



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS DE  
GRANITOIDES NEOPROTEROZOICOS DA PROVÍNCIA BORBOREMA  
E SUA CORRELAÇÃO COM PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHAS**

Autor:

**RAFAEL RABELO FILLIPPI**

Orientador:

Prof. Dr. Antonio Carlos Galindo

Co-orientador:

Prof. Dr. Fernando Antonio Pessoa Lira Lins

Dissertação nº128 / PPGG

Natal/RN, Março de 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS DE  
GRANITOIDES NEOPROTEROZOICOS DA PROVÍNCIA BORBOREMA  
E SUA CORRELAÇÃO COM PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHAS**

Autor:

**RAFAEL RABELO FILLIPPI**

Dissertação de Mestrado apresentada em 28 de Março de 2014, para a obtenção do título de Mestre em Geodinâmica e Geofísica, com área de concentração em Geodinâmica pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Carlos Galindo (PPGG/UFRN - orientador)

Prof. Dr. José Antonio Moraes Moreira (PPGG/UFRN)

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (PPGG/UFC)

Natal/RN, Março de 2014

## RESUMO

O presente trabalho discute a correlação de condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética com composição de elementos maiores e traços de corpos ígneos neoproterozoicos da Província Borborema, Nordeste do Brasil. Estas propriedades foram usadas como possíveis marcadoras entre as suítes magmáticas estudadas.

Para a correlação entre propriedades petrofísicas e geoquímicas, consideramos um conjunto de 195 análises químicas de rocha total de granitoides, separadas entre si pelo grau de acidez em básicas, intermediárias e ácidas. Foram utilizados elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ ) e alguns traços (Rb, Sr, Ba, Zr, Th e U) que estão usualmente ligados à formação dos minerais mais comuns das rochas ígneas. Os resultados obtidos mostram que o  $\text{SiO}_2$  é o que apresenta melhor correlação positiva com a condutividade térmica, enquanto  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{TiO}_2$  exibem correlação negativa para esta mesma propriedade. A correlação com a densidade é inversa à obtida por estes óxidos com a condutividade térmica. Já a susceptibilidade magnética não apresentou nenhuma correlação com os elementos estudados. Os resultados obtidos para condutividade térmica e densidade indicam uma tendência do  $\text{SiO}_2$  e dos óxidos com maior afinidade com minerais máficos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{TiO}_2$ ) em controlar estes parâmetros petrofísicos.

O conjunto de amostras foi subdividido em cinco diferentes suítes magmáticas, com base em conteúdos litogeoquímicos: i) peralcalina / alcalina; ii) alcalina; iii) cálcio alcalina; iv) cálcio alcalina de alto K; e v) shoshonítica. A análise dos dados mostrou que a condutividade térmica e a densidade apresentaram bons resultados na individualização dessas suítes, notadamente entre as suítes peralcalina / alcalina, alcalina, cálcio-alcalina e shoshonítica. Contudo, a suíte cálcio-alcalina de alto K mostrou superposição com as demais. Por outro lado, a susceptibilidade magnética não apresentou resultados efetivos na separação das cinco suítes.

Palavras-chaves: condutividade térmica; densidade; susceptibilidade magnética; litogeoquímica.

## ABSTRACT

This paper discusses the correlation of thermal conductivity, density and magnetic susceptibility with composition of major and trace elements of Neoproterozoic igneous bodies from Borborema Province, Northeastern Brazil. These properties were used as potential markers among the studied magmatic suites.

For the correlation between petrophysical and geochemical properties it was considered a set of 195 chemical analyzes of granitoid rocks, separated by the degree of acidity in basic, intermediate and acidic. Major ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and  $\text{TiO}_2$ ) and some trace elements (Rb, Sr, Ba, Zr, Th and U) that are usually linked to the formation of the most common minerals of igneous rocks were used. The results show that  $\text{SiO}_2$  has the best positive correlation with the thermal conductivity, while  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  and  $\text{TiO}_2$  exhibit negative correlation for the same property. The correlation with density is opposite to that one for these oxides with the thermal conductivity. The magnetic susceptibility did not correlate with the elements studied. The results for thermal conductivity and density indicate a tendency of  $\text{SiO}_2$  and oxides with higher affinity with mafic minerals ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{MgO}$ ) in controlling these petrophysical parameters.

The set of samples was divided into five different magmatic suites based on their lithochemical aspects into: i) peralkaline / alkaline; ii) alkaline; iii) calc-alkaline; iv) high potassium calcium alkaline; and v) shoshonitic. Data analysis showed that the thermal conductivity and density presented good results in the individualization of these suites, notably between peralkaline / alkaline, alkaline suites, calc-alkaline and shoshonitic. However, the high-K calc-alkaline suite overlapped with the other. In contrast, the magnetic susceptibility did not show effective results for separating the five chemical suites.

Keywords: thermal conductivity; density; magnetic susceptibility; litogeochemistry.

**“THE WORLD IS FULL OF KINGS AND QUEENS  
WHO BLIND YOUR EYES AND STEAL YOUR DREAMS  
IT'S HEAVEN AND HELL”  
BLACK SABBATH**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Geologia e do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, em especial aos Professores Dr. Antônio Carlos Galindo, Dr. Francisco Oliveira da Silva, Dr. Vanildo Pereira da Foncesca, Dr. Laécio Cunha de Souza, Dr. Jaziel Martins Sá, Dr. Fernando Antonio Pessoa Lira Lins, Dr. Heitor Neves Maia e Dr. Marcos Antônio Leite do Nascimento.

Aos projetos “Parametrização de Afloramentos do Embasamento Cristalino da Bacia Potiguar Para Estudos de Condutividade Térmica” e “Parametrização de afloramentos do embasamento cristalino das bacias do Ceará e interiores do *trend* Cariri Potiguar para estudos de condutividade térmica: um tema em continuidade.”

Aos amigos geológicos Thais, Raissa e Gustavo, Mariana Caldeirão e Bebinho, Luanny, Andressa, Dalton, Marcos “macaco”, Angry Bird Tadeu e Veruscka, Tércia, Williame Cocentino (caverna baiana), Alan e Diego Tavares.

Ao casal Úrsula e Mitsuhiko, ao sogro Francisco Antonio Duarte e sogra Maria Neuma de Oliveira e ao cunhado e cunhada Thuan Duarte de Oliveira e Maria Taiany Duarte de Oliveira.

Ao Mestre de fora do Curso Rogério Vidal Nunes Barbosa (Vulgo Mau).

Aos servidores do Departamento e da PPGG, em especial a uma das melhores pessoas que conheci na vida: A Grande Nilda!!!

Agradeço ao meu pai Luiz Fillippi Filho e minha mãe Nadja Rabelo Fillippi (meus velinhos queridos), meus irmãos José Luiz Rabelo Fillippi e a Danielle Rabelo Fillippi, a cunhada Andréia Barros, a minha sobrinha Ana Carolina e meus sobrinhos Pedro (o Grande!) e Kevin. E sem esquecer meu Sogro Antônio Duarte e minha super Sogra Neuma, a cunhada Taiany, ao cunhado Thuan (vulgo Thulan) e a super tia Selma.

E finalmente a GEOLOGIA, que me deu a oportunidade de conhecer a minha amada MARIA TATIANY DUARTE DE OLIVEIRA, onde juntos concebemos o que é de mais importante na minha vida: minha filha CÉCILIA DUARTE FILLIPPI.

## SUMÁRIO

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Lista de Figura.....	vii
Lista de Tabela.....	viii
<b>Capítulo 1 – Introdução.....</b>	<b>02</b>
1.1 – Apresentação.....	02
1.2 – Justificativas e Objetivos.....	03
1.3 – Método de Trabalho.....	04
1.4 – Localização da Área.....	05
<b>Capítulo 2 – Fundamentação Teórica.....</b>	<b>07</b>
2.1 – Fundamentos Teóricos.....	07
2.1.1 – Análise Química.....	07
2.1.2 – Condutividade Térmica.....	07
2.1.3 – Susceptibilidade Magnética.....	12
2.1.4 – Densidade.....	16
2.2 – Materiais e Métodos.....	18
2.2.1 – Análise Química.....	18
2.2.2 – Condutividade Térmica.....	19
2.2.3 – Susceptibilidade Magnética.....	21
2.2.4 – Densidade.....	21
<b>Capítulo 3 – Artigo 1.....</b>	<b>24</b>
Resumo.....	26
Abstract.....	26
Introdução.....	26
Materiais e Métodos.....	30
Fundamentação Teórica.....	33
Condutividade Térmica.....	33
Densidade.....	33
Susceptibilidade Magnética.....	34
Correlação entre a Geoquímica e as Propriedades Petrofísicas.....	34
Condutividade Térmica.....	35
Densidade.....	38
Susceptibilidade Magnética.....	41
Discussões.....	42
Condutividade Térmica.....	42
Densidade.....	43
Susceptibilidade Magnética.....	44
Conclusões.....	44
Agradecimentos.....	45
Referências Bibliográficas.....	45

---

<b>Capítulo 4 – Artigo 2.....</b>	<b>57</b>
Resumo.....	58
Abstract.....	58
Introdução.....	59
Condutividade Térmica.....	60
Densidade.....	61
Susceptibilidade Magnética.....	61
Contexto Geológico Regional.....	61
Granitoides Neoproterozoicos.....	62
Suítes Magmáticas de Granitoides Neoproterozoicos para as Amostras Estudadas.....	67
Os Dados Petrofísicos <i>Versus</i> as Tipologias de Granitoides.....	70
Condutividade Térmica.....	70
Densidade.....	74
Susceptibilidade Magnética.....	78
Considerações Finais.....	80
Agradecimentos.....	81
Referências Bibliográficas.....	82
<b>Capítulo5 - Conclusões.....</b>	<b>95</b>
<b>Capítulo 6 - Referências Bibliográficas.....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1: Introdução

**Figura 1.1:** Mapa de localização da área de estudo, apresentado localização de pontos de coleta de amostras de corpos ígneos. 05

### Capítulo 2: Fundamentação Teórica

**Figura 2.1** – Relação dos principais elementos químicos formadores de rochas da crosta terrestre e suas respectivas condutividades térmicas, modificada de Figueiredo, 2006. 09

**Figura 2.2** – Tabela Periódica com escala de cores representado os valores de condutividade térmica de cada elemento químico, modificado de <<http://periodictable.com/Properties/A/ThermalConductivity.st.log.html>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2011. 10

**Figura 2.3** – Tabela referente às principais classes mineralógicas e seus respectivos valores de condutividade térmica, Compilado de Oliveira (2011). 11

**Figura 2.4** – Tabela com os principais tipos de rochas e sedimentos e seus respectivos valores de condutividade térmica, Compilado de Oliveira (2011). 12

**Figura 2.5** – Tabela Periódica com escala de cores representada os valores de susceptibilidade magnética de cada elemento químico, modificado de <<http://periodictable.com/>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2011. 14

**Figura 2.6** – Susceptibilidade magnética dos principais minerais, modificado de (Hrounda et al. 2009). 15

**Figura 2.7** – Susceptibilidade magnética dos minerais, modificado de (Hrounda et al. 2009). 16

**Figura 2.8** – Tabela Periódica com escala de cores representado os valores de densidade de cada elemento químico, modificado de <<http://periodictable.com/>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2011. 17

**Figura 2.9** – Principais rochas e suas respectivas densidades. Compilado de Oliveira (2011). 18

**Figura 2.10** – Fluxograma de preparação da amostras para análise química. 19

**Figura 2.11**- Equipamento de medição da condutividade térmica: a) Visão geral do equipamento; b) Sensor; e c) Tablete usado para as medições. Compilado de Oliveira (2011). 20

**Figura 2.12**- Procedimentos para medição da condutividade térmica. Compilado de Oliveira (2011). 20

**Figura 2.13**- Equipamento para medição da susceptibilidade magnética, com visão do sensor ao lado direito. Compilado de Oliveira (2011). 21

**Figura 2.14**- Equipamentos utilizados para se obter o valor de densidade: a) Amostra em formato de cubo; b) Estufa utilizada para secagem das amostras; c) Amostras para a pesagem submersa e úmida; d) Pesagem seca, e) Pesagem submersa e f) Pesagem úmida. Compilado de Oliveira (2011). 22

### Capítulo 3: Artigo 1

**Figura 1** – Mapa geológico simplificado da porção centro-norte da Província Borborema, apresentando localização das amostras coletadas (compilado de Angelim et al. (2004), Angelim (2004), Vasconcelos (2004), Delgado (2004) e Kosin et al. (2004). 29

**Figura 2** – Diagrama QAP (Streckeisen 1976) para as rochas ígneas estudadas. 30

**Figura 3** - Gráficos de correlação linear entre a condutividade térmica e os elementos maiores. 37

**Figura 4** - Gráficos de correlação linear entre a condutividade térmica e os 38

elementos traços.

**Figura 5** - Gráficos de correlação linear entre a densidade e os elementos maiores. 40

**Figura 6** - Gráficos de correlação linear entre a densidade e os elementos traços. 41

**Figura 7** - Gráfico de correlação linear entre a densidade e alguns elementos maiores. 42

#### Capítulo 4: Artigo 2

**Figura 1**- Divisão da Província Borborema em domínios e terrenos tectono-estratigráficos, modificado de Santos & Medeiros (1999) e Santos (2000). 62

**Figura 2** – A (Streckeisen, 1976); B (Irvine and Baragar, 1971); C (Rogers & Greenberg, 1981); D (Peccerillo and Taylor, 1976) com áreas das diferentes suítes magmáticas estudadas. 69

**Figura 3** – Suítes Magmáticas versus Condutividade Térmica, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com minerais félsicos. 72

**Figura 4** – Suítes Magmáticas versus Condutividade Térmica, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com minerais máficos. 73

**Figura 5** – Suítes Magmáticas versus Densidade, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com minerais félsicos. 76

**Figura 6** – Suítes Magmáticas versus Densidade, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com minerais máficos. 77

**Figura 7** – Suítes Magmáticas versus Susceptibilidade Magnética, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com esta propriedade petrofísica. 80

### LISTA DE TABELA

#### Capítulo 3: Artigo 1

Tabela 01 – Tabela com valores de condutividade térmica em  $W m^{-1}K^{-1}$ , susceptibilidade magnética em 10<sup>-3</sup>SI, e densidade em g/cm<sup>3</sup>, além de resultados das análises dos elementos maiores em % (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO e TiO<sub>2</sub>) e traços em ppm (Rb, Sr, Ba, Zr, Th e U). 50

Tabela 02 – Dados estatísticos para as três propriedades petrofísicas (condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética) investigadas. 55

#### Capítulo 4: Artigo 2.

Tabela 04 - Tabela com valores de condutividade térmica em  $W m^{-1}K^{-1}$ , susceptibilidade magnética em 10<sup>-3</sup>SI, e densidade em g/cm<sup>3</sup>, além de resultados das análises dos elementos maiores em % (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) para as Suítes estudadas. 87

Tabela 01 - Valores estatísticos da condutividade térmica para os cinco grupos estudados. 69

Tabela 02 - Valores estatísticos da densidade para os cinco grupos estudados. 73

Tabela 03 - Valores estatísticos da susceptibilidade magnética para os cinco grupos estudados. 77

---

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

ESTE CAPÍTULO APRESENTA AS JUSTIFICATIVAS E OS OBJETIVOS PARA A REALIZAÇÃO DESTE ESTUDO, BEM COMO OS MÉTODOS DE TRABALHOS EMPREGADOS, A LOCALIZAÇÃO E A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS AMOSTRAS QUE COMPÕEM ESTA PESQUISA.

# CAPÍTULO 1 – Introdução

## 1.1 – APRESENTAÇÃO

Esta dissertação, juntamente à submissão de um artigo, é o requisito final à obtenção do título de Mestre em Geodinâmica no Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A mesma teve a orientação e co-orientação, respectivamente, dos professores Drs. Antonio Carlos Galindo e Fernando Antonio Pessoa Lira Lins. Este trabalho é composto por seis capítulos que descrevem os trabalhos desenvolvidos e os resultados obtidos através da caracterização petrográfica e litogeoquímica de corpos graníticos de idade neoproterozoica da Província Borborema e sua correlação com a condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética. A realização deste trabalho foi possível devido aos projetos “Parametrização de Afloramentos do Embasamento Cristalino da Bacia Potiguar Para Estudos de Condutividade Térmica” e “Parametrização de afloramentos do embasamento cristalino das bacias do Ceará e interiores do *trend* Cariri Potiguar para estudos de condutividade térmica: um tema em continuidade.”, do qual o Co-Orientador, Prof. Dr. Fernando Antonio Pessoa Lira Lins, é coordenador, que autorizou o uso de seus dados, bem como o apoio logístico do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG/UFRN) e do Programa de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que concedeu uma bolsa de mestrado.

A granitogênese Neoproterozoica é uma das feições mais marcante da Província Borborema, ainda que estes corpos já disponham na literatura de um bom acervo de dados geoquímicos, petrográficos e geocronológicos, pouco foi feito no quesito relativo a propriedades físicas, a não ser os trabalhos pioneiros no tocante a PPGG (Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica) em três Projetos de Pesquisa:

I. Distribuição dos Sedimentos Cenozóicos nas Bacias Pernambuco-Paraíba, Potiguar e Ceará, Como Função da Epirogenia Cenozóica da Província Borborema – CRONOBORO (PETROBRAS/FINEP).

II. Parametrização de Afloramentos do Embasamento Cristalino da Bacia Potiguar Para Estudos de Condutividade Térmica (PETROBRAS/UFRN/FUNPEC).

III. Parametrização de Afloramentos do Embasamento Cristalino da Bacia do Ceará e Interiores do *Trend* Cariri-Potiguar para Estudos de Condutividade Térmica: Um Tema em Continuidade (PETROBRAS/ UFRN/FUNPEC).

Estes projetos apoiaram a realização de uma Dissertação de Mestrado (Figueiredo, E.R.H, 2006), e quatro Relatórios de Graduação (Assunção, A.L.C, 2010; Duarte de Oliveira, M.T, 2011; Fillippi. R.R, 2011 e Silva, T.J de O, 2013), abordando pela primeira vez estudos relacionados a petrografia, litogeoquímica e propriedades físicas de rochas.

## 1.2 – JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS

Os trabalhos prévios de Figueiredo (2006), Figueiredo *et al.* (2008), Figueiredo *et al.* (2009), Assunção (2010) e Duarte de Oliveira (2011) têm demonstrado haver uma estreita associação entre petrografia (composição modal) e alguns parâmetros físicos de rochas (condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética, por exemplo). Relações entre dados litogeoquímicos e estas propriedades foram abordados por trabalhos pioneiros como: i) Figueiredo *et al.* (2008) que abordou somente no aspecto “geoquímica de elementos maiores versus condutividade térmica”, usando assim com um conjunto limitado de amostras; ii) Fillippi (2011) cujo trabalho correlacionou a geoquímica de elementos maiores e alguns traços de alguns granitoides dos Domínios Rio Grande do Norte e Médio Coreau; iii) Silva (2013) que abordou a correlação entre as propriedades físicas de rochas em granitóides da região de Poço Branco e Taipu, Domínio Rio Grande do Norte.

O trabalho ora proposto pretende discutir e avaliar possíveis correlações entre a condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética, e a geoquímica de elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ ) e alguns elementos traços (Rb, Sr, Ba, Zr, U e Th) de granitóides Neoproterozoicos da Província Borborema. Em uma segunda etapa, estas amostras foram separadas em cinco suítes magmáticas, com base em suas afinidades litogeoquímicas, seguindo em parte o proposto por Nascimento *et al.* (2000-2008) para granitoides do Domínio Rio Grande do Norte. A

partir destas cinco suítes magmáticas foram confeccionados gráficos binários de correlação linear entre a geoquímica de elementos maiores e as propriedades petrofísicas estudadas a fim de avaliar uma possível distinção entre as mesmas.

### 1.3 – MÉTODOS DE TRABALHO

A metodologia aplicada para o estudo corresponde dos seguintes passos:

- Organizar um banco de dados litogeoquímicos dos diferentes granitóides estudados, este sendo composto de análises já disponíveis na literatura e outras adquiridas nos projetos que apóiam este trabalho;
- Determinar os parâmetros petrofísicos de condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética em amostras desses granitóides (alguns dados já estão disponíveis na literatura – vide Assunção, 2010 e Fillippi, 2011);
- Elaborar gráficos de binários de correlação linear entre a geoquímica e os parâmetros petrofísicos;
- Definir o papel da litogeoquímica das rochas estudadas nas variações dessas propriedades petrofísicas;
- Classificar as diferentes amostras em suítes magmáticas segundo critérios petrográficos e litogeoquímicos;
- Avaliar a importância desse estudo na caracterização de suítes magmáticas de rochas granitóides;
- Elaboração dos artigos: GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES E ALGUNS TRAÇOS DE GRANITOIDES NEOPROTEROZOICOS DA PROVÍNCIA BORBOREMA E SUA CORRELAÇÃO COM PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHAS e PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHAS E SUA CORRELAÇÃO COM SUÍTES MAGMÁTICAS DE GRANITÓIDES NEOPROTEROZOICOS DA PROVÍNCIA BORBOREMA; e,
- Confeção da dissertação.

## 1.4 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada localiza-se, geograficamente, no Nordeste do Brasil, onde foram coletadas amostras de corpos ígneos nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (figura 1.1).

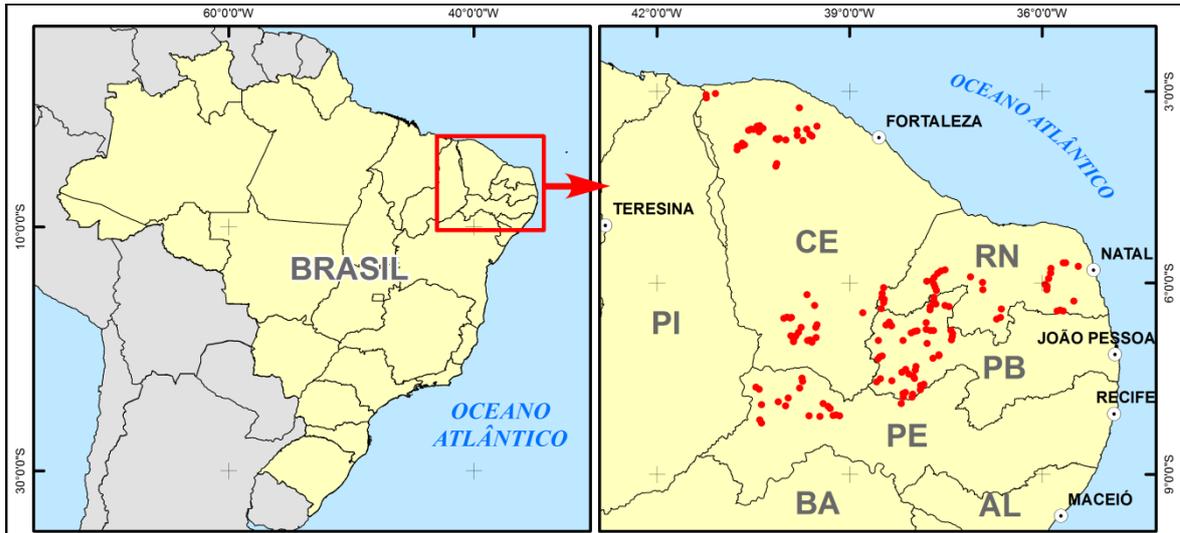


Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo, apresentado localização de pontos de coleta de amostras de corpos ígneos.

---

# CAPÍTULO 2 -

# FUNDAMENTAÇÃO

# TEÓRICA

ESTE CAPÍTULO SINTETIZA OS FUNDAMENTOS TEÓRICOS DAS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS ESTUDADAS, ALÉM DE ABORDAR OS EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA AQUISIÇÃO DOS DADOS.

## CAPÍTULO 2 – Fundamentação Teórica

### 2.1 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1.1- Análise Química

Consiste na determinação dos componentes de uma amostra, no caso uma rocha, sendo que existem dois tipos de análises químicas, a primeira é a análise qualitativa que tem por objetivo isolar e identificar os elementos, íons ou funções orgânicas ou inorgânicas que compõe a substância. O segundo tipo é a análise quantitativa que tem a finalidade de conhecer a proporção em que se encontram os diferentes componentes de um produto.

Neste trabalho o método escolhido foi o de análise quantitativa onde se buscou determinar os elementos maiores, traços e terras raras de cada amostra, com intuito de obter uma relação com as propriedades petrofísicas, a partir de gráficos de correlações lineares.

#### 2.1.2- Condutividade Térmica

Para o melhor entendimento deste tema, serão abordadas algumas propriedades da termodinâmica, como: Calor Específico ( $c$ ), Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) e Difusividade Térmica ( $\alpha$ ).

O Calor Específico define a quantidade de energia térmica necessária para elevar de 1°C (um grau Celsius) a temperatura de um material, deste modo o calor específico pode ser definido pela equação abaixo.

$$c = C / m \text{ (Equação 1)}$$

Onde, o calor específico ( $c$ ) é igual ao quociente da capacidade calorífica ( $C$ ) e unidade de massa de um material ( $m$ ). Sua unidade no Sistema Internacional (S.I.) é J/(Kg . K) (Joule por quilograma por Kelvin).

A Condutividade Térmica é definida pela capacidade que um material possui em transferir calor, a partir de processos físicos como: condução, convecção e radiação.

- Condução: Ocorre a partir da estrutura cristalina de um meio sólido;
- Convecção: Ocorre a partir do movimento de um fluido (líquido ou gasoso) devido à diferença de densidade, especialmente por meio de calor;
- Radiação: Ocorre através de espaços vazios sob a forma de ondas eletromagnéticas não havendo um meio para se propagar.

$$J = -\lambda \cdot \nabla T \text{ (Equação 2)}$$

Logo é a Condução de energia térmica determina a Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) das rochas. E calcula-se a partir da equação de Fourier, onde estabelece que o fluxo de calor ( $j$ ), este sendo a quantidade de energia que flui através de um material por unidade de área e do tempo, é igual ao produto da condutividade térmica ( $\lambda$ ) e o gradiente negativo de temperatura ( $\nabla T$ ).

Outra propriedade relacionada com a condutividade térmica ( $\lambda$ ) e o calor específico ( $c$ ) e a densidade ( $\rho$ ) é a Difusividade Térmica ( $\alpha$ ), que segue a equação abaixo:

$$\alpha = \lambda (\rho \cdot c)^{-1} \text{ (Equação 3)}$$

Onde no Sistema Internacional (S.I.), sua unidade é  $m^2s^{-1}$  (metro quadrado por segundo).

### I. Condutividade Térmica dos Elementos Químicos

Os elementos químicos estão distribuídos ao longo de uma tabela denominada de Tabela Periódica, essa alocação se dá em função de algumas propriedades físico-químicas, por exemplo, suas massas atômicas, raio atômico, afinidade eletrônica, potencial de ionização, dentre outros.

Assim como nas propriedades físico-químicas supracitadas, a condutividade térmica dos elementos químicos também varia de acordo com suas características. Portanto os elementos químicos se dividem em quatro categorias, onde a condutividade térmica apresenta comportamento distinto para cada grupo, como citado abaixo:

- Metais: Possuem, em geral, os maiores valores de condutividade térmica;
- Ametais: Possuem baixos valores de condutividade térmica;
- Gases Nobres: Comportam-se como isolantes;
- Hidrogênio: Possui comportamento semelhante ao dos gases nobres.

Segundo Mason (1971) os principais constituintes das rochas que compõem a crosta terrestre são: Silício (Si), Alumínio (Al), Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Sódio (Na), Potássio (K) e Titânio (Ti). A figura 2.1 apresenta a relação entre os elementos citadas acima com suas respectivas condutividades térmicas.

Elementos Químicos	$\lambda$ (W/mK)
Al	237
Ca	200
Mg	156
Si	148
Na	141
K	102,5
Fe	80,2
Ti	21,9

Figura 2.1 – Relação dos principais elementos químicos formadores de rochas da crosta terrestre e suas respectivas condutividades térmicas, modificada de Figueiredo, 2006.

Os elementos mais abundantes, silício e alumínio, possuem respectivamente valores de condutividade térmica igual a 148 e 237 W/mK, enquanto que o titânio possui o menor valor (21,9 W/mK) dentre esses elementos. Assim na teoria as rochas que apresentam minerais ricos em silício, por exemplo, o quartzo, deve apresentar maiores valores de condutividade térmica. Contudo a grande maioria dos minerais não é formada por um único elemento químico e sim por uma associação de elementos (silicatos, óxidos,

hidróxidos, haletos, sulfetos, entre outras), provocando uma diminuição nos valores da condutividade térmica.

Na figura 2.2, observa-se que aproximadamente 68,5% dos elementos químicos pertencentes à tabela periódica apresentam baixa condutividade térmica que variam de 0 à 100 W/m.k. A Prata (Ag), Cobre (Cu), Ouro (Au) e Alumínio (Al) são os elementos que apresentam maior condutividade térmica.

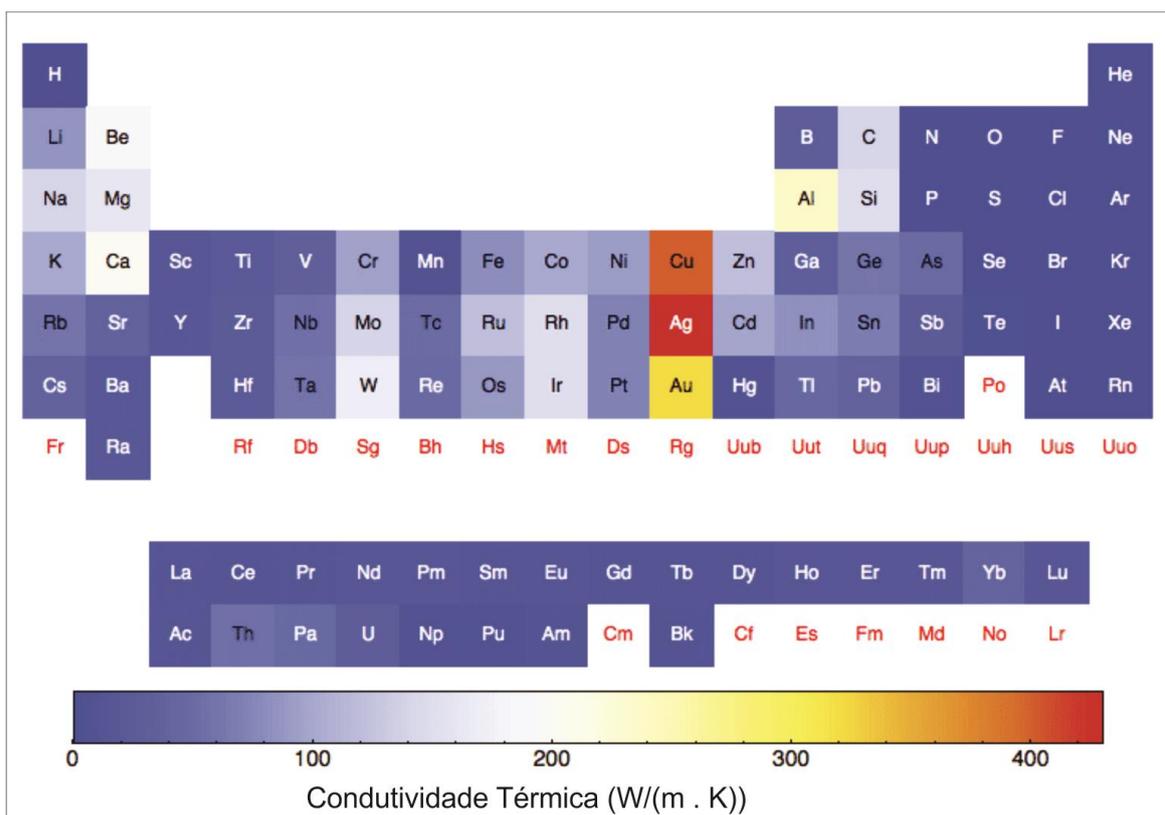


Figura 2.2 – Tabela Periódica com escala de cores representado os valores de condutividade térmica de cada elemento químico, modificado de < <http://periodictable.com/Properties/A/ThermalConductivity.st.log.html> />. Acesso em: 20 de Setembro de 2011.

## II. Condutividade Térmica das Rochas e seus Constituintes

De acordo com Dana (1969) um mineral tem a capacidade de conduzir calor devido a sua propriedade física, química e cristalográfica, mas outros fatores como a granulometria e “pureza” também influenciam na condutividade térmica. Vários autores como Horai (1971), Cermak & Rybach (1982), listam as propriedades termais dos minerais a partir de experimentos realizados em laboratório, onde os minerais foram reduzidos a pó

e se obteve uma média da condutividade térmica, uma vez que as propriedades físicas dos minerais haviam sido destruídas. Adiante Kobranova (1989) listou as principais classes mineralógicas e suas respectivas medidas de condutividade térmica (Figura 2.3).

Classe Mineralógica	Condutividade Térmica (W/mk)	Exemplos de Minerais
Elementos Nativos, Grafita e Diamante	120	Au, Grafita e Diamante
Sulfetos	19,0	Bornita, Calcopirita, Galena
Óxidos	11,8	Magnetita, Cassiterita, Cromita
Fluoretos e Cloretos	6,0	Fluorita, Halita
Carbonatos	4,0	Calcita, Dolomita
Silicatos	3,8	Quartzo, Piroxênio, Anfibólio
Sulfatos	3,3	Barita, Anidrita
Nitratos	2,1	Salitre do Chile, Salitre da Índia
Elementos Nativos não Metálicos	0,85	Enxofre

Figura 2.3 – Tabela referente às principais classes mineralógicas e seus respectivos valores de condutividade térmica, Compilado de Oliveira (2011).

Schon (2004) define que a condutividade térmica de uma rocha é caracterizada por vários fatores que são controlados não só por minerais, mas pela presença de porosidade, anisotropia, etc.. Logo cada tipo de rocha responde de maneira diferente a condutividade térmica, deste modo esta propriedade petrofísica, por exemplo, em rochas sedimentares são determinadas pela porosidade e origem do sedimento, enquanto que em rochas plutônicas a assembléia mineralógica é o principal controle desta propriedade (Figura 2.4).

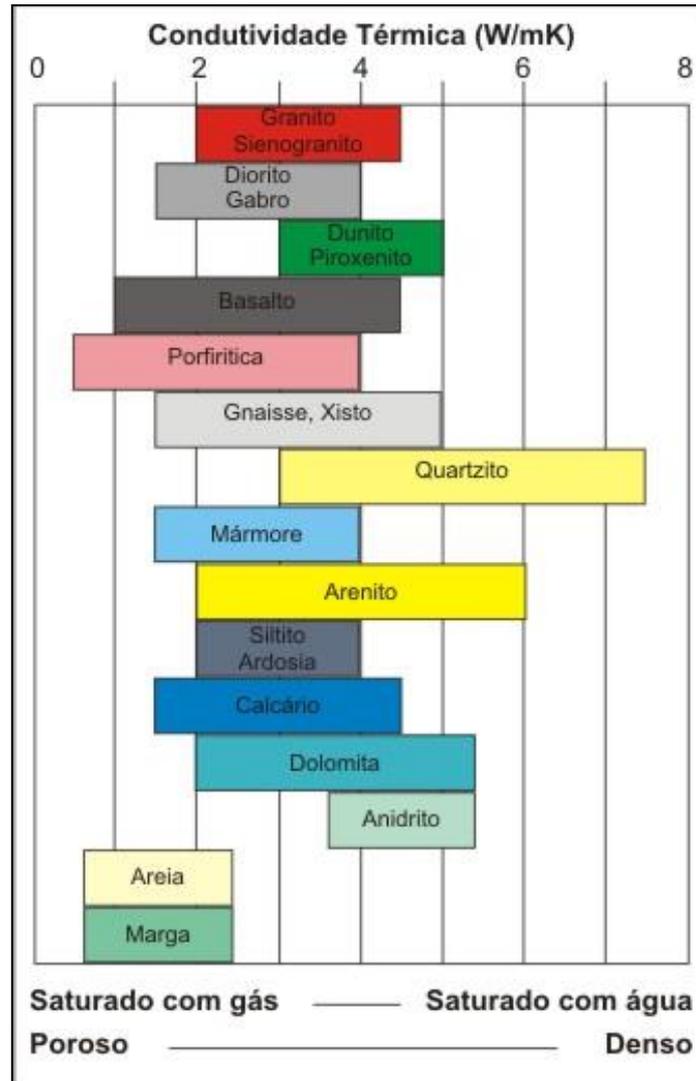


Figura 2.4 – Tabela com os principais tipos de rochas e sedimentos e seus respectivos valores de condutividade térmica, Compilado de Oliveira (2011).

### 2.1.3 – Susceptibilidade Magnética

Susceptibilidade magnética é caracterizada pela habilidade de uma substância de se magnetizar quando exposta a um campo magnético externo. Em substâncias isotrópicas a mesma pode ser definida a partir da fórmula abaixo.

$$M = k \cdot H \text{ (Equação 4)}$$

Onde M representa o vetor que induz o magnetismo, no sistema internacional (S.I.) a unidade padrão é A/m (ampere por metro), o H é o vetor da intensidade do campo

magnético, é usado também  $A/m$ , e  $k$  é a susceptibilidade magnética, que é uma unidade adimensional (Hrounda et al. 2009).

Os materiais terrestres não apresentam o mesmo comportamento magnético quando submetidos a um campo magnético, onde alguns materiais podem apresentar uma força de atração ou repulsão, logo as mesmas são classificadas em três tipos de magnetismo:

- Diamagnéticos: apresentam magnetização fraca, devido a sua baixa susceptibilidade magnética, quando submetidos a um campo magnético em sentido contrário ao campo aplicado;
- Paramagnéticos: apresentam magnetização induzida na direção e sentido ao campo magnético que foi submetido;
- Ferromagnéticos: apresentam magnetização forte e espontânea.

Os dois primeiros tipos de materiais perdem totalmente o magnetismo quando o campo magnético é afastado, caracterizando uma baixa susceptibilidade magnética, já o ultimo não perde o magnetismo quando o campo é afastado, devido ao fato de ser representada por materiais metálicos, cujo arranjo atômico proporciona maior mobilidade aos elétrons gerando um campo magnético que origina uma magnetização espontânea, logo caracterizando uma alta susceptibilidade magnética.

### I. Susceptibilidade Magnética dos Elementos Químicos

Nos elementos químicos a susceptibilidade magnética é definida principalmente pela quantidade de elétrons existente no orbital de cada elemento, além do momento angular e de sua temperatura.

Observando a figura 2.5 verifica-se que aproximadamente 68,5% dos elementos químicos presentes na tabela periódica possuem baixa susceptibilidade magnética, onde seus valores variam de 0 à  $2 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{Kg}$ . A unidade de medida desta propriedade na tabela periódica é por massa específica. O Tértio (Tb), elemento terra rara, é o que possui maior valor de susceptibilidade magnética.

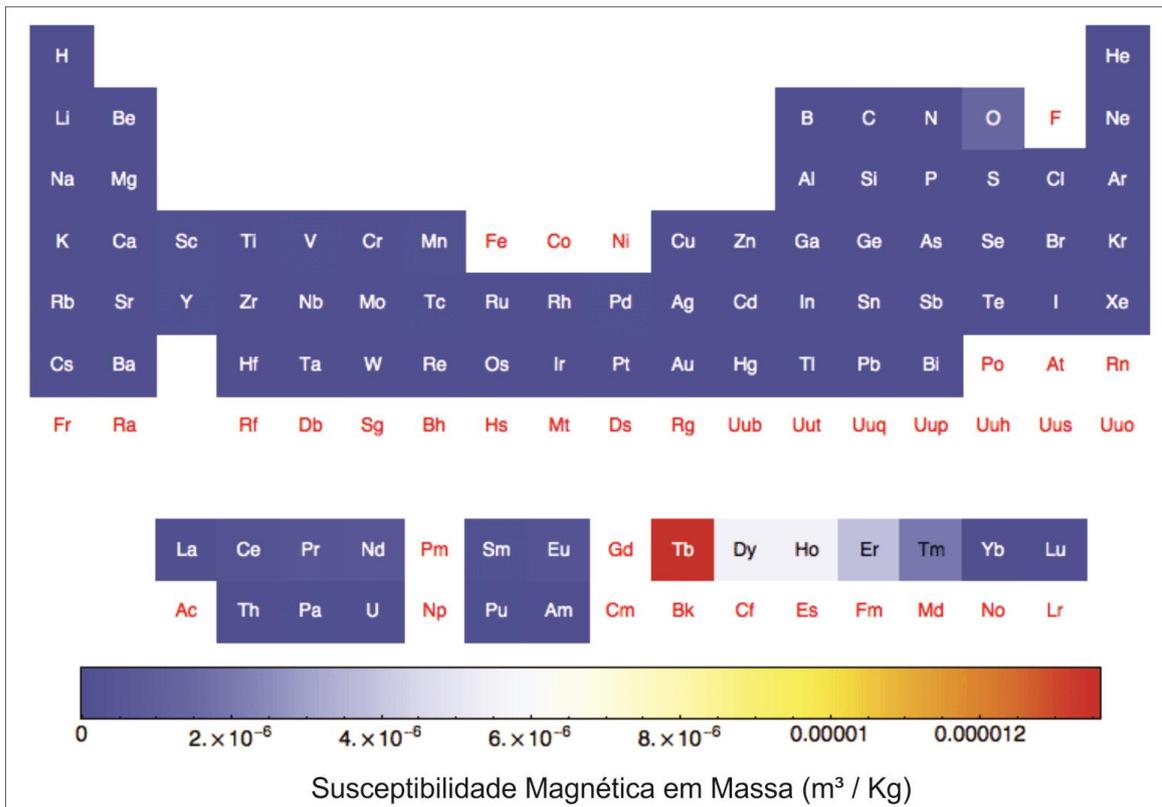


Figura 2.5 – Tabela Periódica com escala de cores representada os valores de susceptibilidade magnética de cada elemento químico, modificado de <<http://periodictable.com/>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2011.

## II. Susceptibilidade Magnética das Rochas e seus Constituintes

As propriedades magnéticas das rochas são definidas pela presença de minerais magnéticos em sua composição, além de sua granulometria e disposição dos mesmos (Figura 2.6).

Susceptibilidade Magnética ( $10^{-6}$ )			
fosterita	-12,6	quartzo	-15,4
faialita	4.976	opala	-12,9
olivina	124 até 4.270	ortoclásio	13,7
		halita	-10,3
enstatita	121	apatita	-10,6
ferrosilita	3.670	grafita	-177
ortopiroxênio	3.700		
diopsídio	1.319	aragonita	-15,0
hedenbergita	2.783	calcita	-13,1
augita	555 até 1.111	dolomita	11,3
clinopiroxênio	613 até 25	siderita	2.770 até 3.170
actinolita	490	espinélio	30
arfvedsonita	3.468	cromita	2.827 até 7.069
riebeckita	3.016	franklinita	5.750 até 3.000.000
hornblenda	746 até 1.368	jacobsita	50.000 até 3.000.000
		magnetita	3.000.000
muscovita	36 até 711	maghemita	maior que 3.000.000
biotita	873 até 3.040	rutilo	107
flogopita	176 até 281	ilmenita	8.042
lepidolita	136 até 1.560	hematita	1.300 até 7.000
piropo	502	pirita	-6,3 até 63
almandina	2.510 até 6.230	marcasita	61 até 245
espersartita	6.780	galena	-33 até 9,3
andradita	2.280 até 4.320	esfarelita	-15 até 2.060
granada	553 até 6.230	calcopirita	308 até 411
		pentlandita	100.057
estaurolita	790 até 1.590	gersdorffita	214 até 1.571
cordierita	200 até 1.100	cobaltita	553 até 157.892
turmalina	39 até 1.520		
berilo	23		
epídoto	1.010		
alanita	970 até 3.960		
titanita	264		
zircão	-15 até 386		

Figura 2.6 – Susceptibilidade magnética dos principais minerais, modificado de (Hrounda et al. 2009).

Os minerais mais abundantes e comuns nas rochas são paramagnéticos e diamagnéticos, por exemplo, os silicatos, porém são os minerais ferromagnéticos que controlam a susceptibilidade magnética das rochas, como por exemplo a magnetita, Ti-hematita, hematita, ilmenita, entre outros. A figura 2.7 representa a relação da concentração destes minerais com a susceptibilidade magnética, onde apresentam um comportamento direto, ou seja, o aumento da concentração destes ocasiona o aumento da susceptibilidade magnética.

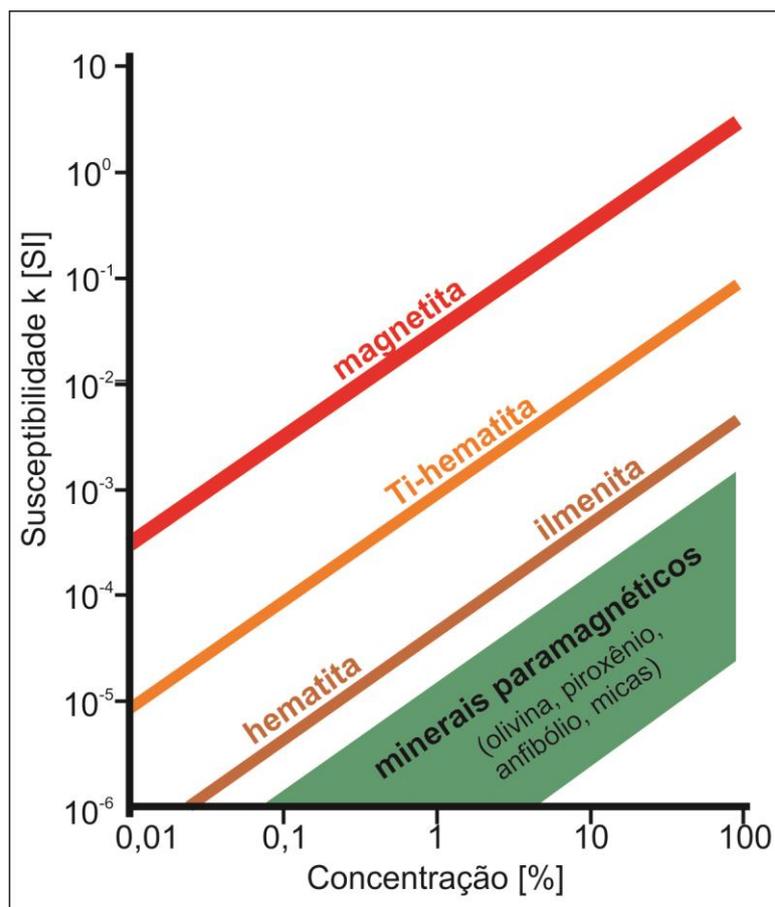


Figura 2.7 – Susceptibilidade magnética dos minerais, modificado de (Hrounda et al. 2009).

#### 2.1.4 – Densidade

Densidade ( $\rho$ ) é uma propriedade física volumétrica que é definida pelo quociente de massa ( $m$ ) e volume ( $v$ ).

$$\rho = m / v \text{ (Equação 5)}$$

A unidade desta propriedade no sistema internacional (S.I.) é  $\text{Kg/m}^3$  (quilogramas por metro cúbico).

##### I. Densidade dos Elementos Químicos

Os elementos químicos dispostos na tabela periódica no geral apresentam uma densidade que varia de 0 à  $8 \text{ g/cm}^3$ , cerca de 50,5% e estão localizados nas extremidades da tabela periódica.

Os elementos que apresentam densidade maior que 15 g/cm<sup>3</sup> estão dispostos no centro da tabela periódica, onde o Osmio (Os) e Irídio (Ir) apresentam os maiores valores de densidade (Figura 2.8).

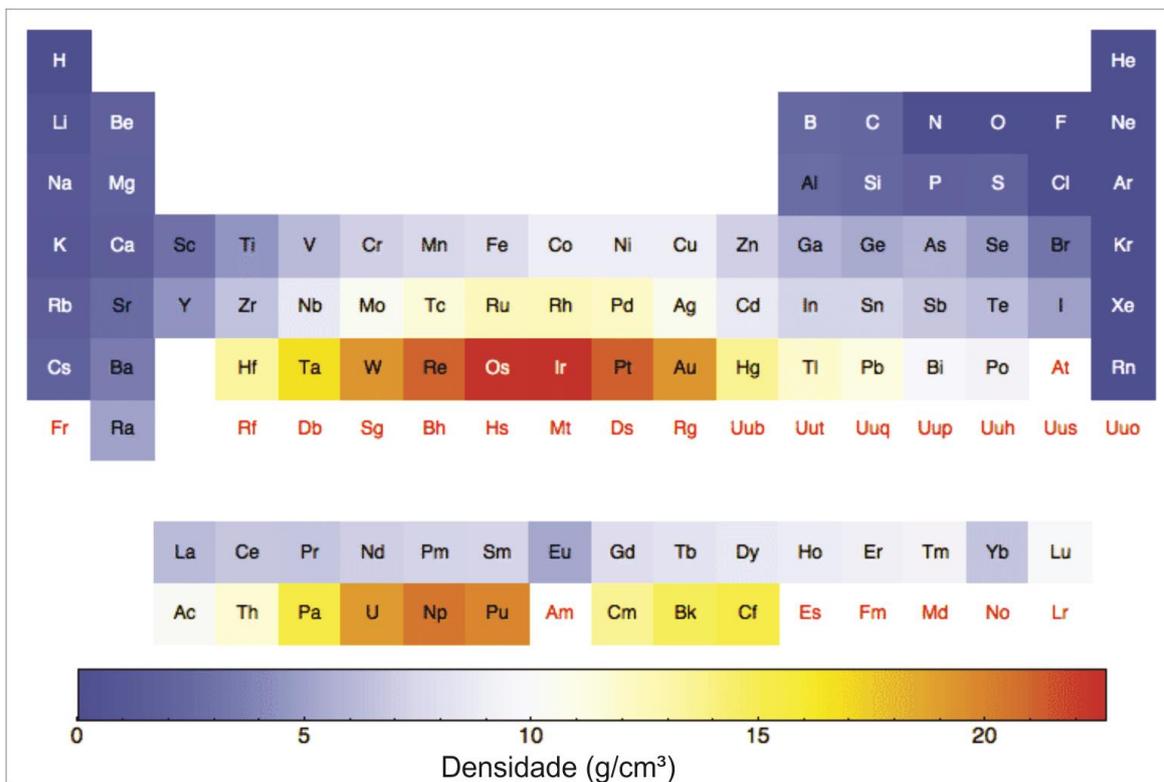


Figura 2.8 – Tabela Periódica com escala de cores representado os valores de densidade de cada elemento químico, modificado de <<http://periodictable.com/>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2011.

## II. Densidade das Rochas e seus Constituintes

A densidade das rochas é controlada principalmente por minerais, além de porosidade e fissuras. Por outro lado, a densidade dos minerais é controlada por sua composição química e arranjo cristalino (Figura 2.9).

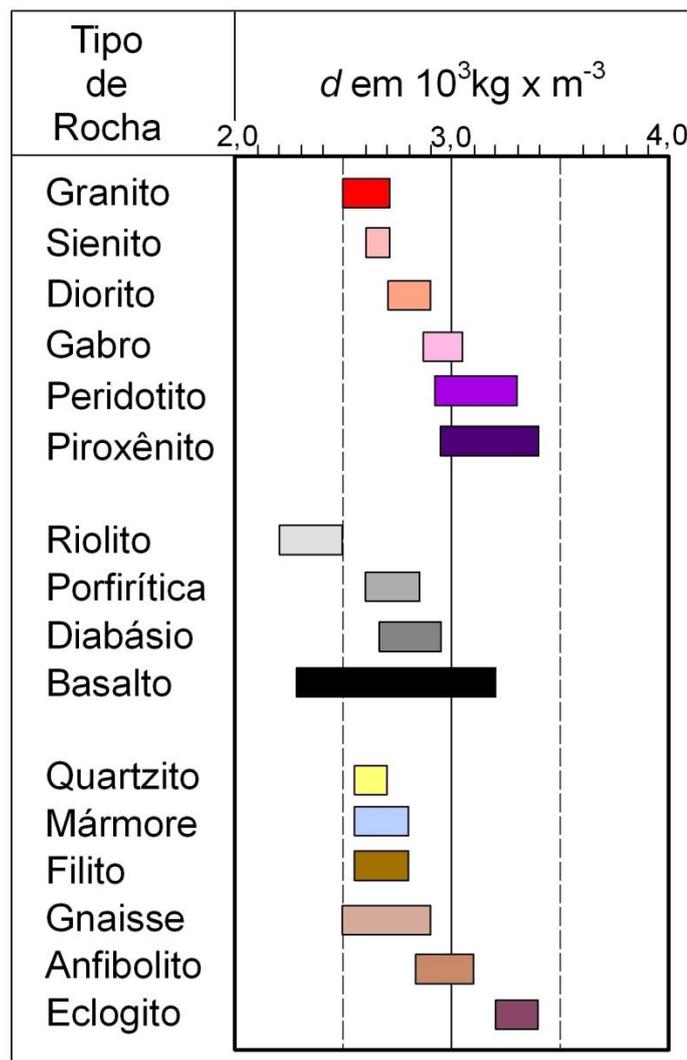


Figura 2.9 – Principais rochas e suas respectivas densidades. Compilado de Oliveira (2011).

## 2.2 – MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1 – Análise Química

Inicialmente para análise química foram coletadas 195 amostras no campo, onde foram retiradas até 2 kg de amostra fresca e pouco intemperizada, as mesmas foram enviadas para análise no Laboratório da GEOSOL, onde passaram pelos processos de secagem, britagem a 2 mm, sendo depois homogeneizada e quarteada, para que no final a amostra seja pulverizada em moinho de aço (95%) em fração de 150 mesh, onde culminou em uma amostra de 250 à 300g – produto final (Figura 2.10).

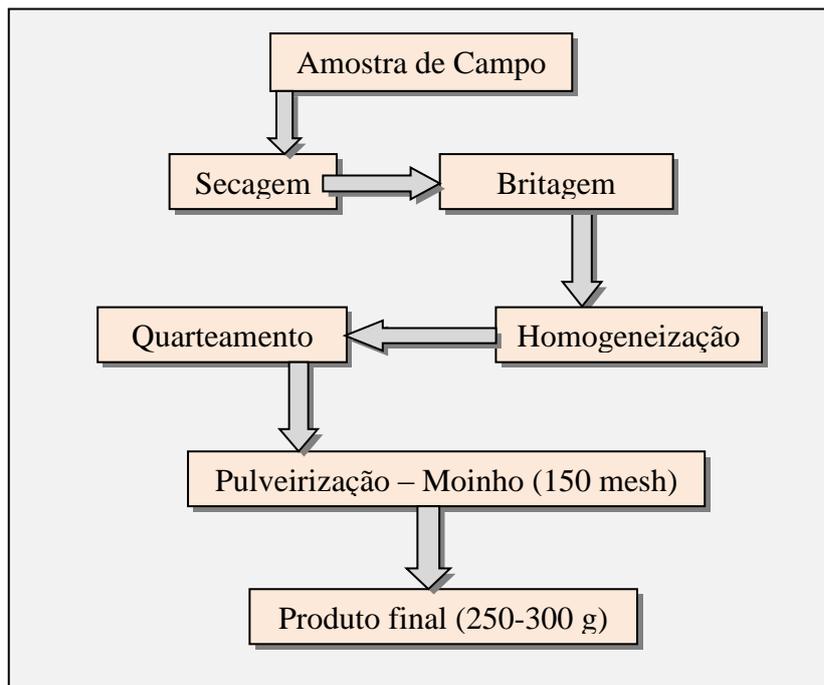


Figura 2.10 – Fluxograma de preparação de amostras para análise química.

A partir do produto final foi possível analisar os elementos maiores e traços. O primeiro grupo é composto pelos seguintes óxidos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ , onde foram determinados a partir de “Espectrometria de Emissão por Plasma Induzido Acoplado - ICP OES” e são dados em porcentagem em peso; o segundo grupo é formado pelos seguintes elementos: Rb, Sr, Ba, Zr, Y e Nb, e foram determinados pelos procedimentos de “Espectrometria de Massa por Plasma Induzido Acoplado – ICP MS” e “Digestão Água Régia – ICP OES / ICP MS”, sendo sua unidade em ppm (parte por milhão).

### 2.2.2 – Condutividade Térmica

As medidas da condutividade térmica foram realizadas com o equipamento de marca Anter Corporation, modelo Quichline <sup>TM30</sup> (Figura 2.11). A realização destas medidas foram feitas em tabletes com dimensões equivalentes a 11 cm x 11 cm x 3 cm (comprimento, largura e espessura, respectivamente) de maneira direta, ou seja, o sensor está diretamente em contato com o tablete, na face de maior área, onde pode alcançar uma precisão de até 97%. Antes da medição esta área sofreu um polimento para a retirada das superfícies ásperas provocada pela serra durante o corte, caso contrario dificultaria o contato do sensor com a superfície do tablete.

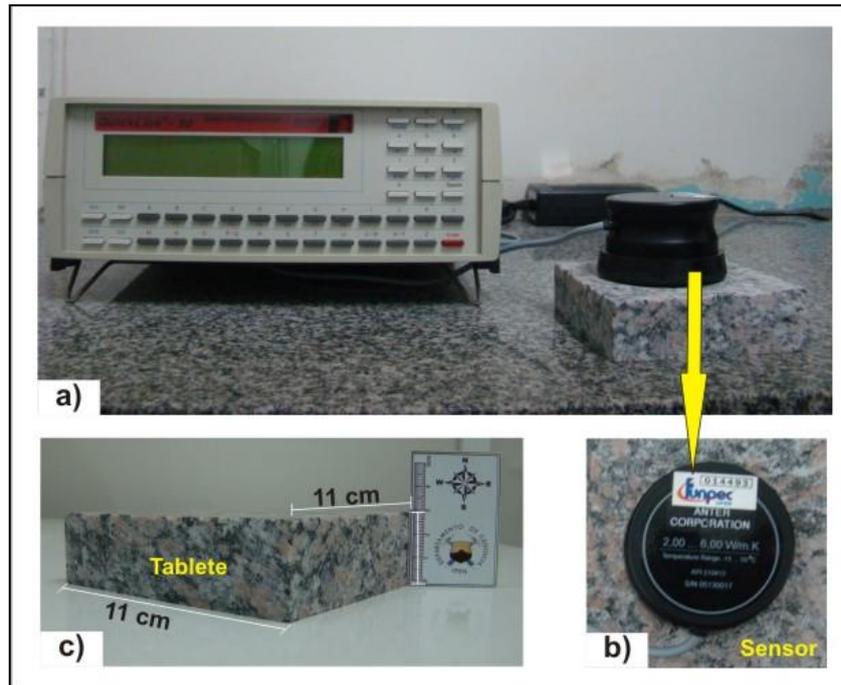


Figura 2.11- Equipamento de medição da condutividade térmica: a) Visão geral do equipamento; b) Sensor; e c) Tablete usado para as medições. Compilado de Oliveira (2011).

O procedimento de leitura foi realizada em 195 tabletes, sendo feitas 5 medidas por tablete. Para tal, escolheu-se arbitrariamente um vértice e a partir deste determinou-se os quatro pontos de leitura no sentido anti-horário, sendo no centro do tablete feito a leitura do quinto ponto (Figura 2.12). Após a aquisição dos dados, os mesmos foram tratados no Excel adquirindo a média destas medidas para todas as amostras.

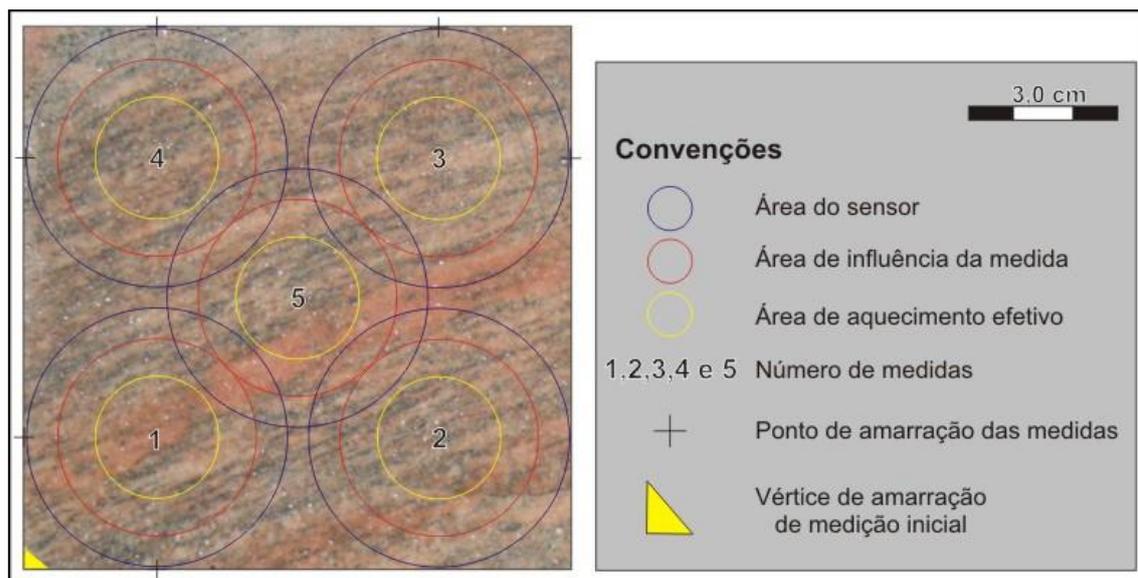


Figura 2.12- Procedimentos para medição da condutividade térmica. Compilado de Oliveira (2011).

### 2.2.3 – Susceptibilidade Magnética

A medida da susceptibilidade magnética é realizada a partir do o equipamento Susceptibilímetro Kappameter KT-9, da marca EXPLORANIUM (Figura 2.13), onde se utilizou os mesmos tabletes descritos anteriormente para esta leitura. Sendo feito dez leituras aleatoriamente na mesma face que foi realizada as medidas da condutividade térmica, para em seguida os dados serem tratados no Excel obtendo uma média para cada amostra.

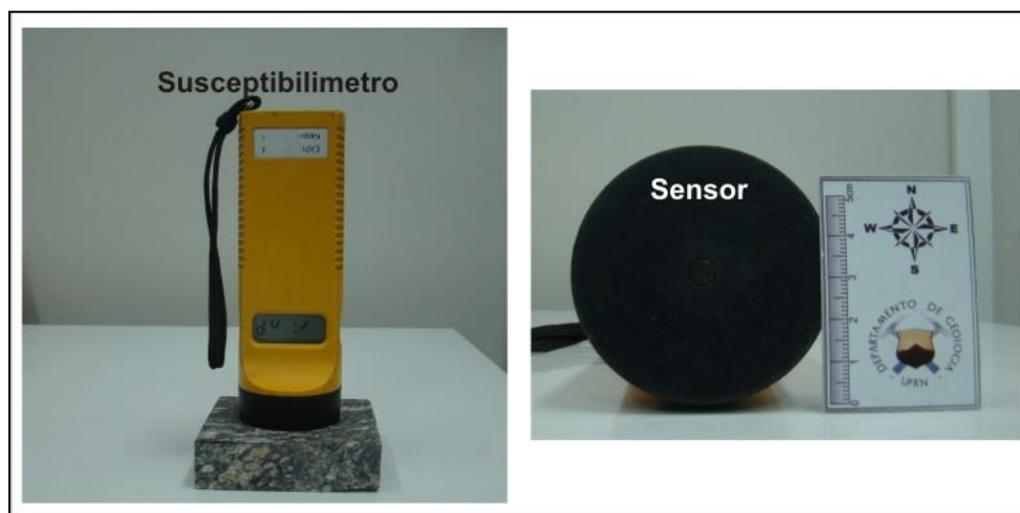


Figura 2.13- Equipamento para medição da susceptibilidade magnética, com visão do sensor ao lado direito. Compilado de Oliveira (2011).

### 2.2.4 – Densidade

As medidas de densidade ( $\rho$ ) foram realizadas em uma balança de marca “Toledo-Ohaus-Adventurer” com uma precisão de 0,0001g. Para as medidas de densidade ( $\rho$ ) foram confeccionados três cubos de cada amostra com dimensões de 3cm x 3cm x 3cm. Inicialmente todas as amostras foram secadas na estufa a uma temperatura de 50°C, para que toda a água fosse retirada dos poros. Após serem retiradas da estufa foi realizada a primeira medida que consiste em medir a massa da rocha com os poros preenchidos por ar, sendo obtido o peso seco ( $P_s$ ). Para realizar a segunda e a terceira medida os cubos foram colocados em uma bandeja e cobertos por água ao longo de três etapas, com intervalos de 12hs, até que fossem completamente submersos para que os poros fossem totalmente preenchidos num período de 48hs. A segunda medida ( $P_{sub}$ ) é realizada com o cubo

---

Geoquímica de elementos maiores e traços de granitoides neoproterozoicos da Província Borborema e sua correlação com propriedades físicas de rochas.

saturado em água submerso em um béquer contendo água destilada, a terceira medida é realizada com o cubo saturado em água, no ar, fornecendo o peso saturado (P<sub>sat</sub>). A densidade é obtida em g/cm<sup>3</sup> a partir da seguinte equação:

$$\rho = P_{\text{seco}} / (P_{\text{sat}} - P_{\text{sub}}) * d_{\text{H}_2\text{O}}$$



Figura 2.14- Equipamentos utilizados para se obter o valor de densidade: a) Amostra em formato de cubo; b) Estufa utilizada para secagem das amostras; c) Amostras para a pesagem submersa e saturada (úmida); d) Pesagem seca, e) Pesagem submersa e f) Pesagem saturada (úmida). Compilado de Oliveira (2011).

---

# CAPÍTULO 3 -

# ARTIGO 1

ESTE CAPÍTULO É COMPOSTO DO ARTIGO SUBMETIDO EM 31 DE JANEIRO DE 2014 A REVISTA GEOCIÊNCIAS DA UNESP. O TRABALHO DISCUTE A CORRELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE TÉRMICA, DENSIDADE E SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA *VERSUS* A GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS DE 195 AMOSTRAS DE CORPOS ÍGNEOS DE IDADE NEOPROTEROZOICA PROVENIENTES DA PROVÍNCIA BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL.

## **CAPÍTULO3 – Artigo 1**

### **GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAIORES E ALGUNS TRAÇOS DE GRANITOIDES NEOPROTEROZOICOS DA PROVÍNCIA BORBOREMA E SUA CORRELAÇÃO COM PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHAS.**

Rafael Rabelo Fillippi (PPGG<sup>1</sup>); rafaelrfillippi@yahoo.com.br

Antonio Carlos Galindo (PPGG<sup>1</sup>-DG<sup>2</sup>-UFRN<sup>3</sup>); galindo@geologia.ufrn.br

Fernando Antonio Pessoa Lira Lins (PPGG<sup>1</sup>-DG<sup>2</sup>-UFRN<sup>3</sup>); flins@geologia.ufrn.br

Marcos Antônio Leite do Nascimento (PPGG<sup>1</sup>-DG<sup>2</sup>-UFRN<sup>3</sup>); marcos@geologia.ufrn.br

(1) Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), Campus Universitário - Lagoa Nova, Cx. Postal: 1596, CEP.: 59078-970 - Natal – RN.

(2) Departamento de Geologia, Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET, Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP.:59078-970 - Natal – RN.

(3) Campus Universitário Lagoa Nova, Caixa Postal 1524, CEP 59078-970, Natal/RN – Brasil

Introdução

Materiais e Métodos

Fundamentação Teórica

Conductividade Térmica

Densidade

Susceptibilidade Magnética

Correlação Entre a Geoquímica e as Propriedades Petrofísicas

Conductividade Térmica

Densidade

Susceptibilidade Magnética

Discussões

Conductividade Térmica

Densidade

Susceptibilidade Magnética

Conclusões

Agradecimentos

Referências Bibliográficas

**RESUMO** - Este trabalho discute a correlação entre condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética versus a geoquímica de elementos maiores e traços de corpos ígneos neoproterozóicos da Província Borborema, Nordeste do Brasil. Para tal objetivo, foram analisadas 195 amostras, incluindo tipos básicos, intermediários e ácidos. Foram utilizados elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ) e alguns traços (Rb, Sr, Ba, Zr, Th, U), que possuem maior afinidade com os principais minerais formadores de rochas. Os resultados obtidos mostram que  $\text{SiO}_2$  é o óxido com melhor correlação positiva com a condutividade térmica, ao passo que  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{TiO}_2$ , os quais possuem maior afinidade com minerais máficos, mostram correlação negativa para esta mesma propriedade petrofísica. A correlação com a densidade é inversa àquela obtida por estes elementos em relação á condutividade térmica. Por outro lado, a susceptibilidade magnética não apresenta correlação definida com os elementos maiores e traços estudados. Diagramas binários de correlação linear para condutividade térmica e densidade indicam uma tendência de  $\text{SiO}_2$  e os óxidos de maior afinidade com a mineralogia máfica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ) no controle destes parâmetros petrofísicos.

**Palavras Chaves:** condutividade térmica, densidade, susceptibilidade magnética, geoquímica e rochas ígneas.

**ABSTRACT-** This paper discusses the correlation between thermal conductivity, density and magnetic susceptibility versus the geochemistry of major and trace elements of Neoproterozoic igneous bodies from the Borborema Province, northeastern Brazil. For this purpose, a total of 195 samples, including basic, intermediate and acidic types were analyzed. Major ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ) and some trace elements (Rb, Sr, Ba, Zr, Th, U), which have greater affinity with the major rock-forming minerals were used. The results show that  $\text{SiO}_2$  is the oxide with a positive correlation with better thermal conductivity, whereas  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{MgO}$ , which have higher affinity with mafic minerals show negative correlation for this same petrophysical property. The density is correlated with the inverse to that obtained by these elements

with respect to thermal conductivity. On the other hand, the magnetic susceptibility has no definite correlation with the major and trace elements studied. Binary linear correlation diagrams for thermal conductivity and density indicate a tendency of SiO<sub>2</sub> and the oxides of greatest affinity with mafic mineralogy (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub>) for controlling of these petrophysical parameters.

**Key words:** thermal conductivity, density, magnetic susceptibility, geochemistry and igneous rocks.

## INTRODUÇÃO

A área de estudo localiza-se na Província Borborema-PB (Almeida *et al.* 1981), no Nordeste do Brasil, interpretada como um seguimento crustal, que constitui um conjunto de unidades geológicas, separadas por uma complexa trama de extensas zonas de cisalhamento, no geral transcorrentes dextrais, de direções principais E-W e NE-SW, que junto com um volumoso magmatismo granítico neoproterozoico, representam as características mais marcantes desta província. Seus limites são definidos a oeste pela Bacia do Parnaíba, a sul pelo Cráton São Francisco, a norte e a leste pelas rochas sedimentares fanerozoicas das bacias Ceará, Potiguar, Pernambuco-Paraíba e Sergipe-Alagoas. A trama de zonas de cisalhamentos E-W dividem esta província em três grandes segmentos tectônicos fundamentais: Subprovíncia Setentrional, Zona Transversal e Externa ou Meridional, os quais são subdivididos ainda em diversos domínios tectônicos (vide revisão em Santos & Brito Neves 1984, Cabynet *al.* 1991; Jardim de Sá 1994; Vauchez *et al.* 1995, Santos & Medeiros 1999, Santos 2000, entre outros).

As amostras contempladas neste trabalho foram coletadas na porção centro-norte da Província, abrangendo corpos graníticos neoproterozoicos (Figura 1).

No contexto do magmatismo granítico neoproterozoico desta província inúmeros trabalhos abordam sua caracterização geológica/geocronológica, petrográfica e geoquímica, agrupando-o em diferentes famílias/grupos tipológicos (Almeida *et al.* 1967, Jardim de Sá *et al.* 1981, Sial 1987, Leterrier *et al.* 1994, Ferreira *et al.* 1998, Trindade *et al.* 1999, Nascimento *et al.* 2000-2008, McReath *et al.* 2002, Guimarães *et al.* 2004-2009, Angelim *et al.* 2006) , entretanto estudos que abordem propriedades petrofísicas das rochas associadas a este magmatismo são ainda muito pouco conhecido. Os trabalhos pioneiros, a partir da segunda metade da década de 2000, se restringiram tão somente a abordagem da propriedade condutividade térmica (Figueiredo 2006, Figueiredo *et al.* 2008, Figueiredo *et al.* 2009), porém alguns trabalhos a partir da década de 2010 abordam além da condutividade outras propriedades físicas como densidade e susceptibilidade magnética (Assunção 2010, Oliveira 2011, França 2011, Fillippi 2011).

O objetivo deste trabalho é fazer uma correlação entre a geoquímica de elementos maiores e alguns traços com propriedades físicas de rochas (condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética), em um conjunto de amostras de rochas relacionadas ao magmatismo neoproterozoico da Província Borborema, as quais provêm mais especificamente de granitoides dos domínios da Subprovíncia Setentrional e da Zona Transversal, mais especificamente as porções norte e central da referida província (Figura 1 e Tabela 1).

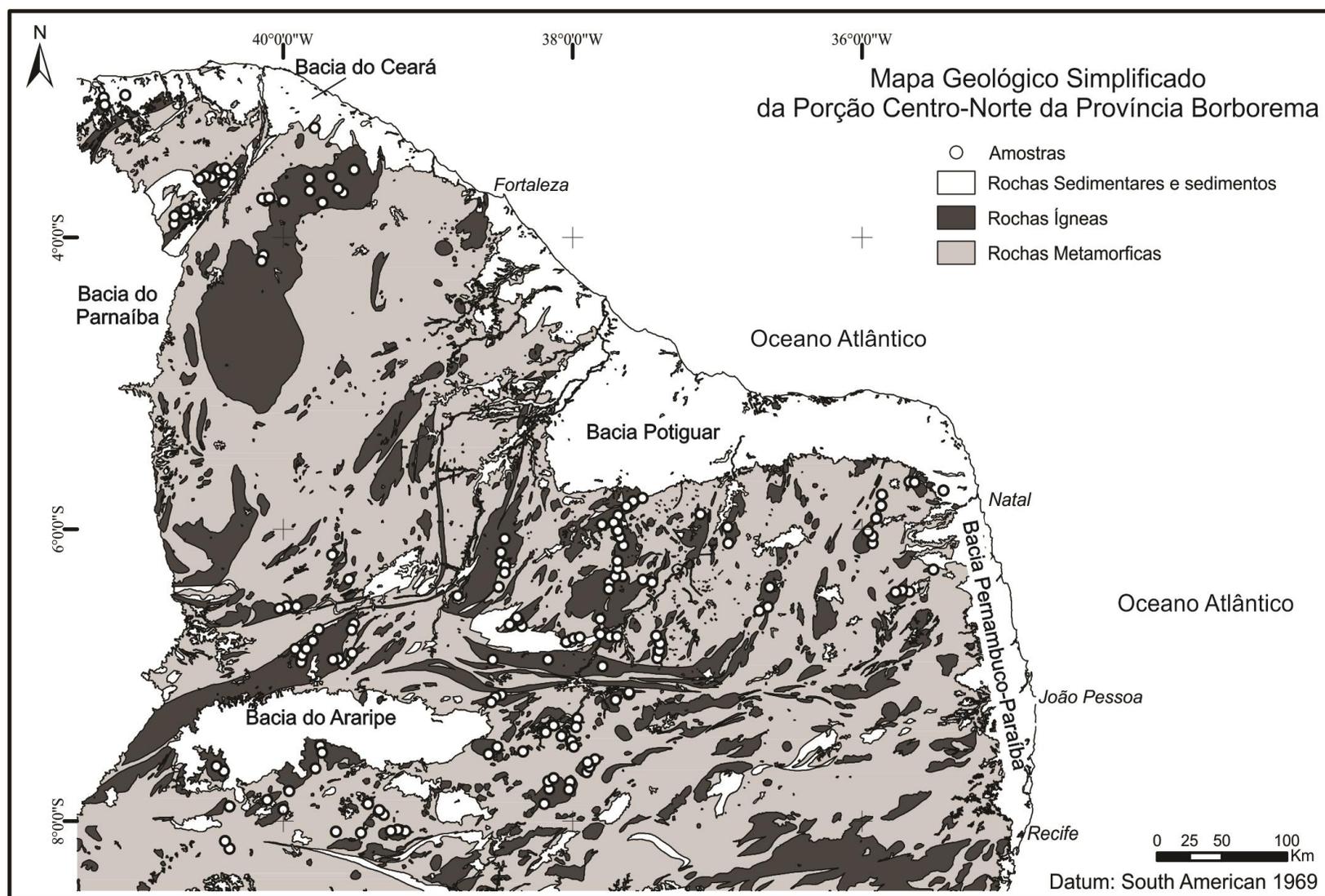


Figura 1 – Mapa geológico simplificado da porção centro-norte da Província Borborema, apresentando localização das amostras coletadas (compilado de Angelim et al. (2004), Angelim (2004), Vasconcelos (2004), Delgado (2004) e Kosin et al. (2004).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O conjunto de dados é composto por 195 amostras de rochas plutônicas de diversos corpos granitoides da Província Borborema. Estas amostras tiveram suas composições modais determinadas com uso de um contador de pontos acoplado a um microscópio petrográfico polarizante, de acordo com procedimentos usuais de estudos petrográficos microscópicos definidos em Hutchison (1974), e suas composições químicas (elementos maiores e traços) foram realizadas no “SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA”. Petrograficamente estas amostras variam de quartzo dioritos a sienogranitos, sendo que o maior número de amostras situa-se no campo dos granitos senso estrito (sienogranitos e monzogranitos - Figura 2), conforme a nomenclatura para rochas plutônicas proposta por Streckeisen (1976).

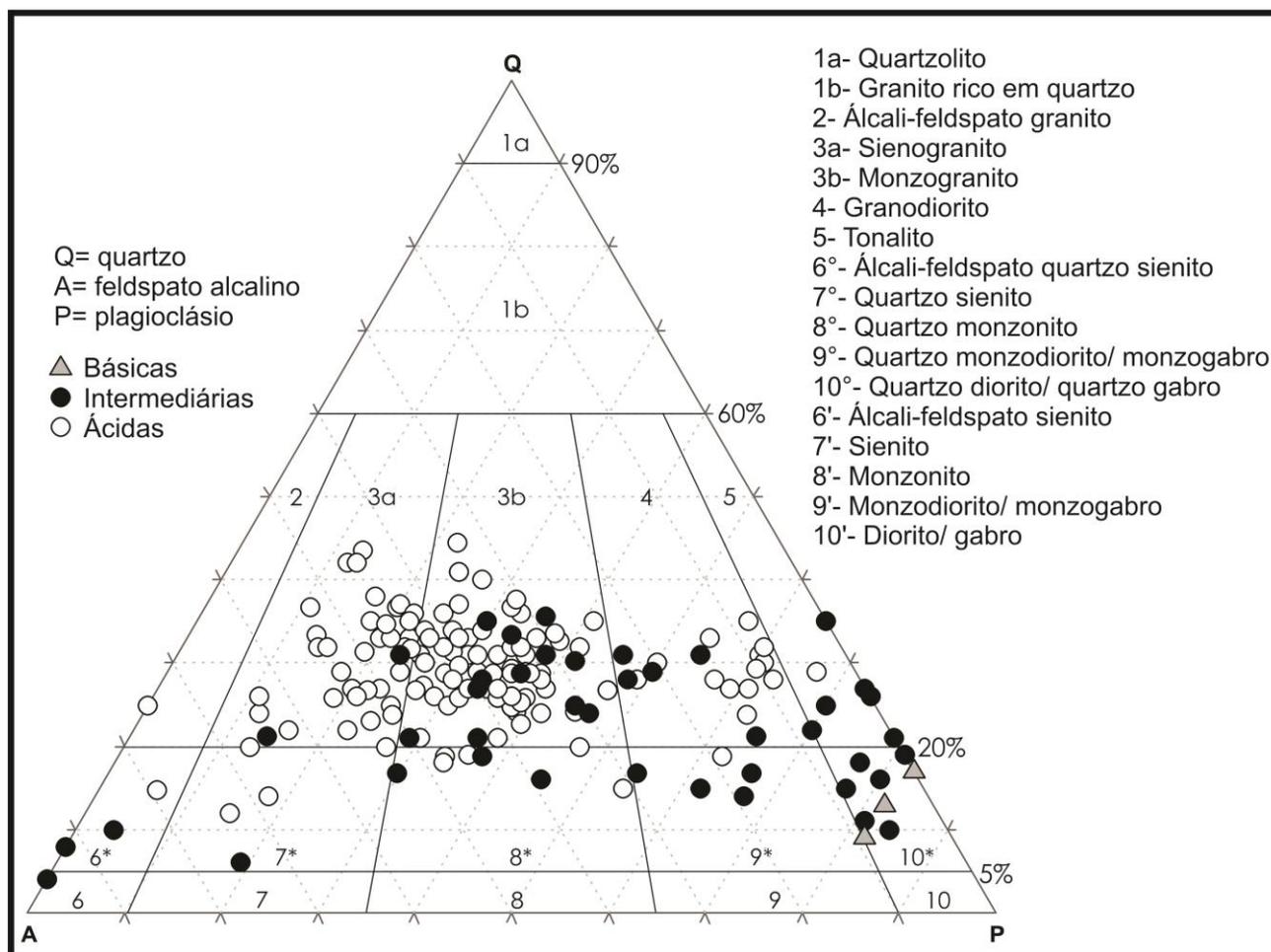


Figura 2 – Diagrama QAP (Streckeisen 1976) para as rochas ígneas estudadas.

Nos procedimentos analíticos químicos os elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ ) foram determinados a partir do procedimento de “Espectrometria de Emissão por Plasma Induzido Acoplado - ICP OES” e os resultados dados em porcentagem em peso (%), já os elementos traços e terras raras (Rb, Sr, Ba, Zr, Th e U) foram determinados pelos procedimentos de “Espectrometria de Massa por Plasma Induzido Acoplado– ICP MS” e “Digestão Água Régia – ICP OES / ICP MS”, sendo sua unidade em ppm (parte por milhão), conforme procedimento padrão do laboratório GEOSOL.

Os resultados das análises químicas para elementos maiores permitiu distinguir 3 grandes grupos de amostras: 3 amostras são de natureza básica ( $\text{SiO}_2$  entre 47,70 e 50,89%), 45 são intermediária ( $\text{SiO}_2$  entre 52,70 e 62,88%), e 147 são ácidas com  $\text{SiO}_2 \geq 63,00\%$ . Os resultados para elementos traços, considerando apenas aqueles mais associados aos principais minerais formadores de rochas ígneas plutônicas, como Rb (45-727ppm), Sr (30-2440, com um valor anômalo  $>5000$ ppm), Ba (166-7285ppm), Zr (18-990, com um valor anômalo  $>1400$ ppm), U (0,2-31,8ppm), Th (1-96ppm) e Eu (0,03 a 5,87ppm) mostram valores compatíveis aos de rochas básicas (gabros/dioritos) a ácidas (graníticas), similares as que são objeto deste trabalho. Para a confecção dos gráficos de correlação com os elementos maiores, estes foram rebatidos a 100% não considerando os valores de perda ao fogo (LOI), onde as médias dos três grupos estudados são sumarizadas na Tabela 1.

Para a realização das medidas de condutividade térmica foram confeccionados tabletes com dimensões de “11 cm x 11 cm x 3 cm” (comprimento, largura e espessura, respectivamente), com uma das faces polida para melhor acoplamento do sensor de medição. O equipamento de medição corresponde a um medidor de condutividade térmica da marca “Anter Corporation, modelo Quickline<sup>TM</sup> - 30”, pertencente ao Laboratório de Propriedades Físicas de Rochas do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, onde para cada tablete foram realizadas pelo menos 4 medidas, conforme a metodologia já descrita em Figueiredo *et al.* (2008).

Para as medidas de susceptibilidade magnética foram utilizados as mesmas amostras/tabletes da condutividade térmica. A medida da susceptibilidade magnética é realizada a partir do equipamento “Susceptibilímetro Kappameter KT-9”, da marca EXPLORANIUM, e para cada tablete foi realizado dez leituras aleatoriamente na mesma face polida em que foram realizadas as medidas da condutividade térmica, obtendo-se posteriormente o valor médio para cada medida.

As medidas de densidade (d) foram realizadas em uma balança de marca “Toledo-Ohaus-Adventurer” com uma precisão de 0,0001g. Para as medidas de densidade (d) foram confeccionados três cubos de cada amostra com dimensões de 3cm x 3cm x 3cm. Inicialmente todas as amostras foram secadas na estufa a uma temperatura de 50°C, para que toda a água fosse retirada dos poros. Após serem retiradas da estufa foi realizada a primeira medida que consiste em medir a massa da rocha com os poros preenchidos por ar, sendo obtido o peso seco (Ps). Para realizar a segunda e a terceira medida os cubos foram colocados em uma bandeja e cobertos por água ao longo de três etapas, com intervalos de 12hs, até que fossem completamente submersos para que os poros fossem totalmente preenchidos num período de 48hs. A segunda medida (Psub) é realizada com o cubo saturado em água submerso em um béquer contendo água destilada, a terceira medida é realizada com o cubo saturado em água, no ar, fornecendo o peso saturado (Psat). A densidade é obtida em g/cm<sup>3</sup> a partir da seguinte equação “ $\rho = P\_seco / (P\_sat - P\_sub) * d_{H2O}$ ” para a obtenção da densidade, e os seus valores, juntamente com aqueles de condutividade térmica e susceptibilidade magnética encontram-se na tabela 1.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Na natureza há basicamente três mecanismos essenciais de transmissão de calor que são radiação (ocorre através de espaços vazios sob a forma de ondas eletromagnéticas não havendo um meio

para se propagar), convecção (ocorre a partir do movimento de um fluido devido à diferença de densidade, especialmente por meio de calor) e a condução (ocorre a partir da estrutura cristalina de um meio sólido). Na litosfera os processos de radiação e convecção são basicamente ausentes, conferindo assim, aos processos de condução o papel principal na transferência de calor nas rochas, desta forma é a condutividade térmica ( $\lambda$ ) que desempenha o principal papel das chamadas propriedades térmicas (Cermak and Rybach, 1982 apud Schon, J.H. 2004), a qual é definida como:  $Q = -\lambda \nabla T$ , onde  $Q$  é o fluxo de calor produzido pelo gradiente de temperatura  $\nabla T$ , e sua unidade no Sistema Internacional (S.I.) é  $W m^{-1}k^{-1}$ .

As medidas de condutividade térmica nas 195 amostras aqui estudadas mostram valores variando entre  $1,81 W m^{-1}k^{-1}$  a  $4,36 W m^{-1}k^{-1}$ . Onde rochas básicas apresentaram valores variando entre  $1,83 W m^{-1}k^{-1}$  a  $1,97 W m^{-1}k^{-1}$ , rochas intermediárias variando entre  $1,83 W m^{-1}k^{-1}$  a  $2,94 W m^{-1}k^{-1}$  e ácidas entre  $1,81 W m^{-1}k^{-1}$  a  $4,36 W m^{-1}k^{-1}$  (tabela 02).

## DENSIDADE

A densidade ( $\rho$ ) é definida como o quociente entre a massa ( $m$ ) e o volume ( $V$ ) de um material (Shon, J.H. 2004):  $\rho = m/V$ , sendo sua unidade no Sistema Internacional (S.I.) é  $kg.m^{-3}$ . Nas rochas a densidade é controlada pela composição mineralógica (envolvendo aqui a composição química, a estrutura cristalina e as ligações químicas de cada mineral), a porosidade e a composição dos fluidos. Considerando que as rochas aqui estudadas têm baixos valores de porosidade (valores sempre  $\leq 3,30$ ), e portanto não contém fluidos, a densidade é definida então apenas como a soma das densidades de seus constituintes minerais.

As medidas de densidade determinadas nas 195 amostras deste trabalho mostram valores variando entre  $2,58 kg.m^{-3}$  a  $2,95 kg.m^{-3}$ . Sendo que o conjunto de rochas básicas varia entre  $2,86 kg.m^{-3}$  a  $2,95 kg.m^{-3}$ , rochas intermediárias variam entre  $2,67 kg.m^{-3}$  a  $2,91 kg.m^{-3}$  e rochas ácidas variam entre  $2,58 kg.m^{-3}$  a  $2,78 kg.m^{-3}$  (tabela 02).

## SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

A susceptibilidade magnética é caracterizada pela habilidade de uma substância de se magnetizar quando exposta a um campo externo, para as amostras deste trabalho (na sua grande maioria isotrópicas) a susceptibilidade magnética  $k$  pode ser definida pelo vetor que induz o magnetismo  $M$  (A/m - ampere por metro) pelo vetor de intensidade do campo magnético  $H$  (A/m - ampere por metro), assim  $k = M/k$ . No Sistema Internacional (S.I.) a susceptibilidade magnética é uma unidade adimensional (Hrounda *et al.* 2009).

As medidas de susceptibilidade magnética no conjunto de amostras estudado mostra uma ampla variação  $0,02 \cdot 10^{-3}$  SI a  $16,20 \cdot 10^{-3}$  SI, com rochas básicas variando de  $0,24 \cdot 10^{-3}$  SI a  $7,88 \cdot 10^{-3}$  SI, rochas intermediárias variando de  $0,06 \cdot 10^{-3}$  SI a  $14,40 \cdot 10^{-3}$  SI e rochas ácidas variando de  $0,02 \cdot 10^{-3}$  SI a  $16,20 \cdot 10^{-3}$  SI (tabela 02).

## CORRELAÇÃO ENTRE A GEOQUÍMICA E AS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS

As amostras foram separadas em três grupos de acordo com a porcentagem de sílica, sendo estes: o grupo básico (3 amostras), o grupo intermediário (45 amostras) e o grupo ácido (147 amostras). Onde foram elaborados gráficos de correlação linear entre as propriedades petrofísicas (Condutividade Térmica, Densidade e Susceptibilidade Magnética) *versus* elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{TiO}_2$ ) e alguns elementos traços (Rb, Sr, Ba, Zr, Th e U) destes grupos de granitoides neoproterozoicos da Província Borborema.

## CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Os grupos apresentam os seguintes comportamentos em relação à condutividade térmica: As rochas básicas (3 amostras) apresentam um valor mínimo de  $1,83 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$  e máximo de  $1,97 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , sendo sua média é de  $1,92 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$  e desvio padrão de 0,08. Para as rochas intermediárias (45 amostras) o valor mínimo foi de  $1,83 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$  e o máximo de  $2,94 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , com média de

2,23 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e desvio padrão de 0,26. Já para o último grupo, rochas ácidas (147 amostras), o mínimo foi de 1,81 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e máximo de 4,36 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, com média de 2,73 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e desvio padrão de 0,37 (Tabela 2).

Os elementos maiores e traços escolhidos estão relacionados aos principais minerais formadores de rochas ígneas, exceto o Th e U que associados com K são os principais responsáveis pela geração de calor no interior da crosta e usados somente na correlação com esta propriedade.

Analisando o primeiro conjunto de gráficos de correlação linear entre a condutividade térmica versus elementos maiores (Figura 03), para todo o conjunto de dados, tem-se que o SiO<sub>2</sub> possui bastante influência nesta propriedade petrofísica, devido estar presente em basicamente todos os minerais formadores de rochas ígneas e em destaque no mineral quartzo, assim mostrando uma forte correlação positiva com a condutividade térmica. Analisando os três grupos como um todo (básicas + intermediárias + ácidas), os elementos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO e TiO<sub>2</sub>, elementos estes presentes com maior porcentagem nos minerais da assembleia máfica, possuem fortes correlações negativas com esta propriedade, porém analisando por grupo pode-se observar que a correlação é mais forte no conjunto ácido, logo a condutividade térmica tende a diminuir com o aumento destes elementos, sendo esta queda mais acentuada nas rochas de caráter ácido. Os elementos Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O tendem a dispersão, mas analisando apenas o conjunto das amostras de rochas intermediárias é possível observar uma incipiente tendência positiva para este conjunto de dados.

Observando os diagramas de correlação linear entre a condutividade térmica e os elementos traços (Figura 04) nota-se que há uma tendência a dispersão para o conjunto total de dados (básicas +intermediárias+ácidas) para todos os elementos analisados.

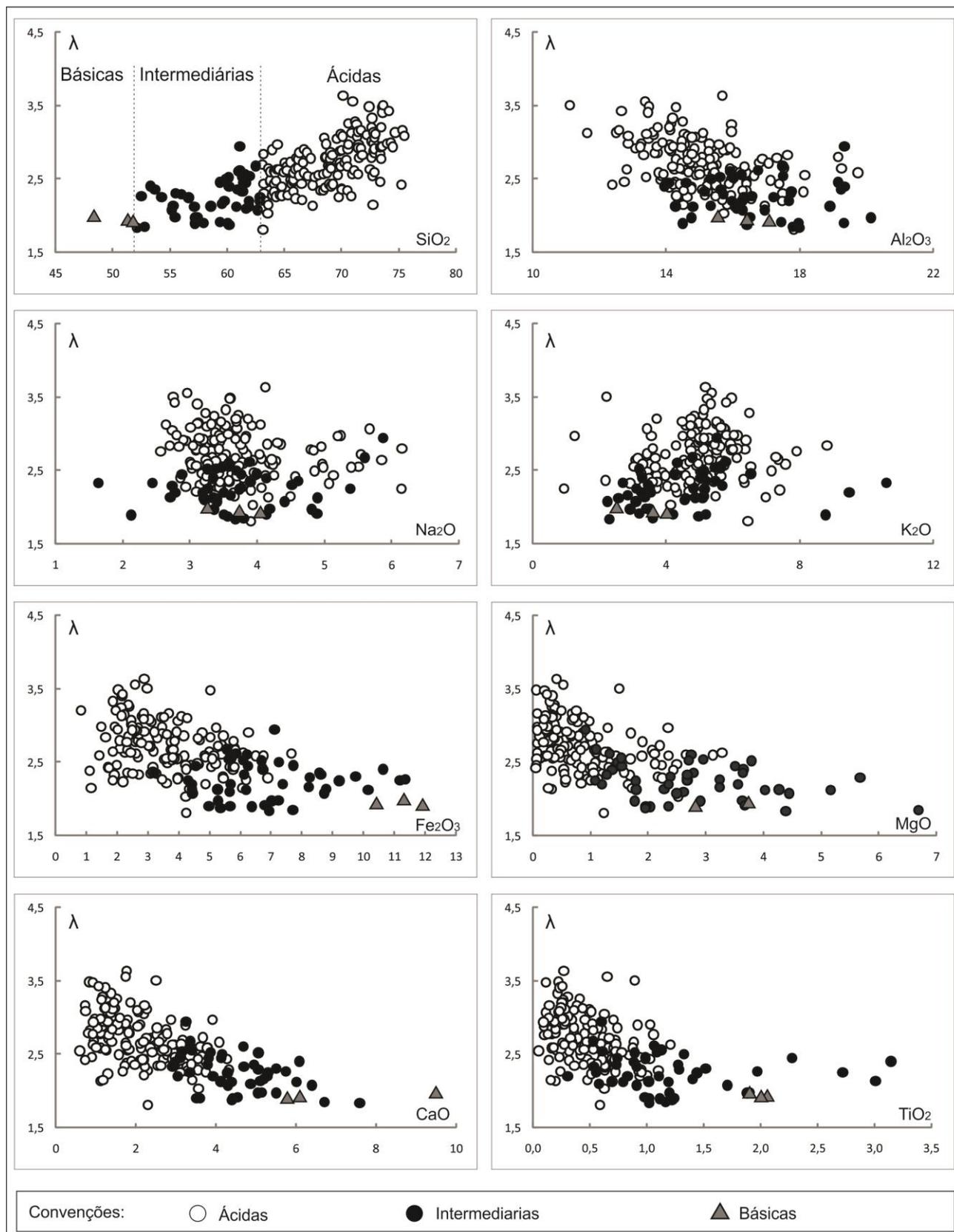


Figura 3 - Gráficos de correlação linear entre a condutividade térmica e os elementos maiores.

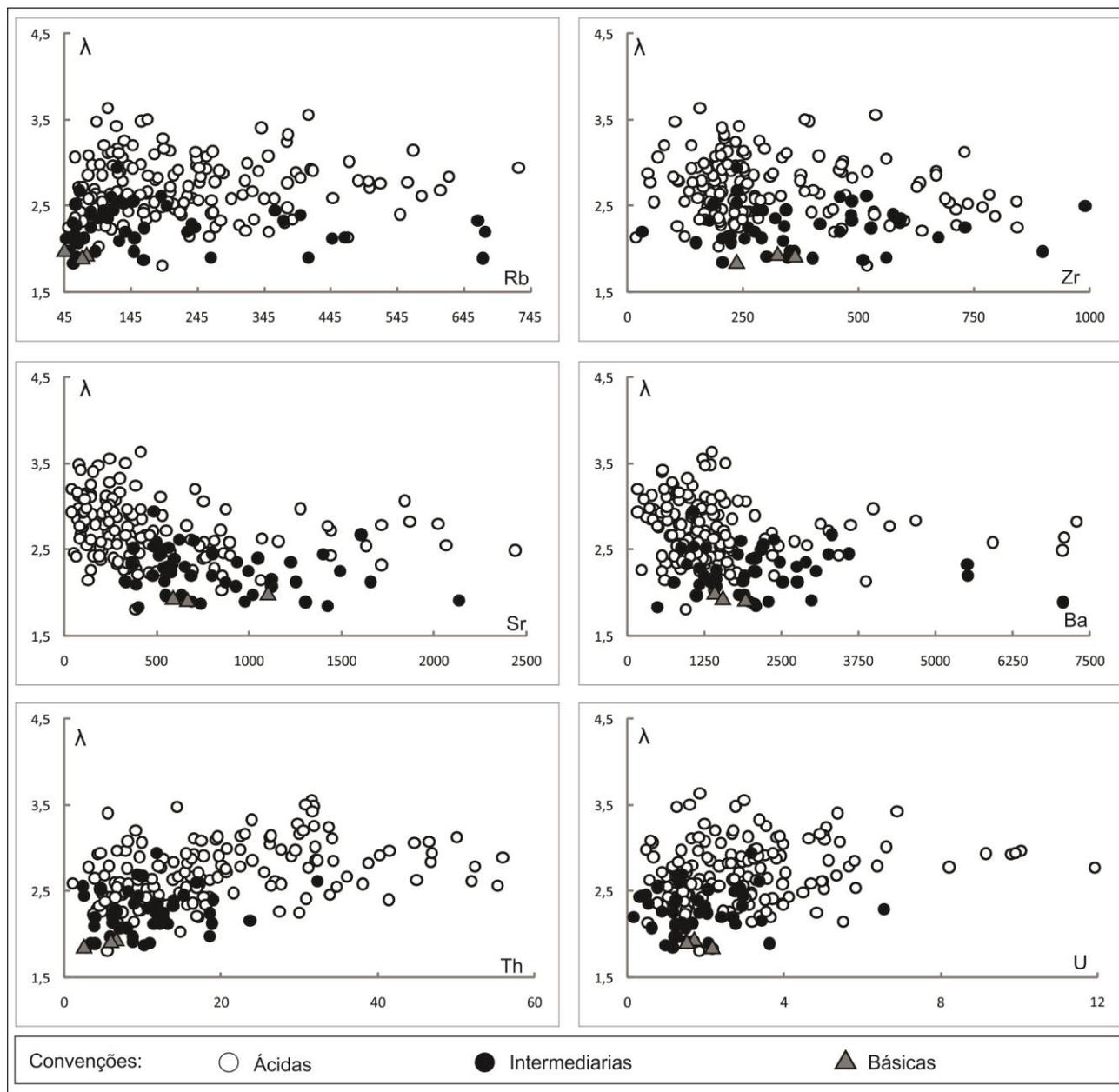


Figura 4 - Gráficos de correlação linear entre a condutividade térmica e os elementos traços.

## DENSIDADE

Para esta propriedade os grupos apresentaram os seguintes comportamentos: As rochas básicas (3 amostras) apresentam um valor mínimo de  $2,86 \text{ g cm}^3$  e máximo de  $2,95 \text{ g cm}^3$ , média de  $2,90 \text{ g cm}^3$  e desvio padrão de 0,05. Enquanto as rochas intermediárias (45 amostras) o valor mínimo foi de  $2,67 \text{ g cm}^3$  e o máximo de  $2,91 \text{ g cm}^3$ , com média de  $2,79 \text{ g cm}^3$  e desvio padrão foi de 0,06. O último grupo, rochas ácidas (147 amostras), o mínimo foi de  $2,58 \text{ g cm}^3$  e máximo de  $2,78 \text{ g cm}^3$ , com média de  $2,68 \text{ g cm}^3$  e desvio padrão de 0,04 (Tabela 2).

Para os gráficos de correlação linear de densidade *versus* o conjunto de elementos maiores estudados (Figura 5), nota-se que os dados tendem a se apresentar quase que ao inverso do que foi visto na condutividade térmica. Para todo o conjunto o SiO<sub>2</sub> possui forte correlação negativa, enquanto os principais elementos maiores e com maior porcentagem nos minerais formadores da mineralogia máfica (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO e TiO<sub>2</sub>) tem forte caráter positivo quando observado no geral (básicas + intermediárias + ácidas), mas as ácidas se distinguem das demais por apresentar caráter positivo mais forte. Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O tendem a dispersão, mas pode-se notar para o conjunto de rochas intermediárias uma leve tendência negativa.

Observa-se dispersão em todos os gráficos de correlação linear entre a densidade *versus* os elementos traços (Rb, Sr, Ba, Zr e Th, U) quando se analisa todos os grupos no geral (Figura 6), assim como foi observado na condutividade térmica. Quando se considera somente o grupo de rochas intermediárias, pode-se ver uma leve correlação negativa para Sr e Ba e leve correlação positiva para Zr.

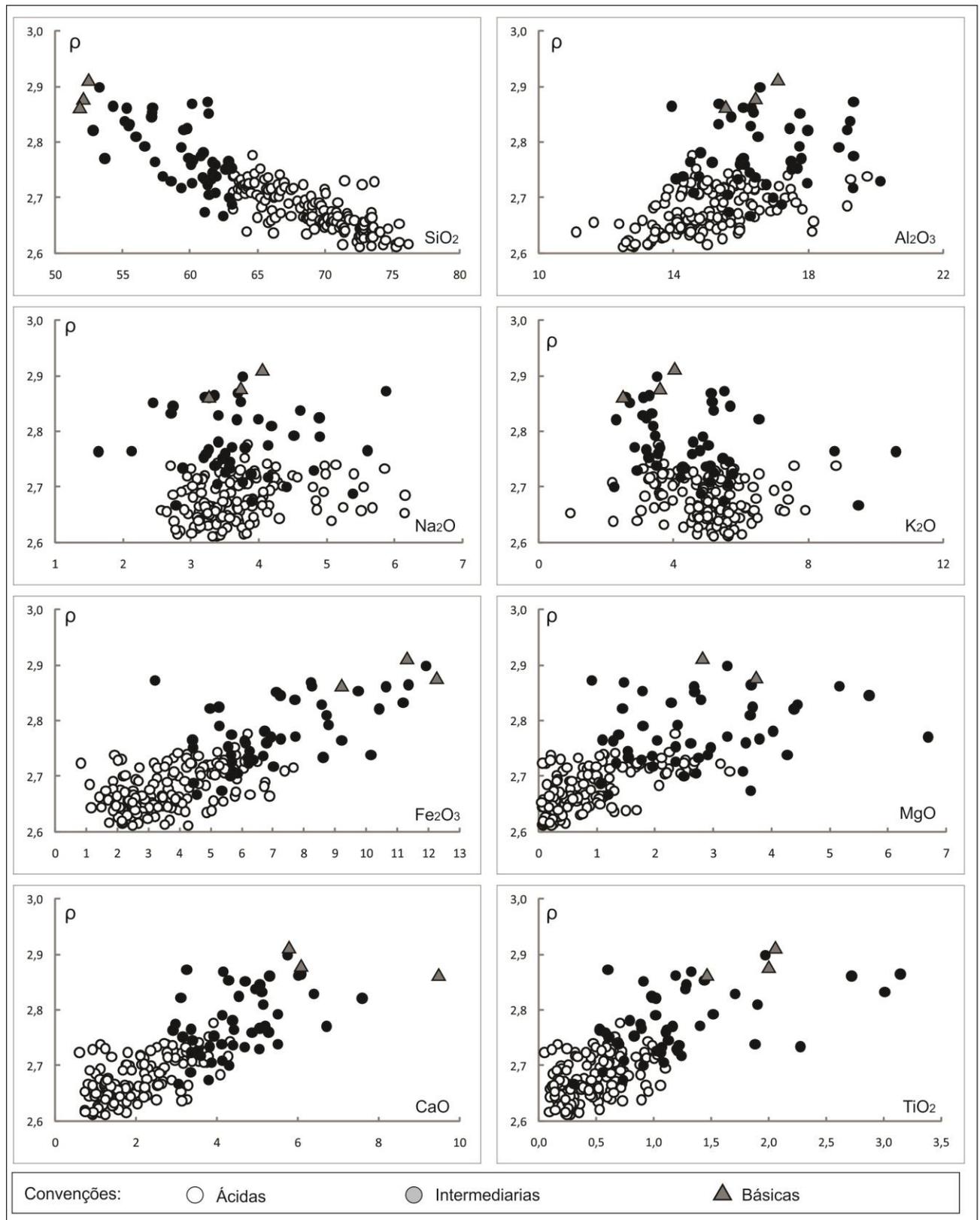


Figura 5 - Gráficos de correlação linear entre a densidade e os elementos maiores.

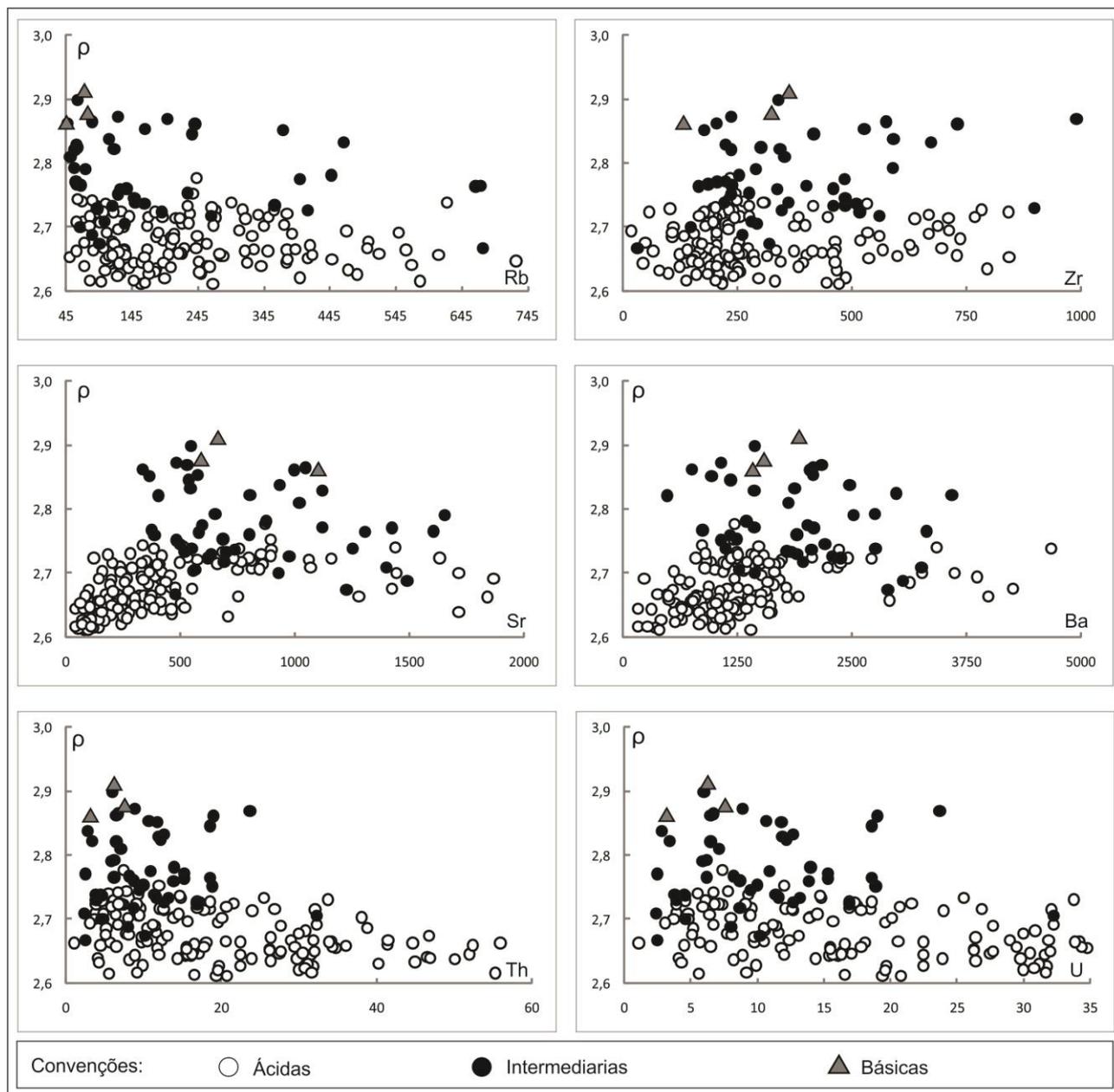


Figura 6 - Gráficos de correlação linear entre a densidade e os elementos traços.

### SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

Para a suscetibilidade magnética foi observado os seguintes comportamentos: As rochas básicas (3 amostras) mostram um valor mínimo de  $0,24 \cdot 10^{-3}$  SI e máximo de  $7,88 \cdot 10^{-3}$  SI, média de  $2,87 \cdot 10^{-3}$  SI e desvio padrão de 4,34. Rochas intermediárias (45 amostras) o valor mínimo foi de  $0,06 \cdot 10^{-3}$  SI e o máximo de  $14,40 \cdot 10^{-3}$  SI, com média de  $3,15 \cdot 10^{-3}$  SI e desvio padrão foi de 4,15. As rochas ácidas (147 amostras), o mínimo foi de  $0,02 \cdot 10^{-3}$  SI e máximo de  $16,20 \cdot 10^{-3}$  SI, com média de  $2,80 \cdot 10^{-3}$  SI e desvio padrão de 3,04 (Tabela 2).

Para a susceptibilidade magnética, foram elaborados gráficos de correlação linear apenas com os elementos maiores que têm uma maior influência na formação de minerais ferro-magnesianos (magnetita, titanita, hornblenda, biotita etc) (Figura 7), assim se buscando alguma correlação. O exame desses gráficos mostra para todos eles uma alta dispersão das amostras, e uma forte concentração dos valores de susceptibilidade abaixo de  $2,5 \cdot 10^{-3}$  SI.

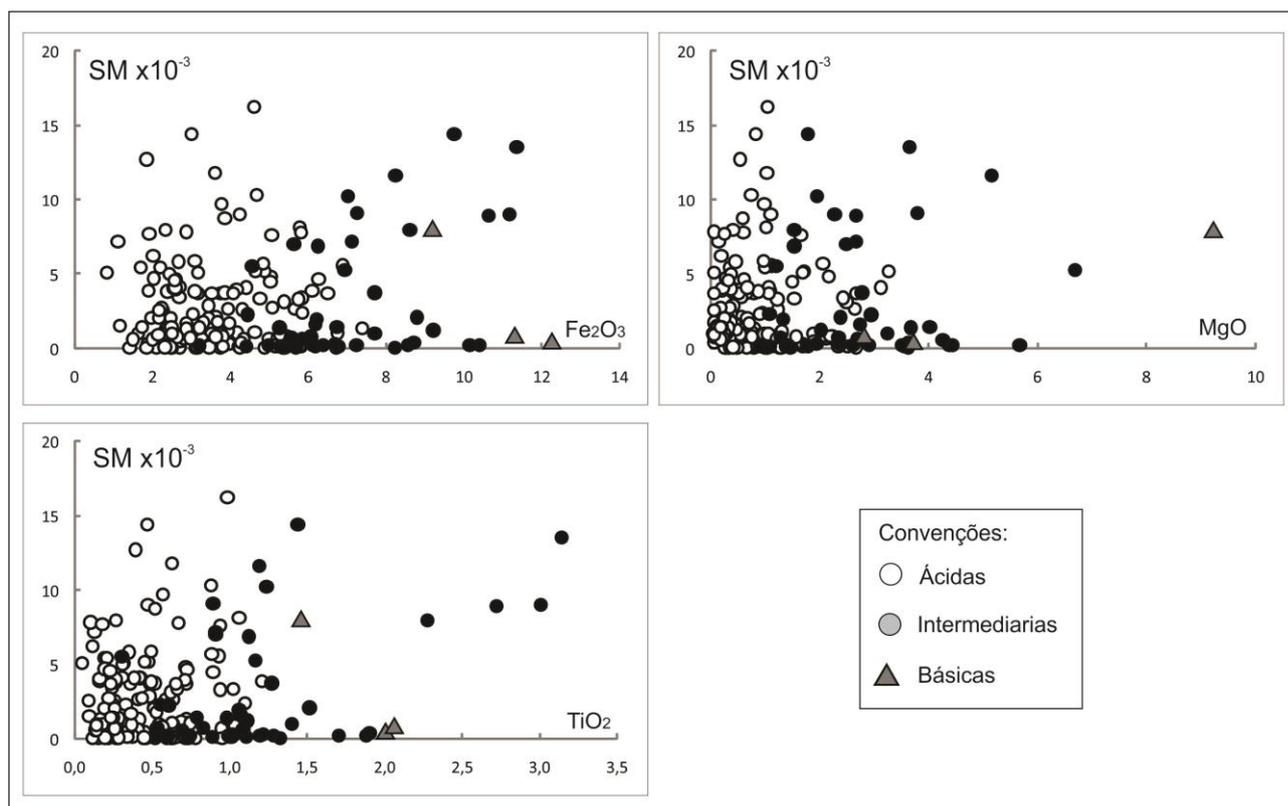


Figura 7 - Gráfico de correlação linear entre a densidade e alguns elementos maiores.

## DISCUSSÕES

### CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A partir de gráficos de correlação binários para os elementos maiores, observa-se que esta propriedade petrofísica é condicionada pela presença de  $SiO_2$ , isto é, quanto maior sua concentração na rocha maior será o valor de condutividade térmica. Isto se dá principalmente pela presença de quartzo na rocha, corroborando com o observado em Figueiredo (2006), Figueiredo *et al.* (2008),

Figueiredo *et al.* (2009), Assunção (2010) e Oliveira (2011), onde a condutividade térmica apresenta forte correlação positiva com este mineral.

Os diagramas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{TiO}_2$  apresentam correlação negativa para esta propriedade petrofísica, devido a serem elementos com maior porcentagem nos minerais formadores da assembleia máfica, como biotita, hornblenda, titanita e epídotos (Figueiredo 2006, Figueiredo *et al.* 2008, Figueiredo *et al.* 2009, Assunção 2010 e Oliveira 2011), minerais máficos dominantes nestas rochas. Para as amostras do grupo ácido esta correlação é mais forte devido a apresentarem um maior número de amostras e uma maior variação composicional.

Para  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  a fraca correlação positiva observada para as amostras das rochas intermediárias deve-se ao fato de uma maior variabilidade nos valores destes óxidos em relação aos de condutividade térmica ( $\text{Na}_2\text{O}$  entre 2,0-6,% e  $\text{K}_2\text{O}$  entre 3,0-11,0%, para condutividades de 1,7 a 2,7), refletindo uma ampla variação na cristalização dos feldspatos nessas rochas, enquanto que para o conjunto das rochas ácidas há uma forte concentração de valores de  $\text{Na}_2\text{O}$  entre 2,5-4,0% e  $\text{K}_2\text{O}$  entre 3,0-6,0% para valores de condutividade entre 2 e 3,5, o que vai acarretar em dispersão nestes diagramas.

No geral a correlação dos elementos maiores com a condutividade térmica mostra que rochas ácidas possuem maiores valores em relação a rochas básicas e intermediárias.

Para os elementos traços pode ser observado nos gráficos de correlação linear uma dominante dispersão para todo o conjunto de amostras.

## DENSIDADE

Nesta propriedade observa-se que o  $\text{SiO}_2$  e os elementos maiores com maior porcentagem em minerais formadores da assembleia máfica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{TiO}_2$ ) é o que mais a condiciona. No primeiro caso, um aumento deste óxido ocasiona uma queda nos valores desta propriedade, enquanto no segundo caso, uma elevação nos teores deste grupo ou de um membro deste grupo de óxidos ocasiona uma elevação nos valores de densidade. Com isso um aumento na

quantidade de quartzo na rocha ocasiona uma queda na densidade, enquanto que o aumento em minerais ferro-magnesianos faz com que ocorra o oposto.

As fracas correlações negativas observadas para  $K_2O$  e  $Na_2O$ , seguem o mesmo raciocínio exposto para a condutividade térmica.

Para os elementos traços, quando analisado somente o grupo de rochas intermediárias, a fraca correlação negativa observada para Sr e Ba ocorre devido a estes estarem associados a  $K_2O$  e  $Na_2O$  (feldspatos), assim possuindo comportamento semelhante a estes. A leve correlação positiva vista para o Zr segue a mesma tendência observada para elementos próprios de minerais ferromagnesianos (Zircão).

### **SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA**

A susceptibilidade magnética não mostrou nenhuma correlação nos gráficos confeccionados, o que pode estar relacionado à presença de minerais ferromagnéticos, em especial magnetita a qual é bastante comum nas amostras estudadas, que pode fazer com que rochas que aparentemente sejam semelhantes do ponto de vista geoquímico apresentem valores de susceptibilidade magnética diferentes.

### **CONCLUSÕES**

No total foram analisadas 195 amostras de corpos ígneos de idade neoproterozoica da Província Borborema (NE do Brasil), sendo separadas em três grupos de acordo com o teor de acidez, no final estas amostras tiveram sua geoquímica correlacionada com a condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética.

Para a condutividade térmica os dados obtidos indicam que o  $SiO_2$  é o elemento que mais influência uma tendência positiva para esta propriedade petrofísica e que os principais elementos formadores da mineralogia máfica ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$  e  $TiO_2$ ) mostram um tendência oposta.

A densidade mostra-se como um espelho invertido da condutividade térmica, onde o SiO<sub>2</sub> provoca uma queda nos valores desta propriedade petrofísica, enquanto os principais elementos formadores da mineralogia máfica (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO e TiO<sub>2</sub>) causa um aumento desta.

Já a susceptibilidade magnética não revelou nenhuma correlação com os gráficos analisados, sempre tendendo a dispersão dos dados estudados.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos projetos “*Parametrização de Afloramentos do Embasamento Cristalino da Bacia Potiguar Para Estudos de Condutividade Térmica*” e “*Parametrização de afloramentos do embasamento cristalino das bacias do Ceará e interiores do trend Cariri Potiguar para estudos de condutividade térmica: um tema em continuidade*”, desenvolvido pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica-PPGG, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sob a coordenação do Dr. Fernando Antonio Pessoa Lira Lins, a aquisição dos dados que possibilitou a Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; LEONARDOS JR., O.H.; VALENÇA, J. 1967. Review on granitic rocks of northeast South America. IUGS/UNESCO. Symp., Recife, 41p.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. Earth-Science Reviews, Amsterdam: Elsevier, v. 17, n. 1/2, p. 1-29.
- ANGELIM L.A.A, VASCONCELOS A.M. 2004. Folha SB-24-Jaguaribe. In: Schobbenhaus C, Gonçalves J.H, Santos J.O.S, Abram M.B, Leão Neto R, Matos G.M.M, Vidotti R.M.& Ramos

- M.A.B. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- ANGELIM L.A.A. 2004. Folha SB-25-Natal. In: Schobbenhaus C, Gonçalves J.H, Santos J.O.S, Abram M.B, Leão Neto R, Matos G.M.M, Vidotti R.M.& Ramos M.A.B. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- ANGELIM, L.A.A.; NESI, J.R.; TORRES, H.H.F.; MEDEIROS, V.C.; SANTOS, C.A.; VEIGA JÚNIOR, J.P.; MENDES, V.A. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000. Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 119p.
- ASSUNÇÃO, A. L. C, 2010. Petrografia e Propriedades Físicas de Corpos Granitóides Paleo-Neoproterozóicos Pertencentes ao Embasamento da Bacia Potiguar. Relatório de Graduação em Geologia nº 299, UFRN, p. 51.
- CABY, R.; SIAL, A.N.; ARTHAUD, M.H.; VAUCHEZ, A. 1991. Crustal evolution and the Brasiliano orogeny in Northeast Brazil. In: Dallmeyer, R.D. and Lécorché, J.P. (eds.) The West African orogens and Circum-Atlantic correlatives. Springer-Verlag, 373-397.
- DELGADO I.M. 2004. Folha SC-25-Recife. In: Schobbenhaus C, Gonçalves J.H, Santos J.O.S, Abram M.B, Leão Neto R, Matos G.M.M, Vidotti R.M.& Ramos M.A.B. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- FERREIRA, V.P.; SIAL, A.N., JARDIM DE SÁ, E.F. 1998. Geochemical and isotopic signature of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil. J. South Amer. Earth Sci..11: 439-455.
- FIGUEIREDO E. R. H. 2006. Condutividade Térmica de Rochas: Uma aplicação para Granitos Ornamentais. Dissertação de Mestrado nº 55/PPGG, UFRN, p. 91.

- FIGUEIREDO, E.R.H, GALINDO, A.C., MOREIRA, J.A.M., LINS, F.A.P.L. 2008 Condutividade térmica em rochas silicáticas cristalinas, com ênfase a rochas graníticas da Província Borborema, NE do Brasil, e sua correlação com parâmetros petrográficos e texturais. Rev. Bras. Geof., 26(3):293-307.
- FIGUEIREDO, E.R.H, GALINDO, A.C., MOREIRA, J.A.M., LINS, F.A.P.L. 2009 Condutividade térmica em rochas silicáticas cristalinas e sua correlação com a geoquímica de elementos maiores. Estudos Geológicos, 19(1):55-68.
- FRANÇA, D.T. 2011. Modelos de condutividade térmica para rochas do embasamento cristalino. Relatório de Graduação em Geofísica n<sup>o</sup>15, UFRN, p.68.
- FILLIPPI, R.R. 2011. Geoquímica de elementos maiores e alguns traços de granitóides ediacaranos-cambrianos dos domínios Rio Grande do Norte e Médio Coreaú e sua correlação com propriedades físicas de rochas. Relatório de Graduação em Geologia n0330. p66.
- GUIMARÃES, I.P.; SILVA FILHO, A.F.; ALMEIDA, C.N.; VAN SCHMUS, W.R.; ARAÚJO, J.M.M.; MELO, S.C.; MELO, E.B..2004. Brasiliano (Pan African) granitic magmatism in the Pajeú-Paraíba belt, Northeast Brazil: an isotopic geochronological approach. Precambrian Research, 135:23-53.
- GUIMARÃES, I.P.; SILVA FILHO, A.F.; ARAUJO, D.B.; ALMEIDA, C.N.; DANTAS, E.L. 2009. Trans-alkaline magmatism in the Serrinha-Pedro Velho Complex, Borborema Province, NE Brazil, and its correlations with the magmatism in eastern Nigeria. Gondwana Research, 15:98-110.
- HROUNDA et al. 2009. The Use of Magnetic Susceptibility of Rocks in Geological Exploration (case histories study). Brno.
- HUTCHISON, C.S. – 1974 – Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. Ed. John Wiley & Sons. 527p.

- JARDIM DE SÁ, E.F.1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 803p.
- JARDIM DE SÁ, E.F.; LEGRAND, J.M.; MCREATH, I. 1981. "Estratigrafia" de rochas granitóides na região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. *Rev. Bras. Geoc.*,11: 50-57.
- KOSIN M, ANGELIM L.A.A, SOUZA JD. 2004. Folha SC-24-Aracajú. In: Schobbenhaus C, Gonçalves J.H, Santos J.O.S, Abram M.B, Leão Neto R, Matos G.M.M, Vidotti R.M.& Ramos M.A.B. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.
- LETERRIER, J.; JARDIM DE SÁ, E.F.; BERTRAND, J.M.; Pin, C. 1994. Ages U-Pb sur zircon de granitoides "brasilianos" de l'axe du Seridó (Province Borborema, NE Brésil). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 318: 1505-1511.
- MCREATH I; GALINDO, A.C.; DALL'AGNOL, R. 2002. The Umarizal igneous association, Borborema Province, NE Brazil: implications for the genesis of A-type granites. *Gondwana Research*, 5: 339-353.
- NASCIMENTO, M. A. L.;ANTUNES, A. F.;GALINDO, A. C.; SÁ, E. F. J.; SOUZA, Z. S.Geochemical signature of the Brasiliano-age plutonism in the Seridó Belt, Northeastern Borborema Province (Ne Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 161-164, 2000.
- NASCIMENTO, M.A.L.; MEDEIROS, V.C.; GALINDO, A.C. 2008. Magmatismo Ediacarano a Cambriano no Domínio Rio Grande do Norte, Província Borborema, NE do Brasil. *Estudos Geológicos*, 18(1): 4-29.

- OLIVEIRA, M.T.D. de, 2011. Caracterização Petrográfica e Propriedades Físicas de Rochas Ortoderivadas e de Granitóides do Embasamento Cristalino da Bacia do Ceará (NE do Brasil). Relatório de Graduação em Geologia nº 315, UFRN, p. 105.
- SANTOS, E.J. & BRITO NEVES, B.B. 1984. Província Borborema. In: Almeida, F.F.M. e Hasui, Y. (eds.). O Pré-Cambriano do Brasil. Edgard Blucher, São Paulo, 123-186.
- SANTOS, E.J. 2000. Contexto Tectônico Regional. In: Medeiros V.C. (Org.). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Aracaju/NE – SC.24-X (escala 1:500.000). Brasília, CPRM, p. 3-7.
- SANTOS E.J.; MEDEIROS V.C. 1999. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the transverse zone, Borboreme Province, NE Brazil. Rev. Bras. Geoc., 29:73-84.
- SCHÖN JH. 2004. Physical Properties of Rocks: Fundamentals and principles of petrophysics. Ed. Pergamon. Cap. 8, p. 323-378.
- SIAL, A.N. 1987. Granitic rocks in northeast Brazil. In: Intern. Symp. Granites Assoc. Miner., 1<sup>st</sup>, Salvador, *Anais*, 61-69.
- STRECKEISEN, A.L. (1976). “To Each Plutonic Rock Its Proper Name”. Earth Sci. Rev., 12: 1-33.
- TRINDADE, R.I.; DANTAS, E.L.; BABINSKI, M.; SCHMUS, W.R.V. 1999. Short-lived granitic magmatism along shear zone: evidence from U-Pb zircon and sphene age of Caraúbas and Tourão granite. In: South American Symposium on Isotope Geology, 2, Argentina, Actas, 143-144.
- VASCONCELOS A.M. 2004. Folha SA-24-Fortaleza. In: Schobbenhaus C, Gonçalves JH, Santos JOS, Abram MB, Leão Neto R, Matos GMM, Vidotti RM & Ramos MAB (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.P.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGYDIO-SILVA, M.; ARTHAUD, M.  
AMARO, V.E. 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. J. South Am. Earth Sci.,**8**:  
247-266.

Tabela 01–Tabela com valores de condutividade térmica em  $W m^{-1}k^{-1}$ , susceptibilidade magnética em  $10^{-3}SI$ , e densidade em  $g/cm^3$ , além de resultados das análises dos elementos maiores em % ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ ) e traços em ppm (Rb, Sr, Ba, Zr, Th e U).

Amostras	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores											Elementos Traços							
	$\lambda(W m^{-1}k^{-1})$	SM ( $10^{-3}SI$ )	$\rho (g/cm^3)$	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Rb	Sr	Ba	Zr	Y	Nb	Th	U
Am-01	1,83	0,24	2,95	48,40	15,55	9,21	9,23	0,14	9,50	3,27	2,52	1,46	0,72	100,00	45,20	1103,00	1426,00	132,00	18,85	14,48	3,20	0,69
Am-02	1,97	0,48	2,89	51,38	16,44	12,27	3,73	0,18	6,10	3,73	3,59	2,01	0,57	100,00	77,60	589,00	1545,00	325,00	26,11	17,97	7,60	1,69
Am-03	1,97	7,88	2,86	51,89	17,11	11,31	2,82	0,16	5,79	4,05	4,03	2,06	0,80	100,00	72,50	666,00	1921,00	363,00	27,98	23,04	6,30	1,52
Am-04	1,92	0,35	2,87	52,15	17,99	10,41	4,39	0,18	7,59	3,68	2,29	1,02	0,30	100,00	58,40	403,00	487,00	236,00	25,44	8,31	6,50	2,17
Am-05	1,90	0,71	2,91	52,50	16,57	11,93	3,24	0,15	5,75	3,77	3,52	1,97	0,61	100,00	62,90	548,00	1441,00	340,00	29,42	22,91	6,00	0,88
Am-06	1,83	0,18	2,82	52,82	17,80	6,94	6,69	0,09	6,71	3,80	3,61	1,16	0,38	100,00	59,40	1425,00	2084,00	206,00	7,70	5,19	2,50	1,16
Am-07	2,26	32,60	2,90	53,31	13,96	11,36	3,65	0,16	6,08	3,34	3,29	3,14	1,71	100,00	84,40	1048,00	2078,00	574,00	62,03	48,67	6,70	1,24
Am-08	1,84	5,24	2,77	53,70	19,25	7,71	2,78	0,10	4,95	4,61	5,19	1,27	0,44	100,00	111,00	933,00	2476,00	590,30	16,91	19,50	2,80	0,54
Am-09	2,40	13,50	2,86	54,29	16,33	10,65	2,67	0,15	5,30	3,27	3,12	2,72	1,51	100,00	240,60	997,00	2046,00	730,00	59,39	35,00	19,00	1,83
Am-10	2,35	3,73	2,84	55,15	16,30	8,57	4,45	0,13	6,40	3,40	3,09	1,71	0,82	100,00	61,30	1121,00	1435,00	225,00	18,79	12,69	11,90	1,49
Am-11	2,25	8,90	2,86	55,29	15,34	11,19	2,28	0,16	5,11	2,71	3,36	3,01	1,55	100,00	466,50	544,00	1876,00	672,00	70,36	35,53	12,70	1,40
Am-12	2,07	0,21	2,83	55,46	16,51	8,72	3,63	0,12	5,15	4,19	3,39	1,90	0,93	100,00	52,00	1019,00	1809,00	353,00	14,46	16,91	7,10	1,25
Am-13	2,13	9,01	2,83	55,53	17,74	8,79	2,39	0,14	5,52	4,52	3,45	1,52	0,41	100,00	57,20	652,00	2748,00	589,00	24,10	16,93	6,20	1,97
Am-14	1,97	0,36	2,81	56,01	15,71	7,24	5,67	0,12	5,06	2,74	5,68	1,28	0,48	100,00	236,90	537,00	1175,00	417,00	24,70	14,69	18,60	6,56
Am-15	2,30	2,07	2,79	56,64	16,38	9,75	1,78	0,16	4,29	3,73	5,15	1,44	0,68	100,00	165,00	577,20	2074,00	527,20	38,82	26,71	10,70	2,04
Am-16	2,29	0,20	2,85	57,15	16,08	8,25	5,17	0,12	6,02	3,21	2,58	1,19	0,22	100,00	47,00	335,00	752,00	205,00	15,99	7,29	6,50	1,22
Am-17	2,24	14,40	2,85	57,18	14,50	9,22	2,03	0,20	4,42	2,13	8,78	1,11	0,44	100,00	674,20	1306,00	7068,00	400,00	51,02	10,66	18,60	3,63
Am-18	2,12	11,60	2,86	57,24	14,76	10,16	2,91	0,13	5,52	3,36	3,50	1,88	0,56	100,00	149,30	548,20	1122,00	361,70	32,04	27,51	11,40	1,19
Am-19	1,89	1,20	2,76	57,39	20,14	6,38	1,76	0,06	5,05	4,81	2,92	1,20	0,29	100,00	92,20	634,50	1900,00	897,80	24,94	12,24	3,90	1,26
Am-20	1,97	0,22	2,74	57,97	19,34	7,02	1,96	0,10	3,61	4,14	4,21	1,24	0,42	100,00	265,10	691,00	1970,00	560,00	13,70	20,14	8,70	1,54
Am-21	1,97	0,21	2,73	58,60	18,91	5,29	1,79	0,06	4,13	4,90	4,88	1,02	0,42	100,00	74,90	1656,00	2515,00	290,00	8,84	3,27	5,90	1,39
Am-22	1,90	10,20	2,72	59,38	19,16	4,99	1,44	0,07	3,11	3,99	6,54	0,99	0,33	100,00	118,10	803,00	3590,00	343,00	17,45	7,88	3,40	0,48
Am-23	2,13	0,10	2,79	59,39	17,46	5,27	3,68	0,07	4,55	4,89	3,20	0,98	0,53	100,00	62,50	2137,00	2988,00	301,00	10,03	14,62	12,20	1,52
Am-24	2,45	0,19	2,82	59,55	16,07	7,72	3,24	0,09	5,19	3,60	2,84	1,40	0,29	100,00	61,30	1121,00	1435,00	225,00	18,79	12,69	15,30	3,43
Am-25	1,91	1,39	2,82	59,78	15,98	6,80	3,56	0,11	5,28	3,51	3,55	1,11	0,34	100,00	137,00	800,30	1901,00	459,20	27,68	16,78	8,70	2,40
Am-26	2,16	0,99	2,77	59,91	15,35	8,22	1,47	0,13	4,16	3,69	5,12	1,33	0,64	100,00	198,90	529,10	2169,00	990,30	51,94	43,45	23,70	2,75
Am-27	2,20	0,12	2,76	60,08	17,98	5,68	2,36	0,09	3,52	3,50	5,18	1,02	0,58	100,00	412,00	976,00	2287,00	347,00	17,77	19,45	12,70	2,07
Am-28	2,50	0,06	2,87	60,15	16,02	7,25	3,79	0,11	5,06	3,26	3,20	0,89	0,25	100,00	61,90	374,00	870,00	186,00	18,49	8,34	8,20	2,05
Am-29	1,89	0,29	2,73	60,18	19,35	5,67	1,37	0,08	2,97	4,13	5,03	0,89	0,32	100,00	400,10	595,00	2019,00	484,00	22,07	18,56	10,90	1,79
Am-30	2,52	9,08	2,77	60,19	16,42	6,68	1,95	0,08	4,41	3,56	4,98	1,22	0,51	100,00	164,10	738,40	2059,00	509,90	22,80	25,08	4,60	0,97
Am-31	2,39	0,14	2,78	60,80	14,80	6,74	4,03	0,12	4,39	3,40	4,58	0,79	0,36	100,00	447,70	875,00	1347,00	254,00	29,27	10,48	14,00	2,77
Am-32	1,87	0,31	2,74	60,96	15,64	5,36	3,64	0,08	3,80	3,89	5,49	0,73	0,41	100,00	95,80	1225,00	2894,00	320,00	18,67	8,94	10,20	1,19
Am-33	2,12	1,44	2,78	60,98	15,91	6,19	2,74	0,08	4,68	3,57	4,34	1,07	0,42	100,00	115,90	700,10	1839,00	459,90	17,05	24,06	13,20	1,33
Am-34	2,36	0,07	2,67	61,11	19,35	3,21	0,92	0,03	3,26	5,87	5,51	0,60	0,15	100,00	124,00	483,00	1073,00	236,00	6,01	9,87	8,90	3,16
Am-35	2,60	1,58	2,73	61,12	16,75	6,23	1,33	0,10	3,36	3,89	5,77	1,06	0,39	100,00	190,30	619,70	2376,00	517,50	33,02	29,01	16,90	3,37
Am-36	2,94	0,16	2,87	61,30	17,75	7,12	2,68	0,16	4,70	2,45	2,70	0,91	0,24	100,00	374,10	364,00	969,00	177,00	28,89	5,68	11,80	2,93
Am-37	2,62	1,92	2,72	61,34	15,62	5,86	2,70	0,10	3,87	3,39	5,64	1,09	0,41	100,00	134,60	564,00	1271,00	293,00	22,97	19,43	32,30	2,97
Am-38	2,33	7,15	2,85	61,39	14,07	8,62	1,54	0,13	3,82	2,88	4,24	2,28	1,04	100,00	361,60	520,00	1790,00	485,00	53,19	25,59	11,60	1,98
Am-39	2,44	7,97	2,73	61,60	16,27	6,25	1,54	0,08	3,40	3,58	5,67	1,13	0,49	100,00	148,50	496,90	2207,00	485,40	22,08	37,90	9,50	0,78

Tabela 01– Continuação.

Amostras	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores										Elementos Traços								
	$\lambda$ (W m-1k-1)	SM (10 <sup>3</sup> SI)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Rb	Sr	Ba	Zr	Y	Nb	Th	U
Am-40	2,33	0,72	2,76	61,66	16,11	6,12	2,61	0,09	4,87	3,22	4,55	0,58	0,18	100,00	127,90	387,50	1169,00	337,20	29,91	16,00	13,90	1,22
Am-41	2,55	6,85	2,75	61,69	14,60	5,72	3,51	0,08	4,13	3,77	5,09	0,74	0,67	100,00	104,10	1399,40	3259,00	280,70	18,06	9,20	2,40	0,36
Am-42	2,09	0,20	2,76	61,91	14,28	5,66	4,27	0,08	4,12	3,34	5,09	0,69	0,56	100,00	150,20	1252,30	2757,00	221,10	17,61	11,10	3,80	1,67
Am-43	2,45	0,20	2,71	61,92	16,28	4,57	1,20	0,08	3,05	2,78	9,49	0,31	0,32	100,00	677,30	478,00	5519,00	32,00	3,79	0,03	2,50	0,15
Am-44	2,13	0,55	2,74	61,96	17,50	4,44	2,95	0,06	3,16	3,47	5,47	0,61	0,38	100,00	124,00	483,00	1073,00	236,00	6,01	9,87	18,90	2,87
Am-45	2,19	5,52	2,67	62,48	17,49	4,42	1,09	0,06	3,37	5,60	4,78	0,53	0,18	100,00	68,30	1605,00	3316,00	238,00	22,95	9,93	6,20	1,29
Am-46	2,54	2,25	2,75	62,65	16,97	5,64	2,49	0,11	4,31	4,41	2,23	0,91	0,28	100,00	66,00	928,00	1443,00	149,00	149,00	8,26	4,60	0,63
Am-47	2,67	0,10	2,77	62,87	17,69	5,57	2,35	0,08	3,93	3,18	3,27	0,83	0,22	100,00	229,70	686,60	1242,00	275,30	13,40	15,73	10,00	2,69
Am-48	2,07	6,99	2,70	62,89	17,22	4,45	1,08	0,07	3,35	5,38	4,82	0,55	0,18	100,00	84,50	1490,00	3058,00	261,00	16,77	9,23	8,00	1,17
Am-49	2,20	0,74	2,75	63,11	15,51	7,39	0,42	0,17	3,17	3,85	5,50	0,72	0,16	100,00	89,60	234,90	2339,00	1474,70	29,70	29,35	3,90	1,39
Am-50	2,25	2,32	2,69	63,15	17,82	4,30	1,23	0,08	2,30	3,90	6,45	0,59	0,18	100,00	192,50	385,00	941,00	519,00	22,80	13,23	11,60	1,83
Am-51	2,69	1,31	2,71	63,19	14,65	5,81	1,12	0,12	2,76	2,70	8,83	0,60	0,22	100,00	622,30	383,00	4678,00	309,00	28,37	8,98	9,30	2,94
Am-52	1,81	2,61	2,68	63,21	17,38	4,25	1,11	0,06	2,70	5,13	5,54	0,47	0,14	100,00	69,10	1440,00	3424,00	263,00	23,58	16,49	5,50	1,24
Am-53	2,84	0,12	2,74	63,22	17,49	5,03	2,16	0,09	3,18	3,15	4,68	0,72	0,28	100,00	375,80	555,00	1318,00	230,00	28,26	13,26	14,00	2,82
Am-54	2,43	8,99	2,74	63,31	17,48	5,07	1,66	0,08	3,04	3,65	4,33	0,94	0,44	100,00	352,50	855,00	2377,00	448,00	17,05	17,67	18,50	3,65
Am-55	2,31	4,83	2,70	63,57	15,72	5,44	2,52	0,09	3,57	3,93	4,14	0,63	0,39	100,00	97,20	852,20	1403,00	196,50	20,70	12,80	6,10	1,40
Am-56	2,20	7,61	2,72	63,59	15,82	4,88	1,72	0,10	3,41	4,49	5,13	0,48	0,37	100,00	232,80	1061,90	1732,00	216,90	18,81	14,74	17,10	3,18
Am-57	2,03	0,10	2,73	63,62	19,26	4,23	0,68	0,09	2,52	5,85	3,09	0,49	0,16	100,00	91,40	5057,00	7082,00	416,00	18,68	17,65	14,80	1,84
Am-58	2,15	5,14	2,72	63,78	16,40	6,07	2,24	0,10	3,48	3,61	3,26	0,67	0,39	100,00	211,90	861,00	1257,00	205,00	23,70	7,91	12,70	1,58
Am-59	2,64	0,12	2,73	63,79	17,13	5,00	2,12	0,09	3,35	3,20	4,31	0,72	0,29	100,00	380,00	573,00	1185,00	234,00	29,11	12,49	17,50	3,16
Am-60	2,45	0,77	2,71	63,80	14,84	4,41	3,13	0,07	3,12	4,19	5,71	0,42	0,32	100,00	101,00	1158,00	2717,00	175,00	13,11	7,86	7,40	1,30
Am-61	2,48	0,62	2,72	63,96	15,81	5,20	1,70	0,07	3,25	3,44	5,33	0,92	0,32	100,00	128,50	528,90	2064,00	518,50	24,27	22,61	21,60	0,66
Am-62	2,60	4,09	2,72	63,96	15,16	5,69	2,67	0,09	3,56	3,79	4,04	0,63	0,41	100,00	96,60	811,40	1343,00	201,40	20,20	12,60	6,40	1,50
Am-63	2,89	0,09	2,72	64,09	16,42	4,76	1,54	0,06	4,27	3,97	3,65	1,02	0,22	100,00	141,60	353,00	964,00	255,00	12,63	13,40	9,60	4,13
Am-64	2,28	0,08	2,71	64,11	18,11	3,98	1,69	0,04	3,27	5,07	2,92	0,63	0,18	100,00	72,60	1715,00	1623,00	200,00	5,95	4,32	4,10	0,91
Am-65	2,44	3,35	2,72	64,13	15,23	5,67	2,65	0,09	3,61	4,18	3,40	0,64	0,40	100,00	87,00	812,80	913,00	197,20	19,80	12,40	5,90	1,20
Am-66	2,32	0,31	2,64	64,21	19,75	1,91	0,20	0,04	1,13	4,96	7,58	0,16	0,05	100,00	295,90	758,00	5930,00	306,00	9,51	2,25	4,50	1,78
Am-67	2,61	2,65	2,72	64,26	15,28	5,39	2,49	0,09	3,65	3,95	3,89	0,62	0,36	100,00	92,30	799,10	1242,00	188,80	20,50	13,50	7,10	1,40
Am-68	2,58	3,86	2,74	64,28	14,34	6,51	2,68	0,12	3,75	3,46	3,72	0,72	0,41	100,00	271,80	697,00	1168,00	242,00	33,90	7,81	17,30	2,60
Am-69	2,47	3,13	2,72	64,36	14,25	4,65	3,28	0,08	2,96	4,28	5,38	0,45	0,30	100,00	70,80	1068,00	2234,00	194,00	12,96	8,31	4,80	0,56
Am-70	2,26	3,67	2,73	64,40	14,55	6,19	2,34	0,10	3,91	3,83	3,56	0,71	0,40	100,00	243,50	871,00	1216,00	234,00	13,92	9,24	7,40	1,80
Am-71	2,63	5,17	2,71	64,55	14,51	6,10	1,10	0,08	2,91	3,42	5,73	1,21	0,40	100,00	312,70	420,00	1437,00	783,00	70,83	27,82	18,60	2,83
Am-72	2,97	0,12	2,78	64,66	15,62	5,21	2,24	0,07	4,33	3,39	3,33	0,95	0,21	100,00	62,50	336,00	863,00	232,00	11,79	8,10	7,80	1,98
Am-73	2,63	3,86	2,73	64,79	14,74	5,84	2,44	0,11	3,75	3,79	3,49	0,66	0,39	100,00	220,50	750,00	1003,00	188,00	21,90	7,54	9,40	1,82
Am-74	2,28	0,68	2,74	64,80	14,31	6,90	1,12	0,12	3,29	3,43	4,80	0,93	0,29	100,00	133,40	320,40	1568,00	567,00	36,33	34,67	9,80	2,44
Am-75	2,40	3,38	2,71	64,96	14,67	5,77	2,35	0,11	3,79	3,79	3,52	0,66	0,38	100,00	237,50	893,00	1205,00	245,00	15,07	7,30	12,00	1,41
Am-76	2,27	5,56	2,66	65,03	16,80	3,96	0,80	0,07	2,37	5,55	4,89	0,42	0,12	100,00	67,10	1442,00	3262,00	202,00	24,36	10,27	4,80	1,51
Am-77	2,59	0,11	2,75	65,23	15,43	4,85	2,07	0,06	4,09	4,06	3,16	0,88	0,17	100,00	203,50	360,00	695,00	205,00	14,31	5,65	10,60	2,10
Am-78	2,72	1,29	2,70	65,25	15,99	3,80	2,11	0,05	3,23	3,00	5,79	0,59	0,19	100,00	229,70	686,60	1242,00	275,30	13,40	15,73	25,50	4,99

Tabela 01– Continuação.

Amostras	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores											Elementos Traços							
	$\lambda(W\ m^{-1}k^{-1})$	SM ( $10^3SI$ )	$\rho\ (g/cm^3)$	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Rb	Sr	Ba	Zr	Y	Nb	Th	U
Am-79	2,66	5,66	2,68	65,34	15,94	5,85	0,95	0,08	2,31	2,94	5,09	1,10	0,41	100,00	307,70	390,00	1665,00	712,00	56,89	24,30	19,60	2,00
Am-80	2,62	0,79	2,73	65,55	13,85	7,66	0,77	0,11	2,79	3,17	5,02	0,85	0,23	100,00	191,10	204,40	1709,00	767,80	93,43	39,06	26,90	4,48
Am-81	2,28	2,38	2,69	65,57	14,74	5,45	2,21	0,10	3,68	3,83	3,42	0,61	0,39	100,00	231,80	846,00	1112,00	186,00	13,70	7,54	9,50	1,35
Am-82	2,48	24,20	2,71	65,65	15,88	4,61	1,05	0,04	2,91	4,25	4,28	0,99	0,35	100,00	104,80	896,80	2355,00	532,40	12,87	31,43	14,70	0,32
Am-83	2,73	0,79	2,71	65,79	15,25	5,40	0,80	0,10	2,23	3,31	6,34	0,62	0,16	100,00	280,00	286,60	1263,00	600,00	61,24	42,90	77,10	1,82
Am-84	2,43	16,20	2,74	65,81	14,26	5,74	1,22	0,09	2,97	3,18	5,41	0,94	0,38	100,00	217,40	407,30	1493,00	711,10	47,77	36,33	17,80	1,52
Am-85	2,33	0,06	2,65	65,81	15,96	2,71	1,07	0,05	1,58	4,85	7,15	0,42	0,39	100,00	221,20	2439,00	7056,00	173,00	12,79	14,72	4,50	1,42
Am-86	2,46	3,28	2,71	65,85	16,20	4,23	1,44	0,05	3,78	4,24	3,29	0,71	0,21	100,00	81,00	498,60	1100,00	275,00	12,60	15,77	12,10	1,64
Am-87	2,49	4,10	2,66	66,01	16,54	3,63	0,56	0,04	1,30	3,90	7,41	0,51	0,09	100,00	115,40	459,00	1779,00	463,00	14,03	4,97	7,70	1,47
Am-88	2,58	0,09	2,72	66,01	15,92	4,18	1,30	0,05	3,13	3,94	4,53	0,73	0,21	100,00	140,10	463,00	1015,00	198,00	13,62	7,67	8,20	2,67
Am-89	2,23	2,07	2,68	66,11	17,32	2,20	1,00	0,04	1,85	4,79	6,37	0,19	0,12	100,00	132,70	1716,10	3618,00	110,60	12,56	7,12	3,70	1,16
Am-90	2,63	1,03	2,64	66,21	17,54	2,26	0,31	0,04	1,74	4,21	7,35	0,26	0,08	100,00	167,80	240,00	1463,00	180,00	35,05	4,21	13,90	3,57
Am-91	2,79	5,40	2,70	66,23	14,29	5,78	1,03	0,07	2,53	3,31	5,30	1,06	0,40	100,00	380,00	342,00	1454,00	632,00	69,49	33,78	22,50	3,39
Am-92	2,65	2,54	2,70	66,33	16,01	3,17	1,69	0,05	2,77	4,98	4,45	0,32	0,21	100,00	102,20	1631,60	2456,00	178,10	9,60	9,80	3,90	0,77
Am-93	2,77	8,10	2,66	66,34	16,08	3,77	0,98	0,07	1,77	4,35	5,93	0,57	0,13	100,00	80,60	419,00	1100,00	375,00	27,29	4,57	8,00	2,11
Am-94	2,54	5,08	2,72	66,53	15,89	3,94	1,31	0,04	3,56	4,12	3,71	0,69	0,21	100,00	84,70	511,20	1481,00	248,50	10,88	12,45	6,70	1,04
Am-95	2,86	9,70	2,70	66,57	15,68	5,45	0,83	0,08	2,21	3,09	4,69	1,00	0,39	100,00	317,30	399,00	1664,00	637,00	62,52	30,56	24,00	3,38
Am-96	2,43	1,14	2,74	66,66	14,47	5,82	0,61	0,12	2,66	3,53	5,25	0,67	0,21	100,00	203,50	274,30	1563,00	626,60	41,22	36,83	9,80	2,84
Am-97	2,21	0,09	2,71	66,73	16,40	3,61	1,89	0,05	2,36	3,53	4,58	0,55	0,29	100,00	360,60	895,00	1534,00	232,00	3,99	12,94	16,90	3,96
Am-98	2,72	7,80	2,67	66,74	15,50	5,29	0,86	0,07	2,11	2,94	5,07	1,03	0,38	100,00	336,80	351,00	1477,00	668,00	52,93	26,00	20,70	2,91
Am-99	2,58	0,99	2,73	66,99	13,73	6,75	0,66	0,10	2,53	3,15	5,13	0,74	0,22	100,00	208,90	198,80	1703,00	667,20	88,51	36,98	27,70	5,14
Am-100	2,90	0,92	2,72	67,08	13,85	6,27	0,62	0,10	2,63	3,26	5,28	0,73	0,18	100,00	224,70	194,00	1506,00	696,00	93,40	38,56	29,00	5,82
Am-101	2,86	1,03	2,69	67,31	15,02	3,29	1,90	0,05	2,78	3,09	5,95	0,45	0,16	100,00	271,20	661,80	1137,00	244,00	13,68	18,41	32,10	8,22
Am-102	2,54	4,66	2,67	67,49	15,50	3,53	0,99	0,08	2,11	4,56	5,19	0,32	0,22	100,00	265,00	766,10	1351,00	166,90	16,30	14,45	16,90	3,70
Am-103	2,78	0,42	2,71	67,51	16,96	2,61	0,33	0,06	1,12	4,16	6,99	0,20	0,07	100,00	470,20	330,00	3870,00	18,00	5,59	4,99	3,10	0,52
Am-104	2,41	0,95	2,72	67,67	13,39	6,73	0,66	0,09	2,41	3,03	5,03	0,78	0,20	100,00	208,30	192,30	1649,00	735,80	87,26	39,02	30,90	5,02
Am-105	2,13	4,59	2,69	67,99	14,90	4,35	0,13	0,11	1,80	3,70	6,54	0,41	0,07	100,00	117,50	121,90	1180,00	842,20	20,13	21,76	6,80	1,02
Am-106	2,52	0,06	2,68	68,17	16,41	3,78	1,06	0,05	2,56	3,44	3,73	0,64	0,16	100,00	330,20	371,00	803,00	168,00	8,30	4,54	10,50	2,82
Am-107	2,55	0,60	2,72	68,43	16,30	3,60	1,03	0,05	2,63	3,58	3,59	0,63	0,16	100,00	387,70	338,00	626,00	155,00	9,65	5,24	11,40	3,11
Am-108	2,34	0,95	2,66	68,44	15,40	3,28	1,21	0,04	2,70	3,36	4,91	0,53	0,13	100,00	124,10	455,60	1512,00	230,30	13,64	13,02	15,70	2,95
Am-109	2,34	11,80	2,69	68,50	15,06	3,09	0,98	0,04	2,19	3,68	5,76	0,49	0,20	100,00	133,00	752,90	1915,00	334,60	13,82	22,73	18,10	2,39
Am-110	2,56	0,64	2,70	68,57	14,09	4,88	0,32	0,10	1,77	3,32	6,32	0,52	0,12	100,00	181,90	196,40	1275,00	794,60	46,52	40,26	26,40	1,46
Am-111	3,05	5,87	2,66	68,60	15,08	3,98	0,44	0,07	1,82	3,44	6,13	0,36	0,09	100,00	316,30	214,70	842,00	373,40	35,56	28,83	44,70	2,34
Am-112	2,38	0,02	2,63	68,67	19,16	1,11	0,15	0,00	1,01	6,15	3,61	0,13	0,02	100,00	181,60	2023,00	3132,00	108,00	1,80	1,06	5,20	1,65
Am-113	2,79	1,66	2,66	68,68	15,30	2,70	0,31	0,07	1,21	5,24	6,14	0,22	0,13	100,00	86,20	1279,00	3991,00	194,00	7,57	7,69	5,70	1,38
Am-114	2,80	7,17	2,68	68,77	13,77	4,69	0,75	0,08	2,13	3,02	5,61	0,88	0,30	100,00	345,10	366,00	1655,00	687,00	57,98	29,92	20,10	2,15
Am-115	2,97	0,08	2,66	68,87	15,16	3,46	0,42	0,09	0,95	3,33	7,29	0,37	0,06	100,00	610,20	87,00	851,00	402,00	29,48	11,67	29,50	5,34
Am-116	2,58	10,30	2,70	68,98	14,21	5,14	0,85	0,08	2,21	3,70	3,97	0,60	0,26	100,00	268,90	159,50	559,00	398,80	45,53	28,41	38,10	2,97
Am-117	2,68	0,16	2,66	68,99	16,89	2,10	0,26	0,05	1,11	4,84	5,52	0,17	0,07	100,00	248,60	1423,00	4260,00	49,00	8,63	5,33	5,10	1,52

Tabela 01– Continuação.

Amostras	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores											Elementos Traços							
	$\lambda(W\ m^{-1}k^{-1})$	SM ( $10^3SI$ )	$\rho\ (g/cm^3)$	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Rb	Sr	Ba	Zr	Y	Nb	Th	U
Am-118	2,43	0,17	2,70	68,99	16,35	3,17	1,07	0,05	2,58	3,49	3,68	0,49	0,14	100,00	327,60	436,00	728,00	134,00	8,27	3,68	10,50	3,08
Am-119	2,77	0,42	2,67	69,06	15,59	3,74	0,79	0,05	1,47	4,15	4,71	0,36	0,08	100,00	101,80	173,00	379,00	274,00	23,88	8,84	12,40	3,09
Am-120	2,67	3,66	2,69	69,07	14,42	3,74	1,26	0,08	2,12	3,24	5,28	0,59	0,19	100,00	114,40	416,00	1079,00	200,00	34,54	10,77	16,10	2,73
Am-121	2,86	3,66	2,67	69,10	15,23	4,17	0,53	0,06	1,89	2,85	5,25	0,71	0,22	100,00	549,70	268,00	1223,00	534,00	52,26	30,09	32,30	3,51
Am-122	2,64	0,04	2,64	69,23	17,64	1,86	0,30	0,04	0,85	4,95	4,87	0,16	0,09	100,00	185,70	1868,00	7285,00	205,00	7,69	11,31	11,20	2,55
Am-123	2,40	3,93	2,69	69,25	14,42	4,24	1,04	0,07	2,17	3,26	4,59	0,72	0,25	100,00	218,40	189,90	764,00	435,50	26,75	27,68	41,40	1,91
Am-124	2,82	0,24	2,69	69,60	13,47	4,63	0,77	0,07	2,20	2,74	5,67	0,63	0,23	100,00	243,80	256,60	1579,00	560,60	123,56	31,77	38,80	3,98
Am-125	2,43	0,03	2,66	69,68	18,15	1,71	0,35	0,02	1,26	5,51	3,04	0,21	0,08	100,00	200,50	2065,00	2908,00	123,00	6,94	4,83	6,50	2,31
Am-126	3,04	1,05	2,69	69,75	14,63	3,12	1,00	0,07	3,11	6,14	0,93	0,95	0,31	100,00	50,40	502,40	563,00	843,20	101,72	42,20	26,30	4,83
Am-127	2,55	5,40	2,66	69,87	14,16	3,87	0,65	0,06	2,04	3,12	5,53	0,52	0,17	100,00	284,10	285,90	1050,00	315,00	26,36	21,95	34,80	3,22
Am-128	2,25	0,03	2,65	69,90	17,08	1,85	0,55	0,01	1,32	3,84	4,97	0,39	0,09	100,00	503,10	479,00	1253,00	254,00	5,03	1,65	30,00	4,04
Am-129	2,87	3,72	2,65	69,95	15,38	2,72	0,48	0,04	1,40	3,48	6,11	0,34	0,10	100,00	170,40	331,00	1591,00	384,00	12,09	3,58	12,60	0,99
Am-130	2,71	12,70	2,68	69,96	14,54	3,09	0,88	0,04	2,28	3,92	4,58	0,50	0,20	100,00	109,90	519,80	1266,00	344,60	14,98	23,82	17,10	1,64
Am-131	2,67	0,48	2,72	70,00	14,76	3,82	1,58	0,05	3,39	3,58	2,18	0,57	0,09	100,00	61,40	288,90	894,00	197,00	10,17	8,10	14,50	0,76
Am-132	3,11	3,83	2,65	70,02	15,71	3,44	0,41	0,05	1,31	3,12	5,33	0,48	0,12	100,00	392,80	230,00	1100,00	464,00	42,19	26,98	34,20	2,04
Am-133	2,36	0,76	2,71	70,07	15,07	3,16	1,05	0,06	1,98	3,22	4,72	0,44	0,23	100,00	106,10	364,60	1615,00	282,30	12,23	16,89	16,40	3,95
Am-134	2,89	2,87	2,67	70,13	14,64	3,45	0,67	0,05	2,06	3,38	4,97	0,51	0,13	100,00	351,40	226,00	1366,00	414,00	4,97	9,43	56,00	1,98
Am-135	2,35	0,07	2,65	70,13	15,69	2,33	0,41	0,02	1,77	4,12	5,18	0,27	0,06	100,00	110,30	412,00	1366,00	157,00	27,50	7,36	11,80	1,85
Am-136	3,08	2,04	2,66	70,25	15,06	3,04	0,90	0,05	2,27	4,03	3,97	0,33	0,10	100,00	73,50	552,00	1140,00	164,00	4,85	3,71	8,10	0,88
Am-137	3,63	7,94	2,65	70,44	14,64	2,88	0,07	0,03	1,33	2,57	7,91	0,10	0,03	100,00	519,60	100,00	501,00	259,50	136,45	36,96	95,60	17,79
Am-138	2,72	2,31	2,68	70,51	14,20	3,02	0,83	0,05	2,20	3,67	4,89	0,47	0,16	100,00	123,70	460,50	1258,00	239,00	16,07	16,21	15,40	1,22
Am-139	2,76	7,82	2,66	70,54	14,53	2,79	0,54	0,04	1,72	3,90	5,43	0,37	0,15	100,00	167,80	373,40	1100,00	249,40	11,79	19,61	20,60	3,98
Am-140	2,67	14,40	2,64	70,56	14,85	2,34	0,47	0,04	1,70	3,32	6,39	0,26	0,07	100,00	278,00	367,70	1396,00	252,90	26,76	24,84	36,10	3,92
Am-141	2,34	0,95	2,66	70,60	14,11	2,50	1,30	0,05	2,88	3,47	4,50	0,46	0,14	100,00	117,90	413,80	1362,00	171,90	12,67	11,49	13,10	3,35
Am-142	2,91	1,25	2,66	70,63	14,14	3,93	0,33	0,05	1,52	3,72	5,11	0,41	0,15	100,00	135,00	142,00	749,00	285,00	80,97	0,20	17,80	3,55
Am-143	2,97	0,06	2,67	70,86	15,48	2,68	0,57	0,05	1,67	4,07	4,27	0,24	0,12	100,00	106,90	143,00	232,00	108,00	19,48	7,08	6,70	3,54
Am-144	3,26	2,62	2,66	70,90	15,11	2,39	0,40	0,05	1,22	4,05	5,52	0,26	0,11	100,00	242,50	226,10	924,00	248,90	26,06	24,78	31,90	3,81
Am-145	2,26	3,41	2,69	70,97	13,93	3,46	0,48	0,05	1,83	3,09	5,61	0,45	0,13	100,00	246,70	236,70	888,00	287,70	27,37	16,22	27,50	2,34
Am-146	3,12	3,82	2,67	70,98	13,37	4,09	0,52	0,08	1,75	2,96	5,37	0,65	0,23	100,00	411,70	244,00	1217,00	537,00	62,10	24,29	26,30	2,98
Am-147	2,57	0,07	2,65	71,11	15,01	2,68	0,46	0,05	1,76	3,78	4,69	0,35	0,10	100,00	582,00	143,00	986,00	332,00	29,47	20,60	55,30	4,96
Am-148	3,55	3,71	2,65	71,21	14,50	2,58	0,37	0,04	1,17	3,23	6,49	0,31	0,10	100,00	193,00	245,60	720,00	210,10	6,94	8,70	31,60	1,97
Am-149	2,61	5,83	2,62	71,34	15,96	2,61	0,37	0,04	1,15	3,36	4,84	0,26	0,06	100,00	379,30	385,00	1052,00	234,00	26,62	10,87	52,00	5,08
Am-150	3,28	4,13	2,64	71,39	14,88	2,36	0,30	0,04	1,30	3,70	5,74	0,22	0,07	100,00	258,10	276,90	834,00	189,70	6,28	15,89	29,80	5,43
Am-151	3,24	4,00	2,64	71,43	15,01	2,13	0,38	0,03	1,24	3,73	5,75	0,24	0,07	100,00	266,10	283,00	900,00	202,30	6,88	18,15	33,80	5,00
Am-152	3,08	1,28	2,64	71,47	15,96	2,46	0,32	0,03	1,34	3,12	4,98	0,26	0,06	100,00	569,10	114,00	699,00	245,00	31,91	26,52	46,60	10,05
Am-153	3,14	2,02	2,64	71,49	15,91	2,24	0,36	0,03	1,23	3,20	5,25	0,22	0,06	100,00	415,50	205,00	1061,00	204,00	18,44	6,47	26,40	2,64
Am-154	2,97	0,10	2,58	71,54	14,87	2,53	0,22	0,04	0,82	3,79	6,00	0,16	0,04	100,00	501,40	96,00	483,00	189,00	38,46	23,44	41,50	5,65
Am-155	2,92	2,75	2,67	71,68	14,13	2,59	0,68	0,04	2,22	3,69	4,49	0,38	0,10	100,00	125,10	300,00	793,00	201,80	12,59	16,01	16,60	2,67
Am-156	2,78	4,05	2,67	71,72	13,09	3,86	0,59	0,04	1,75	2,90	5,39	0,52	0,15	100,00	215,50	248,70	1049,00	458,20	25,70	16,45	52,40	3,51

Tabela 01– Continuação.

Amostras	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores											Elementos Traços							
	$\lambda$ (W m-1k-1)	SM (10 <sup>3</sup> SI)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Rb	Sr	Ba	Zr	Y	Nb	Th	U
Am-157	3,16	4,07	2,66	71,83	13,33	3,67	0,38	0,07	1,57	2,84	5,63	0,53	0,16	100,00	399,70	243,00	1171,00	486,00	64,36	23,77	30,00	2,64
Am-158	2,91	8,75	2,66	72,20	13,63	2,88	0,72	0,04	2,03	3,25	4,77	0,36	0,12	100,00	180,00	258,30	1008,00	255,90	18,31	26,76	40,30	5,03
Am-159	2,82	1,80	2,62	72,43	13,48	3,31	0,06	0,06	0,85	3,60	5,96	0,22	0,03	100,00	160,50	79,00	1346,00	392,70	126,13	35,21	15,70	2,76
Am-160	3,10	1,71	2,63	72,52	12,82	4,28	0,07	0,05	0,93	3,38	5,63	0,27	0,03	100,00	159,10	80,70	1398,00	472,10	101,14	45,07	19,40	3,29
Am-161	3,48	1,73	2,64	72,63	15,45	2,04	0,28	0,03	1,12	3,10	5,12	0,20	0,04	100,00	486,90	170,00	875,00	160,00	24,88	14,11	31,80	6,38
Am-162	2,63	0,37	2,61	72,63	14,47	2,44	0,37	0,06	1,40	3,38	4,87	0,31	0,08	100,00	473,40	246,00	1141,00	467,00	27,41	18,39	45,00	6,62
Am-163	2,79	4,69	2,63	72,66	14,09	2,09	0,50	0,03	1,88	3,68	4,74	0,27	0,07	100,00	148,20	40,00	166,00	139,00	44,43	8,90	12,00	2,25
Am-164	3,01	4,99	2,63	72,67	14,20	2,45	0,29	0,05	1,39	3,53	5,14	0,22	0,06	100,00	380,90	301,00	973,00	210,00	14,25	8,16	32,00	3,37
Am-165	3,20	0,03	2,64	72,72	16,65	0,83	0,07	0,02	0,60	5,40	3,68	0,05	0,00	100,00	180,60	732,00	798,00	58,00	8,24	37,86	9,10	31,78
Am-166	3,33	0,96	2,65	72,75	14,51	1,85	0,27	0,05	1,18	3,67	5,49	0,15	0,08	100,00	263,00	127,90	604,00	124,40	15,57	18,33	23,90	5,51
Am-167	2,54	5,08	2,72	72,78	11,63	5,09	0,18	0,08	1,48	2,64	5,61	0,43	0,07	100,00	115,30	77,40	1506,00	729,10	78,84	33,18	15,50	1,82
Am-168	2,15	0,02	2,64	72,83	15,29	1,16	0,13	0,03	1,17	4,30	4,97	0,09	0,04	100,00	125,40	124,00	309,00	44,00	17,72	6,49	8,90	3,81
Am-169	3,12	2,70	2,66	72,84	13,61	2,80	0,34	0,04	1,33	3,11	5,60	0,25	0,08	100,00	203,70	145,10	975,00	251,30	20,44	21,28	50,10	3,89
Am-170	2,87	1,49	2,64	72,86	12,87	3,62	0,08	0,06	0,98	3,43	5,82	0,27	0,02	100,00	160,30	76,50	1209,00	463,30	101,77	41,18	16,30	3,22
Am-171	3,13	0,67	2,64	72,88	13,65	2,88	0,12	0,04	1,04	3,76	5,44	0,16	0,03	100,00	170,70	73,00	417,00	185,00	54,31	9,76	22,50	5,80
Am-172	2,98	0,77	2,64	72,89	15,45	1,92	0,25	0,04	1,01	3,27	4,95	0,18	0,04	100,00	448,40	200,00	1144,00	152,00	16,00	9,61	27,70	4,69
Am-173	2,85	1,30	2,63	72,90	14,11	2,37	0,30	0,05	1,54	3,36	5,02	0,28	0,08	100,00	418,30	149,00	768,00	225,00	16,97	17,46	34,40	3,35
Am-174	2,59	7,69	2,65	72,91	14,77	1,42	0,26	0,03	1,38	5,67	3,43	0,12	0,03	100,00	60,80	1842,10	1795,00	66,30	5,44	5,24	1,10	0,64
Am-175	2,91	1,03	2,66	72,96	13,41	3,20	0,33	0,05	1,43	3,53	4,73	0,28	0,07	100,00	126,80	143,00	629,00	209,00	26,62	6,02	19,70	4,63
Am-176	3,06	0,05	2,66	73,37	14,77	2,47	0,35	0,05	1,42	3,05	4,29	0,20	0,04	100,00	250,10	111,00	646,00	99,00	19,37	2,45	9,90	1,30
Am-177	3,11	1,39	2,63	73,40	12,75	3,52	0,06	0,07	0,91	3,43	5,59	0,23	0,02	100,00	164,70	52,90	1124,00	445,30	111,16	42,29	16,60	3,16
Am-178	2,84	0,07	2,63	73,41	14,45	1,62	0,26	0,03	1,29	3,67	5,03	0,18	0,05	100,00	258,50	99,60	548,00	173,00	22,80	38,80	46,80	9,80
Am-179	2,46	3,69	2,61	73,46	15,30	1,99	0,18	0,03	0,92	3,21	4,74	0,13	0,03	100,00	560,40	84,00	492,00	141,00	30,48	23,90	33,90	11,93
Am-180	2,93	0,98	2,67	73,47	13,74	2,64	0,75	0,06	1,46	3,86	3,71	0,25	0,05	100,00	104,40	708,50	601,00	79,70	25,97	12,74	4,30	2,71
Am-181	2,77	0,60	2,66	73,50	13,73	2,32	0,41	0,04	1,20	3,14	5,28	0,29	0,10	100,00	247,50	267,00	1066,00	250,70	19,08	21,38	31,20	3,71
Am-182	3,20	0,78	2,63	73,55	14,21	1,96	0,23	0,04	1,30	3,47	5,01	0,19	0,04	100,00	727,30	105,00	636,00	151,00	23,99	16,65	30,50	9,90
Am-183	2,94	0,07	2,63	73,59	14,29	2,02	0,20	0,02	0,93	3,59	5,23	0,11	0,02	100,00	93,60	183,00	1259,00	103,00	8,38	6,41	4,60	1,25
Am-184	2,94	2,05	2,65	73,61	13,46	2,57	0,34	0,05	1,24	3,11	5,33	0,23	0,07	100,00	340,80	156,40	565,00	205,20	23,08	22,23	46,90	5,37
Am-185	3,48	6,19	2,73	73,68	11,11	5,04	1,50	0,09	2,51	2,75	2,20	0,89	0,22	100,00	170,40	331,00	1591,00	384,00	12,09	3,58	14,40	1,59
Am-186	3,40	4,54	2,64	74,04	13,26	2,16	0,26	0,04	1,12	2,80	6,03	0,26	0,04	100,00	98,50	119,00	353,00	217,00	7,19	4,96	5,60	0,48
Am-187	3,50	4,44	2,64	74,14	12,66	2,98	0,24	0,04	1,07	2,77	5,81	0,26	0,04	100,00	123,40	87,00	567,00	242,00	76,69	9,47	30,80	6,89
Am-188	2,98	2,06	2,61	74,33	13,89	1,49	0,18	0,03	1,60	3,57	4,76	0,14	0,02	100,00	319,80	229,00	641,00	166,00	4,54	5,04	22,50	3,30
Am-189	3,42	0,69	2,62	74,52	13,23	2,18	0,07	0,03	0,94	3,82	5,13	0,09	0,00	100,00	148,20	40,00	166,00	139,00	44,43	8,90	31,70	9,15
Am-190	2,99	0,61	2,64	74,71	12,51	2,49	0,22	0,03	1,24	3,32	5,20	0,25	0,04	100,00	268,00	98,60	395,00	217,30	36,75	16,75	20,80	3,09
Am-191	2,93	2,56	2,62	75,26	12,38	2,50	0,05	0,04	0,73	3,24	5,64	0,14	0,02	100,00	164,10	63,80	1016,00	231,90	83,49	28,80	15,50	3,02
Am-192	3,13	1,42	2,61	75,32	12,59	2,15	0,07	0,02	0,73	3,46	5,51	0,14	0,00	100,00	194,80	70,50	831,00	296,20	183,25	37,74	19,60	4,92
Am-193	2,41	0,98	2,65	75,52	12,86	1,74	0,19	0,03	0,74	3,01	5,65	0,23	0,02	100,00	82,00	111,00	270,00	202,00	4,25	3,67	9,20	0,60
Am-194	3,16	0,90	2,62	75,53	12,16	2,86	0,03	0,04	0,64	3,15	5,44	0,13	0,01	100,00	240,90	30,10	391,00	288,00	105,22	45,76	23,10	4,57
Am-195	3,09	1,45	2,62	76,24	11,59	2,87	0,11	0,04	0,73	2,97	5,29	0,18	0,00	100,00	151,70	55,50	935,00	358,10	101,28	37,52	17,50	3,21

Tabela 02 – Dados estatísticos para as três propriedades petrofísicas (condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética) investigadas.

CONDUTIVIDADE TÉRMICA				
	Min	Max	Media	Desvio Padrão
Básicas	1,83	1,97	1,92	0,08
Intermediárias	1,83	2,94	2,23	0,26
Ácidas	1,81	4,36	2,73	0,37
DENSIDADE				
	Min	Max	Media	Desvio Padrão
Básicas	2,86	2,95	2,90	0,05
Intermediárias	2,67	2,91	2,79	0,06
Ácidas	2,58	2,78	2,68	0,04
SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA				
	Min	Max	Media	Desvio Padrão
Básicas	0,24	7,88	2,87	4,34
Intermediárias	0,06	14,40	3,15	4,15
Ácidas	0,02	16,20	2,80	3,04

---

# CAPÍTULO

4-

## ARTIGO 2

ESTE CAPÍTULO É COMPOSTO DO ARTIGO A SER SUBMETIDO À REVISTA COM CONCEITO QUALIS CAPES. O TRABALHO APRESENTA UMA DISCUSSÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE ROCHAS COMO POSSÍVEIS MARCADORES DA DISTINÇÃO ENTRE DIFERENTES SUÍTES DE ROCHAS GRANITOIDES. PARA ISSO FORAM SELECIONADAS 157 DAS 195 AMOSTRAS DO ESTUDO QUE MELHOR SE ENQUADRARAM EM SUÍTES DE GRANITOS DA PROVÍNCIA BORBOREMA.

**PROPRIEADES FÍSICAS DE ROCHAS E SUA CORRELAÇÃO COM SUÍTES  
MAGMÁTICAS DE GRANITÓIDES NEOPROTEROZOICOS DA PROVÍNCIA  
BORBOREMA**

Rafael Rabelo Fillippi (PPGG<sup>1</sup>); rafaelfillippi@yahoo.com.br

Antonio Carlos Galindo (PPGG<sup>1</sup>-DG<sup>2</sup>-UFRN<sup>3</sup>); galindo@geologia.ufrn.br

Fernando Antonio Pessoa Lira Lins (PPGG<sup>1</sup>-DG<sup>2</sup>-UFRN<sup>3</sup>); flins@geologia.ufrn.br

Marcos Antônio Leite do Nascimento (PPGG<sup>1</sup>-DG<sup>2</sup>-UFRN<sup>3</sup>); marcos@geologia.ufrn.br

(1) Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG),  
Campus Universitário - Lagoa Nova, Cx. Postal: 1596, CEP.: 59078-970 - Natal – RN.

(2) Departamento de Geologia, Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET,  
Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP.:59078-970 - Natal – RN.

(3) Campus Universitário Lagoa Nova, Caixa Postal 1524, CEP 59078-970,  
Natal/RN – Brasil

**RESUMO** - Este trabalho discute o emprego de propriedades físicas de rochas, em particular condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética, como possíveis marcadores na distinção de diferentes suítes magmáticas. As amostras aqui tratadas provêm de corpos granitoides neoproterozoicos da Província Borborema (NE do Brasil). Estas rochas variam de dioritos, monzonitos, sienitos a granitos, com predomínio dos últimos. O conjunto de amostras foi subdividido, com base em seus aspectos litogeoquímicos, nas seguintes suítes / associações magmáticas: peralcalina / alcalina; alcalina; cálcio-alcalina; cálcio-alcalina de alto K; shoshonítica. A análise de diagramas binários mostra que as propriedades condutividade térmica e densidade apresentam bons resultados na individualização dessas suítes, notadamente entre aquelas peralcalina / alcalina, alcalina, cálcio-alcalina e shoshonítica, e com a suíte cálcio-alcalina de alto K sempre mostrando certa superposição com as demais. Por outro lado, a susceptibilidade magnética não se mostra tão efetiva quanto às outras duas para separar as suítes estudadas.

Palavras Chaves: condutividade térmica, densidade, susceptibilidade magnética, geoquímica, rochas ígneas.

**ABSTRACT** - This paper discusses the use of physical properties of rocks, in particular thermal conductivity, density and magnetic susceptibility, as possible markers to distinguish different magmatic suites. The samples treated here come from the Neoproterozoic granitic bodies of the Borborema Province (NE Brazil). These rocks range from diorite, monzonite, syenite to granite, with a predominance of the latter. The set of samples has been subdivided based on their lithogeochemical aspects, in the following suites / magmatic associations: peralkaline / alkaline; alkaline; calc-alkaline; high-K calc-alkaline; shoshonitic. The analysis of binary diagrams showing density and

thermal conductivity properties display good results in the individualization of these suites, especially among those peralkaline / alkaline, alkaline, high-K calc-alkaline, and shoshonitic, with the high-K calc-alkaline one overlapping the others. In contrast, the magnetic susceptibility does not seem as effective as the other two properties to separate the suites studied.

Key words: thermal conductivity, density, magnetic susceptibility, geochemistry, igneous rocks.

## INTRODUÇÃO

Inúmeros trabalhos têm abordado a distinção de granitoides neoproterozóicos na Província Borborema em diversas suítes magmáticas, observando tanto aspectos de campo, quanto petrográficos e texturais, além de aspectos geoquímicos (Almeida *et al.* 1967, Santos e Melo 1978, Jardim de Sá *et al.* 1981, Sial 1986-1987, Angelim *et al.* 2006, Nascimento *et al.* 2000-2008, entre outros), entretanto o estudo de propriedades petrofísicas nessas rochas é coisa mais recente (Figueiredo 2006, Figueiredo *et al.* 2008-2009, Assunção 2010, Duarte de Oliveira 2011, Fillippi 2011).

Caracterização tipológica de granitos por meio de propriedades petrofísicas de rochas, por exemplo, condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética, ainda são pouco empregadas nas geociências. Variações mineralógicas, texturais, químicas, entre outros, implicam em diferentes comportamentos destas propriedades petrofísicas. O objetivo deste trabalho busca uma correlação entre a geoquímica de elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ ) e suítes magmáticas de granitoides Neoproterozoicos da Província Borborema (Nordeste do Brasil) através da condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética.

Para isso, foram coletadas 157 amostras de rochas ígneas de diversos plútons da Província Borborema, sendo realizadas análises de petrografia, geoquímica e colhidos seus dados petrofísicos. As amostras dos diferentes granitoides estudados foram separadas por petrografia e geoquímica em cinco suítes magmáticas, que por meio de diagramas binários de correlação linear tiveram seus dados químicos (elementos maiores) cruzados com os respectivos valores de condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética (Tabela 01).

### **CONDUTIVIDADE TÉRMICA**

Na natureza há basicamente três mecanismos essenciais de transmissão de calor: i) radiação (ocorre através de espaços vazios sob a forma de ondas eletromagnéticas não havendo um meio para se propagar); ii) convecção (ocorre a partir do movimento de um fluido devido à diferença de densidade, especialmente por meio de calor); e iii) condução (ocorre a partir da estrutura cristalina de um meio sólido). Na litosfera os processos de radiação e convecção são basicamente ausentes, conferindo assim, aos processos de condução o papel principal na transferência de calor nas rochas, desta forma é a condutividade térmica ( $\lambda$ ) que desempenha o principal papel das chamadas propriedades térmicas (Cermak and Rybach, 1982 apud Schon, J.H. 2004), a qual é definida como:  $Q = -\lambda \nabla T$ , onde  $Q$  é o fluxo de calor produzido pelo gradiente de temperatura  $\nabla T$ , e sua unidade no Sistema Internacional (S.I.) é  $W m^{-1}k^{-1}$ .

### **DENSIDADE**

A densidade ( $\rho$ ) é definida como o quociente entre a massa ( $m$ ) e o volume ( $V$ ) de um material (Shon, J.H. 2004):  $\rho = m/V$ , sendo sua unidade no Sistema Internacional (S.I.) é  $kg.m^{-3}$ . Nas rochas a densidade é controlada pela composição mineralógica

(envolvendo aqui a composição química, a estrutura cristalina e as ligações químicas de cada mineral), a porosidade e a composição dos fluidos. Considerando que as rochas aqui estudadas têm baixos valores de porosidade (valores sempre  $\leq 3,30$ ), portanto não contêm fluidos, a densidade é definida então apenas como a soma das densidades de seus constituintes minerais.

### **SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA**

Caracteriza-se pela habilidade de uma substância de se magnetizar quando exposta a um campo externo, para as amostras deste trabalho (na sua grande maioria isotrópicas) a susceptibilidade magnética  $k$  pode ser definida pelo vetor que induz o magnetismo  $M$  (A/m - ampere por metro) pelo vetor de intensidade do campo magnético  $H$  (A/m - ampere por metro), assim  $k = M/H$ . No Sistema Internacional (S.I.) a susceptibilidade magnética é uma unidade adimensional (Hrouda *et al.* 2009).

### **CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL**

A área de estudo localiza-se na Província Borborema, definida por Almeida *et al.* (1977), situada no nordeste brasileiro e sendo limitada no oeste pela Bacia do Parnaíba e a sul pelo Cráton do São Francisco, e norte e leste pelas bacias costeiras fanerozoicas. Segundo Santos & Medeiros (1999) e Santos (2000), a Província Borborema é dividida em cinco grandes domínios tectônicos, subdivididos em vários terrenos distintos, que são denominados de Domínio Médio Coreauí, Domínio Cearense, Domínio Rio Grande do Norte, Domínio da Zona Transversal e Domínio Externo (Figura 1).

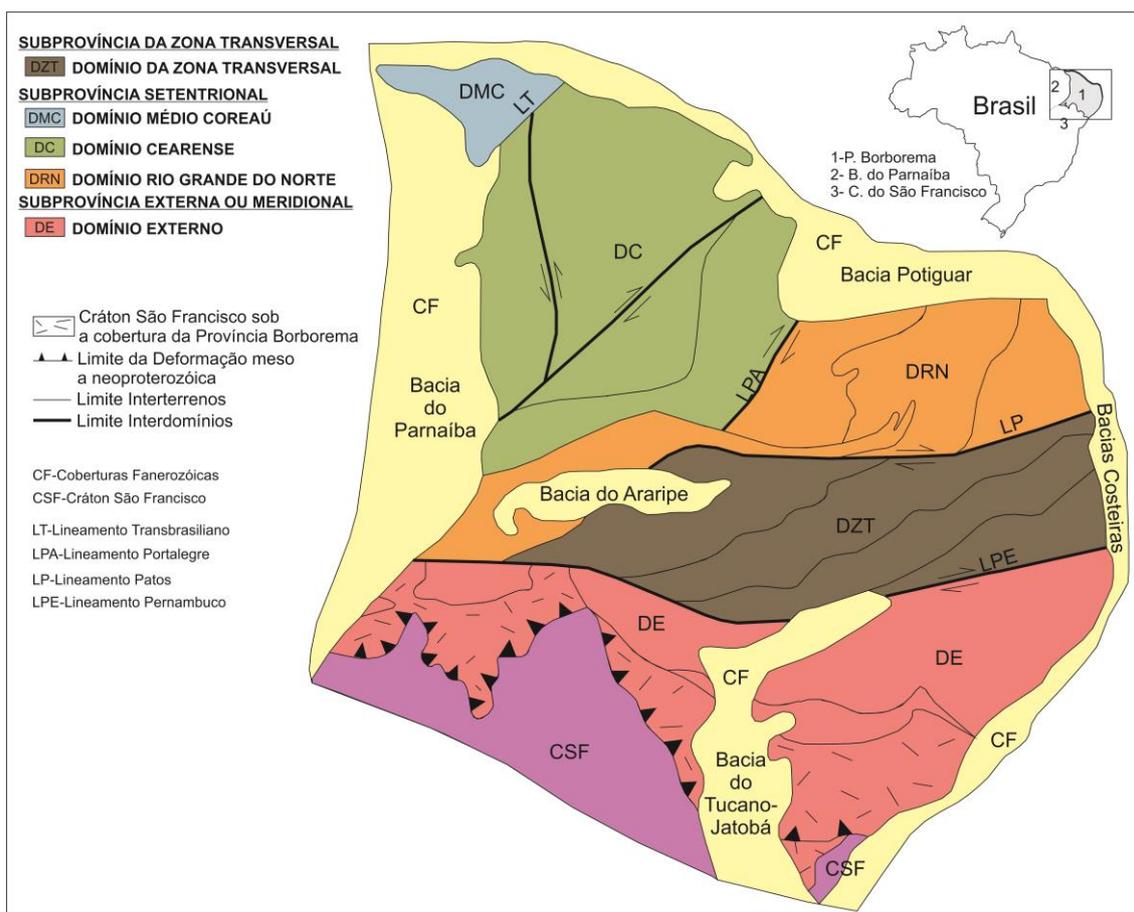


Figura1- Divisão da Província Borborema em domínios e terrenos tectono-estratigráficos, modificado de Santos & Medeiros (1999) e Santos (2000).

## GRANITÓIDES NEOPROTEROZÓICOS

Estes litotipos expressam uma das feições geológicas mais importantes da Província Borborema. É representada por batólitos, stocks e diques, que ocorrem com distintas características texturais, petrográficas, geoquímicas e geocronológicas.

Este magmatismo teve em Almeida *et al.* (1967) uma das primeiras tentativas em se obter uma classificação e posicionamento estratigráfico, o mesmo o fez tendo como base critérios de campo e como evento base o Ciclo Brasileiro. Os corpos foram divididos em sin-tectônicos e tardi-tectônicos, onde se observou uma maior abundância do primeiro tipo. Os granitoides sin-tectônicos se dividem em tipos Conceição e

Itaporanga, o primeiro é no geral equigranular, de textura fina a média, e composicionalmente vai de granodioritos a tonalitos e ocorrem mais habitualmente como stocks. O tipo Itaporanga é de textura predominantemente porfirítico, com abundância de megacristais de K-feldspato, composicionalmente dominam granitos senso estrito e ocorrem principalmente compondo batólitos.

Esta divisão foi praticamente mantida em trabalhos posteriores na Zona Transversal, por Brito Neves & Pessoa (1974) e Santos & Melo (1978), que adicionaram um grande número de dados petrográficos.

No tocante ao Domínio Rio Grande do Norte (Faixa Seridó), Jardim de Sá *et al.*(1981), surgem com critérios clássicos de inclusão/intrusão, critérios de campo e estruturais, assim os correlacionando ao Evento Brasileiro, e sua divisão teve como base índices numéricos para representar cada fase de deformação. Dessa forma, foram identificadas três gerações principais de granitóides: G3, G4 e Gx. A suíte G3 é sintectônica e foi subdividida em: G3a que são granitos porfiríticos, apresentando megacristais de K-feldspatos, distribuição ampla e usualmente ocorrendo como grandes batólitos; G3b são granitos a granodioritos equigranulares, usualmente ocorrendo em bolsões e pequenos stocks; G3c são granitos a granodioritos apresentando localmente textura porfirítica. Já a suíte G4 é composta de diques de microgranitos que cortam as unidades anteriores, logo, tem caráter mais tardio. A suíte Gx é composta de rochas básicas a intermediárias (essencialmente dioritos), então descritas como uma unidade de posicionamento duvidoso, mas já definida hoje como parte da suíte G3.

Tendo como base dados petrográficos e geoquímicos, Sial (1986) e Sial *et al.* (1987), individualizou quatro grandes grupos, para toda a Província Borborema, separando-os

em: Cálcio-alcálinos, Cálcio-alcálinos potássicos, Peralcálinos e Trondhjemíticos. A suíte Cálcio-alcálica é correlacionada ao tipo Conceição de Almeida *et al.* (1967), ocorre em pequenos maciços subcirculares a alongados, localmente deformados, variando de granodioritos a tonalitos de texturas variadas. São peraluminosos e possuem afinidades geoquímicas com granitos Tipo-S, porém uma possível fonte do Tipo-I não é descartada; a suíte Cálcio-alcálica potássica se correlaciona com a Tipo Itaporanga (Almeida *et al.*, 1967), ocorre de forma dispersa e em grandes batólitos, variam de granitos a granodioritos, no geral de textura tipicamente porfirítica. Vão de metaluminosos a peraluminosos e mostram afinidades geoquímicas mais correlacionadas aos granitos do Tipo-I; a suíte Peralcálica é correlacionada ao tipo Triunfo, ocorrendo desde grandes batólitos a diques de dimensões variadas. Vão desde sienitos a quartzos sienitos e de possível origem de magmas mantélicos; a suíte Trondhjemítica se correlaciona ao tipo Serrita, ocorrendo como stocks e/ou diques. Vão de granodioritos a tonalitos com afinidades trondhjemíticas, são peraluminosos e de possível fusão parcial de anfibolitos.

Ferreira *et al.* (1998) classificam os granitoides pertencente a Província Borborema como um todo, com isso levando em conta afinidades petrogenéticas, geoquímicas, estudos isotópicos e parâmetros de susceptibilidade magnética. Foram reconhecidos nove grupos de granitóides e sienitóides na Província Borborema, que são: Cálcio-alcálico Alto Potássico com epídoto magmático, Cálcio-alcálico com epídoto magmático, Trondhjemítico, Peralcálico, Shoshonítico, Cálcio-alcálico, Sienitóides Peralcálicos Ultra potássicos e Sienitóides metaluminoso com Alto Potássico.

Angelim *et al.* (2006), trabalhando no Rio Grande do Norte separaram as unidades plutônicas primeiramente em uma Super suíte sin a tardiorogênica e está em cinco suítes

intrusivas, baseado em critérios de campo e dados geoquímicos, que são as suítes intrusivas São João do Sabugi (de natureza shoshonítica), Itaporanga (Cálcio-alcálica Potássica), Dona Inês (Cálcio-alcálica Peraluminosa), Catingueira (Suíte Alcalina) e Umarizal (Suíte Charnoquítica Alcalina).

Nascimento *et al.* (2000-2008) sintetizaram uma grande quantidade de dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos de vários corpos granitoides Ediacaranos-Cambrianos no Domínio Rio Grande do Norte, e propuseram a definição de cinco suítes plutônicas, a saber: shoshonítica, cálcio-alcálica potássica porfirítica, cálcio-alcálica potássica equigranular, alcalina e alcalina charnoquítica.

A Suíte Shoshonítica ocorre em pequenos plútons, de composição variando de gabro/diorito a quartzo monzonito com textura fina a média, equigranular a inequigranular, e mostra assinatura geoquímica similar à de associações shoshoníticas.

A Suíte Cálcio-alcálica Potássica Porfirítica é a mais abundante e ocorre como batólitos isolados e/ou compostos. Petrograficamente varia entre monzogranitos (tipos dominantes), granodioritos e quartzo monzonitos, possui textura porfirítica com fenocristais de K-feldspato de até 10-12 cm de tamanho, usualmente zonados e com textura tipo rapakivi, e mais raramente com geminação em cruz. Suas características geoquímicas são predominantemente de cálcio-alcálica potássica/subalcalina, e no índice de Shand representam rochas meta a peraluminosas.

A Suíte Cálcio-alcálica Potássica Equigranular, ocorre em diversas localidades na forma de enxame de diques, soleiras, corpos isolados e no contexto de maciços polidiapíricos. São compostos principalmente por monzogranitos equigranulares, mais raramente microporfiríticos, de textura média a fina. Geoquimicamente assemelha-se

com a Suíte anterior, mas com características mais evoluídas, e são principalmente peraluminosos.

A Suíte Alcalina é representada predominantemente por stocks na porção leste do DRN. Composicionalmente é representada por sienogranitos, monzogranitos, quartzo álcali-feldspato sienitos e quartzo álcali-feldspato granitos, possuem textura predominantemente equigranular de granulometria fina a média, por vezes com acamamento ígneo preservado. São rochas meta a peraluminosas de acordo com o índice de Shand.

A Suíte Alcalina Charnoquítica ocorrem no extremo NW do DRN, representada apenas pelo batólito de Umarizal (Galindo 1993, Galindo *et al.* 1993, Galindo *et al.* 1995). Composicionalmente têm-se quartzo monzonito/mangeritos e granitos/charnoquitos de textura média a grossa, inequigranulares, onde se destacam cristais de feldspatos póttassicos tanto de coloração rósea quanto cinza esverdeado, usualmente  $\geq 1,0$  cm de tamanho. Esta suíte é bem definida em diferentes diagramas geoquímicos, e segundo os índices de Shand são rochas predominantemente metaluminosa.

## **SUÍTES MAGMÁTICAS DE GRANITÓIDES NEOPROTEROZÓICOS PARA AS AMOSTRAS ESTUDADAS**

Seguindo em parte o proposto por Nascimento *et al.* (2000- 2008) as amostras estudadas foram agrupadas em cinco suítes magmáticas: Suíte Alcalina, Suíte Peralcalina/Alcalina, Suíte Shoshonítica, Suíte Cálcio-Alcalina e Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K.

A Suíte Alcalina é composta por 16 amostras, petrograficamente representada por sienogranitos e monzogranitos. A Suíte Peralcalina/Alcalina tem 06 amostras, petrograficamente representadas por rochas sieníticas (álcali-feldspato quartzo sienitos e álcali-feldspato granitos) a sienogranitos. A Suíte Shoshonítica é composta por 17 amostras provenientes de rochas básicas/intermediárias, petrograficamente por quartzo dioritos, quartzo monzodioritos, tonalitos, granodioritos até monzogranitos. A Suíte Cálcio-Alcalina é composta por 16 amostras, petrograficamente dominando tonalitos e granodioritos, com monzogranitos subordinados. A Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K, junção das Suítes Cálcio-alcalina Potássica Equigranular e Cálcio-alcalina Potássica Porfirítica de Nascimento et al. (2000-2008) que possuem características geoquímicas semelhantes, é o maior grupo com 102 amostras, e petrograficamente são no geral granitos *senso stricto*, com granodioritos subordinados (Tabela 01 e Figura 2A).

Nas figuras 2B, C e D, são apresentados diagramas discriminantes geoquímicos que bem caracterizam as cinco suítes aqui definidas. Em todos estes diagramas, inclusive no QAP (figura 2A), as suítes peralcalina/alcalina, alcalina, cálcio alcalina e shoshonítica são bem distintas entre si, enquanto que a suíte cálcio alcalina de alto potássio tende a superpor com as demais suítes, haja vistas que esta é a suíte com maior número de dados e de mais ampla variação composicional petrográfica e química. De toda forma, as cinco suítes definidas são bem evidentes nos diagramas da figura 2.

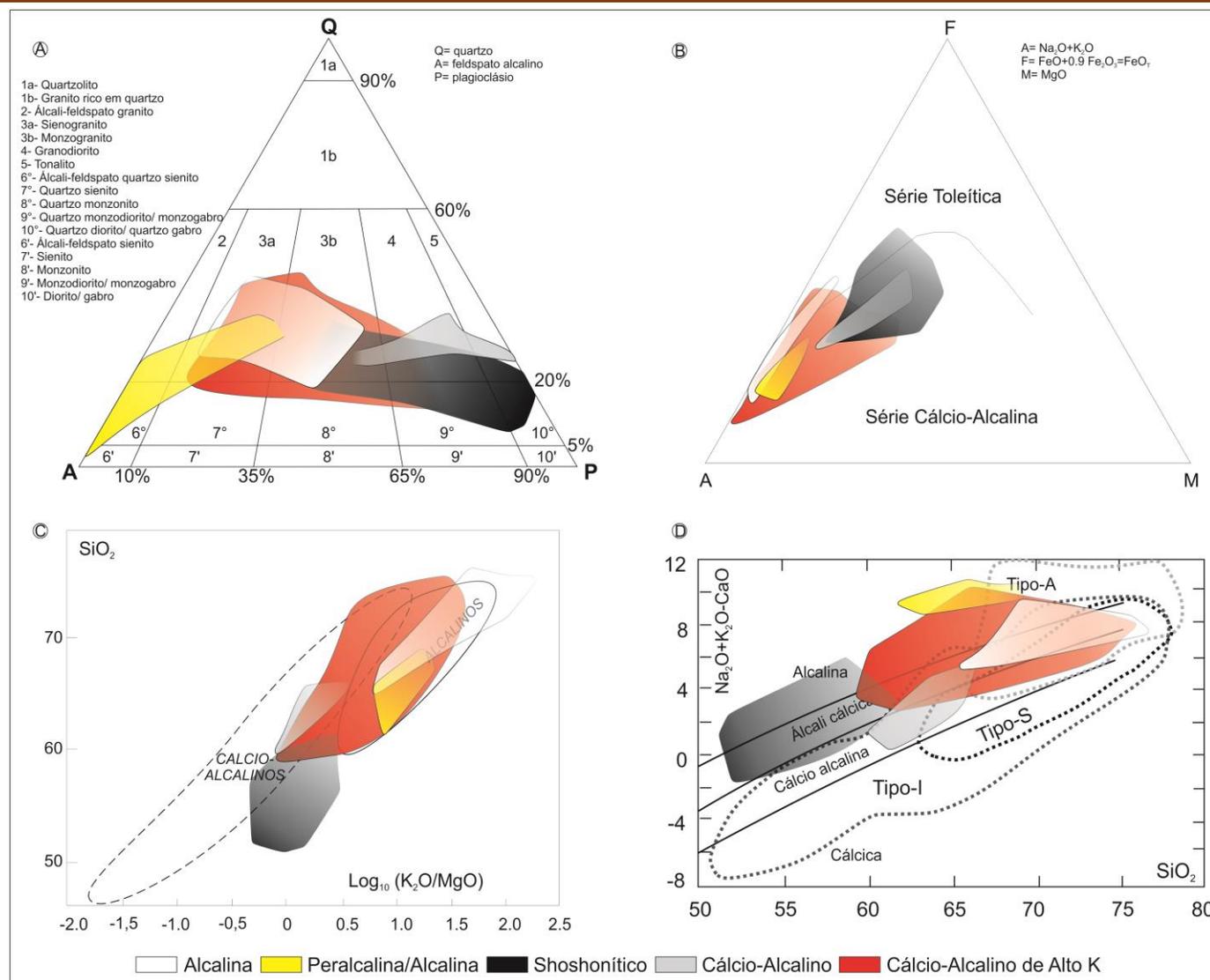


Figura 2 – A (Streckeisen, 1976); B (Irvine and Baragar, 1971); C (Rogers & Greenberg, 1981); D (Peccerillo and Taylor, 1976) com áreas das diferentes suítes magmáticas estudadas.

## OS DADOS PETROFÍSICOS *VERSUS* AS SUÍTES MAGMÁTICAS

Foram elaborados gráficos de correlação linear entre as suítes magmáticas aqui definidas e as propriedades petrofísicas vistas neste trabalho, buscando com isso uma forma de caracterizar estas suítes através da condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética.

### CONDUTIVIDADE TÉRMICA

As amostras analisadas demonstram os seguintes comportamentos em relação à condutividade térmica, conforme observado na Tabela 02: i) A Suíte Alcalina (16 amostras) apresenta valor mínimo de 2,41 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e máximo de 3,42 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, já sua média é de 2,93 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e desvio padrão de 0,26; ii) A Suíte Peralcalina/Alcalina (6 amostras) mostra valor mínimo de 2,33 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e máximo de 2,97 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, com média de 2,67 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e desvio padrão foi de 0,24; iii) A Suíte Shoshonítica (17 amostras) apresentam mínimo de 1,89 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e máximo de 2,45 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, com média de 2,12 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e desvio padrão foi de 0,24; iv) A Suíte Cálcio-Alcalina (16 amostras) apresentam mínimo de 2,15 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e máximo de 2,97 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> com média de 2,54 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e desvio padrão é de 0,24; v) A Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K (102 amostras) mostra valor mínimo igual a 1,81 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e máximo de 3,63 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, sua média é de 2,63 W/m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e desvio padrão é de 0,36

Tabela 02 - Valores estatísticos da condutividade térmica para os cinco grupos estudados.

<b>Tipologia</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Suíte Alcalina	2,41	3,42	2,93	0,26
Suíte Peralcalina/Alcalina	2,33	2,97	2,67	0,24
Suíte Shoshonítica	1,89	2,45	2,12	0,19
Suíte Cálcio-Alcalina	2,15	2,97	2,54	0,24
Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K	1,81	3,63	2,63	0,36

Analisando os valores da Tabela 02 pode-se ver claramente uma separação na média dos valores de condutividade térmica para as cinco suítes em questão, onde em ordem crescente tem-se a Suítes Shoshonítica, Cálcio-Alcalina, Cálcio-Alcalina de Alto K, Peralcalina/Alcalina e Alcalina.

Os diagramas binários que correlacionam os óxidos de elementos maiores com maior porcentagem na mineralogia félsica ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) versus a condutividade térmica para as cinco Suítes deste trabalho (Figura 3), primeiramente nota-se uma boa separação entre as Suítes Shoshonítica, Calcio-Alcalina, Peralcalina/Alcalina e Alcalina, onde percebe-se claramente a divisão por valores de condutividade térmica. A Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K mostra ampla distribuição devido ao grande número de amostras, apresentando grande variação de valores de condutividade térmica, isso provoca sobreposição as demais Suítes analisadas, só havendo clara separação com a Suíte Shoshonítica.

Para os diagramas que correlacionam os óxidos de elementos maiores com maior porcentagem na mineralogia máfica ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{TiO}_2$ ) versus a Condutividade Térmica (Figura 4), verifica-se em primeiro lugar uma pequena tendência de sobreposição entre as Suítes Alcalina e Peralcalina/Alcalina, com boa separação entre as Suítes Calcio-Alcalina e Shoshonítica. A Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K tende novamente a se sobrepor as demais Suítes, só havendo boa diferenciação com a Suíte Shoshonítica.

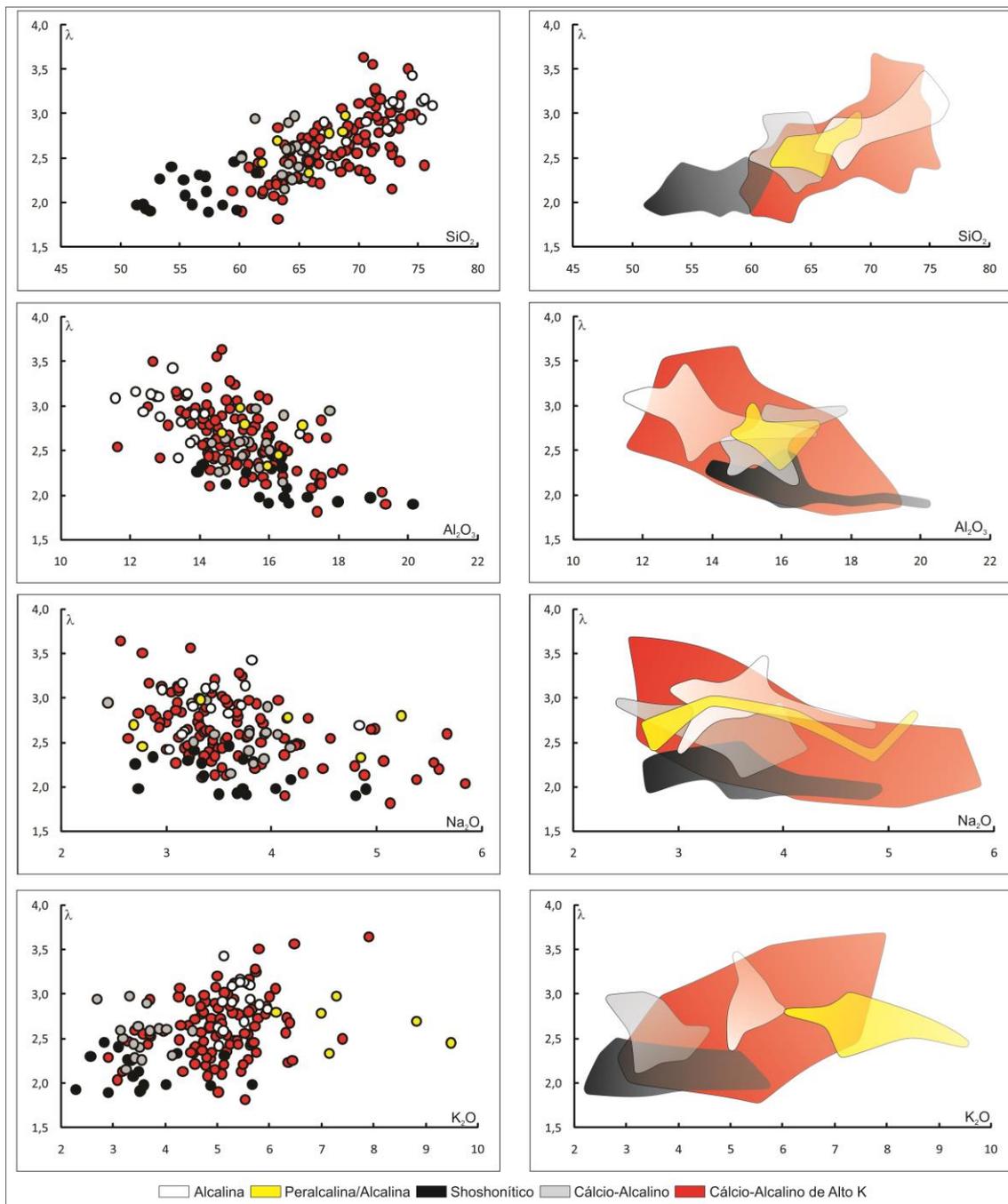


Figura 3 – Suítes Magmáticas versus Condutividade Térmica, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com minerais félsicos.

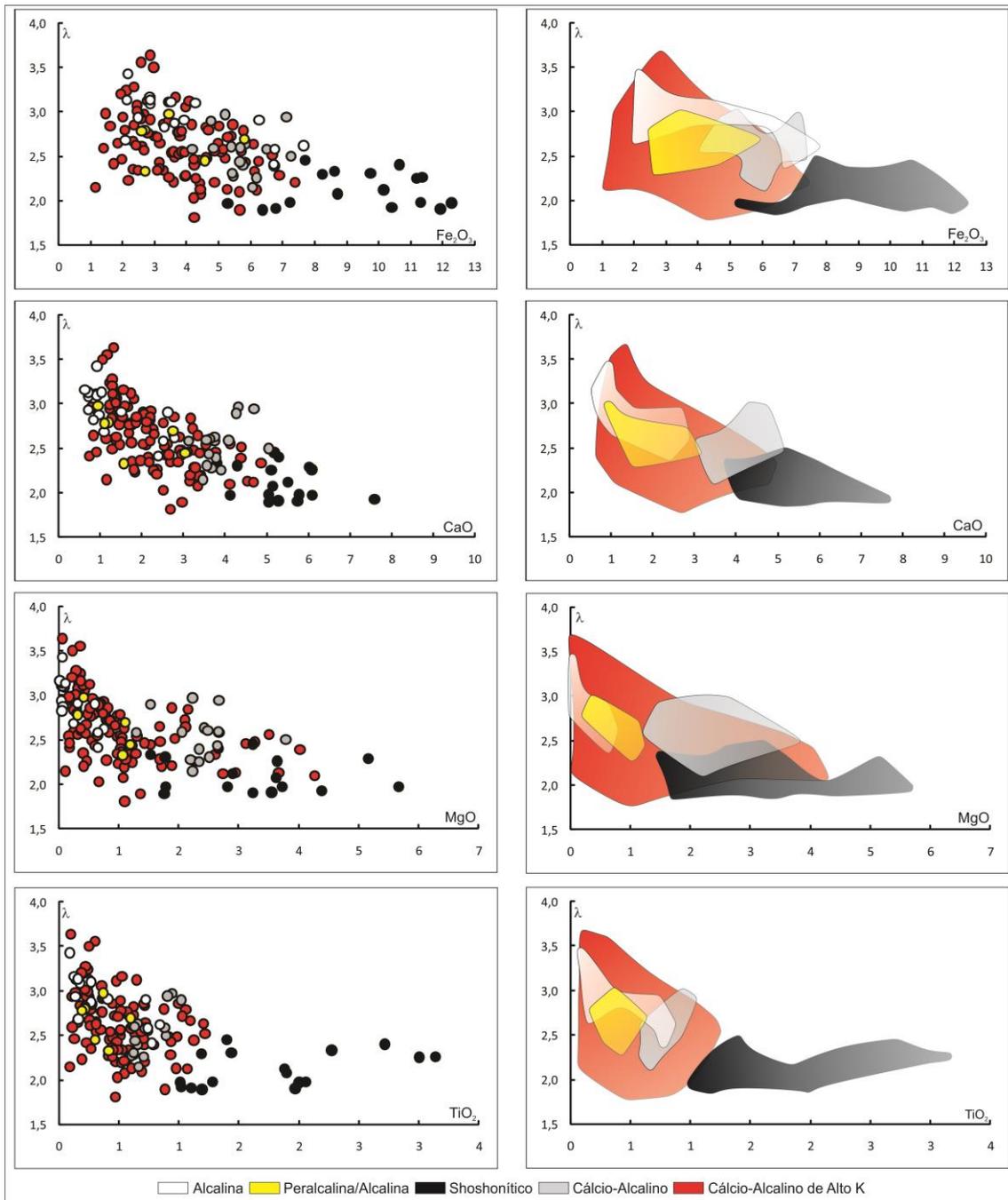


Figura 4 – Suítes Magmáticas versus Condutividade Térmica, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com minerais máficos.

## DENSIDADE

O comportamento da densidade observado na Tabela 03 abaixo, para as cinco Suítes apresenta os seguintes dados: i) A Suíte Alcalina (16 amostras) apresenta valor mínimo de 2,61 g cm<sup>3</sup> e máximo de 2,73 g cm<sup>3</sup>, já sua média é de 2,65 g cm<sup>3</sup> e desvio padrão de 0,04; ii) A Suíte Peralcalina/Alcalina (6 amostras) mostra valor mínimo de 2,65 g cm<sup>3</sup> e máximo de 2,71 g cm<sup>3</sup>, com média de 2,69 g cm<sup>3</sup> e desvio padrão foi de 0,03; iii) A Suíte Shoshonítica (17 amostras) apresentam mínimo de 2,73 g cm<sup>3</sup> e máximo de 2,91 g cm<sup>3</sup>, com média de 2,84 g cm<sup>3</sup> e desvio padrão de 0,05; iv) A Suíte Cálcio-Alcalina (16 amostras) apresentam mínimo de 2,69 g cm<sup>3</sup> e máximo de 2,87 g cm<sup>3</sup> com média de 2,74 g cm<sup>3</sup> e desvio padrão é de 0,05; v) A Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K (102 amostras) mostra valor mínimo igual a 2,58 g cm<sup>3</sup> e máximo de 2,79 g cm<sup>3</sup>, sua média é de 2,68 g cm<sup>3</sup> e desvio padrão é de 0,04.

Tabela 03 - Valores estatísticos da densidade para os cinco grupos estudados.

<b>Tipologia</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Suíte Alcalina	2,61	2,73	2,65	0,04
Suíte Peralcalina/Alcalina	2,65	2,71	2,69	0,03
Suíte Shoshonítica	2,73	2,91	2,84	0,05
Suíte Cálcio-Alcalina	2,69	2,87	2,74	0,05
Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K	2,58	2,79	2,68	0,04

Analisando a Tabela 03, é possível ver que há uma zonação das Suítes estudadas pela média dos valores da densidade, onde em ordem crescente têm-se Suítes Alcalina, Cálcio-Alcalina de Alto K, Peralcalina/Alcalina, Cálcio-Alcalina e Shoshonítica.

Os diagramas binários construídos (Figura 5) entre a densidade e os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com a mineralogia félsica (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) mostra que a mesma sobreposição entre a Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K e as Geoquímica de elementos maiores e traços de granitoides neoproterozoicos da Província Borborema e sua correlação com propriedades físicas de rochas.

demais Suítes persiste, só havendo clara separação com a Suíte Shoshonítica e parcialmente com a Suíte Cálcio-Alcalina, já a Suíte Peralcalina/Alcalina apresenta boa distinção no gráfico de correlação entre a densidade e o  $K_2O$ . Quando se exclui a Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K as demais Suítes tendem a obter boas zonações por valores de densidade, que é a mesma observada na Tabela 03.

Já os diagramas binários construídos (Figura 6) entre esta propriedade petrofísica e os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com a mineralogia máfica ( $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$  e  $TiO_2$ ), novamente mostra uma superposição da Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K com as demais, excetuando a Suíte Shoshonítica. Quando se analisa os gráficos sem a presença da Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K, é possível visualizar uma boa separação entre as demais Suítes, havendo só uma pequena superposição entre as Suítes Peralcalina/Alcalina e Alcalina nos gráficos de correlação entre a densidade e os óxidos de  $CaO$  e  $TiO_2$  e pequenas superposições entre as Suítes Cálcio-Alcalina e Shoshonítica nos gráficos de correlação entre esta propriedade petrofísica e os óxidos de  $MgO$  e  $CaO$ .

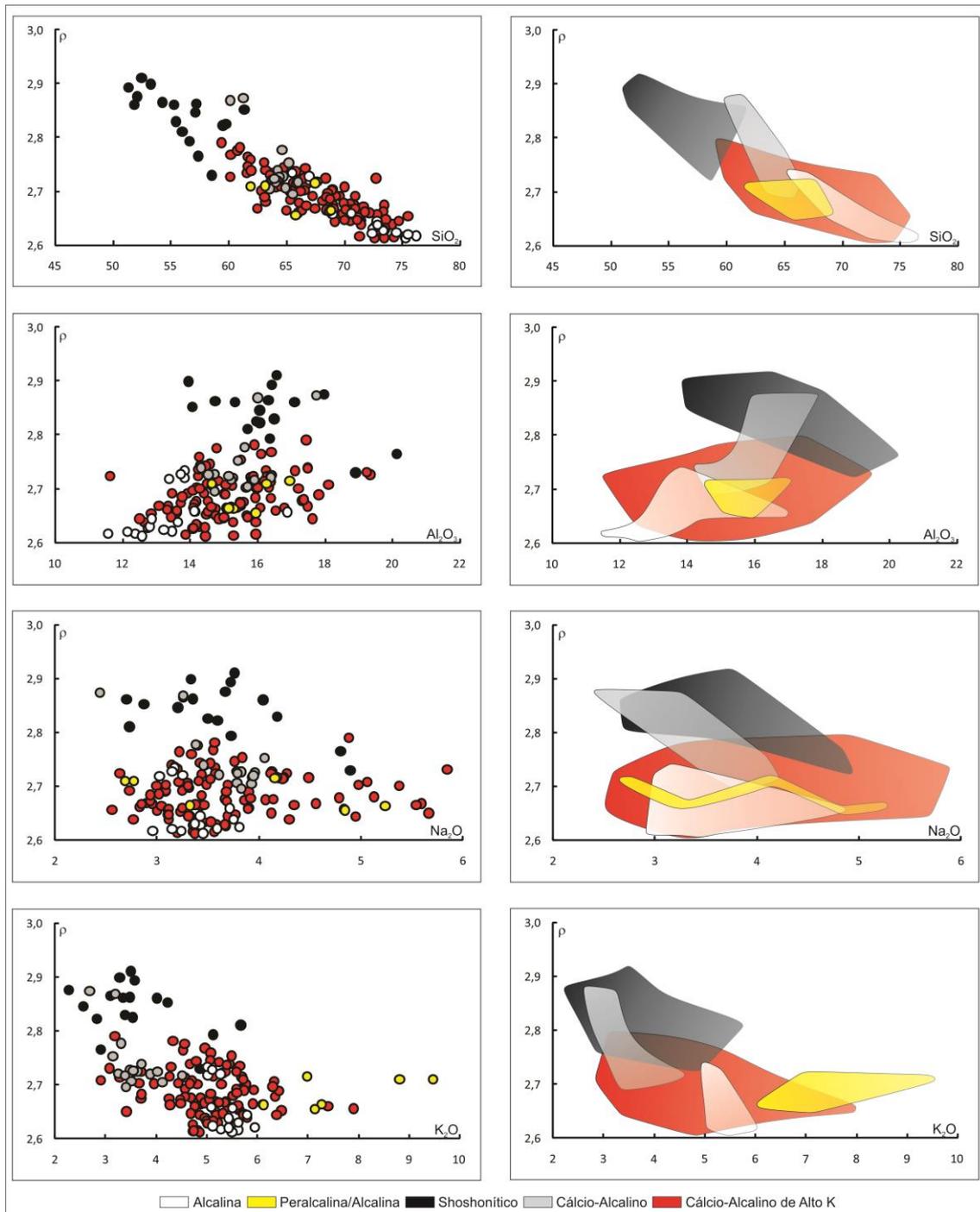


Figura 5 – Suítes Magmáticas versus Densidade, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com minerais félsicos.

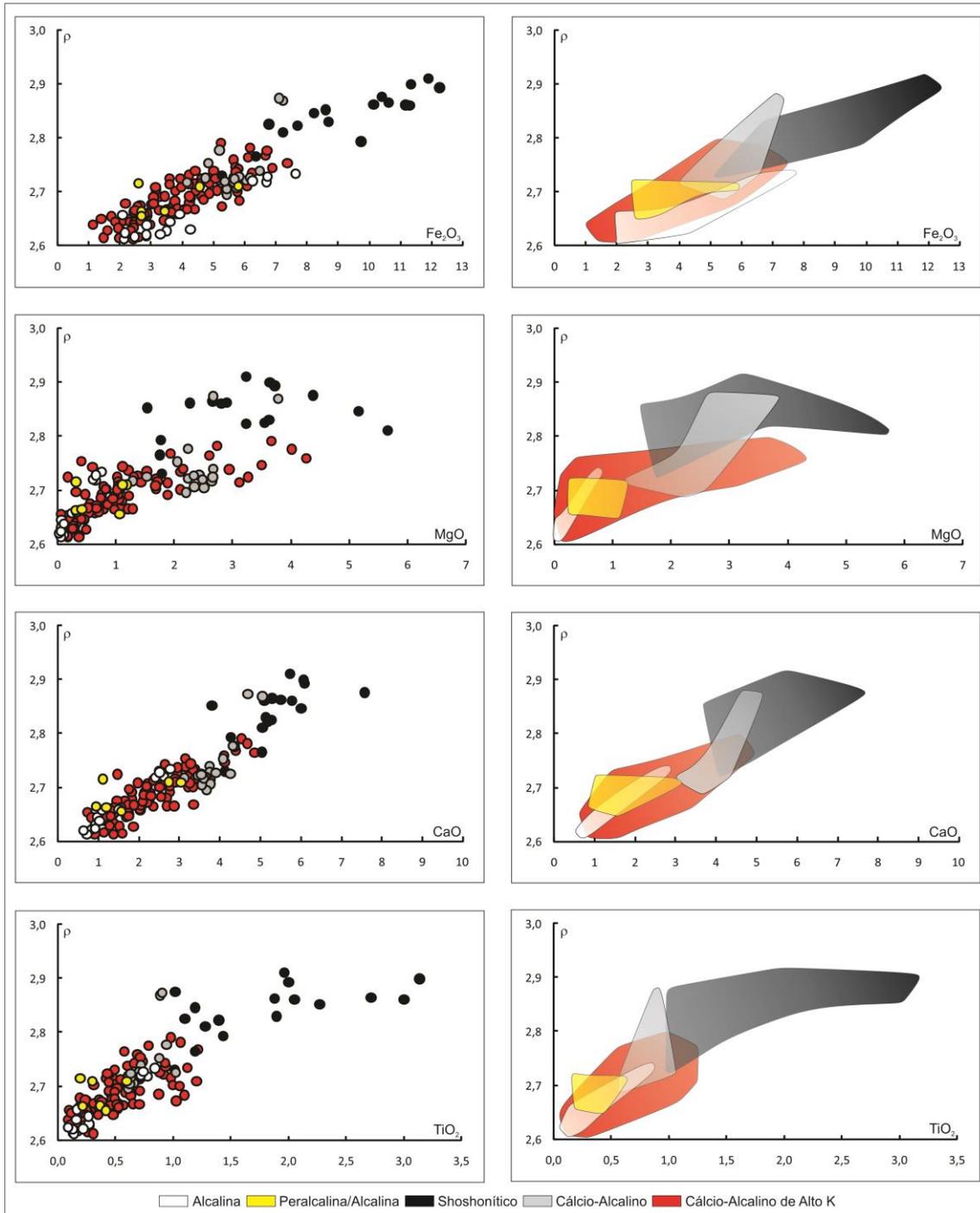


Figura 6 – Suítes Magmáticas versus Densidade, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com minerais máficos.

## SUSCEPTIBILIDADE MAGÉTICA

Os valores de Susceptibilidade Magnética sumarizados na Tabela 04 abaixo apresentam para as cinco Suítes separadas, os seguintes dados: i) A Suíte Alcalina (16 amostras) apresenta valor mínimo de  $0,16 \cdot 10^{-3}$  SI e máximo de  $2,56 \cdot 10^{-3}$  SI, sua média é de  $1,20 \cdot 10^{-3}$  SI e desvio padrão de 0,56; ii) A Suíte Peralcalina/Alcalina (6 amostras) mostra valor mínimo de  $0,06 \cdot 10^{-3}$  SI e máximo de  $1,66 \cdot 10^{-3}$  SI, com média de  $0,62 \cdot 10^{-3}$  SI e desvio padrão foi de 0,69; iii) A Suíte Shoshonítica (17 amostras) apresentam mínimo de  $0,19 \cdot 10^{-3}$  SI e máximo de  $13,20 \cdot 10^{-3}$  SI, com média de  $3,53 \cdot 10^{-3}$  SI e desvio padrão de 4,61; iv) A Suíte Cálcio-Alcalina (16 amostras) apresentam mínimo de  $0,06 \cdot 10^{-3}$  SI e máximo de  $5,14 \cdot 10^{-3}$  SI com média de  $2,37 \cdot 10^{-3}$  SI e desvio padrão é de 1,93; v) A Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K (102 amostras) mostra valor mínimo igual a  $0,02 \cdot 10^{-3}$  SI e máximo de  $16,20 \cdot 10^{-3}$  SI, sua média é de  $3,39 \cdot 10^{-3}$  SI e desvio padrão é de 3,49.

Tabela 04 - Valores estatísticos da susceptibilidade magnética para os cinco grupos estudados.

<b>Tipologia</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Suíte Alcalina	0,16	2,56	1,20	0,56
Suíte Peralcalina/Alcalina	0,06	1,66	0,62	0,69
Suíte Shoshonítica	0,19	13,50	3,53	4,61
Suíte Cálcio-Alcalina	0,06	5,14	2,37	1,93
Suíte Cálcio-Alcalina de Alto K	0,02	16,20	3,39	3,49

A Tabela 04 mostra uma tendência a se separar as Suítes estudadas pelos valores de suas médias, onde em ordem crescente têm-se as Suítes Peralcalina/Alcalina, Alcalina, Cálcio Alcalina, Calci-Alcalina de Alto K e Shoshonítica. Percebe-se também que as três Suítes com os maiores valores desta propriedade petrofísica também apresentaram valores muito elevados de desvio padrão, o que indica uma grande variação nos valores

de susceptibilidade magnética, possivelmente por essas últimas terem um maior conteúdo de minerais ferromagnesianos (principalmente magnetita) em sua composição, o que pode fazer com que os valores desta propriedade petrofísica oscilem bastante.

Construindo gráficos binários entre elementos maiores com maiores afinidades com minerais máficos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ , e  $\text{TiO}_2$ ) versus a Susceptibilidade Magnética (Figura 7), não se observa uma separação clara entre as 5 suítes magmáticas em questão, constatando-se apenas uma grande superposição dos valores de susceptibilidade magnética para todas as suítes. Por outro lado, deve-se salientar que as suítes Alcalina, Peralcalina/Alcalina e Cálcio-Alcalina apresentam sempre os menores valores para susceptibilidade magnética (Figura 7).

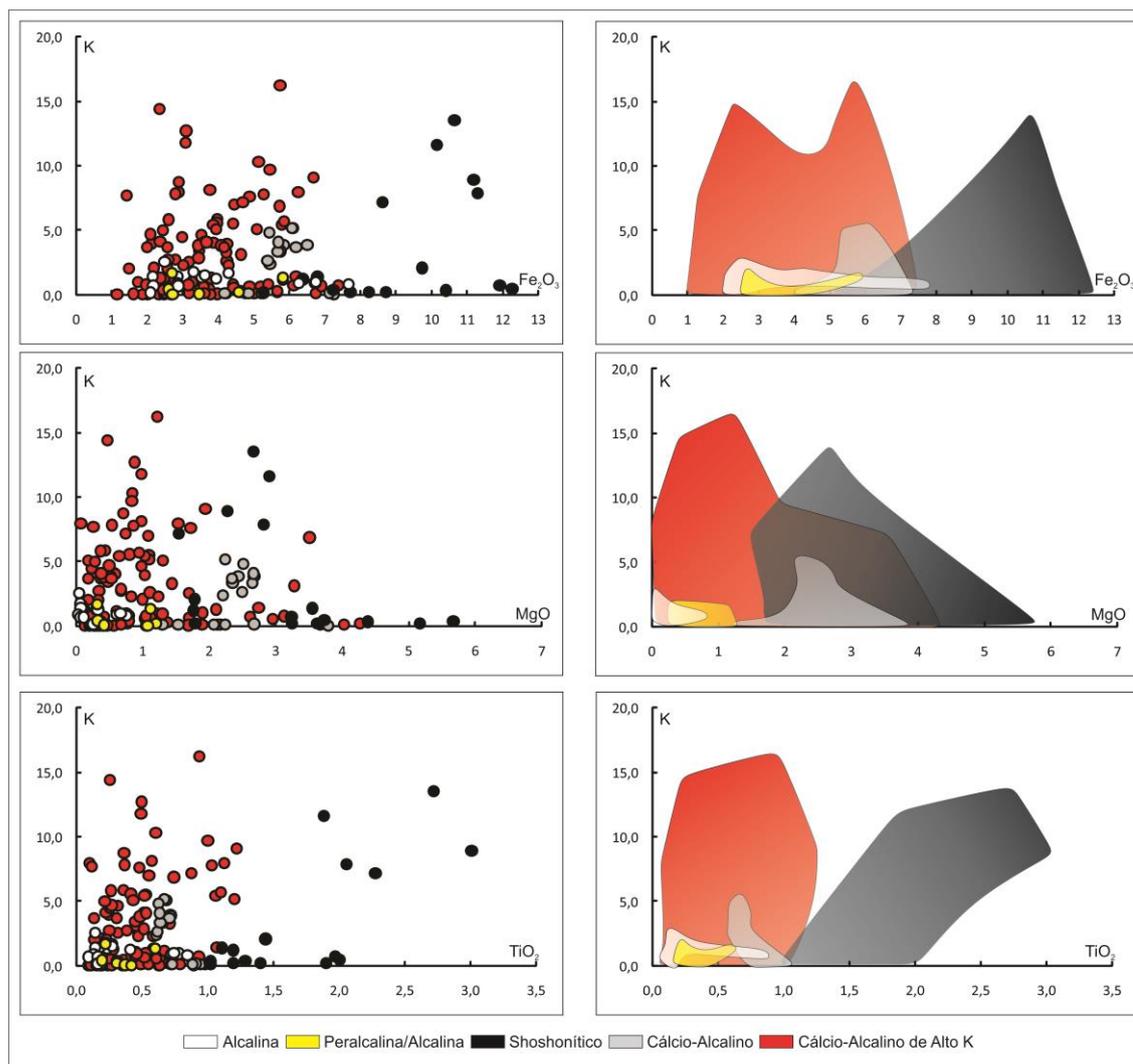


Figura 7 – Suítes Magmáticas versus Susceptibilidade Magnética, para os óxidos dos elementos maiores com maior afinidade com esta propriedade petrofísica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram coletadas 157 amostras de granitos Neoproterozoicos da Província Borborema, nas quais foram realizadas análises geoquímicas e petrográficas, além das medidas dos parâmetros petrofísicos condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética.

Primeiramente, essas amostras foram separadas em cinco suítes de acordo com seus aspectos petrográficos e químicos, sendo elas as Suítes Peralcalina/Alcalina, Alcalina, Shoshonítica, Cálcio-Alcalina, e Cálcio-Alcalina de Alto K.

Em seguida, foram construídos gráficos binários de correlação linear entre as cinco suítes separadas e as propriedades petrofísicas analisadas. A condutividade térmica conseguiu separar satisfatoriamente as suítes analisadas, só havendo superposição de áreas na Suíte Cálcio-Alcalina de alto K, que por sua vez só se separou bem da Suíte Shoshonítica. Isto ocorreu também nos gráficos de correlação linear que envolveu a densidade. Para a susceptibilidade magnética não foi possível observar uma clara zonação entre as suítes estudadas

Os gráficos binários de correlação linear mostram que é possível fazer uso da condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética como ferramenta na separação tipológica de granitos.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos projetos “*Parametrização de Afloramentos do Embasamento Cristalino da Bacia Potiguar Para Estudos de Condutividade Térmica*” e “*Parametrização de afloramentos do embasamento cristalino das bacias do Ceará e interiores do trend Cariri Potiguar para estudos de condutividade térmica: um tema em continuidade*”, desenvolvido pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica-PPGG, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sob a coordenação do Dr. Fernando Antonio Pessoa Lira Lins, a aquisição dos dados que possibilitou a Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M.; LEONARDOS JR., O. H.; VALENÇA, J.(1967) Granitic rocks of Northeast South America. In: INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES, Recife, 1967. Recife, IUGS/UNESCO. 37 p.

ALMEIDA, F. F. M. de et al. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977, Campina Grande. Atas do. Campina Grande: SBG. Núcleo Nordeste, 1977. 499p. il. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 6) p.363-391.

ANGELIM, L.A.A., MEDEIROS, V.C., NESI, J.R. 2006. Programa Geologia do Brasil - PGB. Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERNA, 2006.

ARAÚJO, J. M. M.; TRINDADE, R. I. F.; GALINDO, A. C.; SOUZA, Zorano S.; SA, Emanuel Ferraz Jardim de. Características petrográficas preliminares do granito Serra do Algodão (Barra de Santa Rosa - PB): um plutão alcalino na região do Seridó. In: XV Simposio de Geologia do Nordeste, 1993, Natal. Atas, 1993. v. 1. p. 101-103.

ASSUNÇÃO, A. L. C, 2010. Petrografia e Propriedades Físicas de Corpos Granitoides Paleo-Neoproterozóicos Pertencentes ao Embasamento da Bacia Potiguar. Relatório de Graduação nº 299, UFRN, p. 51.

BRITO NEVES, B.B. de, PESSOA, R.J.R. 1974. Considerações sobre as rochas graníticas do nordeste oriental. In: CONGR. BRAS. GEOL., 28. Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre, SBG. v.4, p.143-157.

CERMAK V & RYBACH L. 1982. Thermal properties. In: ANGENHEISTER G. (Ed.). Landolt-Börnstein numerical Data and Functional relationships in science and technology. New series; Group V. Geophysics, vol. 1 Physical Properties of Rocks. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg. New York. p. 305-371.

DUARTE de OLIVEIRA, M.T, 2011. Caracterização Petrográfica e Propriedades Físicas de Rochas Ortoderivadas e de Granitóides do Embasamento Cristalino da Bacia do Ceará (NE do Brasil). Relatório de Graduação nº 315, UFRN, p. 105.

FERREIRA V.P., SIAL A.N., JARDIM DE SÁ E.F. 1998. Geochemical and isotopic signatures of the Proterozoic granitoids in terrenes of the Borborema Province, northeastern Brazil. J. South A. Earth Sci., 11(5):439-455.

FIGUEIREDO E. R. H. 2006. Condutividade Térmica de Rochas: Uma aplicação para Granitos Ornamentais. Dissertação de Mestrado nº 55/PPGG, UFRN, p. 91.

FIGUEIREDO, E. R. H. ; GALINDO, A. C. ; MOREIRA, J. A. M. ; LINS, F. A. P. L. . Condutividade Térmica em Rochas Silicáticas Cristalinas, com Ênfase a Rochas Graníticas da Província Borborema, NE do Brasil, e sua Correlação com Parâmetros Petrográficos e Texturais. Revista Brasileira de Geofísica, v. 26, p. 293-307, 2008.

FIGUEIREDO, E. R. H. ; GALINDO, A. C. ; LINS, F. A. P. L. ; MOREIRA, J. A. M. . Condutividade térmica em rochas silicáticas cristalinas e sua correlação com a

geoquímica de elementos maiores. Estudos Geológicos. Série B, Estudos e Pesquisas (UFPE), v. 19, p. 55-68, 2009.

FILLIPPI, R.R., 2011. Geoquímica de Elementos Maiores e Alguns Traços de Granitóides Ediacaranos-Cambrianos dos Domínios Rio Grande do Norte e Médio Coreaú e sua Correlação com Propriedades Físicas de Rochas. Relatório de Graduação nº 331, UFRN, p. 63.

GALINDO A.C. 1993. Petrologia dos granitóides brasileiros da região de Caraúbas-Umarizal, oeste do Rio Grande do Norte. Centre de Geociências, UFPA, Belém, PhD. Thesis, 370p.

GALINDO, A.C.; DALL'AGNOL., R.; MCREATH, I.; LAFON, J.M. 1993. Geocronologia de granitóides brasileiros da região de Caraúbas-Umarizal, oeste do Rio Grande do Norte. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 15, Natal, 13:324327.

GALINDO, A.C.; Dall'Agnol, R.; McReath, I.; Lafon, J.M.; Teixeira, N.P. 1995. Evolution of Brasiliano-age granitoid types in a shear-zone environment, Umarizal-Caraúbas region, Rio Grande do Norte, northeast Brazil. J. South American Earth Sci. 8(1):79-95.

HOLLANDA M.H.B.M. 1998. Mecanismos de alojamentos de magmas granitóides: exemplo do Plúton de Japi (RN). Prog. Pós-Grad. em Geodinâmica e Geofísica, UFRN, Natal, MSc. Thesis, 126p.

HROUNDA et al. 2009. The Use of Magnetic Susceptibility of Rocks in Geological Exploration (case histories study). Brno.

IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523–548.

JARDIM DE SÁ E.F., LEGRAND J.M., McREATH I.1981. "Estratigrafia" de rochas granitóides na região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. *Rev. Bras. Geoc.*,11:50-57.

JARDIM DE SÁ, E.F. – 1994 – A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia brasileira/Pan-Africana. Tese Doutorado, UnB, Brasília, DF, 804pp.

NASCIMENTO, M.A.L.; 1998. Geologia e petrografia do Granitóide Caxexa e suas rochas encaixantes. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 62p.

NASCIMENTO, M. A. L. ; ANTUNES, A. F. ; GALINDO, A. C. ; SÁ, E. F. J. ; SOUZA, Z. S.. Geochemical signature of the Brasiliano-age plutonism in the Seridó Belt, Northeastern Borborema Province (Ne Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 161-164, 2000.

NASCIMENTO, M.A.L.; MEDEIROS, V.C.; GALINDO, A.C. 2008. Magmatismo Ediacarano a Cambriano no Domínio Rio Grande do Norte, Província Borborema, NE do Brasil. *Estudos Geológicos*, 18(1): 4-29.

PECCERILLO, A. & TAYLOR, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63–81.

- ROGER, J.J.W. & GREENBERG, J.K. 1981. Trace elements in continental margin magmatism. Part III. Alkali granites and their relationship to cratonization. Bull. Geol. Soc. Amer., 92: 6-9.
- SANTOS, E.J. dos, MELO, C.B.M. 1978. Diversidade do plutonismo granítico do nordeste. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30.Recife, 1978.Anais...Recife, SBG. v.6, p.2624-2634.
- SANTOS, E.J. 2000. Contexto Tectônico Regional. In: Medeiros V.C. (Org.). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Aracaju/NE – SC.24-X (escala 1:500.000). Brasília, CPRM, p. 3-7.
- SANTOS E.J. & MEDEIROS V.C. 1999. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the transverse zone, Borboreme Province, NE Brazil. Rev. Bras. Geoc., 29:73-84.
- SIAL, A.N. 1986. Granite-types in Northeast Brazil: Current knowledge. Revista Brasileira de Geociências, 16(1):54-72.
- SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P.; MARIANO, G. (1987) Proterozoic granitoids, Western Pernambuco and Paraíba States, Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL SYM POSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 1., Salvador, 1987. Excursion Guides. Salvador, SGM/CBPM, p. 9-32.
- SCHÖN JH. 1996. Physical Properties of Rocks: Fundamentals and principles of petrophysics. Ed. Pergamon. Cap. 8, p. 323-378.

STRECKEISEN AL. 1976. To Each Plutonic Rock its Proper Name. *Earth Sci. Rev.*,  
12: 1-33.

Tabela 01–Tabela com valores de condutividade térmica em  $W m^{-1}k^{-1}$ , susceptibilidade magnética em  $10^{-3}SI$ , e densidade em  $g/cm^3$ , além de resultados das análises dos elementos maiores em % ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ ) para as Suítes estudadas.

Amostra	Tipologia	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores										
		$\lambda(m)$	SM( $10^{-3}SI$ )	$\rho (g/cm^3)$	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Total
Am-177	Alcalino	3,11	1,390	2,6268	73,40	12,75	3,52	0,06	0,07	0,91	3,43	5,59	0,23	0,02	100,00
Am-195	Alcalino	3,09	1,450	2,6161	76,24	11,59	2,87	0,11	0,04	0,73	2,97	5,29	0,18	0,00	100,00
Am-191	Alcalino	2,93	2,560	2,6157	75,26	12,38	2,50	0,05	0,04	0,73	3,24	5,64	0,14	0,02	100,00
Am-160	Alcalino	3,10	1,710	2,6296	72,52	12,82	4,28	0,07	0,05	0,93	3,38	5,63	0,27	0,03	100,00
Am-170	Alcalino	2,87	1,490	2,6435	72,86	12,87	3,62	0,08	0,06	0,98	3,43	5,82	0,27	0,02	100,00
Am-159	Alcalino	2,82	1,800	2,6204	72,43	13,48	3,31	0,06	0,06	0,85	3,60	5,96	0,22	0,03	100,00
Am-192	Alcalino	3,13	1,420	2,6116	75,32	12,59	2,15	0,07	0,02	0,73	3,46	5,51	0,14	0,00	100,00
Am-194	Alcalino	3,16	0,900	2,6196	75,53	12,16	2,86	0,03	0,04	0,64	3,15	5,44	0,13	0,01	100,00
Am-104	Alcalino	2,41	0,950	2,7175	67,67	13,39	6,73	0,66	0,09	2,41	3,03	5,03	0,78	0,20	100,00
Am-80	Alcalino	2,62	0,790	2,7328	65,55	13,85	7,66	0,77	0,11	2,79	3,17	5,02	0,85	0,23	100,00
Am-100	Alcalino	2,90	0,920	2,7194	67,08	13,85	6,27	0,62	0,10	2,63	3,26	5,28	0,73	0,18	100,00
Am-99	Alcalino	2,58	0,990	2,7267	66,99	13,73	6,75	0,66	0,10	2,53	3,15	5,13	0,74	0,22	100,00
Am-189	Alcalino	3,42	0,690	2,6227	74,52	13,23	2,18	0,07	0,03	0,94	3,82	5,13	0,09	0,00	100,00
Am-171	Alcalino	3,13	0,670	2,6374	72,88	13,65	2,88	0,12	0,04	1,04	3,76	5,44	0,16	0,03	100,00
Am-117	Alcalino	2,68	0,160	2,6564	68,99	16,89	2,10	0,26	0,05	1,11	4,84	5,52	0,17	0,07	100,00
Am-142	Alcalino	2,91	1,250	2,6578	70,63	14,14	3,93	0,33	0,05	1,52	3,72	5,11	0,41	0,15	100,00
Am-113	Peralcalino/Alcalino	2,79	1,660	2,6622	68,68	15,30	2,70	0,31	0,07	1,21	5,24	6,14	0,22	0,13	100,00
Am-103	Peralcalino/Alcalino	2,78	0,420	2,7144	67,51	16,96	2,61	0,33	0,06	1,12	4,16	6,99	0,20	0,07	100,00
Am-43	Peralcalino/Alcalino	2,45	0,200	2,7089	61,92	16,28	4,57	1,20	0,08	3,05	2,78	9,49	0,31	0,32	100,00
Am-115	Peralcalino/Alcalino	2,97	0,080	2,6635	68,87	15,16	3,46	0,42	0,09	0,95	3,33	7,29	0,37	0,06	100,00
Am-51	Peralcalino/Alcalino	2,69	1,310	2,7092	63,19	14,65	5,81	1,12	0,12	2,76	2,70	8,83	0,60	0,22	100,00
Am-85	Peralcalino/Alcalino	2,33	0,060	2,6544	65,81	15,96	2,71	1,07	0,05	1,58	4,85	7,15	0,42	0,39	100,00
Am-88	Calcio-Alcalino	2,58	0,090	2,7162	66,01	15,92	4,18	1,30	0,05	3,13	3,94	4,53	0,73	0,21	100,00
Am-72	Calcio-Alcalino	2,97	0,120	2,7762	64,66	15,62	5,21	2,24	0,07	4,33	3,39	3,33	0,95	0,21	100,00
Am-63	Calcio-Alcalino	2,89	0,090	2,7243	64,09	16,42	4,76	1,54	0,06	4,27	3,97	3,65	1,02	0,22	100,00

Tabela 01–Continuação.

Amostra	Tipologia	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores										
		$\lambda(m)$	SM( $10^{-3}SI$ )	$\rho (g/cm^3)$	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Total
Am-28	Calcio-Alcalino	2,50	0,060	2,8682	60,15	16,02	7,25	3,79	0,11	5,06	3,26	3,20	0,89	0,25	100,00
Am-36	Calcio-Alcalino	2,94	0,160	2,8726	61,30	17,75	7,12	2,68	0,16	4,70	2,45	2,70	0,91	0,24	100,00
Am-77	Calcio-Alcalino	2,59	0,110	2,7517	65,23	15,43	4,85	2,07	0,06	4,09	4,06	3,16	0,88	0,17	100,00
Am-68	Calcio-Alcalino	2,58	3,86	2,7382	64,28	14,34	6,51	2,68	0,12	3,75	3,46	3,72	0,72	0,41	100,00
Am-58	Calcio-Alcalino	2,15	5,14	2,7204	63,78	16,40	6,07	2,24	0,10	3,48	3,61	3,26	0,67	0,39	100,00
Am-73	Calcio-Alcalino	2,63	3,86	2,7267	64,79	14,74	5,84	2,44	0,11	3,75	3,79	3,49	0,66	0,39	100,00
Am-75	Calcio-Alcalino	2,40	3,38	2,7056	64,96	14,67	5,77	2,35	0,11	3,79	3,79	3,52	0,66	0,38	100,00
Am-81	Calcio-Alcalino	2,28	2,38	2,6946	65,57	14,74	5,45	2,21	0,10	3,68	3,83	3,42	0,61	0,39	100,00
Am-70	Calcio-Alcalino	2,26	3,67	2,7258	64,40	14,55	6,19	2,34	0,10	3,91	3,83	3,56	0,71	0,40	100,00
Am-55	Calcio-Alcalino	2,31	4,83	2,7036	63,57	15,72	5,44	2,52	0,09	3,57	3,93	4,14	0,63	0,39	100,00
Am-67	Calcio-Alcalino	2,61	2,65	2,7189	64,26	15,28	5,39	2,49	0,09	3,65	3,95	3,89	0,62	0,36	100,00
Am-65	Calcio-Alcalino	2,44	3,35	2,7162	64,13	15,23	5,67	2,65	0,09	3,61	4,18	3,40	0,64	0,40	100,00
Am-62	Calcio-Alcalino	2,60	4,09	2,7230	63,96	15,16	5,69	2,67	0,09	3,56	3,79	4,04	0,63	0,41	100,00
Am-101	Calcio-Alcalino de Alto K	2,86	1,030	2,6899	67,31	15,02	3,29	1,90	0,05	2,78	3,09	5,95	0,45	0,16	100,00
Am-180	Calcio-Alcalino de Alto K	2,93	0,980	2,6735	73,47	13,74	2,64	0,75	0,06	1,46	3,86	3,71	0,25	0,05	100,00
Am-78	Calcio-Alcalino de Alto K	2,72	1,290	2,7000	65,25	15,99	3,80	2,11	0,05	3,23	3,00	5,79	0,59	0,19	100,00
Am-193	Calcio-Alcalino de Alto K	2,41	0,980	2,6532	75,52	12,86	1,74	0,19	0,03	0,74	3,01	5,65	0,23	0,02	100,00
Am-61	Calcio-Alcalino de Alto K	2,48	0,620	2,7210	63,96	15,81	5,20	1,70	0,07	3,25	3,44	5,33	0,92	0,32	100,00
Am-39	Calcio-Alcalino de Alto K	2,44	7,970	2,7337	61,60	16,27	6,25	1,54	0,08	3,40	3,58	5,67	1,13	0,49	100,00
Am-40	Calcio-Alcalino de Alto K	2,33	0,720	2,7635	61,66	16,11	6,12	2,61	0,09	4,87	3,22	4,55	0,58	0,18	100,00
Am-151	Calcio-Alcalino de Alto K	3,24	4,000	2,6448	71,43	15,01	2,13	0,38	0,03	1,24	3,73	5,75	0,24	0,07	100,00
Am-150	Calcio-Alcalino de Alto K	3,28	4,130	2,6437	71,39	14,88	2,36	0,30	0,04	1,30	3,70	5,74	0,22	0,07	100,00
Am-148	Calcio-Alcalino de Alto K	3,554	3,710	2,6515	71,21	14,50	2,58	0,37	0,04	1,17	3,23	6,49	0,31	0,10	100,00
Am-30	Calcio-Alcalino de Alto K	2,516	9,080	2,7670	60,19	16,42	6,68	1,95	0,08	4,41	3,56	4,98	1,22	0,51	100,00
Am-83	Calcio-Alcalino de Alto K	2,73	0,790	2,7057	65,79	15,25	5,40	0,80	0,10	2,23	3,31	6,34	0,62	0,16	100,00

Tabela 01–Continuação.

Amostra	Tipologia	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores										
		$\lambda(m)$	SM( $10^{-3}SI$ )	$\rho(g/cm^3)$	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Total
Am-111	Calcio-Alcalino de Alto K	3,05	5,870	2,6633	68,60	15,08	3,98	0,44	0,07	1,82	3,44	6,13	0,36	0,09	100,00
Am-137	Calcio-Alcalino de Alto K	3,63	7,940	2,6550	70,44	14,64	2,88	0,07	0,03	1,33	2,57	7,91	0,10	0,03	100,00
Am-102	Calcio-Alcalino de Alto K	2,54	4,660	2,6672	67,49	15,50	3,53	0,99	0,08	2,11	4,56	5,19	0,32	0,22	100,00
Am-89	Calcio-Alcalino de Alto K	2,23	2,070	2,6774	66,11	17,32	2,20	1,00	0,04	1,85	4,79	6,37	0,19	0,12	100,00
Am-56	Calcio-Alcalino de Alto K	2,20	7,610	2,7150	63,59	15,82	4,88	1,72	0,10	3,41	4,49	5,13	0,48	0,37	100,00
Am-92	Calcio-Alcalino de Alto K	2,65	2,540	2,7021	66,33	16,01	3,17	1,69	0,05	2,77	4,98	4,45	0,32	0,21	100,00
Am-124	Calcio-Alcalino de Alto K	2,82	0,240	2,6909	69,60	13,47	4,63	0,77	0,07	2,20	2,74	5,67	0,63	0,23	100,00
Am-42	Calcio-Alcalino de Alto K	2,09	0,200	2,7584	61,91	14,28	5,66	4,27	0,08	4,12	3,34	5,09	0,69	0,56	100,00
Am-41	Calcio-Alcalino de Alto K	2,55	6,850	2,7452	61,69	14,60	5,72	3,51	0,08	4,13	3,77	5,09	0,74	0,67	100,00
Am-48	Calcio-Alcalino de Alto K	2,07	6,990	2,7001	62,89	17,22	4,45	1,08	0,07	3,35	5,38	4,82	0,55	0,18	100,00
Am-45	Calcio-Alcalino de Alto K	2,19	5,520	2,6670	62,48	17,49	4,42	1,09	0,06	3,37	5,60	4,78	0,53	0,18	100,00
Am-76	Calcio-Alcalino de Alto K	2,27	5,560	2,6639	65,03	16,80	3,96	0,80	0,07	2,37	5,55	4,89	0,42	0,12	100,00
Am-52	Calcio-Alcalino de Alto K	1,81	2,610	2,6795	63,21	17,38	4,25	1,11	0,06	2,70	5,13	5,54	0,47	0,14	100,00
Am-143	Calcio-Alcalino de Alto K	2,97	0,060	2,6743	70,86	15,48	2,68	0,57	0,05	1,67	4,07	4,27	0,24	0,12	100,00
Am-50	Calcio-Alcalino de Alto K	2,25	2,320	2,6881	63,15	17,82	4,30	1,23	0,08	2,30	3,90	6,45	0,59	0,18	100,00
Am-168	Calcio-Alcalino de Alto K	2,15	0,020	2,6379	72,83	15,29	1,16	0,13	0,03	1,17	4,30	4,97	0,09	0,04	100,00
Am-64	Calcio-Alcalino de Alto K	2,28	0,080	2,7072	64,11	18,11	3,98	1,69	0,04	3,27	5,07	2,92	0,63	0,18	100,00
Am-119	Calcio-Alcalino de Alto K	2,77	0,420	2,6749	69,06	15,59	3,74	0,79	0,05	1,47	4,15	4,71	0,36	0,08	100,00
Am-183	Calcio-Alcalino de Alto K	2,94	0,070	2,6291	73,59	14,29	2,02	0,20	0,02	0,93	3,59	5,23	0,11	0,02	100,00
Am-135	Calcio-Alcalino de Alto K	2,35	0,070	2,6494	70,13	15,69	2,33	0,41	0,02	1,77	4,12	5,18	0,27	0,06	100,00
Am-23	Calcio-Alcalino de Alto K	2,13	0,100	2,7897	59,39	17,46	5,27	3,68	0,07	4,55	4,89	3,20	0,98	0,53	100,00
Am-60	Calcio-Alcalino de Alto K	2,45	0,770	2,7137	63,80	14,84	4,41	3,13	0,07	3,12	4,19	5,71	0,42	0,32	100,00
Am-187	Calcio-Alcalino de Alto K	3,50	4,440	2,6380	74,14	12,66	2,98	0,24	0,04	1,07	2,77	5,81	0,26	0,04	100,00
Am-87	Calcio-Alcalino de Alto K	2,49	4,100	2,6591	66,01	16,54	3,63	0,56	0,04	1,30	3,90	7,41	0,51	0,09	100,00
Am-69	Calcio-Alcalino de Alto K	2,47	3,130	2,7234	64,36	14,25	4,65	3,28	0,08	2,96	4,28	5,38	0,45	0,30	100,00

Tabela 01–Continuação.

Amostra	Tipologia	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores										
		$\lambda(m)$	SM( $10^{-3}SI$ )	$\rho (g/cm^3)$	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Total
Am-93	Calcio-Alcalino de Alto K	2,77	8,100	2,6641	66,34	16,08	3,77	0,98	0,07	1,77	4,35	5,93	0,57	0,13	100,00
Am-29	Calcio-Alcalino de Alto K	1,89	0,290	2,7257	60,18	19,35	5,67	1,37	0,08	2,97	4,13	5,03	0,89	0,32	100,00
Am-59	Calcio-Alcalino de Alto K	2,64	0,120	2,7326	63,79	17,13	5,00	2,12	0,09	3,35	3,20	4,31	0,72	0,29	100,00
Am-53	Calcio-Alcalino de Alto K	2,84	0,120	2,7382	63,22	17,49	5,03	2,16	0,09	3,18	3,15	4,68	0,72	0,28	100,00
Am-118	Calcio-Alcalino de Alto K	2,43	0,170	2,7023	68,99	16,35	3,17	1,07	0,05	2,58	3,49	3,68	0,49	0,14	100,00
Am-107	Calcio-Alcalino de Alto K	2,55	0,600	2,7234	68,43	16,30	3,60	1,03	0,05	2,63	3,58	3,59	0,63	0,16	100,00
Am-106	Calcio-Alcalino de Alto K	2,52	0,060	2,6818	68,17	16,41	3,78	1,06	0,05	2,56	3,44	3,73	0,64	0,16	100,00
Am-122	Calcio-Alcalino de Alto K	2,642	0,040	2,6434	69,23	17,64	1,86	0,30	0,04	0,85	4,95	4,87	0,16	0,09	100,00
Am-57	Calcio-Alcalino de Alto K	2,03	0,100	2,7299	63,62	19,26	4,23	0,68	0,09	2,52	5,85	3,09	0,49	0,16	100,00
Am-176	Calcio-Alcalino de Alto K	3,06	0,050	2,6621	73,37	14,77	2,47	0,35	0,05	1,42	3,05	4,29	0,20	0,04	100,00
Am-31	Calcio-Alcalino de Alto K	2,39	0,140	2,7751	60,80	14,80	6,74	4,03	0,12	4,39	3,40	4,58	0,79	0,36	100,00
Am-97	Calcio-Alcalino de Alto K	2,21	0,090	2,7126	66,73	16,40	3,61	1,89	0,05	2,36	3,53	4,58	0,55	0,29	100,00
Am-44	Calcio-Alcalino de Alto K	2,13	0,550	2,7375	61,96	17,50	4,44	2,95	0,06	3,16	3,47	5,47	0,61	0,38	100,00
Am-108	Calcio-Alcalino de Alto K	2,34	0,95	2,664	68,44	15,40	3,28	1,21	0,04	2,70	3,36	4,91	0,53	0,13	100,00
Am-82	Calcio-Alcalino de Alto K	2,48	24,2	2,715	65,65	15,88	4,61	1,05	0,04	2,91	4,25	4,28	0,99	0,35	100,00
Am-174	Calcio-Alcalino de Alto K	2,59	7,69	2,649	72,91	14,77	1,42	0,26	0,03	1,38	5,67	3,43	0,12	0,03	100,00
Am-167	Calcio-Alcalino de Alto K	2,54	5,08	2,723	72,78	11,63	5,09	0,18	0,08	1,48	2,64	5,61	0,43	0,07	100,00
Am-169	Calcio-Alcalino de Alto K	3,12	2,7	2,656	72,84	13,61	2,80	0,34	0,04	1,33	3,11	5,60	0,25	0,08	100,00
Am-123	Calcio-Alcalino de Alto K	2,40	3,93	2,691	69,25	14,42	4,24	1,04	0,07	2,17	3,26	4,59	0,72	0,25	100,00
Am-145	Calcio-Alcalino de Alto K	2,26	3,41	2,691	70,97	13,93	3,46	0,48	0,05	1,83	3,09	5,61	0,45	0,13	100,00
Am-127	Calcio-Alcalino de Alto K	2,55	5,4	2,657	69,87	14,16	3,87	0,65	0,06	2,04	3,12	5,53	0,52	0,17	100,00
Am-116	Calcio-Alcalino de Alto K	2,58	10,3	2,702	68,98	14,21	5,14	0,85	0,08	2,21	3,70	3,97	0,60	0,26	100,00
Am-184	Calcio-Alcalino de Alto K	2,94	2,05	2,647	73,61	13,46	2,57	0,34	0,05	1,24	3,11	5,33	0,23	0,07	100,00
Am-96	Calcio-Alcalino de Alto K	2,43	1,14	2,742	66,66	14,47	5,82	0,61	0,12	2,66	3,53	5,25	0,67	0,21	100,00
Am-138	Calcio-Alcalino de Alto K	2,72	2,31	2,676	70,51	14,20	3,02	0,83	0,05	2,20	3,67	4,89	0,47	0,16	100,00

Tabela 01–Continuação.

Amostra	Tipologia	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores										
		$\lambda(m)$	SM( $10^{-3}SI$ )	$\rho(g/cm^3)$	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Total
Am-140	Calcio-Alcalino de Alto K	2,67	14,4	2,643	70,56	14,85	2,34	0,47	0,04	1,70	3,32	6,39	0,26	0,07	100,00
Am-84	Calcio-Alcalino de Alto K	2,43	16,2	2,736	65,81	14,26	5,74	1,22	0,09	2,97	3,18	5,41	0,94	0,38	100,00
Am-49	Calcio-Alcalino de Alto K	2,20	0,74	2,753	63,11	15,51	7,39	0,42	0,17	3,17	3,85	5,50	0,72	0,16	100,00
Am-110	Calcio-Alcalino de Alto K	2,56	0,64	2,696	68,57	14,09	4,88	0,32	0,10	1,77	3,32	6,32	0,52	0,12	100,00
Am-190	Calcio-Alcalino de Alto K	2,99	0,61	2,644	74,71	12,51	2,49	0,22	0,03	1,24	3,32	5,20	0,25	0,04	100,00
Am-156	Calcio-Alcalino de Alto K	2,78	4,05	2,667	71,72	13,09	3,86	0,59	0,04	1,75	2,90	5,39	0,52	0,15	100,00
Am-33	Calcio-Alcalino de Alto K	2,12	1,44	2,781	60,98	15,91	6,19	2,74	0,08	4,68	3,57	4,34	1,07	0,42	100,00
Am-158	Calcio-Alcalino de Alto K	2,91	8,75	2,659	72,20	13,63	2,88	0,72	0,04	2,03	3,25	4,77	0,36	0,12	100,00
Am-133	Calcio-Alcalino de Alto K	2,36	0,76	2,707	70,07	15,07	3,16	1,05	0,06	1,98	3,22	4,72	0,44	0,23	100,00
Am-109	Calcio-Alcalino de Alto K	2,34	11,8	2,689	68,50	15,06	3,09	0,98	0,04	2,19	3,68	5,76	0,49	0,20	100,00
Am-130	Calcio-Alcalino de Alto K	2,71	12,7	2,677	69,96	14,54	3,09	0,88	0,04	2,28	3,92	4,58	0,50	0,20	100,00
Am-139	Calcio-Alcalino de Alto K	2,76	7,82	2,657	70,54	14,53	2,79	0,54	0,04	1,72	3,90	5,43	0,37	0,15	100,00
Am-155	Calcio-Alcalino de Alto K	2,92	2,75	2,671	71,68	14,13	2,59	0,68	0,04	2,22	3,69	4,49	0,38	0,10	100,00
Am-163	Calcio-Alcalino de Alto K	2,79	4,69	2,626	72,66	14,09	2,09	0,50	0,03	1,88	3,68	4,74	0,27	0,07	100,00
Am-86	Calcio-Alcalino de Alto K	2,46	3,28	2,713	65,85	16,20	4,23	1,44	0,05	3,78	4,24	3,29	0,71	0,21	100,00
Am-141	Calcio-Alcalino de Alto K	2,34	0,95	2,664	70,60	14,11	2,50	1,30	0,05	2,88	3,47	4,50	0,46	0,14	100,00
Am-94	Calcio-Alcalino de Alto K	2,54	5,08	2,723	66,53	15,89	3,94	1,31	0,04	3,56	4,12	3,71	0,69	0,21	100,00
Am-152	Calcio-Alcalino de Alto K	3,08	1,28	2,6378	71,47	15,96	2,46	0,32	0,03	1,34	3,12	4,98	0,26	0,06	100,00
Am-154	Calcio-Alcalino de Alto K	2,97	0,1	2,5808	71,54	14,87	2,53	0,22	0,04	0,82	3,79	6,00	0,16	0,04	100,00
Am-149	Calcio-Alcalino de Alto K	2,61	5,83	2,6155	71,34	15,96	2,61	0,37	0,04	1,15	3,36	4,84	0,26	0,06	100,00
Am-182	Calcio-Alcalino de Alto K	3,20	0,78	2,6316	73,55	14,21	1,96	0,23	0,04	1,30	3,47	5,01	0,19	0,04	100,00
Am-147	Calcio-Alcalino de Alto K	2,57	0,07	2,6460	71,11	15,01	2,68	0,46	0,05	1,76	3,78	4,69	0,35	0,10	100,00
Am-162	Calcio-Alcalino de Alto K	2,63	0,37	2,6116	72,63	14,47	2,44	0,37	0,06	1,40	3,38	4,87	0,31	0,08	100,00
Am-179	Calcio-Alcalino de Alto K	2,46	3,69	2,6131	73,46	15,30	1,99	0,18	0,03	0,92	3,21	4,74	0,13	0,03	100,00
Am-164	Calcio-Alcalino de Alto K	3,01	4,99	2,6331	72,67	14,20	2,45	0,29	0,05	1,39	3,53	5,14	0,22	0,06	100,00

Tabela 01–Continuação.

Amostra	Tipologia	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores										
		$\lambda(m)$	SM( $10^{-3}SI$ )	$\rho (g/cm^3)$	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Total
Am-173	Calcio-Alcalino de Alto K	2,85	1,3	2,6272	72,90	14,11	2,37	0,30	0,05	1,54	3,36	5,02	0,28	0,08	100,00
Am-188	Calcio-Alcalino de Alto K	2,98	2,06	2,6141	74,33	13,89	1,49	0,18	0,03	1,60	3,57	4,76	0,14	0,02	100,00
Am-134	Calcio-Alcalino de Alto K	2,89	2,87	2,6654	70,13	14,64	3,45	0,67	0,05	2,06	3,38	4,97	0,51	0,13	100,00
Am-132	Calcio-Alcalino de Alto K	3,11	3,83	2,6460	70,02	15,71	3,44	0,41	0,05	1,31	3,12	5,33	0,48	0,12	100,00
Am-71	Calcio-Alcalino de Alto K	2,63	5,17	2,7090	64,55	14,51	6,10	1,10	0,08	2,91	3,42	5,73	1,21	0,40	100,00
Am-95	Calcio-Alcalino de Alto K	2,86	9,7	2,7015	66,57	15,68	5,45	0,83	0,08	2,21	3,09	4,69	1,00	0,39	100,00
Am-146	Calcio-Alcalino de Alto K	3,12	3,82	2,6668	70,98	13,37	4,09	0,52	0,08	1,75	2,96	5,37	0,65	0,23	100,00
Am-91	Calcio-Alcalino de Alto K	2,79	5,4	2,6998	66,23	14,29	5,78	1,03	0,07	2,53	3,31	5,30	1,06	0,40	100,00
Am-157	Calcio-Alcalino de Alto K	3,16	4,07	2,6609	71,83	13,33	3,67	0,38	0,07	1,57	2,84	5,63	0,53	0,16	100,00
Am-98	Calcio-Alcalino de Alto K	2,72	7,8	2,6724	66,74	15,50	5,29	0,86	0,07	2,11	2,94	5,07	1,03	0,38	100,00
Am-114	Calcio-Alcalino de Alto K	2,80	7,17	2,6847	68,77	13,77	4,69	0,75	0,08	2,13	3,02	5,61	0,88	0,30	100,00
Am-79	Calcio-Alcalino de Alto K	2,66	5,66	2,6830	65,34	15,94	5,85	0,95	0,08	2,31	2,94	5,09	1,10	0,41	100,00
Am-121	Calcio-Alcalino de Alto K	2,86	3,66	2,6662	69,10	15,23	4,17	0,53	0,06	1,89	2,85	5,25	0,71	0,22	100,00
Am-178	Calcio-Alcalino de Alto K	2,84	0,07	2,6277	73,41	14,45	1,62	0,26	0,03	1,29	3,67	5,03	0,18	0,05	100,00
Am-15	Shoshonítico	2,30	2,070	2,7924	56,64	16,38	9,75	1,78	0,16	4,29	3,73	5,15	1,44	0,68	100,00
Am-25	Shoshonítico	1,91	1,390	2,8244	59,78	15,98	6,80	3,56	0,11	5,28	3,51	3,55	1,11	0,34	100,00
Am-21	Shoshonítico	1,97	0,210	2,7290	58,60	18,91	5,29	1,79	0,06	4,13	4,90	4,88	1,02	0,42	100,00
Am-14	Shoshonítico	1,97	0,360	2,8099	56,01	15,71	7,24	5,67	0,12	5,06	2,74	5,68	1,28	0,48	100,00
Am-03	Shoshonítico	1,97	7,880	2,8599	51,89	17,11	11,31	2,82	0,16	5,79	4,05	4,03	2,06	0,80	100,00
Am-05	Shoshonítico	1,90	0,710	2,9095	52,50	16,57	11,93	3,24	0,15	5,75	3,77	3,52	1,97	0,61	100,00
Am-04	Shoshonítico	1,92	0,350	2,8750	52,15	17,99	10,41	4,39	0,18	7,59	3,68	2,29	1,02	0,30	100,00
Am-02	Shoshonítico	1,97	0,480	2,8924	51,38	16,44	12,27	3,73	0,18	6,10	3,73	3,59	2,01	0,57	100,00
Am-12	Shoshonítico	2,07	0,210	2,8287	55,46	16,51	8,72	3,63	0,12	5,15	4,19	3,39	1,90	0,93	100,00
Am-24	Shoshonítico	2,45	0,190	2,8217	59,55	16,07	7,72	3,24	0,09	5,19	3,60	2,84	1,40	0,29	100,00
Am-16	Shoshonítico	2,29	0,200	2,8452	57,15	16,08	8,25	5,17	0,12	6,02	3,21	2,58	1,19	0,22	100,00

Tabela 01–Continuação.

Amostra	Tipologia	Propriedades Petrofísicas			Elementos Maiores										
		$\lambda(m)$	SM( $10^{-3}SI$ )	$\rho (g/cm^3)$	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Total
Am-19	Shoshonítico	1,89	1,2	2,764	57,39	20,14	6,38	1,76	0,06	5,05	4,81	2,92	1,20	0,29	100,00
Am-07	Shoshonítico	2,26	32,6	2,898	53,31	13,96	11,36	3,65	0,16	6,08	3,34	3,29	3,14	1,71	100,00
Am-18	Shoshonítico	2,12	11,6	2,862	57,24	14,76	10,16	2,91	0,13	5,52	3,36	3,50	1,88	0,56	100,00
Am-09	Shoshonítico	2,40	13,5	2,8641	54,29	16,33	10,65	2,67	0,15	5,30	3,27	3,12	2,72	1,51	100,00
Am-11	Shoshonítico	2,25	8,9	2,8605	55,29	15,34	11,19	2,28	0,16	5,11	2,71	3,36	3,01	1,55	100,00
Am-38	Shoshonítico	2,33	7,15	2,8515	61,39	14,07	8,62	1,54	0,13	3,82	2,88	4,24	2,28	1,04	100,00

---

# CAPÍTULO 5-

# CONCLUSÕES

ESTE CAPÍTULO APRESENTA AS CONCLUSÕES FINAIS DO TRABALHO REFERENTE À CORRELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES PETROFÍSICAS E A GEOQUÍMICA DE ROCHAS GRANÍTICAS, BEM COMO A SUA UTILIZAÇÃO NA DISTINÇÃO DE SUÍTES MAGMÁTICAS DE GRANITOIDES.

## CAPÍTULO 5 – Conclusões

No total foram coletadas e analisadas (petrografia, geoquímica, propriedades petrofísicas) 195 amostras de corpos ígneos de idade neoproterozoica da Província Borborema (NE do Brasil).

Primeiramente as amostras foram separadas em três grupos de acordo com o teor de acidez, onde estas amostras tiveram sua geoquímica, elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$ ) e alguns elementos traços (Rb, Sr, Ba, Zr, U e Th), correlacionada com a condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética.

Para a condutividade térmica os dados obtidos indicam que o  $\text{SiO}_2$  é o elemento que mais influência uma tendência positiva para esta propriedade petrofísica e que os principais constituintes da mineralogia máfica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{TiO}_2$ ) mostram um tendência oposta.

A densidade mostra-se como um espelho invertido da condutividade térmica, onde o  $\text{SiO}_2$  provoca uma queda nos valores desta propriedade, enquanto que os principais elementos formadores da mineralogia máfica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{TiO}_2$ ) causa um aumento desta.

Já a susceptibilidade magnética não revelou nenhuma correlação com os gráficos analisados, sempre tendendo a dispersão dos dados estudados.

Em uma segunda etapa foram classificadas 157 das 195 amostras de granitos Neoproterozoicos da Província Borborema, em cinco suítes de acordo com seus aspectos petrográficos e químicos, sendo elas as Suítes Peralcalina/Alcalina, Alcalina, Shoshonítica, Cálcio-Alcalina, e Cálcio-Alcalina de Alto K. Em seguida, foram construídos gráficos binários de correlação linear entre as cinco suítes separadas e as propriedades petrofísicas analisadas.

A condutividade térmica conseguiu separar satisfatoriamente as suítes analisadas, só havendo superposição de áreas na Suíte Cálcio-Alcalina de alto K, que por sua vez só se separou bem da Suíte Shoshonítica. Isto ocorreu também nos gráficos de correlação linear

que envolveu a densidade. Nos diagramas da susceptibilidade magnética não foi possível observar uma zonação entre as Suítes estudadas.

Os gráficos binários de correlação linear mostram que é possível fazer uso da condutividade térmica, densidade e susceptibilidade magnética como ferramenta na separação tipológica de granitos.

---

CAPÍTULO 6 -

REFERÊNCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

## CAPÍTULO 6 – Referências Bibliográficas

### A

ALMEIDA, F.F.M.; LEONARDOS JR., O.H.; VALENÇA, J. 1967. Review on granitic rocks of northeast South America. IUGS/UNESCO. Symp., Recife, 41p.

ALMEIDA, F. F. M. de et al. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977, Campina Grande. Atas do. Campina Grande: SBG. Núcleo Nordeste, 1977. 499p. il. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 6) p.363-391.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. Earth-Science Reviews, Amsterdam: *Elsevier*, v. 17, n. 1/2, p. 1-29.

ANGELIM L.A.A, VASCONCELOS A.M. 2004. Folha SB-24-Jaguaribe. In: Schobbenhaus C, Gonçalves J.H, Santos J.O.S, Abram M.B, Leão Neto R, Matos G.M.M, Vidotti R.M.& Ramos M.A.B. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

ANGELIM L.A.A. 2004. Folha SB-25-Natal. In: Schobbenhaus C, Gonçalves J.H, Santos J.O.S, Abram M.B, Leão Neto R, Matos G.M.M, Vidotti R.M.& Ramos M.A.B. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

ANGELIM, L.A.A.; NESI, J.R.; TORRES, H.H.F.; MEDEIROS, V.C.; SANTOS, C.A.; VEIGA JÚNIOR, J.P.; MENDES, V.A. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000. Texto explicativo dos mapas

geológico e de recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 119p.

ARAÚJO, J. M. M.; TRINDADE, R. I. F.; GALINDO, A. C.; SOUZA, Zorano S.; SA, Emanuel Ferraz Jardim de. Características petrográficas preliminares do granito Serra do Algodão (Barra de Santa Rosa - PB): um plutão alcalino na região do Seridó. In: XV Simposio de Geologia do Nordeste, 1993, Natal. Atas, 1993. v. 1. p. 101-103.

ASSUNÇÃO, A. L. C, 2010. Petrografia e Propriedades Físicas de Corpos GranitoidesPaleo-Neoproterozóicos Pertencentes ao Embasamento da Bacia Potiguar. Relatório de Graduação em Geologia nº 299, UFRN, p. 51.

## B

BRITO NEVES, B.B. de, PESSOA, R.J.R. 1974. Considerações sobre as rochas graníticas do nordeste oriental. In: CONGR. BRAS. GEOL., 28.Porto Alegre, 1974. Anais... Porto Alegre, SBG. v.4, p.143-157.

## C

CABY, R.; SIAL, A.N.; ARTHAUD, M.H.; VAUCHEZ, A. 1991. Crustal evolution and the Brasiliano orogeny in Northeast Brazil. In: Dallmeyer, R.D. and Lécorché, J.P. (eds.) The West African orogens and Circum-Atlantic correlatives. Springer-Verlag, 373-397.

CERMAK V & RYBACH L. 1982. Thermal properties. In: ANGENHEISTER G. (Ed.). Landolt-Börnstein numerical Data and Functional relationships in science and technology. New series; Group V. Geophysics, vol. 1 Physical Properties of Rocks. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg. New York. p. 305-371.

---

## D

---

DANA, J.D. Manual de mineralogia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1969.

DELGADO I.M. 2004. Folha SC-25-Recife. In: Schobbenhaus C, Gonçalves J.H, Santos J.O.S, Abram M.B, Leão Neto R, Matos G.M.M, Vidotti R.M.& Ramos M.A.B. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

---

## F

---

FERREIRA, V.P.; SIAL, A.N., JARDIM DE SÁ, E.F. 1998. Geochemical and isotopic signature of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil. *J. South Amer. Earth Sci.* 11: 439-455.

FIGUEIREDO E. R. H. 2006. Condutividade Térmica de Rochas: Uma aplicação para Granitos Ornamentais. Dissertação de Mestrado nº 55/PPGG, UFRN, p. 91.

FIGUEIREDO, E.R.H, GALINDO, A.C., MOREIRA, J.A.M., LINS, F.A.P.L. 2008 Condutividade térmica em rochas silicáticas cristalinas, com ênfase a rochas graníticas da Província Borborema, NE do Brasil, e sua correlação com parâmetros petrográficos e texturais. *Rev. Bras. Geof.*, 26(3):293-307.

FIGUEIREDO, E.R.H, GALINDO, A.C., MOREIRA, J.A.M., LINS, F.A.P.L. 2009 Condutividade térmica em rochas silicáticas cristalinas e sua correlação com a geoquímica de elementos maiores. *Estudos Geológicos*, 19(1):55-68.

FRANÇA, D.T. 2011. Modelos de condutividade térmica para rochas do embasamento cristalino. Relatório de Graduação em Geofísica nº15, UFRN, p.68.

FILLIPPI, R.R. 2011. Geoquímica de elementos maiores e alguns traços de granitoides ediacaranos-cambrianos dos domínios Rio Grande do Norte e Médio Coreaú e sua correlação com propriedades físicas de rochas. Relatório de Graduação em Geologia n0330. p66.

---

## G

---

GALINDO A.C. 1993. Petrologia dos granitóides brasileiros da região de Caraúbas-Umarizal, oeste do Rio Grande do Norte. Centre de Geociências, UFPA, Belém, PhD. Thesis, 370p.

GALINDO, A.C.; DALL'AGNOL., R.; MCREATH, I.; LAFON, J.M. 1993. Geocronologia de granitóides brasileiros da região de Caraúbas-Umarizal, oeste do Rio Grande do Norte. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 15, Natal, 13:324327.

GALINDO, A.C.; Dall'Agnol, R.; McReath, I.; Lafon, J.M.; Teixeira, N.P. 1995. Evolution of Brasiliano-age granitoid types in a shear-zone environment, Umarizal-Caraúbas region, Rio Grande do Norte, northeast Brazil. J. South American Earth Sci. 8(1):79-95.

GUIMARÃES, I.P.; SILVA FILHO, A.F.; ALMEIDA, C.N.; VAN SCHMUS, W.R.; ARAÚJO, J.M.M.; MELO, S.C.; MELO, E.B..2004. Brasiliano (Pan African) granitic magmatism in the Pajeú-araíba belt, Northeast Brazil: an isotopic geochronological approach. Precambrian Research, 135:23-53.

GUIMARÃES, I.P.; SILVA FILHO, A.F.; ARAUJO, D.B.; ALMEIDA, C.N.; DANTAS, E.L. 2009. Trans-alkaline magmatism in the Serrinha-Pedro Velho Complex, Borborema Province, NE Brazil, and its correlations with the magmatism in eastern Nigeria. Gondwana Research, 15:98-110.

---

## H

---

HOLLANDA M.H.B.M. 1998. Mecanismos de alojamentos de magmas granitóides: exemplo do Plúton de Japi (RN). Prog. Pós-Grad. em Geodinâmica e Geofísica, UFRN, Natal, MSc. Thesis, 126p.

HORAI, Ki-iti, 1971. “Thermal Conductivity of Rock-Forming Minerals”. Journ Geophys. Research, 76, NO. 5, 1278-1308.

HROUNDA et al. 2009. The Use of Magnetic Susceptibility of Rocks in Geological Exploration (case histories study). Brno.

HUTCHISON, C.S. – 1974 – Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. Ed. John Wiley & Sons. 527p.

---

## I

---

IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8, 523–548.

---

## J

---

JARDIM DE SÁ, E.F.1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 803p.

JARDIM DE SÁ, E.F.; LEGRAND, J.M.; MCREATH, I. 1981. "Estratigrafia" de rochas granitóides na região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. *Rev. Bras. Geoc.*,11: 50-57.

---

## K

---

KOBRANOVA, V. N., 1989. “Petrophysics”. MIR Publ. Moscow, Springer-Verlag Berlin-Heildlberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hong Kong, 376 p.

KOSIN M, ANGELIM L.A.A, SOUZA JD. 2004. Folha SC-24-Aracajú. In: Schobbenhaus C, Gonçalves J.H, Santos J.O.S, Abram M.B, Leão Neto R, Matos G.M.M, Vidotti R.M.& Ramos M.A.B. (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

---

## L

---

LETERRIER, J.; JARDIM DE SÁ, E.F.; BERTRAND, J.M.; Pin, C. 1994. Ages U-Pbsurzircon de granitoides “brasilianos” de laceinture do Seridó (Province Borborema, NE Brésil). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 318: 1505-1511.

---

## M

---

MASON, Brian H., Princípios de Geoquímica, Editora Polígono, 1971, São Paulo.

MCREATH I.; GALINDO, A.C.; DALL’AGNOL, R. 2002. The Umarizal igneous association, Borborema Province, NE Brazil: implications for the genesis of A-type granites. *Gondwana Research*, 5: 339-353.

---

## N

---

NASCIMENTO, M.A.L.; 1998. Geologia e petrografia do Granitóide Caxexa e suas rochas encaixantes. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 62p.

NASCIMENTO, M. A. L.; ANTUNES, A. F.; GALINDO, A. C.; SÁ, E. F. J.; SOUZA, Z. S. Geochemical signature of the Brasiliano-age plutonism in the Seridó Belt, Northeastern Borborema Province (Ne Brazil). Revista Brasileira de Geociências, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 161-164, 2000.

NASCIMENTO, M.A.L.; MEDEIROS, V.C.; GALINDO, A.C. 2008. Magmatismo Ediacarano a Cambriano no Domínio Rio Grande do Norte, Província Borborema, NE do Brasil. Estudos Geológicos, 18(1): 4-29.

---

## O

---

OLIVEIRA, M.T.D. de, 2011. Caracterização Petrográfica e Propriedades Físicas de Rochas Ortoderivadas e de Granitóides do Embasamento Cristalino da Bacia do Ceará (NE do Brasil). Relatório de Graduação em Geologia nº 315, UFRN, p. 105.

---

## P

---

PECCERILLO, A. & TAYLOR, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology 58, 63–81.

---

## R

---

ROGER, J.J.W. & GREENBERG, J.K. 1981. Trace elements in continental margin magmatism. Part III. Alkali granites and their relationship to cratonization. Bull. Geol. Soc. Amer., 92: 6-9.

---

## S

---

SANTOS, E.J. dos, MELO, C.B.M. 1978. Diversidade do plutonismo granítico do nordeste. In: CONGR. BRAS.GEOL., 30.Recife, 1978.Anais...Recife, SBG. v.6, p.2624-2634.

SANTOS, E.J. & BRITO NEVES, B.B. 1984. Província Borborema. In: Almeida, F.F.M. e Hasui, Y. (eds.). O Pré-Cambriano do Brasil. Edgard Blucher, São Paulo, 123-186.

SANTOS, E.J. 2000. Contexto Tectônico Regional. In: Medeiros V.C. (Org.). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Aracaju/NE – SC.24-X (escala 1:500.000). Brasília, CPRM, p. 3-7.

SANTOS E.J. & MEDEIROS V.C. 1999. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the transverse zone, Borboreme Province, NE Brazil. Rev. Bras. Geoc., 29:73-84.

SCHÖN JH. 2004. Physical Properties of Rocks: Fundamentals and principles of petrophysics. Ed. Pergamon. Cap. 8, p. 323-378.

SIAL, A.N. 1986. Granite-types in Northeast Brazil: Current knowledge. Revista Brasileira de Geociências, 16(1): 54-72.

SIAL, A.N. 1987. Granitic rocks in northeast Brazil. In: Intern. Symp. Granites Assoc. Miner., 1<sup>st</sup>, Salvador, *Anais*, 61-69.

SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P.; MARIANO, G. (1987). Proterozoic granitoids, Western Pernambuco and Paraíba States, Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 1., Salvador, 1987. Excursion Guides. Salvador, SGM/CBPM, p. 9-32.

SILVA, T.J de O, 2013. Propriedades Físicas de Rochas e sua aplicação a Granitóides Ediacaranos da Região de Taipu e Poço Branco, Domínio Rio Grande do Norte, extremo NE da Província Borborema. Relatório de Graduação em Geologia nº 370, UFRN, p. 41.

STRECKEISEN, A.L. (1976). “To Each Plutonic Rock Its Proper Name”. Earth Sci. Rev., 12: 1-33.

---

## T

---

TRINDADE, R.I.; DANTAS, E.L.; BABINSKI, M.; SCHMUS, W.R.V. 1999. Short-lived granitic magmatism along shear zone: evidence from U-Pb zircon and sphene age of Caraúbas and Tourão granite. In: South American Symposium on Isotope Geology, 2, Argentina, Actas, 143-144.

---

## V

---

VASCONCELOS A.M. 2004. Folha SA-24-Fortaleza. In: Schobbenhaus C, Gonçalves JH, Santos JOS, Abram MB, Leão Neto R, Matos GMM, Vidotti RM & Ramos MAB (Eds.). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.P.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGYDIO-SILVA, M.; ARTHAUD, M. AMARO, V.E. 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. J. South Am. Earth Sci., **8**: 247-266.