI Simp. Rochas Ornamentais do Nordeste (SBG/NNE). Praiamar Natal Hotel & Convention, Natal - RN. CD-ROM. Ref. P. 21.

MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; BONOTTO, D.M. 2005. Radioatividade natural em rochas ornamentais provenientes de diferentes séries magmáticas. I Congr. Internacional de Rochas Ornamentais e II Simp. Brasileiro de Rochas Ornamentais (Realização: CETEM/CETEMAG). Guarapari - ES. CD-ROOM (6 páginas), Ref. 072.

MOURA, C.L.; ARTUR, A.C.; BONOTTO, M.D.; GUEDES, S. 2006. Radioatividade natural e taxa de exalação de radônio em rochas ornamentais de diferentes

séries magmáticas. Anais do 43o Congr.Bras.Geol. (SBG); Apresentação Oral S13:AO-244. Aracaju - SE.

NAVARRO, F.C., 1998; Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico. In: Congresso UruguaYo de Geologia, 2, 1998, Punta del Este. Actas... Punta del Este: Socirdad Uruguaya de Geología, p.103-107.

NAVARRO, F.C.; 2002, Caracterização Petrográfica como técnica para a precisão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais. 2002. 88p. Dissertação (de Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista: Rio Claro, 2002.

NAVARRO, F. C., 2006; Influência da Petrografia sobre a Anisotropia à Tensão de Compressão e Dilatação Térmica de Rochas Ornamentais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista: Rio Claro.

PEREIRA, C. M. A., 2009. Mapeamento de Aquíferos Fraturados Empregando Métodos Geométricos e Emissão Natural de Radônio. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

REBELO, A.M.A.; BITTENCOURT, V. L.; MANTOVANI, L. E., 2002; Anomalias geoquímicas e U e de Th, solos residuais e geofomas em paisagens tropicais úmidas sobre granito. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba: Editora da UFPR, n. 51, p. 33-44,.

RODRIGES, E.P.; COUTINHO, J.M.V.; CHIODI FILHO, C., 1996; Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. São Paulo: Rochas de Qualidade. n. 127, p. 80-84.

RODRIGUES, E.P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J.J.M., 1997; Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. Lisboa: Rochas e Equipamentos, v. 47, 2 p.

SANTOS, T. J. S. 1993. Aspectos Geológicos de uma área a sudoeste de Granja, região noroeste do Ceará. Inst. de Geociência, UNESP, Rio Claro–SP. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, T.J.S. 1999. Evolução Tectônica e Geocronológica do Extremo Noroeste da Província Borborema. Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas IGCE/UNESP-Rio Claro, 186 p.

SHARAF, M. A.; ABO-ELMAGD, M., 2005; Thermal effects on CR-39 detector response and permeability of some membranes used in radon measurements. Radiation Measurements, v. 39, p. 441-445.

SIGRID, A. B.; OWEN, D. E.; SCHUMANN, R. R., 1995; A Preliminary Evaluation of Environmental Factors Influencing Day-to-Day and Seasonal Soil –Gas Radon Concentrations. In Field Studies of Radon in Rocks, Soil and Water. U.S. Geological Survey Bulletin, 23-31 p.

SPEELMAN, W., 2004. Master of Science full thesis, Department of Physics, University of the Western Cape, Australia. Modeling and Measurement Of Radon Diffusion Through Soil for Application On Mine Tailings Dams, pp. 36 - 63.

SWAKON, J., KOZAK, K., PASZKOWSKI, M., GRADZINSKI, R., ŁOSKIEWICZ, J., MAZUR, J., JANIK, M., BOGACZ, J., HORWACIK, T., OLKO, P. 2004. Radon concentration in soil gas around local disjunctive tectonic zones in the Krakow area. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 78, Issue 2, pp 137 – 149.

TANNER, A. B., 1980, Radon migration in the ground: A supplementary review, in Gesell, T.F., and Lowder, W.M., eds., Natural Radiation Environment III: U.S. Dept. Energy Rept. CONF-780422, v. 1, p. 5-56.

TROMPETTE, R. 1994. Geology of western Gondwana, Pan-African/Brasiliano Aggregation of South America and Africa. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 350 p.

TZORTZIS, M., TSERTOS, H., CHRISTOFIDES, S., CHRISTODULIDES, G.,; 2003; Gamma radiation measurements and dose rates in commercially-used natural tiling rocks (granites). Journal of Environmental Radioactivity, 70, p. 223-235.

USGS – United States Geological Survey. The Geology of Radon. 1995. Disponível em <http://energy.cr.usgs.gov/radon/>. Acesso em 20 de maio de 2010.

VIDAL, F.W.H. Estudo dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granitos no Ceará. 1999. 173p. Tese (Doutoramento) - Universidade de São Paulo, 1999.

WOLBARST, A. B. Physics of Radiology. Norwalk, CT: Appleton & Lange, 1993.

VAUCHEZ, A; NEVES, S.; CABY, R; CORSINI, M, EGYDIO-SILVA, M. ARTHAUD, M. & AMARO, V., 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. Journal of South American Earth Sciences. Vol 8; 3/4; 247-266 p.

## **7 - ANEXOS**

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra: Olivina Diabásio Porfírico

data: 6/17/2010

Procedência: Apuiarés - CE

Interessado: Francisco Diones

CP num.	PESO (g)			Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )		Porosidade %	Abs. d'água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	248.13	365.34	365.11	3.115	3.117	0.20	0.06
2	267.83	394.07	393.83	3.120	3.122	0.19	0.06
3	258.00	380.46	380.31	3.106	3.107	0.12	0.04
4	261.35	384.76	384.54	3.116	3.118	0.18	0.06
5	267.27	393.46	393.25	3.116	3.118	0.17	0.05
6	258.85	381.36	381.14	3.111	3.113	0.18	0.06
7	244.84	360.15	359.94	3.121	3.123	0.18	0.06
8	267.32	393.66	393.43	3.114	3.116	0.18	0.06
9	271.76	401.10	400.84	3.099	3.101	0.20	0.06
10	269.90	397.56	397.37	3.113	3.114	0.15	0.05
<b>Valores Médios:</b>				3.113	3.115	0.17	0.06
<b>Desvio Padrão:</b>				0.007	0.007	0.024	0.008

**Fórmulas utilizadas:** m.e.seca = C / (B - A)  
m.e.satur. = B / (B - A)  
porosidade = (B - C) / (B - A) x 100  
abs. d'água = (B - C) / C x 100

OBS.:

## Ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial - Norma - NBR - 12.767/1992

Amostra: Olivina Diabásio Porfírico

data: 6/12/2010

Procedência: Apuiarés - CE

Interessado: Francisco Diones

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão	
num	h	b					média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4	1		2	3	4				
1	75.23	74.55	74.64	74.65	74.54	74.60	74.67	74.70	74.82	74.72	74.73	1179.9	211.7	
2	75.48	74.97	74.98	75.52	75.18	75.16	75.53	75.30	75.37	75.60	75.45	1066.9	188.1	
3	75.65	75.48	74.33	74.76	75.35	74.98	75.49	75.44	75.19	75.30	75.36	1078.2	190.8	
4	75.42	74.52	74.43	74.64	74.74	74.58	75.38	75.14	74.64	74.86	75.01	1111.1	198.6	
5	74.95	74.29	74.54	74.66	74.61	74.53	75.03	74.86	75.71	75.67	75.32	958.7	170.8	
<b>Média:</b>						74.77					75.17	1078.95	192.0	
<b>Desvio Padrão:</b>						0.285					0.299	80.34	14.97	

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (ms)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	12.1	75.23	6217
2	11.1	75.48	6800
3	11.4	75.65	6636
4	11.5	75.42	6558
5	11.0	74.95	6814
<b>Média:</b>			6605
<b>Desvio Padrão:</b>			242.37

1kN = 101,971 kgf

1kgf = 9,80665 N

Tensão =  $\frac{\text{Força de ruptura}}{\text{Área do Corpo}}$

com congelamento/degelo   
 sem congelamento/degelo

seca em estufa à 110° C   
 saturado em água

## Determinação da Resistência à Flexão (Método dos 3 pontos) - NORMA NBR - 12763

Amostra: Olivina Diabásio Porfírico

data: 6/13/2010

Procedência: Apuiarés - CE

Interessado: Francisco Diones

CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	50.92	50.40	50.57	50.36	50.56	101.53	101.80	101.43	101.66	101.61	180	17226	17.9
2	50.43	51.07	50.83	50.84	50.79	101.69	100.99	100.90	100.38	100.99	180	17596	18.2
3	50.56	50.72	50.48	50.40	50.54	102.65	102.58	101.59	101.14	101.99	180	17964	18.6
4	50.02	50.74	50.52	50.53	50.45	101.59	101.62	102.41	101.97	101.90	180	21094	22.0
5	50.18	50.06	50.14	50.52	50.23	101.66	100.75	101.04	101.15	101.15	180	24082	25.5
<b>Média:</b>					50.51					101.53		19592.4	20.4
<b>Desvio Padrão:</b>					0.205					0.444		2943.15	3.25

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	30.3	201.85	6662
2	29.5	201.23	6821
3	29.8	203.20	6819
4	29.3	202.52	6912
5	30.0	202.47	6749
<b>Média:</b>			6793
<b>Desvio Padrão:</b>			93.257

$$\text{Tensão} = \frac{(3.F.L)}{(2.b.d^2)}$$

$$1\text{kN} = 101,971 \text{ kgf}$$

$$1\text{kgf} = 9,80665 \text{ N}$$

Taxa de carregamento  
4450 N/min

**OBS.:**

seca em estufa à 110° C	X
saturado em água	

## Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042

Amostra: Olivina Diabásio Porfírico

data: 6/18/2010

Procedência: Apuiarés - CE

Interessado: Francisco Diones

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)		
1	1	9.68	1	9.28	1	8.85	0.40	0.83	0.41	0.76
	2	9.50	2	9.26	2	8.97	0.24	0.53		
	3	9.71	3	9.20	3	8.92	0.51	0.79		
	4	9.72	4	9.25	4	8.83	0.47	0.89		
2	1	9.61	1	9.26	1	9.01	0.35	0.60	0.29	0.55
	2	9.51	2	9.23	2	8.97	0.28	0.54		
	3	9.34	3	9.10	3	8.83	0.24	0.51		
	4	9.40	4	9.13	4	8.85	0.27	0.55		
								<b>média entre os corpos de prova</b>	0.35	0.66
								<b>desvio padrão</b>	0.08	0.15

Obs:	
------	--