



**POTENCIALIDADE DOS QUARTZITOS DO COMPLEXO PORONGOS DA  
REGIÃO DE TORRINHAS PARA SEU APROVEITAMENTO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Porto Alegre, 2016

**TAEL DREYER**

**POTENCIALIDADE DOS QUARTZITOS DO COMPLEXO PORONGOS DA REGIÃO  
DE TORRINHAS PARA SEU APROVEITAMENTO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Supervisor: Prof. Dr. Clóvis Gonzatti

Msc. Marcos A. Tedesco

Porto Alegre, 2016

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Tutikian

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Dreyer, Tael

Potencialidade dos quartzitos do Complexo Porongos da região de Torrinhas para seu aproveitamento na construção civil . / Tael Dreyer.  
- Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.  
[55 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es):Ruy Paulo Philipp  
Coorientador(es):Clóvis Gonzatti e Marcos A. Tedesco

1. Complexo Porongos 2. Quartzito 3. Rocha ornamental 4. Ensaios tecnológicos I. Título.

CDU 55

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila F. T. Binotto

CRB 10/1743

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “POTENCIALIDADE DOS QUARTZITOS DO COMPLEXO PORONGOS DA REGIÃO DE TORRINHAS PARA SEU APROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL”, elaborado por “Tael Dreyer”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

Dra. Carla Cristine Porcher

---

Dr. Luiz Antônio Bressani

---

Dr. Norberto Dani

## AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a minha família, sem eles nada disso teria sido possível. Ao meu pai, Lari Paulo Dreyer (*in memoriam*), pelos ensinamentos enquanto esteve conosco, e a minha mãe, Idair Delazzeri Dreyer, pelo total apoio e incentivo desde o início, quando decidi entrar para o curso de geologia. Meu irmão, Maurel Dreyer, pela parceria e ajuda nos momentos finais do trabalho e pela ótima companhia que sempre foi.

A minha namorada, Larissa, que me ajudou durante toda esta trajetória, principalmente me aturando nos momentos mais tensos antes da entrega do trabalho, sempre me apoiando e me ajudando em tudo ao seu alcance. Não posso deixar de falar dos meus sogros também, Fábio e Sônia, que fizeram da sua casa a minha em vários momentos (e ainda fazem), sempre muito prestativos e atenciosos.

Meu orientador, Prof<sup>o</sup>. Dr. Ruy Paulo Philipp, pelos ensinamentos, parceria de campo, histórias, horas de conversas e também pela paciência durante a execução deste trabalho. Ao Prof<sup>o</sup>. Dr. Clóvis Gonzatti por todas as discussões e ensinamentos da área da geotecnia. Obrigado de coração, vocês são feras mesmo, pessoas pelas quais tenho grande admiração.

Um muito obrigado também a todos meus amigos, que de alguma forma ou de outra estiveram presentes e ajudaram para a construção de tudo isso. Aos colegas, pelas parcerias de campo, cervejadas (que não foram poucas), discussões, ensinamentos e horas de estudos.

E um muito obrigado também a UFRGS e a todos os funcionários e estrutura do IGEO.

*“Era uma vez um sábio chinês  
que um dia sonhou que era uma borboleta*

*voando nos campos, pousando nas flores  
vivendo assim um lindo sonho.*

*Até que um dia acordou  
e pro resto da vida uma dúvida lhe acompanhou:*

*Se ele era um sábio chinês  
que sonhou que era uma borboleta,  
ou se era uma borboleta sonhando  
que era um sábio chinês.”*

*(Raul Seixas)*

## RESUMO

O presente trabalho visa avaliar o potencial de aproveitamento dos quartzitos do Complexo Porongos da região de Torrinhás, Pinheiro Machado, como rocha ornamental, de revestimento e agregado para a construção civil. A metodologia envolveu a caracterização geológica de campo com base em dados estruturais e petrográficos e análise das propriedades físicas e mecânicas da rocha através de ensaios de caracterização tecnológica. A intensidade do fraturamento foi avaliada através da análise de imagens de satélite e fotos aéreas para avaliação e análise estatística dos lineamentos da região estudada visando a seleção de áreas alvos (com baixo percentual de fraturas). A estruturação das rochas foi representada em um perfil geológico com direção NW-SE, situados em ângulo alto com relação às principais estruturas dúcteis observadas na região estudada. Foram coletadas amostras para análise petrográfica e caracterização tecnológica (índices físicos, desgaste por abrasão Los Angeles, adesividade à ligante betuminoso, velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e ensaio de carga pontual). Os resultados obtidos nos ensaios foram analisados de acordo com parâmetros físicos definidos por órgãos técnicos nacionais e internacionais, considerando também as informações obtidas na geologia regional e na geologia estrutural da região. Os quartzitos do Complexo Porongos ocorrentes na região de Torrinhás podem ser utilizados como agregados (levando em conta sua forma achatada/alongada quando britado), como material de empréstimo e tem um grande potencial como rocha ornamental e de revestimento. Entretanto, devido ao alto grau de fraturamento que afetam as rochas, sua exploração fica limitada a lajotas irregulares e de tamanhos inferiores a 30 cm.

**Palavras-Chave:** Complexo Porongos, Vila Torrinhás, quartzito, ensaios tecnológicos, rocha de revestimento, rocha ornamental, agregado graúdo.

## ABSTRACT

The present work aims to evaluate the potential of the quartzites of Porongos Complex in Torrinhas region, Pinheiro Machado, as ornamental rock, cladding and aggregate for construction. The methodology involves the geological characterization based on structural and petrographic data and analysis of the physical and mechanical properties of the rock through technical tests. The intensity of fracturing was evaluated through satellite images and aerial photos for statistical analysis of the lineaments at the studied region aiming the selection of target areas with a low density of fractures. The relationships of the stratigraphic units was represented in a geological section with NW-SE direction, located in high angle with the main ductile structures observed in the studied region. The samples were collected for petrographic analysis and technological characterization (physical indexes, Los Angeles abrasive wear, bituminous bonding adhesiveness, ultrasonic wave propagation velocity and spot loading test). The results obtained in the tests were analyzed according to parameters defined by national and international technical agencies, also considering the information obtained in the regional geology and the structural geology of the region. The quartzites of the Porongos Complex occurring in the Torrinhas region can be used as aggregates (taking into account their flattened/elongated shape when crushed) as lending material and have great potential as ornamental rock and cladding rock. However, due to the high degree of fracture affecting the rocks, their exploitation is limited to irregular tiles and sizes smaller than 30 cm.

**Keywords:** Porongos Complex, Torrinhas village, quartzite, technological tests, cladding rock, ornamental rock, aggregate.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	12
Figura 2 - Mapa com as principais unidades geotectônicas da região sul do Brasil e Uruguai com destaque em vermelho para a área de estudo. Zonas de Cisalhamento Dúcteis: 1 – Itajai-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande. Compilado e modificado de Philipp et al. (2016).....	15
Figura 3 - Mapa geológico do Terreno Tijucas com destaque em vermelho para a área de estudo. Modificado de Philipp et al. (2016). ....	16
Figura 4 – Foto de lavra rudimentar na região, possível observar o alto grau de fraturamento. ....	22
Figura 5 – Anaglifo da área estudada. ....	24
Figura 6 –Fase de dobramento com foliação $S_3$ em afloramento de corte de estrada. ....	31
Figura 7 – Mapa geológico da área com o perfil traçado de A – A’ em vermelho. ....	33
Figura 8 – Perfil geológico A – A’ com a relação de contato entre as unidades.....	34
Figura 9 – A) Vista geral do bandamento em gnaiss tonalítico, B) detalhe dos porfiroclastos de feldspato estirados. ....	35
Figura 10 – Cristas de quartzito se destacam no relevo da área. ....	35
Figura 11 – Lavra rudimentar aparentemente abandonada na região. ....	36
Figura 12 – Foto em detalhe da lineação de estiramento $L_x$ com porfiroblastos de quartzo estirados e mica “fish”. ....	37
Figura 13 – Amostras com formato losangular irregular controlado pelas fraturas da rocha. ....	38
Figura 14 - (A) Diagrama de roseta de frequência e (B) diagrama de roseta de comprimento.....	39
Figura 15 – Rede equiárea de Schmit (hemisfério inferior) com $S_x$ representando a xistosidade regional. Estereograma de distribuição de polos dos planos (esquerda) e estereograma de contorno para a distribuição dos polos (direita).....	41
Figura 16 – Rede equiárea de Schmit (hemisfério inferior) com estereograma de orientação da lineação de estiramento $L_x$ (esquerda) e estereograma de contorno da distribuição da lineação.....	41
Figura 17 – Rede equiárea de Schmit (hemisfério inferior) com estereograma de distribuição dos polos (esquerda) e estereograma de contorno da distribuição dos polos da foliação $S_3$ .....	42

Figura 18 – Rede equiárea de Schmit (hemisfério inferior) com estereograma de distribuição dos polos (esquerda) e estereograma de contorno da distribuição dos polos da foliação S <sub>4</sub> , representando a última fase de deformação.....	42
Figura 19 – Fotomicrografia de lâmina delgada em microscópio. Fotos da esquerda em Luz Natural e da direita em Luz Polarizada.....	44
Figura 20 –Fotomicrografia da estrutura geral da rocha. Luz Natural e Luz Polarizada. ....	45
Figura 21 – Rompimento laminar no plano de foliação da amostra. ....	48
Figura 22 – Rompimento total da amostra. ....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa mínima de amostra de ensaio (DNER-ME 195/97).....	27
Tabela 2 – Resultados dos ensaios de índices físicos.....	45
Tabela 3 – Resultado do ensaio de propagação de ondas ultrassônicas. ....	46
Tabela 4 – Resultados obtidos no ensaio de carga pontual.....	47
Tabela 5 – Tabela comparativa entre os resultados obtidos e suas especificações para rochas ornamentais e de revestimento. ....	49

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1. LOCALIZAÇÃO .....	12
1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E HIPÓTESE .....	13
1.3. JUSTIFICATIVA .....	13
1.4. OBJETIVOS .....	14
<b>2. CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>14</b>
2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO E TECTÔNICO DO COMPLEXO PORONGOS NO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE .....	14
2.2. TRABALHOS ANTERIORES .....	18
<b>3. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO</b> .....	<b>22</b>
3.1. REVISÃO/AQUISIÇÃO DE DADOS .....	22
3.1.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....	22
3.1.2. AQUISIÇÃO DE DADOS PRÉ-CAMPO .....	23
3.2. TRABALHO DE CAMPO .....	24
3.2.1. COLETA DE DADOS ESTRUTURAIS .....	24
3.2.2. PERFIL GEOLÓGICO .....	25
3.2.3. AMOSTRAGEM .....	25
3.3. LABORATÓRIO .....	25
3.3.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA .....	26
3.3.2. ENSAIOS TECNOLÓGICOS .....	26
3.4. INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS .....	29
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>30</b>
4.1. GEOLOGIA DA ÁREA .....	30
4.2. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS .....	32
4.2.1 COMPLEXO ENCANTADAS .....	34
4.2.2 COMPLEXO PORONGOS .....	35
4.2.3 SUÍTE CORDILHEIRA .....	38
4.3. GEOLOGIA ESTRUTURAL .....	39
4.4. PETROGRAFIA .....	43
4.5. ENSAIOS TECNOLÓGICOS .....	45
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O presente projeto temático tem como finalidade a obtenção de grau em Geologia, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O trabalho foi desenvolvido nas disciplinas de Projeto Temático em Geologia I, II e III durante o período de julho de 2015 a novembro de 2016. Contou com o apoio de toda a infraestrutura da universidade, principalmente do Instituto de Geociências (IGEO).

### 1.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada no município de Pinheiro Machado, no centro-sul do estado do Rio Grande do Sul. O acesso de Porto Alegre é feito seguindo pela rodovia BR-116 até o município de Pelotas, em seguida segue-se pela BR-293 até o município de Pinheiro Machado (Figura 1). A região da Vila Torrinhas fica a noroeste do município, sendo acessada por uma estrada secundária de terra.

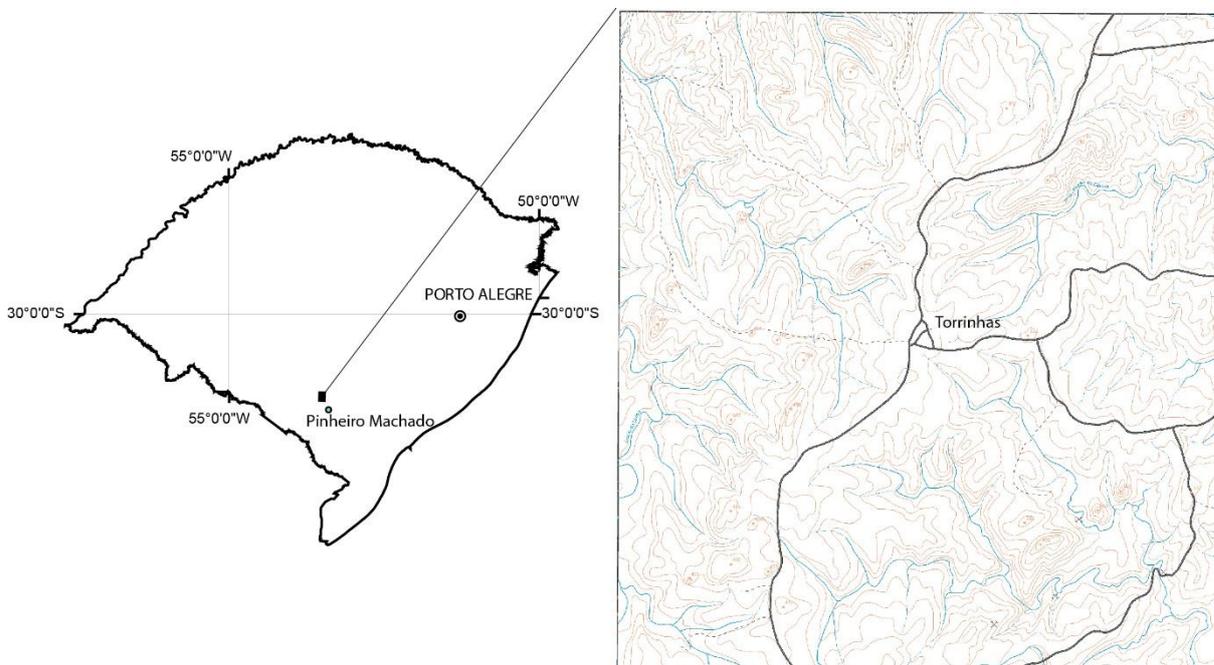


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

## 1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E HIPÓTESE

Atualmente o estado de Minas Gerais responde pela maior parte da produção brasileira de quartzitos, que é utilizada tanto como rocha ornamental como para revestimentos. Minas Gerais possui quatro centros de lavras de quartzito: Alpinópolis, Ouro Preto, Diamantina e São Thomé das Letras; sendo o último o mais expressivo (Fernandes *et al.* 2003). As condições de lavra dos quartzitos foliados são rudimentares, assim como o beneficiamento que é simples e efetuado basicamente através do corte manual ou serrado (Chiodi, 2003). Praticamente todo o quartzito que chega ao estado do Rio Grande do Sul, também é proveniente desta região, tendo um custo mais elevado devido principalmente ao transporte rodoviário. Nas rochas do Complexo Porongos ocorrentes na região de Torrinhas existe uma vasta área de ocorrência de quartzitos que pode ser avaliada para a exploração deste material no estado do Rio Grande do Sul. Como hipótese, as rochas do presente estudo têm um grande potencial para serem utilizadas como rocha de revestimento. Por este motivo será realizada a sua caracterização geológica e geotécnica, para poder mensurar a sua qualidade e avaliar seu aproveitamento em diversas áreas da construção civil.

## 1.3. JUSTIFICATIVA

Na região de Torrinhas (RS), o Complexo Porongos está representado por uma sequência metavulcano-sedimentar, complexamente dobrada e metamorfizada em condições de baixo a médio grau. O complexo é constituído por um expressivo pacote de quartzitos e xistos pelíticos, com ocorrências subordinadas de mármore e rochas metavulcânicas ácidas (Orlandi Filho *et al.* 2009). Os quartzitos ocorrem como cristas alongadas segundo a direção N40-60°E, compondo cristas descontínuas de 2 a 4 km de comprimento. A região de Torrinhas possui um contexto geológico muito semelhante ao de São Thomé das Letras; ambas são sequências metassedimentares plataformais associadas à crátons. As rochas extraídas de São Thomé das Letras têm o seu aproveitamento controlado pelo faturamento e variações composicionais nas camadas de quartzitos.

Em Torrinhas são reconhecidos dois grupos de quartzitos: puros e impuros. Os quartzitos puros apresentam estrutura maciça a pouco foliada, cor branca,

textura granoblástica média a fina, compostos por quartzo e, subordinadamente, muscovita. Os quartzitos impuros apresentam cor branca a amarelo-rosada, avermelhada quando intemperizados, textura granoblástica média a fina, sendo constituídos por quartzo, feldspato e muscovita, contendo turmalina, granada e zircão como acessórios (Orlandi Filho *et al.* 2009).

#### 1.4. OBJETIVOS

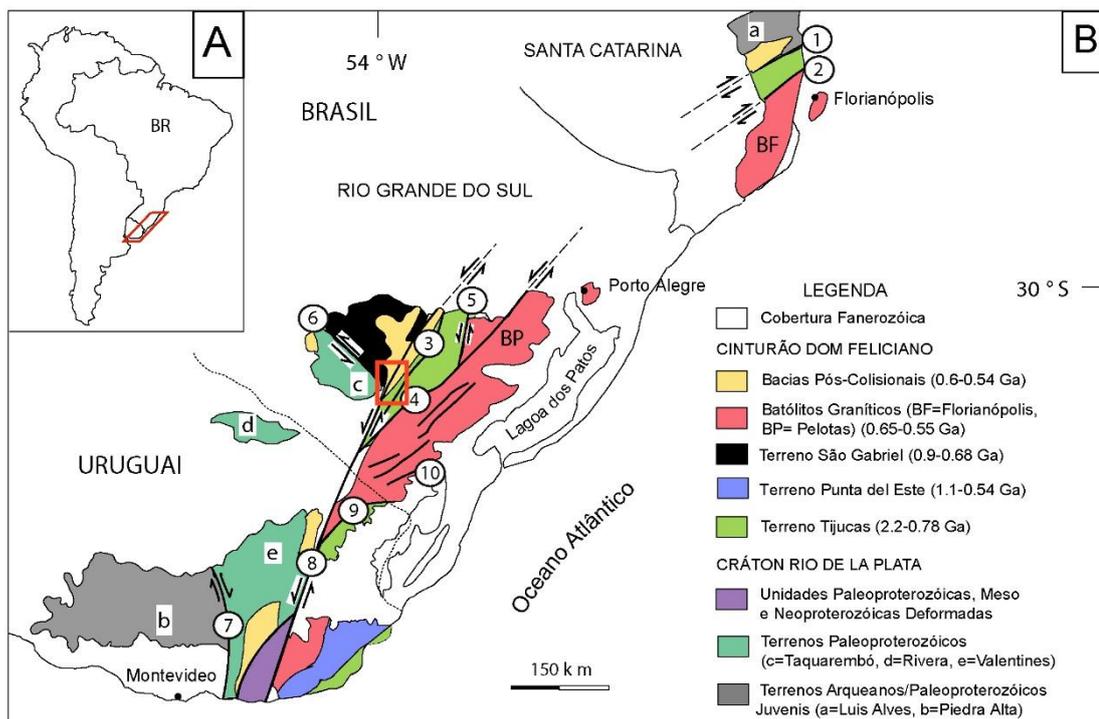
Este trabalho visa avaliar o potencial de aproveitamento dos quartzitos do Complexo Porongos na região da Vila Torrinhas, município de Pinheiro Machado a partir da caracterização geológica de campo, com base em dados estruturais e petrográficos, e através da caracterização das propriedades físicas e mecânicas da rocha através de ensaios de caracterização tecnológica. Estes ensaios serão classificados pelas especificações técnicas de entidades normatizadoras, como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Com base nos resultados obtidos, será avaliada a utilização dos quartzitos como rocha ornamental, de revestimento, ou mesmo para seu uso na construção civil como agregado. Em caso de uma avaliação positiva cria-se a possibilidade de ofertar este tipo de material para a região sul do Brasil.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

### 2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO E TECTÔNICO DO COMPLEXO PORONGOS NO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE

A área de estudo está situada na porção central do Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), uma unidade geomorfológica composta por duas unidades geotectônicas principais, o Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano. Um fragmento significativo desta primeira unidade está localizado no Terreno Taquarembó, situado no extremo sudoeste do escudo. O Cinturão Dom Feliciano ocupa a maior parte do escudo e está constituído pelos terrenos Tijucas, onde estão localizadas as rochas estudadas neste projeto, São Gabriel e pelo Batólito Pelotas (Figura 2).



**Figura 2 - Mapa com as principais unidades geotectônicas da região sul do Brasil e Uruguai com destaque em vermelho para a área de estudo. Zonas de Cisalhamento Dúcteis: 1 – Itajai-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande. Compilado e modificado de Philipp et al. (2016).**

Os metassedimentos do Complexo Porongos, objeto deste estudo, ocorrem no Terreno Tijuca, porção central do ESRG, sendo composto por fragmentos do Cráton Rio de La Plata intensamente retrabalhados durante o Neoproterozóico, representados por complexos gnáissicos, recobertos pelas rochas metavulcano-sedimentares. O Terreno Tijuca é constituído por uma infra-estrutura definida pelos ortognaisses paleoproterozóicos do Complexo Encantadas e por rochas metassedimentares representando a supraestrutura (Figura 2). Os contatos do Terreno Tijuca com os terrenos adjacentes a oeste são limitados pela Zona de Cisalhamento Caçapava do Sul e ao leste, o contato com o Batólito Pelotas é definido pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. No seu interior é coberto por rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã e ao norte por rochas sedimentares da Bacia do Paraná (Figura 3).

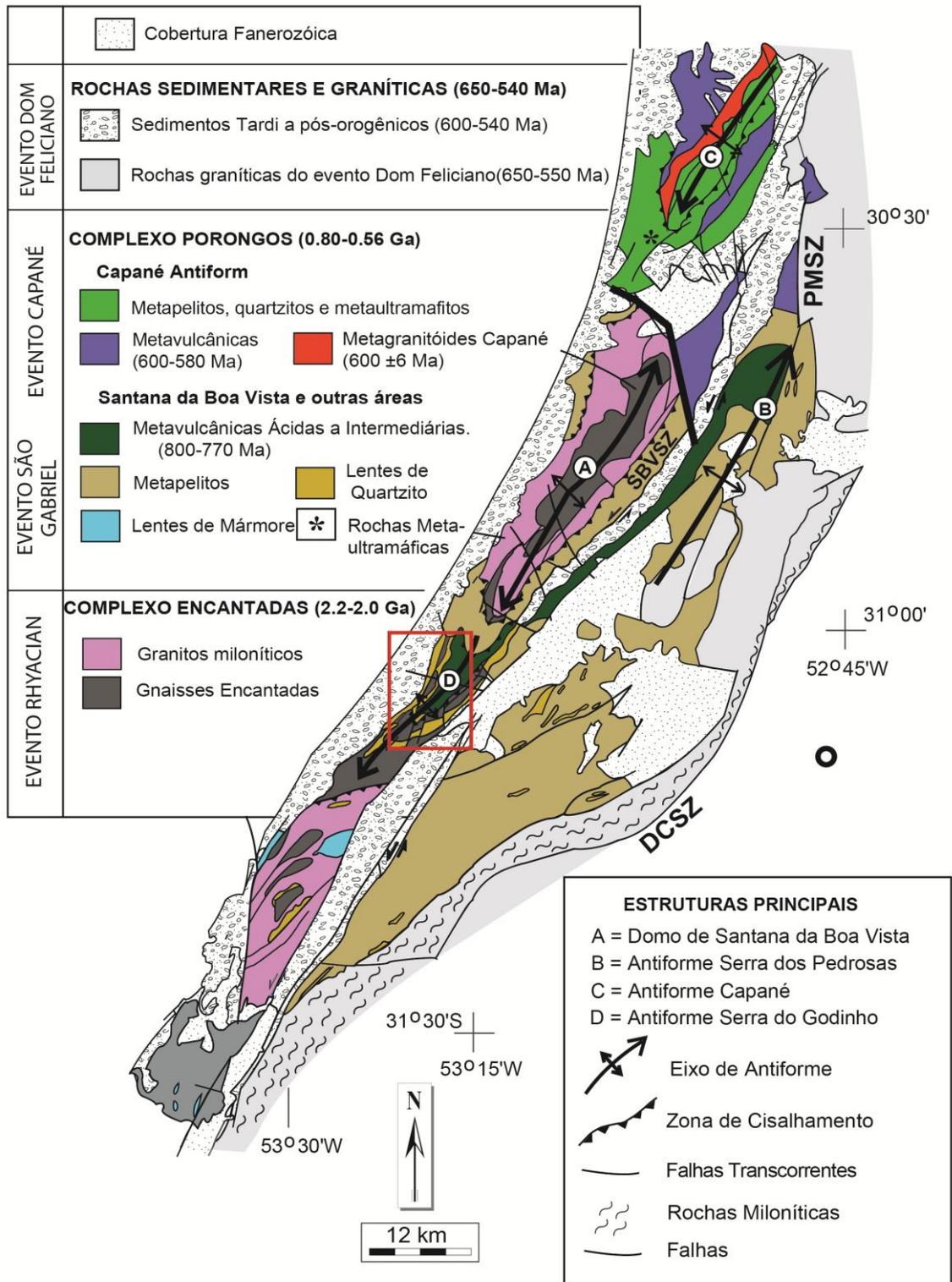


Figura 3 - Mapa geológico do Terreno Tijucas com destaque em vermelho para a área de estudo. Modificado de Philipp et al. (2016).

A construção do Cinturão Dom Feliciano envolveu inicialmente o fechamento do oceano Charrua durante a orogênese São Gabriel e, posteriormente, o fechamento do oceano Adamastor e a colisão entre os Crátons Rio de La Plata e

Kalahari durante a orogênese Dom Feliciano, ocorrida no final da evolução do Ciclo Brasileiro (Babinski *et al.*, 1996; Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*, 2007; Philipp *et al.* 2016). As unidades do embasamento foram intensamente deformadas e metamorfisadas durante o processo colisional, gerando a intercalação tectônica entre domínios infracrustais e supracrustais com ampla concordância estrutural. Este fato dificulta a separação entre as unidades, tornando-se de suma importância um estudo detalhado e integrado das estruturas para desvendar a história dos eventos ocorridos no Ciclo Brasileiro.

A região estudada faz parte do Setor Meridional da Província Mantiqueira (Almeida, 1977; Almeida *et al.*, 1981), correspondendo ao Sistema Brasileiro Sudeste, a qual é interpretada como o resultado de diversas colagens orogênicas diacrônicas de distintas unidades geotectônicas durante o Neoproterozóico-Cambriano, formando o setor oeste do paleocontinente Gondwana (Chemale Jr., 2000; Heilbron *et al.*, 2004, Hartmann *et al.*, 2007; Philipp *et al.* 2016).

O ESRG é constituído por associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares dispostas em um complexo arranjo tectono-estratigráfico, controlado e segmentado por zonas de cisalhamento dúcteis de expressão regional de direção N20-40° e N60-80°E e N30-40°W (Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*, 2007). Estas unidades se estendem ao sul para o Uruguai e ao norte para Santa Catarina, com ampla correlação geográfica de unidades. A continuidade destas áreas do Cinturão Dom Feliciano é interpretada como a zona de sutura entre os crátons Rio de La Plata e Kalahari (Fragoso-Cesar, 1980, 1991; Basei, 1985; Soliani Jr. 1986; Fernandes *et al.*, 1992).

Os fragmentos do Cráton Rio de La Plata no ESRG ficaram preservados como complexos ortognáissicos de idade paleoproterozóica (Complexo Granulítico Santa Maria Chico, Complexos Encantadas, Arroio dos Ratos, Imbicuí e Vigia). A evolução do Cinturão Dom Feliciano está preservada no Terreno São Gabriel através de associações metavulcano-sedimentares e metaplutônicas relacionadas com a evolução de arcos magmáticos (complexos Imbicuí, Cambaí/Cambaizinho, Bossoroca, Palma e Pontas do Salso) gerados e/ou deformados na Orogênese São Gabriel (Chemale Jr. 2000; Hartmann *et al.* 2007). A evolução final do cinturão ainda está caracterizada pela orogênese Dom Feliciano, um evento de metamorfismo

regional associado a colisão dos crátons Rio de La Plata e Kalahari, entre 650 e 630 Ma (Chemale Jr. 2011; Bom, 2011; Bom *et al.* 2013; Philipp *et al.* 2015). Após o pico do metamorfismo colisional seguiu-se uma intensa granitogênese de caráter pós-colisional (Bitencourt & Nardi, 2000; Philipp *et al.* 2000, 2007; Philipp & Machado, 2005).

As rochas do Complexo Porongos caracterizam uma seqüência de margem passiva que estava situada na porção de bordo do Cráton Rio de La Plata e que foi intensamente deformada durante o final do Neoproterozóico no ciclo orogênico Brasileiro. Segundo concepção de Oyhantçabal *et al.* (2011) e Rapela *et al.* (2011) estas áreas deformadas incluem o Terreno Taquarembó e constituem uma unidade maior definida como Terreno Nico Perez. Philipp *et al.* (2016) considera que as rochas do Complexo Porongos representem os sedimentos da margem passiva do oceano Adamastor sobre o Terreno Nico Perez.

## 2.2. TRABALHOS ANTERIORES

As rochas metamórficas que ocorrem no ESRG foram inicialmente subdivididas em duas grandes unidades por Carvalho (1932). A primeira unidade com idade supostamente arqueana é constituída praticamente por gnaisses, enquanto a segunda com idade algonquiana é composta por rochas metamórficas de baixo a médio grau. Alguns anos depois, Leinz *et al.* (1941) agrupam as rochas algonquianas na Série Porongos.

Ao proporem um novo arranjo estratigráfico para o Escudo, Goñi *et al.* (1962) substituem o termo Série Porongos por Grupo Porongos, reunindo as formações Vacacaí e Cerro do Ouro com idades pré-cambrianas superior, a Formação Mantiqueira com idade do pré-cambriano médio, que estariam sobre os gnaisses da Formação Cambaí, com idade do pré-cambriano inferior.

Picada (1971) em trabalho sistemático de mapeamento geológico e estrutural divide o Escudo Sul-Rio-Grandense em quatro unidades principais: (i) Cráton Dom Feliciano; (ii) Intrageossinclinal Encantadas; (iii) Intrageoanticlinal Lavras e (iv) Intrageossinclinal Palma.

Na região central do Escudo ocorrem as rochas do Cinturão Tijuca, conforme definido por Hasui *et al.* (1977). Este cinturão, hoje denominado Terreno Tijuca, é orientado segundo a direção N40°E e é limitado ao leste pela zona de cisalhamento Dorsal Canguçu e sua extensão N-S, a Zona de Cisalhamento Passo do Marinheiro (Philipp *et al.*, 2003) e a oeste é limitada pela Zona de Cisalhamento e Anomalia Magnética Caçapava do Sul. Ao sul e ao norte as unidades estão cobertas por sedimentos da Bacia do Paraná. O Cinturão Tijuca possui três unidades litoestratigráficas principais que representam o pré-cambriano no centro do Escudo: (i) Gnaisses Encantadas, (ii) Complexo Porongos e o (iii) Grupo Camaquã (Remus *et al.*, 1990).

Os estudos de detalhe realizados por Jost & Bitencourt (1980) e Jost (1981), na área ao norte do Rio Camaquã, propõem a uma nova divisão estratigráfica para a região da Serra das Encantadas, dividindo os metassedimentos nos Grupo Cerro dos Madeiras e no Complexo Cerro da Árvore, que constituiriam a Suíte Metamórfica Porongos. Estas duas novas unidades estariam separadas por uma notável descontinuidade estrutural demarcada por um amplo sistema de falhas de empurrão (*thrust*) e pelo alinhamento de domos gnáissicos orientados segundo NE-SW.

O mapeamento geológico e estrutural desenvolvido por Remus *et al.* (1987), com estudos realizados ao sul do Rio Camaquã, as unidades do Grupo Porongos estão divididas em dois compartimentos (leste e oeste) pela calha molássica situada na porção central. A faixa leste possui uma associação de filitos e xistos (pelíticos e grafíticos), quartzitos (puros, feldspáticos, micáceos e ferruginosos) com intercalações de rochas metavulcânicas félsicas polideformadas e metamorfizadas em grau variável, desde a zona da clorita e biotita até a zona da granada em alguns locais. A faixa oeste, compreende uma associação de gnaisses pelíticos e semi-pelíticos, xistos pelíticos e quartzo feldspáticos, quartzitos (puros, micáceos, feldspáticos e ferruginosos), mármore puros e impuros, anfibolitos e metavulcânicas félsicas subordinadas. Este pacote encontra-se polideformado com injeções graníticas de composição variada e seu grau metamórfico varia desde a zona da biotita até a zona da cianita. Os autores destacaram ainda que a principal diferença entre esses dois compartimentos é a presença de intrusões graníticas de formas tabulares e com espessuras variadas, além de aspectos litológicos e grau

metamórfico mais elevado na faixa oeste. Os quartzitos do Complexo Porongos são bons marcadores da estruturação desta unidade devido a sua alta resistência ao intemperismo, ressaltando-se no relevo da região (Remus *et al.*, 1987). Os quartzitos do Complexo Porongos da região de Torrinhas formam cristas descontínuas alongadas segundo a direção N40-60°E, que se destacam no relevo da região, sendo observáveis em imagens de satélites e fotos aéreas aparecendo em tons de cinza claro.

As rochas do Complexo Porongos e parte do Complexo Encantadas possuem uma expressiva foliação milonítica com lineação de estiramento e lineação mineral orientadas segundo N40-50°E com baixo ângulo de mergulho resultantes de uma deformação dúctil que afetou ambos (Remus *et al.*, 1990). Os autores consideraram as rochas do Complexo Encantadas como representativas do embasamento de uma bacia intra-cratônica ou de margem passiva, que receberam os sedimentos clasto-químicos e vulcânicas ácidas a intermediárias do Complexo Porongos, onde os Gnaisses Encantadas representando a infraestrutura com idade Paleoproterozóica (Soliani Júnior, 1986; Philipp *et al.* 2008) e as rochas do Complexo Porongos representando a sequência supracrustal com idades atribuídas ao Neoproterozóico (Soliani Júnior, 1986).

As rochas dos complexos Porongos e Encantadas foram afetadas pela deformação dúctil ocorrida ao longo da Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu (Chemale Jr., 2000). Ainda de acordo com Chemale Jr. (2000), “posteriormente, uma tectônica de reativação transcorrente, em ambiente dúctil a dúctil-rúptil, afetou essas rochas da região e desempenhou um papel importante na formação de grande parte das rochas sedimentares da Bacia do Camaquã e dos granitóides do Cinturão Dom Feliciano no âmbito do Cinturão Tijuca”.

Na descrição das unidades da Folha Piratini, Orlandi Filho *et al.* (2009) descrevem o domínio da Suíte Metamórfica Porongos como “corresponde a uma sequência plataformal, polideformada e metamorfizada nas fácies xisto verde/anfibolito, com vulcanismo e plutonismo associado...”. Os quartzitos afloram nas duas faixas de exposição da folha Piratini, associados com os micaxistos, mármore, gnaisses e rochas metavulcânicas.

Orlandi Filho *et al.* (2009) ressaltam que na folha Piratini (1:100.000, SH.22-Y-C-II) são reconhecidos dois grupos de quartzitos: puros e impuros. Os quartzitos puros apresentam cor branca e são compostos essencialmente por quartzo e, subordinadamente, por muscovita e minerais opacos. Mostram textura granoblástica média a fina e uma estrutura maciça a pouco foliada. Os quartzitos impuros apresentam cor branca a amarelo-rosada (avermelhada quando intemperizados), granulação média a fina e uma composição dominada por quartzo, com ocorrência subordinada de feldspato e muscovita, contendo turmalina, granada, zircão e minerais opacos como acessórios. Os autores sugerem estudos de detalhe nas cristas de quartzitos da região de Jaíba (próximo à Vila Torrinhas), por se tratarem de cristas de grande extensão, visando áreas com fraturamento menos intenso para que se possa obter placas regulares e de maior dimensão.

Pertille *et al.* (2015) define em seu trabalho que, de acordo com os elementos traços analisados de zircões detríticos da região, indicam uma origem de crosta continental. De acordo com o conjunto de dados obtidos pela autora, os sedimentos do Complexo Porongos foram derivados de rochas graníticas erodidas do Cinturão Dom Feliciano e do Cráton La Plata. Conclui ainda que o preenchimento da bacia do Complexo Porongos durou em torno de 650 a 570 Ma em um cenário tectônico de bacia de antepaís do Cinturão Dom Feliciano.

Os quartzitos do centro produtor de São Thomé das Letras representam a margem passiva do Cráton do São Francisco e situam-se no Cinturão Alto Rio Grande, que é representado por um pacote de rochas supracrustais que abrange ao sul o Grupo Andrelândia e ao norte o Grupo São João Del Rei (Almeida & Hasui, 1984). Portanto, ambos os quartzitos possuem uma situação regional semelhante: são sequências plataformais associadas ao Cráton São Francisco (São Thomé das Letras) e ao Cráton de La Plata e /ou do Terreno Nico Perez (Torrinhas).

O aproveitamento destas rochas é controlado pelo fraturamento e pelas variações composicionais em suas camadas (presença de micas principalmente), que é indispensável para que as lajes se quebrem em camadas. Estas propriedades são fundamentais, pois são elas que condicionam o aproveitamento da jazida para uso ornamental ou de revestimento (Figura 4)



Figura 4 – Foto de lavra rudimentar na região, possível observar o alto grau de fraturamento.

### 3. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

Para poder alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foram utilizados métodos e técnicas de pesquisa geológica e de caracterização tecnológica (geotécnica) de rochas. Estas atividades foram divididas em distintas etapas na realização do trabalho, estando estruturadas em: revisão/aquisição de dados, atividades de campo, laboratório e a integração dos resultados.

#### 3.1. REVISÃO/AQUISIÇÃO DE DADOS

É uma atividade pré-campo, que teve por objetivo facilitar o entendimento da área e adquirir um conhecimento prévio sobre a região a ser estudada. Consistiu em uma pesquisa bibliográfica e na aquisição de dados para programar e realizar o trabalho de campo, facilitando o planejamento durante a execução do mesmo, sendo possível prever lugares com melhores acessos e pontos com possíveis afloramentos.

##### 3.1.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

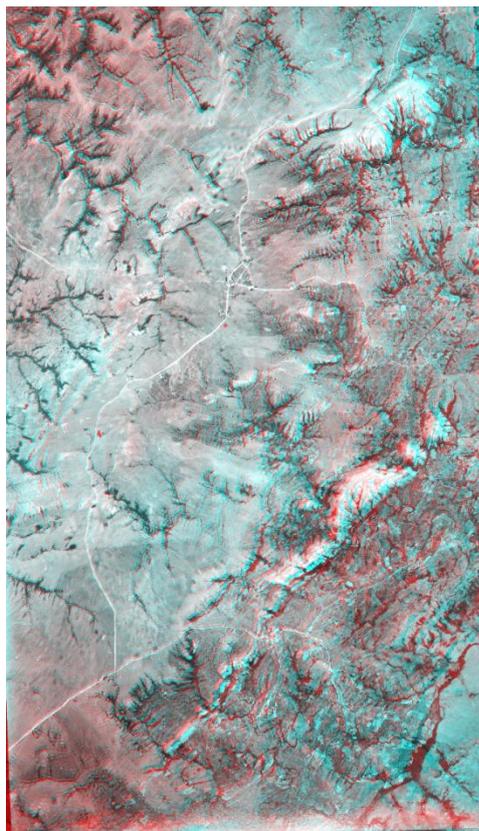
Esta primeira etapa do trabalho teve como objetivo principal levantar informações prévias sobre a área de estudo, sobre as técnicas e métodos para a realização dos ensaios de caracterização e análises petrográficas. Também serviu

para comparar a área com outras áreas análogas, facilitando assim o entendimento sobre o assunto. Para esta etapa, foram utilizados livros, periódicos, teses, dissertações, monografias e resumos publicados em anais de eventos, entre outras fontes que colaboraram com alguma informação útil para a realização do trabalho. Para a parte dos ensaios tecnológicos, foram consultadas as normas de realização de cada tipo de ensaio e especificações técnicas, para que possam ser interpretados estes resultados.

### 3.1.2. AQUISIÇÃO DE DADOS PRÉ-CAMPO

Esta etapa envolveu a análises de imagens da área de estudo, como imagens de satélite (*GoogleEarthPRO*<sup>®</sup>, SRTM e Landsat 7), fotografias aéreas (escala 1:60.000) e levantamento geológico da área com base no mapa geológico da Folha Piratini (Orlandi Filho *et al.* 2009). A determinação das principais estruturas como orientação de cristas de quartzitos, dobramentos e principalmente, do sistema de fraturamento, foram de extrema utilidade para a realização do trabalho de campo. Todos os dados foram georeferenciados e trabalhados na plataforma SIG através do uso do software *ArcGIS*<sup>®</sup>.

Através destas imagens foram demarcadas as principais feições geológicas e morfológicas como lineamentos, falhas, contatos, áreas aflorantes, estradas secundárias de acesso, entre outros. Foi feita também uma análise estatística destes lineamentos, gerando diagramas de intensidade e de comprimento dos lineamentos, através do software *Stereonet 7*<sup>®</sup> (Allmendinger, 2011). Foram gerados anaglifos (fotos aéreas na escala 1:60.000), através do software *ILWIS 3.1 Academic*<sup>®</sup> para uma melhor visualização do relevo e uma interpretação geomorfológica da área em 3D. Os anaglifos (Figura 5) foram feitos com o par de fotos aéreas 21688 e 21689, encontradas na foto índice SH-22-Y-C-II-3.



**Figura 5 – Anaglifo da área estudada.**

O mapa geológico base da área e a caracterização geológica regional, descrevendo a geologia da área e as unidades litoestratigráficas do Complexo Porongos, tiveram como base os dados do mapeamento da Folha Piratini desenvolvido por Orlandi Filho *et al.* (2009), acrescidos das informações coletadas em imagens e durante os trabalhos de campo.

### 3.2. TRABALHO DE CAMPO

Durante esta etapa foram visitados afloramentos de quartzitos e xistos pelíticos do Complexo Porongos na região de Torrinhas, onde foram coletadas as amostras para petrografia e ensaios tecnológicos, realizadas a amostragem, coleta de dados estruturais e a construção do perfil geológico previamente selecionado. O trabalho de campo foi realizado durante os dias 13, 14, 15 e 16 de Março.

#### 3.2.1. COLETA DE DADOS ESTRUTURAIS

Para avaliar a disposição espacial e as relações de contato com as rochas encaixantes, foram coletados dados estruturais de campo, como direção e mergulho

de camadas e da xistosidade, falhas, zonas de contato, lineações de estiramento mineral, eixos e superfícies axiais de dobras e atitude das zonas de fraturas. Os dados estruturais foram coletados com o auxílio de bússola do tipo *Brunton*, na metodologia da “regra da mão esquerda” e devidamente localizados através dos pontos medidos com GPS para o seu georreferenciamento. Com estes dados foram gerados os estereogramas presentes neste trabalho, bem como boa parte da interpretação estrutural da área.

### 3.2.2. PERFIL GEOLÓGICO

Foi realizado um perfil geológico através de caminhamentos pré-selecionados posicionados de modo perpendicular as principais estruturas observadas nas imagens de satélite e fotografias aéreas. Ao longo do perfil foram descritos os principais afloramentos e coletados dados estruturais durante a etapa de campo, integrados com as feições observadas nas imagens previamente analisadas.

### 3.2.3. AMOSTRAGEM

A coleta de amostras foi feita de acordo com as normas técnicas especificadas para cada tipo de análise ou ensaio tecnológico necessário. Cada ensaio define uma quantidade específica de amostra ou tamanhos, alguns destes ensaios ainda exigem a britagem da amostra em diferentes frações. Os ensaios tecnológicos foram baseados em quatro blocos com cerca de 5 a 7 kg cada de dois pontos principais: TD-07 e TD-27.

### 3.3. LABORATÓRIO

A análise laboratorial teve um enfoque maior nos parâmetros mineralógicos, físicos e mecânicos das rochas. Estes parâmetros foram especificados através da análise petrográfica de lâmina delgada e por ensaios tecnológicos normatizados, que serão detalhados a seguir, visando avaliar o potencial físico, químico e mecânico da rocha para seu uso na construção civil, seja como agregado, como rocha ornamental ou de revestimento.

### 3.3.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA

Foram realizadas descrições macroscópicas e microscópicas das rochas encontradas nos afloramentos descritos na área de estudo. A sua descrição macroscópica foi realizada com o auxílio de uma lupa binocular da marca Carl Zeiss Jena. As amostras selecionadas para os levantamentos petrográficos foram encaminhadas para a confecção de lâminas delgadas com espessura de cerca de 30 µm nas dependências do Laboratório de Preparação de Amostras do IGEO (UFRGS). As descrições microscópicas das 3 lâminas delgadas de quartzito selecionadas, foram realizadas com auxílio de um microscópio petrográfico binocular de luz transmitida da marca *MEIJI* modelo *ML9720*. As fotomicrografias de lâminas delgadas foram obtidas também em um microscópio petrográfico binocular de luz transmitida da marca Zeiss, modelo *Imager A.2* com uma câmera acoplada, e processadas através do software *AxioCamMR3 – Zen lite 2012*.

### 3.3.2. ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Como o trabalho visa a avaliação da potencialidade dos quartzitos para seu aproveitamento no uso para a construção civil, foram realizados ensaios tecnológicos para avaliar a eficiência da rocha para seu uso na construção civil. Abaixo seguem os ensaios que foram realizados nos quartzitos amostrados na região, com uma breve descrição da metodologia e finalidade de cada ensaio.

#### 3.3.2.1. ADESIVIDADE À LIGANTE BETUMINOSO

Ensaio realizado para avaliar a propriedade que o agregado tem de ser aderido por material betuminoso. Segundo a norma DNER-ME 078/94, a amostragem para o ensaio deve ser de aproximadamente 500 g de agregado, passando na peneira 19 mm e retido na peneira de 12,7 mm. Este material é lavado e colocado dentro da água destilada durante um minuto e em seguida ser levado à estufa, a 120°C, e nela permanecer durante duas horas. Para a realização do ensaio, a amostra previamente preparada o ligante betuminoso devem ser aquecidos à temperatura especificada conforme o tipo de ligante. O agregado é então envolvido completamente pelo ligante e em seguida colocado sobre uma superfície lisa, para que o ligante esfrie. Em seguida, o agregado coberto pelo ligante, é submerso totalmente em um frasco de vidro contendo água destilada. O

frasco é então colocado em uma estufa a 40°C e mantido em repouso por 72 horas. O resultado será considerado satisfatório quando não houver nenhum deslocamento da película betuminosa.

### 3.3.2.2. ÍNDICES FÍSICOS

Ensaio que determina a massa específica, porosidade e absorção d'água da rocha. Ajuda a definir o grau de alteração da rocha, onde a rocha com alta densidade apresenta uma maior resistência mecânica, alta porosidade indica a baixa resistência mecânica e a elevada absorção d'água pode indicar baixa durabilidade e o favorecimento de manchas pela ação de fluidos.

A amostragem para o ensaio, segundo a norma DNER-ME 195/97, a massa mínima de amostra necessária para o ensaio varia com a dimensão máxima característica do agregado, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1 - Massa mínima de amostra de ensaio (DNER-ME 195/97)**

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
12,5 ou menor	2
19	3
25	4
38	5
50	8
64	12
76	18
100	40
125	75
152	125

Para este ensaio o material amostrado foi lavado e levado à estufa a temperatura entre 105°C e 110°C para atingir sua constância de massa. Em seguida o material é resfriado ao ar até que se atinja uma temperatura em que ele possa ser manipulado e submergido em água potável à temperatura ambiente por um período de 24 horas. A amostra é então removida da água e enxugada com um pano absorvente, de modo que todas as películas visíveis de água sejam eliminadas, para somente depois ser pesada e obtida sua massa na condição saturada superfície seca (B). Após a pesagem, colocá-la imediatamente submergida em um recipiente

com água potável à temperatura de cerca de 23°C e medir a sua massa submersa (C). A balança deve ter sido zerada previamente com o recipiente para amostra, vazio e imerso em água. Secar a amostra em seguida até sua constância de massa à temperatura entre 105°C e 110°C e deixa-la resfriar ao ar até que se torne manipulável para proceder com a pesagem da mesma e determinar sua massa seca (A).

Os resultados são então calculados de acordo com os valores obtidos nas pesagens, chegando-se aos valores de: massa específica aparente seca, massa específica aparente saturada, porosidade aparente e absorção d'água.

### 3.3.2.3. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS

Consiste em determinar a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (m/s) na rocha, e sua norma de ensaio é a ASTM D 2845. Normalmente, para este ensaio, são utilizados os mesmos corpos de prova que serão submetidos aos ensaios mecânicos. Com o ensaio é possível obter indicativos sobre descontinuidades no material, tais como fraturas, fissuras e vazios, e evidenciar a alteração da rocha. É também um parâmetro correlacionável com a massa específica aparente e também com outros parâmetros mecânicos.

### 3.3.2.4. ENSAIO DE CARGA PONTUAL

É um método expedito que foi idealizado e sugerido pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1985) para a classificação da resistência mecânica de rochas. O valor da resistência à carga pontual permite prever certos parâmetros mecânicos das rochas que estão relacionados, como o caso da resistência à tração e a compressão uniaxial. Para que os resultados do ensaio sejam representativos, são necessários cerca de 10 corpos de prova, que podem ser irregulares. O ensaio consiste em colocar o corpo de prova entre duas ponteiras cônicas de metal e encostá-las vagarosamente até segurarem a amostra. É medida então a distância entre as ponteiras e em seguida aplicada uma carga de forma progressiva até que o corpo de prova se rompa. Após a amostra ser rompida, é lido no manômetro a carga máxima aplicada até o momento da ruptura.

### 3.3.2.5. DESGASTE POR ABRASÃO LOS ANGELES

O ensaio por abrasão Los Angeles visa avaliar quantitativamente o desgaste da rocha quando a mesma é submetida a esforços de impacto e atrito em um tambor que contenha a rocha a ser analisada, na forma de agregados, e esferas metálicas como agente abrasivo. A amostra para o ensaio, segundo a norma DNER-ME 035/98, consiste em cerca de 5 kg de agregado, podendo variar esse valor de acordo com a graduação determinada para o ensaio. A amostra deve ser primeiramente lavada e secada em estufa, a temperatura entre 105°C e 110°C, até atingir sua constância de peso. Após a secagem, o agregado é peneirado e quarteado em porções retiradas de diferentes peneiras, de acordo com a graduação escolhida. Então são determinadas as massas de cada porção graduada em separado e depois juntas, tendo assim a massa da amostra seca antes do ensaio.

O ensaio é realizado na Máquina Los Angeles, que consiste em um tambor de dimensões especificadas que tem uma velocidade também específica de rotação que deve ser mantida. A amostra é colocada dentro do tambor juntamente com as esferas metálicas (agente abrasivo) e inicia-se o processo de giro do tambor, a uma velocidade entre 30 a 33 rpm, até completar 500 rotações. Após o ciclo estar completo, a amostra deve ser retirada e passada na peneira de 1,7 mm. O material passante na peneira é descartado, enquanto a amostra retida é lavada e secada em estufa, a uma temperatura entre 105°C e 110°C, durante no mínimo 3 horas. Com o material já seco e em temperatura ambiente, determina-se sua massa da amostra lavada e seca afim de se calcular o valor resultante do ensaio.

### 3.4. INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a realização dos ensaios tecnológicos, os resultados foram analisados e interpretados, ocorrendo sua classificação de acordo com as especificações de normas nacionais (ABNT) e internacionais (ASTM). A interpretação dos resultados foi integrada com a geologia estrutural e geologia regional da região, a fim de proporcionar uma integração entre a geologia de campo, as características físico-mecânicas das rochas e os aspectos geotécnicos.

## 4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos durante as etapas de campo e de laboratório deste trabalho, contemplando a descrição das rochas e suas relações estratigráficas, feições geomorfológicas e análise estrutural da área observadas em campo e imagens de satélite, as descrições petrográficas das amostras selecionadas e os resultados dos ensaios tecnológicos realizados na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC).

### 4.1. GEOLOGIA DA ÁREA

A região de Torrinhas é constituída por gnaisses tonalíticos a granodioríticos, rochas meta-vulcano-sedimentares, recobertos ou em contatos tectônicos com as rochas sedimentares clásticas e vulcânicas associadas da Bacia do Camaquã. As rochas metamórficas estão intercaladas por uma tectônica de baixo ângulo, com os ortognaisses de idade Paleoproterozóica do Complexo Encantadas constituindo a infra-estrutura e os metassedimentos neoproterozóicos do Complexo Porongos compondo uma supra-estrutura. A intensa atuação tectônica gerou as foliações metamórficas de baixo ângulo  $S_1$  e  $S_2$ , que se apresentam orientadas segundo a direção N30-40°E, com mergulhos variados para NW e SE, afetadas por dobras  $F_3$  que apresentam formas abertas a fechadas, com eixos direcionados segundo NE-SW, com baixos caimentos para ambos os quadrantes. Estas dobras controlam o relevo regional e apresentam rompimento dos seus flancos gerando zonas de cisalhamento dúcteis transcorrentes com uma foliação milonítica  $S_3$  superposta (Figura 6).

Os gnaisses apresentam composição tonalítica a sienogranítica e um bandamento de segregação metamórfica com disposição irregular e descontínua e espessura centimétrica (1 a 15 cm). Os metassedimentos clásticos estão representados por espessos pacotes de quartzitos puros intercalados com xistos pelíticos, com ocorrência restrita de xistos calci-silicáticos na porção NE da área (Figura 7).

Os quartzitos compõe um expressivo conjunto de cristas alongadas segundo a direção NE-SW com dezenas de metros de espessura, e constituem um relevo positivo que se destaca na região pela grande quantidade de afloramentos rochosos

(lajeações). As cristas de quartzitos estão separadas por xistos pelíticos que ocupam as áreas um pouco deprimidas da região e possuem raros afloramentos. Nas áreas mais deprimidas e erodidas pelo sistema de drenagem ocorrem exposições das rochas da infra-estrutura. As exposições dos gnaisses são alongadas segundo a direção NE-SW e constituídas por lajeados descontínuos localizados, preferencialmente, nas cabeceiras dos arroios da Divisa e dos Fagundes, nas porções centro-sul da área, com uma exposição mais restrita na porção norte (Figura 7). No extremo leste da área ocorre um leucogranito a muscovita com estrutura milonítica e textura blastoequigranular parcialmente preservada em porfiroclastos de feldspatos, cristais de muscovita tipo “fish” e quartzo estirado. O corpo está deformado e concordante com a estrutura metamórfica encontrada nos ortognaisses e metassedimentos.

Os ortognaisses e os metassedimentos apresentam a mesma orientação das foliações metamórficas, com diferença significativa nas lineações de estiramento, conforme será discutido adiante na geologia estrutural.

No sistema de drenagens da região de Torrinhas os cursos d’água mais longos apresentam direção NE-SW, como os arroios Passo da Caiera e dos Fagundes. Os lineamentos de direção NE-SW representam o traço principal da foliação metamórfica e os principais sistemas de falhas que afetam a Bacia do Camaquã e o Batólito Pelotas. Os quartzitos constituem cristas alongadas e descontínuas com cerca de 2 a 4 km de comprimento.



**Figura 6 – Fase de dobramento com foliação S<sub>3</sub> em afloramento de corte de estrada.**

Entretanto, também se observa longas drenagens de direção NW-SE, como o arroio da Divisa. A intensa rede de drenagens de direção NW-SE está controlada por estruturas rúpteis caracterizadas com um sistema de fraturas de extensão com disposição regional denominado como foliação  $S_4$  nos trabalhos de Remus *et al.* (1987) e Orlandi Filho *et al.* (2009). As fraturas apresentam uma disposição regular e contínua, com um espaçamento de entre 15 e 30 centímetros. Esta penetrabilidade resulta na quebra dos quartzitos ocasionando a descontinuidade das cristas.

Ainda são observadas estruturas rúpteis de direção N-S, caracterizadas por sistemas de fraturas descontínuos associadas à movimentação de zonas de cisalhamentos rúpteis correlatas a Zona de Cisalhamento Passo dos Marinheiros e Pântano Grande.

#### 4.2. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

A área mapeada é constituída predominantemente por rochas do embasamento, sendo identificadas três unidades litoestratigráficas durante o trabalho de campo: (i) gnaisses tonalíticos a sienograníticos do Complexo Encantadas; (ii) quartzitos, mica-xistos e xistos calci-silicáticos do Complexo Porongos e (iii) granitos a muscovita miloníticos da Suíte Cordilheira. As relações de contato entre estas unidades são caracterizadas por corpos alongados e concordantes, definidas por foliações metamórficas subparalelas, como pode ser observado no perfil geológico da Figura 8.

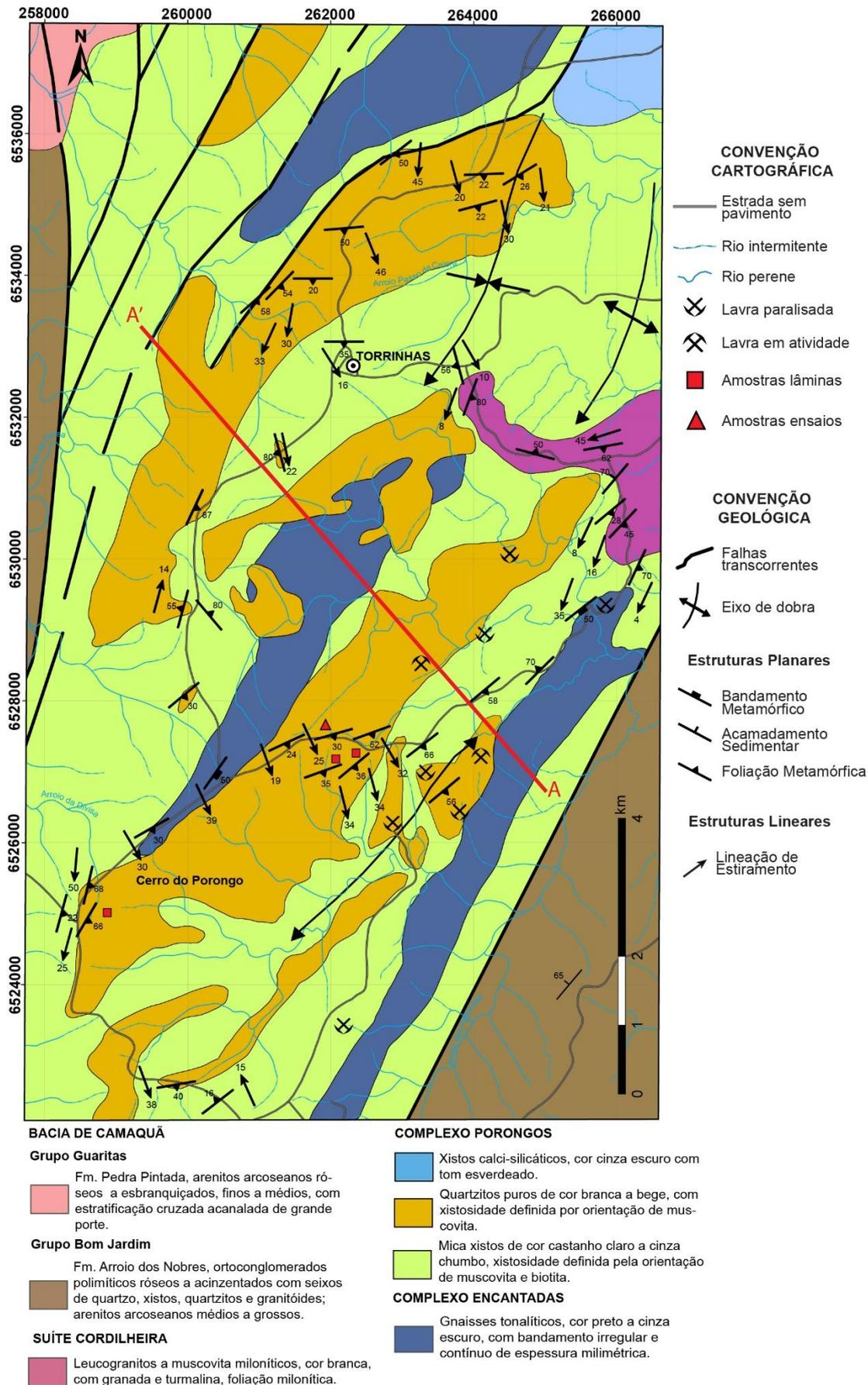
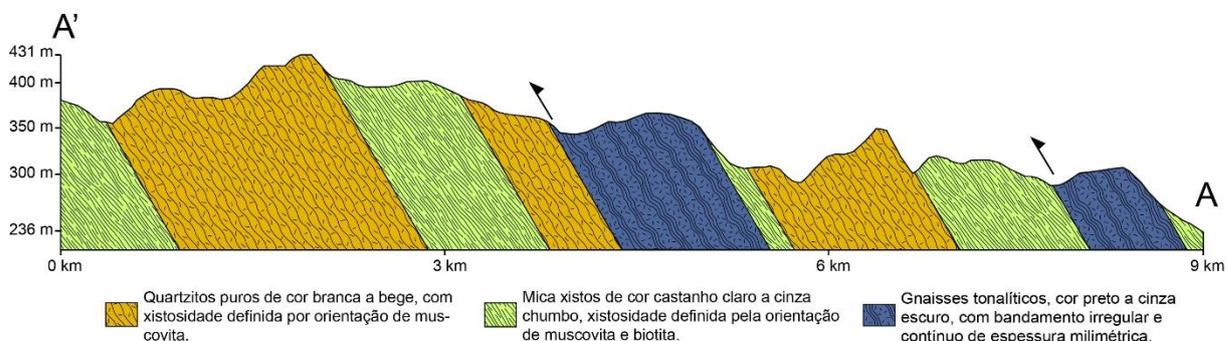


Figura 7 – Mapa geológico da área com o perfil traçado de A – A’ em vermelho.



**Figura 8 – Perfil geológico A – A' com a relação de contato entre as unidades.**

#### 4.2.1 COMPLEXO ENCANTADAS

Os gnaisses tonalíticos pertencem ao Complexo Encantadas e representam a unidade mais antiga da região (Orlandi Filho *et al.* 2009; Camozzato *et al.* 2013). Os corpos aflorantes possuem formas alongadas concordantes com a foliação regional e constituem três corpos localizados nos extremos norte e sul e na porção central da área mapeada (Figura 7). As exposições são raras e os afloramentos são do tipo lajeado em leito de arroio e são descontínuos. Os gnaisses tem cor cinza escura a cinza claro a rosa quando alterados. A estrutura principal é definida por um bandamento irregular com bandas félsicas descontínuas com espessuras entre 2 e 10 mm e níveis máficos dominantes e contínuos com cerca de 2 a 10 cm de espessura (Figura 9A). As bandas félsicas estão estiradas e internamente mostram estiramento dos feldspatos e do quartzo com pronunciada lineação de estiramento (Figura 9B). As bandas máficas são compostas principalmente por plagioclásio, quartzo e biotita e sua cor está relacionada à cominuição gerada pela milonitização. A principal textura é a granoblástica interlobada e inequigranular média (0,2 a 0,3 mm) com estiramento do quartzo e porfiroclastos de feldspato. Subordinadamente ocorre textura lepidoblástica média (0.2 a 0.5 mm) caracterizada pela orientação de agregados de biotita e muscovita.



**Figura 9 – A) Vista geral do bandamento em gnaiss tonalítico, B) detalhe dos porfiroclastos de feldspato estirados.**

#### 4.2.2 COMPLEXO PORONGOS

Os metassedimentos do Complexo Porongos são a principal unidade da área de estudo e são compostos por uma intercalação de camadas espessas de quartzitos puros e de mica xistos, com ocorrência restrita de xistos calci-silicáticos no extremo NE da área. A grande maioria dos afloramentos observados são em quartzitos, que constituem as áreas de relevo positivo caracterizada pelas cristas (Figura 10). Os mica xistos ocorrem nas áreas deprimidas entre as cristas de quartzitos e quase não afloram, sendo envoltos por um manto de alteração com espessura entre 2 e 5 metros. Ambas unidades apresentam uma foliação metamórfica concordante e direcionada segundo a direção NE-SW.



**Figura 10 – Cristas de quartzito se destacam no relevo da área.**

Os quartzitos estão dispostos por toda a porção central da área mapeada com afloramentos do tipo lajeados, ocorrendo cristas contínuas com excelentes exposições com áreas entre 300 e mais de 1500 m<sup>2</sup>. Também ocorrem bons afloramentos em cortes de estrada. Os quartzitos em geral apresentam-se muito pouco alterados, com cor branca ou bege, variando de acordo com a presença de muscovita. Quando alterados possuem cor amarela a laranja com tom avermelhado.

Na área mapeada ocorrem 8 pedreiras de quartzitos que foram explotadas como rocha de revestimento (Figura 11). As pedreiras possuem áreas aflorantes de entre 300 e 1500 m<sup>2</sup> e foram exploradas manualmente durante o final da década de oitenta e nos anos noventa para a retirada de lajotas de tamanhos irregulares de até 1,50 m, que depois são reduzidas para placas com cerca de 15 x 30 cm (Ramgrab & Wildner, 1999).



**Figura 11 – Lavra rudimentar aparentemente abandonada na região.**

As camadas de quartzitos são contínuas e apresentam espessuras variáveis entre aproximadamente 560 metros a 2 quilômetros, de acordo com o perfil geológico realizado na área. (Figura 8). Tanto em campo como no mapa da Figura 7, é possível observar que as lineações quando medidas no interior dos corpos quartzíticos tem um ângulo alto (cavalgamento) em relação a direção da foliação, e quando medidas mais próximas dos gnaisses elas ficam paralelas. Esta relação foi

associada ao efeito da transcorrência mais jovem, que gera zonas mais deformadas próximas aos contatos entre os gnaisses e os metassedimentos.

A estrutura principal é uma foliação milonítica combinada com a xistosidade dos níveis mais ricos em muscovita. A textura principal é granoblástica equigranular média, ocorrendo finos níveis (<0.5 mm) ricos em muscovita caracterizando uma textura lepidoblástica média (0,1 a 0,5 mm). Na maioria dos afloramentos observa-se uma pronunciada lineação de estiramento ( $L_x$ ) caracterizada por porfiroclastos estirados de quartzo e por mica “fish” (Figura 12). A xistosidade é bem desenvolvida e definida pela orientação de finos níveis de muscovita, em geral com menos de 1 mm de espessura. A principal textura é granoblástica poligonal a interlobada média, caracterizada por agregados equidimensionais de quartzo. A mineralogia constituinte é composta por quartzo (95 a 98%) e muscovita (2 a 5%), ocorrendo ainda magnetita, turmalina e zircão como minerais acessórios. Os quartzitos são extremamente fraturados e estão afetados por duas direções de clivagens de fraturas. As fraturas definidas como  $S_3$  apresentam orientação NE-SW e estão caracterizadas por superfícies retilíneas, lisas e descontínuas, com um espaçamento entre 20 e 50 cm. As fraturas caracterizadas como  $S_4$  também são retilíneas, mas mais penetrativas e contínuas que a anterior, com um espaçamento entre 2 e 10 cm, por vezes chegando a 30 cm. Este padrão de fraturamento ocasiona a formação de lajotas losangulares com espessura variada (Figura 13), sendo a rocha bastante quebradiça de acordo com estas estruturas.



**Figura 12 – Foto em detalhe da lineação de estiramento  $L_x$  com porfiroblastos de quartzo estirados e mica “fish”.**



**Figura 13 – Amostras com formato losangular irregular controlado pelas fraturas da rocha.**

Os mica xistos ocorrem nas áreas mais deprimidas do relevo entre as cristas de quartzitos. Os afloramentos são raros e comumente são do tipo corte de estrada, com exposições de rocha muito alterada. Os mica xistos possuem cor cinza claro a chumbo, que adquire tons amarelados a castanho avermelhado na rocha alterada. A principal estrutura é uma xistosidade bem desenvolvida e definida pela orientação de muscovita e biotita, com ocorrência restrita de finos níveis (1 e 3 mm) ricos em quartzo. A textura é lepidoblástica média a grossa (1 a 6 mm) definida por agregados orientados ricos em muscovita. A composição mineral é constituída por muscovita (75 a 80%), quartzo (20 a 25%), magnetita (<1%). Aparecem por vezes com lentes de quartzitos de espessuras métricas em seu interior.

#### 4.2.3 SUÍTE CORDILHEIRA

Os granitos a muscovita identificados foram correlacionados com os granitos peraluminosos da Suíte Cordilheira. As exposições constituem um corpo lenticular deformado com uma foliação milonítica concordante com a xistosidade regional dos metassedimentos. Ocorre na porção leste da área na forma de uma lente alongada segundo a direção NW-SE, definindo uma dobra aberta com eixo alongado para nordeste (Figura 7). Não foram observados contatos diretos com os mica xistos encaixantes, mas a relação é intrusiva, entretanto, a superposição tectônica da deformação gera uma relação de concordância.

Os afloramentos são frequentes e são do tipo lajeado ao longo das drenagens e em leitos de estrada, também ocorrendo cortes de estrada ou matacões. Os granitos estão intensamente deformados e apresentam como estrutura uma foliação milonítica definida pelo estiramento dos porfiroclastos de feldspato e quartzo e pela orientação e estiramento de muscovita. O granito tem cor branca, e quando alterado adquire cor rosa clara. Em áreas menos deformadas possui uma textura blastoequigranular de média a grossa (2 a 10 mm) caracterizada por uma trama de cristais de quartzo e feldspato, com agregados intersticiais de muscovita. A mineralogia constituinte é composta por feldspato (60 a 65%), quartzo (25 a 30%), muscovita (2 a 5%), com granada e turmalina de minerais acessórios.

#### 4.3. GEOLOGIA ESTRUTURAL

A análise das imagens de satélite (Google, Landsat), do modelado do terreno (SRTM) e das fotografias aéreas através dos anaglifos gerados (Figura 5) destaca um relevo acidentado e caracterizado por uma orientação geral segundo a direção NE-SW (N30-40°E). As cristas de quartzitos são a principal feição geomorfológica da área, bem como as áreas deprimidas associadas a erosão diferencial dos mica xistos e dos ortognaisses que controla o principal sistema de drenagens da região. A análise dos lineamentos nas imagens está representada nos diagramas de roseta de intensidade e comprimento da Figura 14, onde é possível observar no mínimo 3 famílias de direções principais. Para o gerar as tabelas de atitudes dos lineamentos foi usado o programa *AzimuthFinder* (Queiroz *et al.*, 2014) uma ferramenta livre que auxilia transformando *shapes* de linhas em tabelas azimutais.

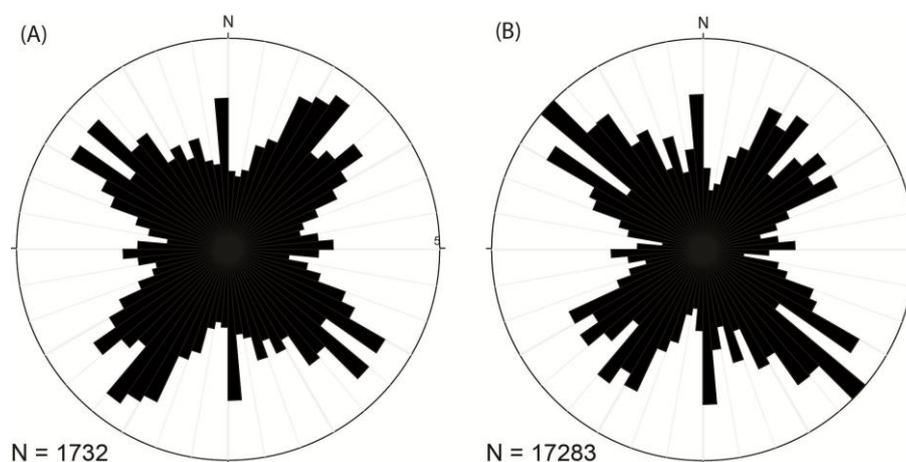


Figura 14 - (A) Diagrama de roseta de frequência e (B) diagrama de roseta de comprimento.

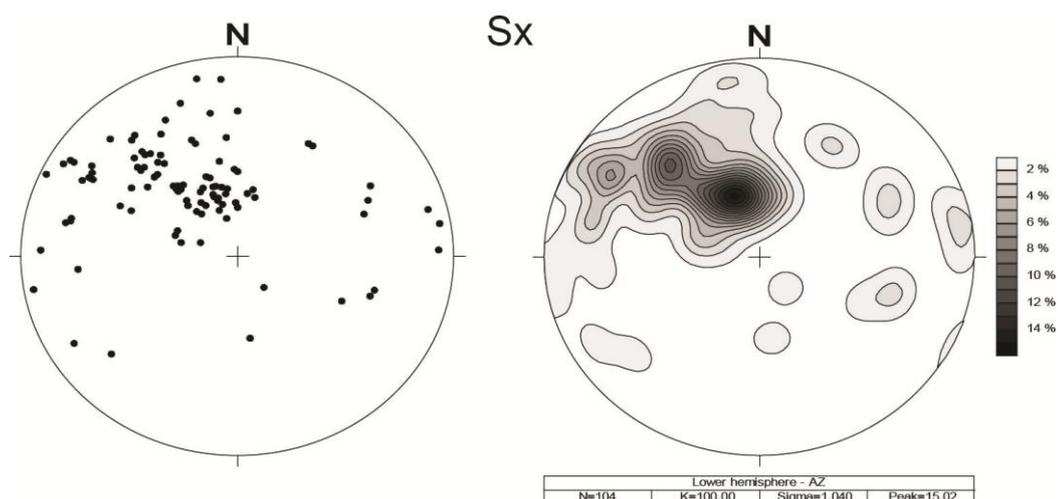
O diagrama de roseta com representação da frequência é calculado de acordo com o número de vezes que aparece cada direção de lineamento em um total de 1732 lineamentos traçados (Figura 14A). Podemos observar que as direções mais intensas tem direção NE, com uma variação entre N25°E e N55°E. Subordinadamente ocorrem lineamentos de direção NW, com uma variação entre N50°W e N60°W. A terceira e menor população de lineamentos apresenta direção NS. No diagrama de roseta de comprimento, podemos observar que os lineamentos mais compridos possuem direção NW, variando entre N50°W e N60°W, enquanto os lineamentos de direções NS e NE são um pouco menores, ou seja, não são tão contínuos (Figura 14B).

O sistema de drenagens da área de um modo geral corresponde muito bem aos resultados dos diagramas. Podemos concluir que os cursos d'água mais contínuos e longos são de direção NW e NE, com as drenagens de direção NS sendo subordinadas e de menor comprimento. O padrão de relevo da área é dominado por lineamentos de direção NE, caracterizado pela ocorrência de cristas alongadas e descontínuas de quartzito, com cerca de 2 a 4 km de comprimento. Do mesmo modo observamos a orientação NE dos corpos de gnaisses tonalíticos.

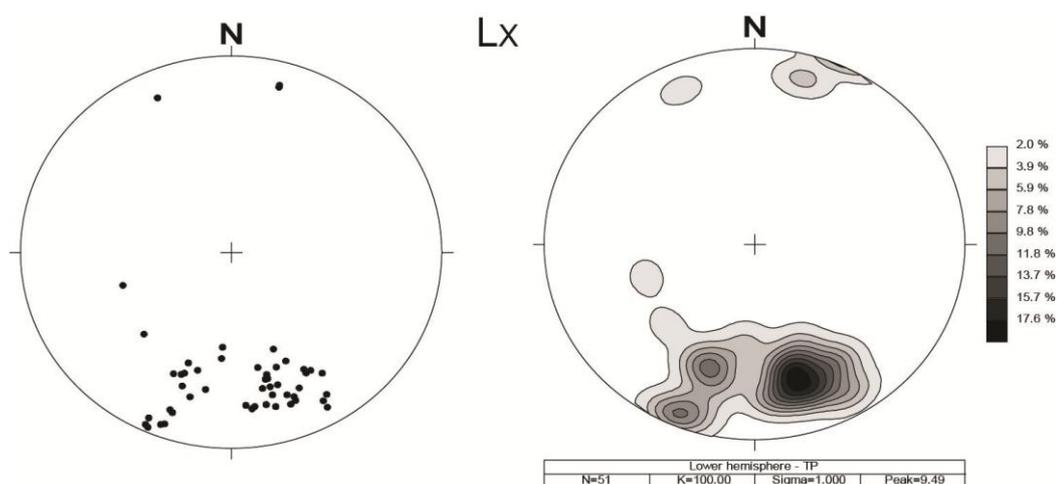
As estruturas de direção NS estão associadas à movimentação de zonas de cisalhamentos rúpteis correlatas a Zona de Cisalhamento Passo dos Marinheiros e Pântano Grande. Os lineamentos de direção NE representam o traço principal da foliação metamórfica e os principais sistemas de falhas que afetam a Bacia do Camaquã e o Batólito Pelotas. Os lineamentos de direção NW representam as fraturas de extensão associadas aos eventos deformacionais que afetaram as rochas do Cinturão Dom Feliciano.

As rochas do Complexo Porongos estão afetadas por quatro eventos deformacionais. A xistosidade regional  $S_x$  está sobreposta ao acamadamento primário, que está parcialmente preservado pela intercalação dos metassedimentos. A xistosidade  $S_x$  está afetada por dobras isoclinais  $F_2$  com e sem raiz, gerando nas zonas de alta deformação uma clivagem de crenulação  $S_2$ . Estas foliações apresentam uma atitude média variável entre N60°E e N80°E, com mergulhos de 50° para o quadrante SE (Figura 15). Esta foliação apresenta uma lineação de estiramento ( $L_x$ ) mineral com caimento de 15 a 20° para a direção média principal de

S15-20°E (Figura 16). Subordinadamente ocorrem lineações de estiramento com caimento entre 2 e 20° na direção S15-30°W. A lineação principal é encontrada internamente nos corpos mais espessos de quartzitos, enquanto a lineação subordinada é observada principalmente próxima às zonas de contato entre os metassedimentos e os ortognaisses.



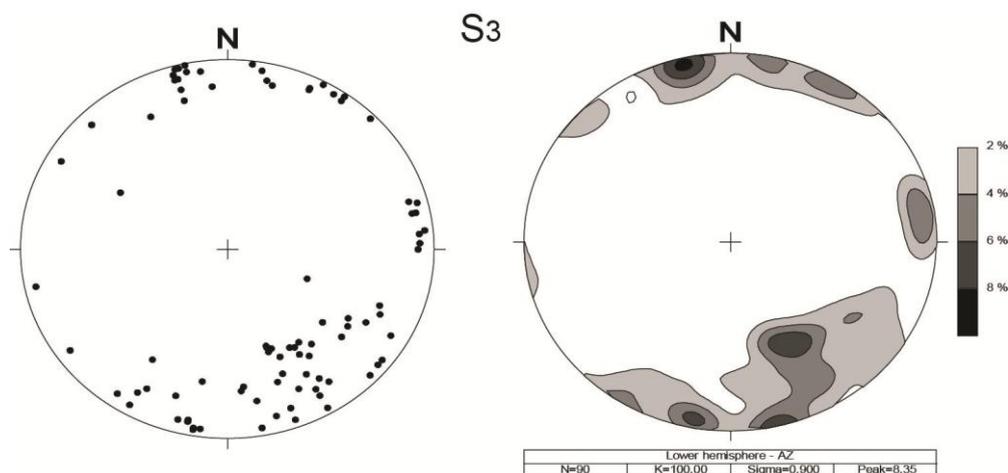
**Figura 15 – Rede equiárea de Schmit (hemisfério inferior) com  $S_x$  representando a xistosidade regional. Estereograma de distribuição de polos dos planos (esquerda) e estereograma de contorno para a distribuição dos polos (direita).**



**Figura 16 – Rede equiárea de Schmit (hemisfério inferior) com estereograma de orientação da lineação de estiramento  $L_x$  (esquerda) e estereograma de contorno da distribuição da lineação.**

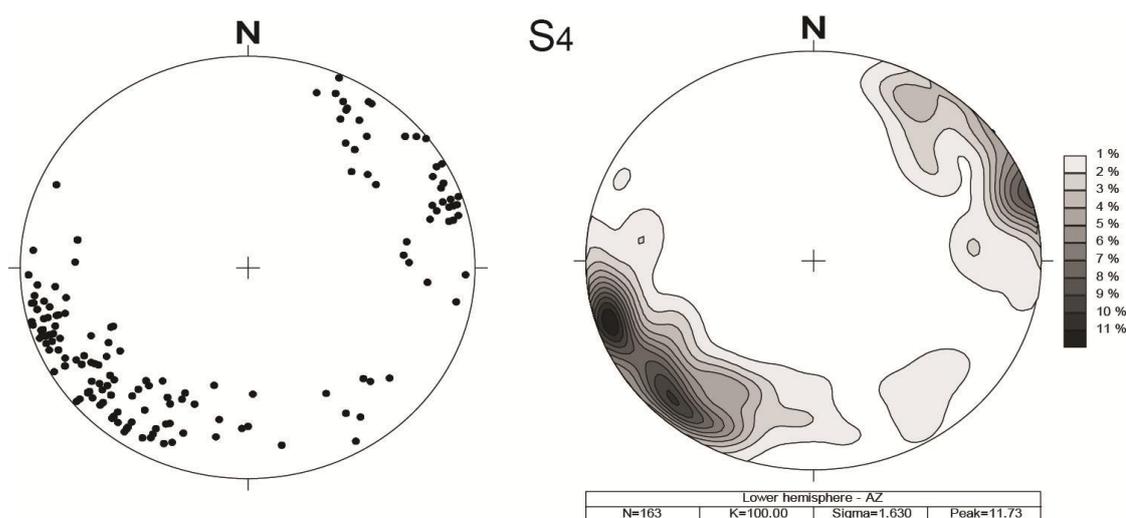
Estas estruturas estão afetadas pela principal fase de dobras ( $F_3$ ) da área. Estas dobras controlam o relevo regional e tem formas abertas a fechadas com eixos orientados segundo a direção NE-SW. A superfície axial desta fase de dobramento constitui a foliação  $S_3$  e tem direção média de N60-70°E, com mergulhos elevados para os quadrantes NW e SE (Figura 17). Esta foliação está marcada em campo por fraturas de superfície axial. Os eixos desta fase de

dobramentos apresentam caimentos variáveis entre 30 e 40° para os quadrantes NE e SW.



**Figura 17 – Rede equiárea de Schmit (hemisfério inferior) com estereograma de distribuição dos polos (esquerda) e estereograma de contorno da distribuição dos polos da foliação S<sub>3</sub>.**

A última fase de deformação é caracterizada pelo dobramento dos eixos das dobras da fase 3 (F<sub>3</sub>) e por um intenso fraturamento de direção NW-SE associado a superfície axial destas estruturas. A atitude média das fraturas S<sub>4</sub> é N40-60°W, com mergulhos subverticais (Figura 18). Estas fraturas são retilíneas, com superfícies lisas e apresentam um espaçamento entre 15 e 30 cm. Estas estruturas são responsáveis pela fragmentação e descontinuidade das cristas de quartzitos.

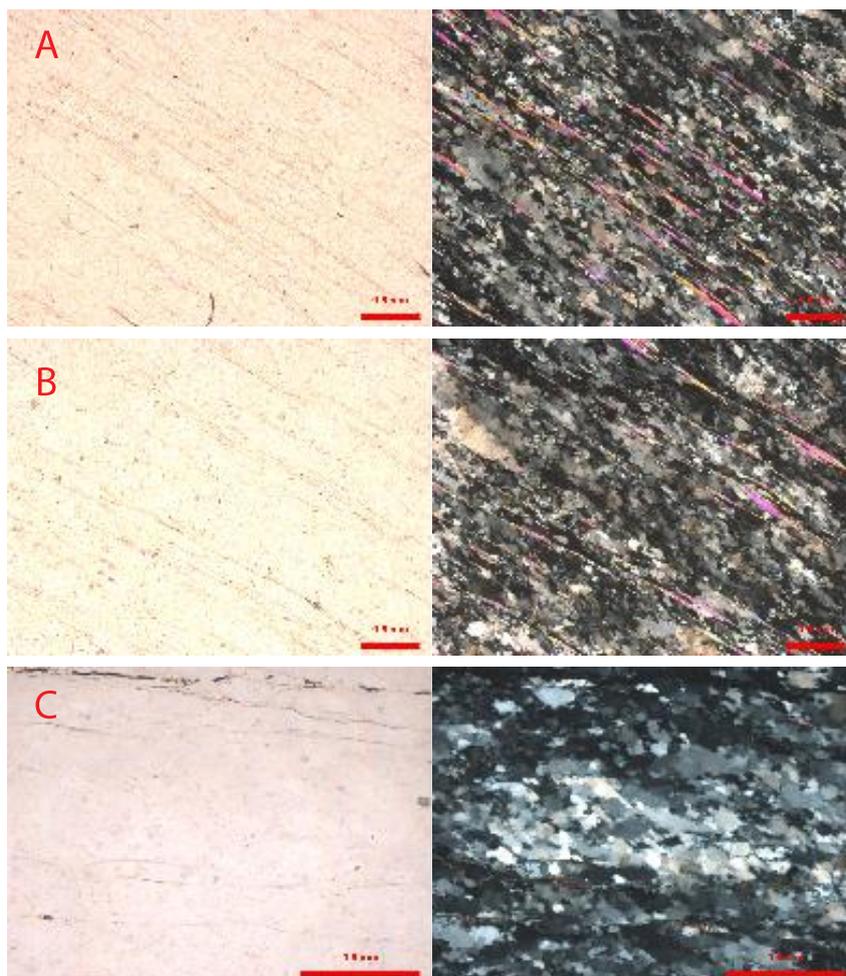


**Figura 18 – Rede equiárea de Schmit (hemisfério inferior) com estereograma de distribuição dos polos (esquerda) e estereograma de contorno da distribuição dos polos da foliação S<sub>4</sub>, representando a última fase de deformação.**

#### 4.4. PETROGRAFIA

Para a etapa de petrografia foram analisadas três lâminas delgadas de amostras de quartzito coletadas durante o trabalho de campo, das quais duas foram descritas como um quartzito puro milonítico e uma como quartzito protomilonítico.

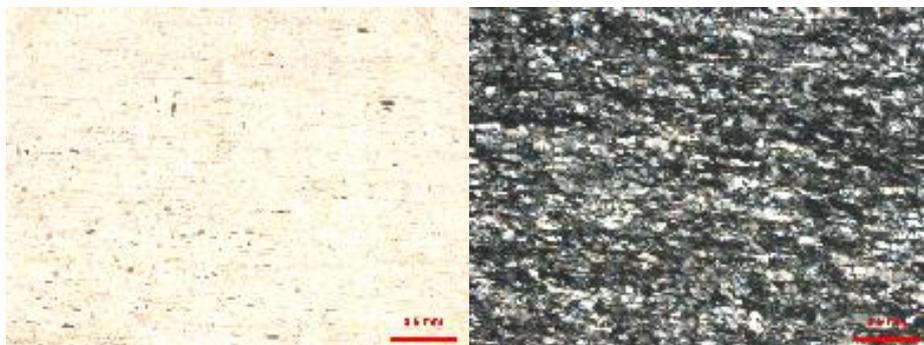
O quartzito puro milonítico aparece no topo de uma crista de grande extensão, onde é possível observar que já houve uma lavra rudimentar da rocha. Em afloramento também aparece em evidência as duas direções de clivagens de fraturas: S<sub>3</sub> e S<sub>4</sub>. Rocha com estrutura principal milonítica, com espaçamento entre 2 a 10 mm definidos por níveis descontínuos ricos em muscovita do tipo “fish”. Secundariamente exibe uma estrutura xistosa com um espaçamento médio entre 2 e 3 cm. Os níveis ricos em muscovita (Figura 19A) separam os níveis mais ricos em quartzo (Figura 19B) com porfiroclastos estirados de quartzo envoltos por uma textura granoblástica poligonal inequigranular fina a média (<0,1 a 0,15 mm) e são quem definem o principal plano de “fraqueza” da rocha. Em lâmina é possível observar uma foliação oblíqua no quartzo entre os níveis de mica “fish” (Figura 19C). A mineralogia dos quartzitos miloníticos é constituída basicamente por quartzo (98-99%), muscovita (1-2%), magnetita (menos de 0,5%) e apresenta turmalina em quantidades traço.



**Figura 19 – Fotomicrografia de lâmina delgada em microscópio. Fotos da esquerda em Luz Natural e da direita em Luz Polarizada.**

O quartzito protomilonítico (Figura 20) também é localizado em topo de crista, com uma boa exposição de cerca de 150 x 200 m, e com a rocha bastante exposta com uma camada de cerca de 10 a 30 cm de rocha mais alterada por cima (quase um solo). É possível observar em afloramento fraturas bastante penetrativas ( $S_4$ ) que afetam bastante a rocha em geral, assim como uma lineação de estiramento bastante proeminente. Apresenta uma estrutura xistosa com um espaçamento entre 1 e 10 cm, com predomínio de espaçamentos menores, em torno de 3 cm. Suas texturas principais são a granoblástica interlobada de fina a média (0,1 a 0,2 mm) marcada por quartzo e a textura lepidoblástica média (0,1 a 0,3 mm) marcada por muscovita. Os níveis de quartzo, assim como no quartzito milonítico, também apresentam uma foliação oblíqua, porém um pouco menos pronunciada. Subordinadamente possui uma textura blastopsamítica que é definida por grãos arredondados sedimentares, uma areia reliquiar. A rocha é composta

mineralogicamente por quartzo (96-97%), muscovita (2-3%), plagioclásio (1-2%) e turmalina (1%).



**Figura 20 –Fotomicrografia da estrutura geral da rocha. Luz Natural e Luz Polarizada.**

#### 4.5. ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Os ensaios de índices físicos, desgaste por abrasão Los Angeles e de adesividade ao ligante betuminoso deste trabalho foram realizados na CIENTEC, enquanto o de propagação de ondas ultrassônicas e de carga pontual foram realizados pelo autor nas dependências do IGEO da UFRGS.

O resultado dos índices físicos para agregados graúdos, conforme norma DNER-ME 195/1997, estão listados na Tabela 2. Estes valores estão diretamente ligados a granulometria da rocha, sua textura e grau de fraturamento. Os valores encontrados nos índices físicos são típicos deste tipo litológico, quando comparado com outros ensaios da literatura.

**Tabela 2 – Resultados dos ensaios de índices físicos.**

Índices Físicos	Valor
Massa específica aparente dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,61
Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,66
Absorção de água (%)	0,80

Para o ensaio de abrasão Los Angeles, a amostra apresentou um valor de 39%. Segundo a especificação técnica DNER-EM 037/1997 de agregado graúdo para emprego em concreto de cimento Portland destinado a obras rodoviárias, o valor do ensaio deve ser inferior a 50%, assim como a norma DNIT 031/2004, que define as especificações a serem usadas na execução de pavimentos flexíveis de estradas de rodagem, assim como o uso de agregado graúdo para o concreto asfáltico. Já a especificação técnica de material ETM-002 (DNIT), que tem como

objetivo estabelecer as diretrizes para lastro padrão de brita para uso em ferrovias, estipula um valor de até 30% para o ensaio. Embora o valor do desgaste por abrasão Los Angeles atenda os limites especificados para o uso do material como agregado em concreto de cimento Portland e concreto asfáltico, e fique próximo ao limite para uso em lastro padrão de ferrovias, chama-se atenção para a elevada friabilidade do material.

Esta friabilidade do material está associada diretamente com os planos de foliação e fraturas da rocha, que constituem-se em planos de fraqueza, apresentando planos de fraqueza. Estes planos de fraqueza apresentam baixa coesão e resultam em uma forte anisotropia mecânica da rocha, o que pode ser observado nos resultados do ensaio de propagação de ondas ultrassônicas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Resultado do ensaio de propagação de ondas ultrassônicas.**

CP	Direção foliação	Comprimento (mm)	Tempo ( $\mu$ s)	Vp (km/s)
1	paralela	154,46	45,6	3,39
2	paralela	95,44	26,4	3,62
	perpendicular	42,03	47,6	0,88
3	paralela	93,62	25,4	3,69
	perpendicular	73,84	43,0	1,72

Os valores de propagação de ondas variam entre 3,39 a 3,69 km/s quando realizados paralelos a foliação metamórfica da amostra, enquanto os ensaios realizados perpendicularmente à foliação apresentam valores de 0,88 e 1,72 km/s, comprovando a anisotropia da rocha. As consequências dessa estrutura foliada se reflete tanto na geometria do agregado, mais achatada ou alongada, como na resistência mecânica final, que é relativamente baixa se considerarmos uma rocha quartzítica inalterada e bem cimentada.

Nota-se também essa anisotropia quando realizado o ensaio de carga pontual (Tabela 4), de forma que as amostras fraturam em formas laminares (Figura 21) antes de romperem por completo. Geralmente quando rompem completamente, isto se dá por alguma fratura pré-existente, possível de observar na Figura 22 a direita, antes do ensaio. Importante salientar que o ensaio de carga pontual é um método simples e expedito, que foi concebido para a classificação da resistência mecânica

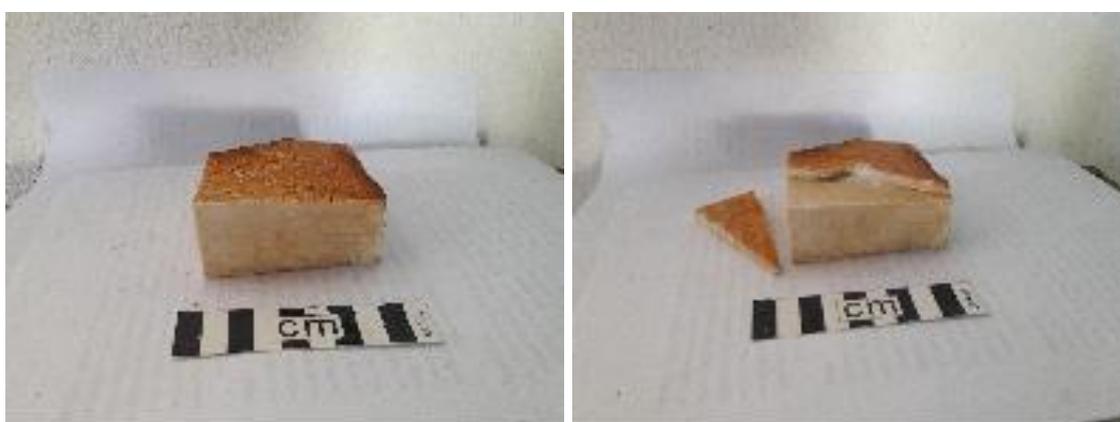
das rochas. Com este ensaio obtém-se o resultado da resistência à carga pontual ( $I_{s(50)}$ ), de modo que este valor pode ser correlacionado como parâmetros para outros ensaios, como é o caso do ensaio de compressão uniaxial. Este ensaio tem a grande vantagem de ser um método simples e rápido de se fazer, podendo ser feito tanto em campo como em laboratório. Com os resultados médios obtidos, ainda é possível calcular o índice de anisotropia da rocha, que é a determinado pela razão dos  $I_{s(50)}$  obtidos nos ensaios com carregamento nas direções paralela e perpendicular à foliação, respectivamente.

**Tabela 4 – Resultados obtidos no ensaio de carga pontual.**

CP	Largura - L - (mm)	Altura - D - (mm)	Carga - P - (kgf)	Umidade (%)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	De (mm)	I <sub>s</sub> (MPa)	F	I <sub>s(50)</sub> (MPa)
1	84,97	41,16	2131,5	natural	4452,98	66,73	4,79	1,14	5,45
2	81,80	38,96	420,5	natural	4057,72	63,70	1,04	1,12	1,16
3	62,10	56,78	948,0	natural	4489,49	67,00	2,11	1,14	2,41
4	51,12	46,95	3659,0	natural	3055,88	55,28	11,97	1,05	<del>12,53</del>
5	73,70	34,72	281,5	natural	3258,05	57,08	0,86	1,06	<del>0,92</del>
6A	81,05	33,60	2320,5	natural	3467,39	58,88	6,69	1,08	<del>7,20</del>
6B	81,05	30,58	1442,0	natural	3155,74	56,18	4,57	1,05	4,82
7A	90,87	44,80	1217,5	natural	5183,33	72,00	2,35	1,18	2,77
7B	90,87	39,46	1327,0	natural	4565,49	67,57	2,91	1,15	3,33
8	64,30	40,64	573,5	natural	3327,17	57,68	1,72	1,07	1,84
9	70,27	54,68	1994,5	natural	4892,25	69,94	4,08	1,16	4,74
10	72,91	55,91	406,0	natural	5190,23	72,04	0,78	1,18	<del>0,92</del>
Média I <sub>s(50)</sub>									3,31
CP	Largura - L - (mm)	Altura - D - (mm)	Carga - P - (kgf)	Umidade (%)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	De (mm)	I <sub>s</sub> (MPa)	F	I <sub>s(50)</sub> (MPa)
11	32,04	51,18	1309,5	natural	2087,87	45,6932	6,27195	0,96028	<del>6,02</del>
12	32,84	50,92	880,0	natural	2129,13	46,1425	4,13315	0,96451	3,99
13	33,82	50,86	783,5	natural	2190,08	46,7983	3,57749	0,97066	3,47
14	34,31	51,12	593,0	natural	2233,17	47,2564	2,65542	0,97492	2,59
15	39,75	59,72	298,5	natural	3022,51	54,9773	0,98759	1,04363	<del>1,03</del>
16	52,55	54,33	523,0	natural	3635,15	60,2922	1,43873	1,08788	1,57
Média I <sub>s(50)</sub>									2,90

Os corpos de prova (CP) numerados de 1 a 10 representam as amostras ensaiadas com carregamento na direção perpendicular à foliação, enquanto os corpos de prova de 11 a 16 foram ensaiados com a carga aplicada na direção paralela à foliação. Conforme o ensaio sugerido pela ISRM (1985) deve-se desconsiderar os dois maiores e os dois menores valores obtidos para cada ensaio,

porém como a quantidade de amostras para os testes paralelos à foliação foi menor, o autor descartou somente o menor e o maior valor. O índice de anisotropia do ensaio ficou como  $I_{a(50)} = 1,14$ , o que significa um baixo valor de anisotropia, já que este índice é considerado quase isotrópico quando próximo a 1 e anisotrópicos quando maiores. Deve-se salientar que no ensaio de carga pontual não foi possível observar claramente o grau de anisotropia da rocha, já que durante os ensaios os corpos de provas não romperam como deveriam devido à foliação da rocha. O autor acredita que o grau de anisotropia é muito maior do que o encontrado, o que poderia se comprovar com ensaios de compressão uniaxial.



**Figura 21 – Rompimento laminar no plano de foliação da amostra.**



**Figura 22 – Rompimento total da amostra.**

Com base em um grande número de ensaios, Broch & Franklin (1972) sugerem que a relação entre o ensaio de carga pontual e o ensaio de compressão uniaxial é em média de 20 a 25 vezes maior, podendo haver uma variação entre 15 a 50 vezes em diferentes tipos de materiais, principalmente se essas amostras forem anisotrópicas. Deste modo, consideram que pode haver erros de até 100% entre esta correlação se for usado uma razão arbitrária. Singh & Singh (1993) com base

em cerca de 65 ensaios, estimaram um fator de conversão de 23,4 para rochas quartzíticas, fator que foi usado neste trabalho para a correlação entre o ensaio de carga pontual e de compressão uniaxial, que é apresentado na Tabela 5 a seguir para comparações com as especificações da ASTM e da ABNT para rochas ornamentais.

**Tabela 5 – Tabela comparativa entre os resultados obtidos e suas especificações para rochas ornamentais e de revestimento.**

Modalidade de Ensaio		Valor	Especificações	
			ABNT NBR 15844	ASTM C 616
Índices Físicos	Massa específica aparente dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,61	≥ 2,55	≥ 2,56
	Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	n.e.	n.e.
	Absorção de água (%)	0,80	≤ 0,4	≤ 1,0
Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas(km/s) //		3,56	≥ 4	n.e.
Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (km/s) ⊥		1,30		
*Resistência à compressão uniaxial (Mpa) //		67,86	≥ 100	≥ 137,9
*Resistência à compressão uniaxial (Mpa) ⊥		77,45		

\* valores estimados a partir do fator de conversão de 23,4 de Sighn & Sighn (1993).

⊥ para ensaios perpendiculares e // para ensaios paralelos.

De acordo com as comparações, podemos observar que a rocha em estudo não atende aos requisitos mínimos especificados para a velocidade de propagação de ondas e para a resistência de compressão uniaxial, apesar da mesma ser estimada pelo ensaio de carga pontual. Para as especificações de massa específica aparente dos grãos a rocha se mostra satisfatória, apesar de estar próxima dos limites mínimos. Como o valor de absorção de água é correlacionável com a velocidade ultrassônica, nota-se que a rocha também não atende aos requisitos mínimos estipulados pela ABNT NBR 15844 (utilizada para rochas em geral), apesar de conter um valor satisfatório para absorção de água de acordo com a ASTM C 616 (para rochas quartzíticas).

Em relação ao ensaio de adesividade ao ligante betuminoso, a amostra teve um resultado não satisfatório. Isto significa que o uso do CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) puro não proporciona adesividade adequada entre o ligante e o agregado, sendo necessário o uso de aditivos na mistura, o que pode não ser viável economicamente em função do teor necessário.

## 5. CONCLUSÕES

Os quartzitos da região de Torrinhas, município de Pinheiro Machado, são rochas de cor branca, quando menos intemperizados, variando ainda entre tons amarelados a avermelhados devido a presença de muscovita. Possuem uma xistosidade bem desenvolvida de fraturas, os quais são determinantes para a geometria de extração de lajotas da área, que apresentam forma losangular ou irregular.

Os quartzitos da região possuem extensões quilométricas e espessuras entre 100 e 350 metros, por vezes quilométricas também. Mesmo tendo exposições e afloramentos consideráveis, o alto grau de deformação e fraturamento da rocha inviabiliza a sua exploração como grandes blocos, o que limita sua exploração para lajotas de revestimento de tamanhos variados.

É importante também salientar que a área possui uma excelente localização com acesso as pedreiras por meio de estradas de chão batido com revestimento e manutenção adequadas com fácil acesso a caminhões. O acesso entre as pedreiras e vila de Torrinhas, também de chão batido, permitem a entrada de caminhões de grande porte. A estrada regional por sua vez dá acesso à BR-293, que pode então ser transportado para todo estado e localiza-se perto do porto de Rio Grande, cerca de 170 km de distância.

Do ponto de vista geotécnico, deve-se considerar que os resultados deste trabalho constituem-se numa primeira aproximação das características tecnológicas da rocha estudada. A grande variabilidade de resultados nos ensaios de carga pontual e velocidade ultrassônica, refletem a intensidade de fraturamentos e o grau de anisotropia da rocha. Este último aspecto, o autor acredita ser maior do que os obtidos nos respectivos ensaios, especialmente no de carga pontual, e poderia ser melhor observado em ensaios de compressão uniaxial.

Com base nos ensaios físicos-mecânicos da rocha, podemos concluir que a rocha pode ser usada como agregado em concreto de cimento Portland e concreto de cimento asfáltico, embora com certas restrições, devido à grande friabilidade e a geometria da rocha britada (agregado), que tende a ficar alongada ou achatada. Na ausência de outro material, ela pode atender às especificações desejadas. O seu

uso para lastro padrão de ferrovias é descartado, já que não atende aos requisitos mínimos no ensaio de abrasão Los Angeles para este tipo de obra, assim como deverá por certo apresentar restrições quanto a forma do agregado.

Os quartzitos apresentam indicações favoráveis para uso como rocha ornamental ou de revestimento. Com um aspecto estético bastante agradável e um valor intermediário do índice de absorção de água, sendo mais aconselhado o seu uso como piso para ambientes internos ou externos mais secos, ou como rocha de revestimento de paredes.

Por fim, pode-se sugerir para trabalhos futuros, que para a utilização do quartzito de Torrinhas em uma escala maior, seria necessário uma gama maior de ensaios tecnológicos. Tanto ensaios físicos-mecânicos, como o ensaio de compressão uniaxial para confirmar a alta anisotropia da rocha, quanto ensaios para rochas ornamentais, como resistência ao manchamento e ataque químico por exemplo.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15844 (2015). Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo.
- Allmendinger, R. W. (2011). Stereonet© 7.3.0. Cambridge, England.
- Almeida, F. F. M. & Hasui, Y. (1984). O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgar Blücher Ltda. 338 p.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., & Fuck, R. A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1), 1-29.
- Almeida, F.F.M. (1977). O cráton do São Francisco. *Brazilian Journal of Geology*. 7 (4): 349-364.
- ASTM C 616 (1989). *Standard Specification for Dimension Quartzite for SiO<sub>2</sub> > 95% : Ab < 01% - American Society for Testing and Materials*. Weste Conshohocken (USA).
- ASTM D 2845 (1983). *Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock, American Society for Testing and Materials*. West Conshohocken (USA).
- Babinski, M., Chemale, F. Jr, Hartmann, L. A., Van Schmus, W. R. & Da Silva, L. C. (1996). Juvenile accretion at 750–700 Ma in southern Brazil. *Geology* 24, 439–42
- Basei, M. Â. S. (1985). *O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina* (Doctoral dissertation, Instituto de Geociências).
- Bitencourt, M. D. F. & Nardi, L. V. S. (2000). Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 184-187.
- Bom, F.M. (2011). Origem e Evolução do Complexo Várzea do Capivarita, Encruzilhada do Sul, RS. Porto Alegre, 73p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bom, F.M., Philipp R.P. & Zvirtes G. (2013). Evolução metamórfica e estrutural do Complexo Várzea do Capivarita, Cinturão Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, RS. *Pesquisas em Geociências*, 41 (2): 131-153, maio/ago. 2014.
- Broch, E., & Franklin, J. A. (1972). The point-load strength test. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* (Vol. 9, No. 6, pp. 669-676). Pergamon.
- Camozzato, E., Philipp, R. P., & Chemale Jr, F. (2013). Evolução Tectônica e Geocronologia U-Pb em zircão da terminação sul do Terreno Tijucas (RS, Brasil). *VII Congresso Uruguayo de Geología, Montevideo, Resúmenes Extendidos* (p. 7).
- Carvalho P.F. de 1932. Reconhecimento geológico do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, *Boletim do Instituto Geológico de Mineração Brasileira*, 66:1-72.

Chemale Jr. F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-riograndense. *In*: Holz M. & De Ros L.F. (eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, editora CIGO-UFRGS (Centro de Investigação do Gondwana), p. 13-52.

Chemale, F., Philip, R. P., Dussin, I. A., Formoso, M. L. L., Kawashita, K., Berttotti, A. L. (2011). Lu–Hf and U–Pb age determination of Capivarita Anorthosite in the Dom Feliciano Belt, Brazil. *Precambrian Research*. 186 (1): 117-126.

Chiodi, D. K. 2003. Os quartzitos de São Thomé das Letras, Minas Gerais: principais demandas para o desenvolvimento sustentável da atividade produtiva. Seminário sobre Arranjos Produtivos de Base Mineral.

CPRM (1999). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Pedro Osório. SH.22-Y-C: Estado do Rio Grande do Sul / organizado por Gilberto Emílio Ramgrab & Wilson Wildner — Brasília.

CPRM (2009). Programa geologia do Brasil: Piratini: folha SH.22-Y-C-II: Estado do Rio Grande do Sul / organizado por Vitorio Orlandi Filho ... [et al.] — Brasília.

DNER EM 037 (1997). Agregado graúdo para concreto de cimento. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagem*. Especificação de Material. IPR, Rio de Janeiro

DNER ME 035 (1998). Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagem*. Método de Ensaio. IPR, Rio de Janeiro.

DNER ME 078 (1994). Agregado graúdo–adesividade a ligante betuminoso. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagem*. Método de Ensaio. IPR, Rio de Janeiro.

DNER ME 195 (1997). Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagem*. Método de Ensaio. IPR, Rio de Janeiro.

DNIT ES 031 (2004). Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. Especificação de Serviço. IPR, Rio de Janeiro.

DNIT ETM 002 (2015). Lastro padrão de brita. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. Especificação Técnica de Material. IPR, Rio de Janeiro.

Fernandes L.A.D, Tommasi A., Porcher C.C. (1992). Deformation patterns in the Southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(1):77-96.

Fernandes, T. M. G., Godoy, A. M. & Fernandes, N.H. (2003). Aspectos Geológicos e Tecnológicos dos Quartzitos do centro produtos de São Tomé das Letras (MG). *São Paulo, UNESP, Geociências*, v. 22, n. 2, p. 129-141

Fragoso-César A.R.S. (1991). Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 366 p.

Goñi, J. C., Goso, H., & Issler, R. S. (1962). Estratigrafia e Geologia econômica do Pré-cambriano e Eo-paleozóico uruguaio e sul-riograndense. Publicação Avulsa da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 3 : 1-105.

- Hartmann L. A., Chemale Jr. F. & Philipp R. P. 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: FRANTZ JC ET AL. (Eds), *50 anos de Geologia no Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Comunicado e Identidade*, Porto Alegre, RS, Brasil, p. 97–123.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A., Neto, M., Da Silva, L., Trouw, R., & Janasi, V. (2004). Brasileiro orogens in southeast and south Brazil. *The*, 750-550.
- Jost H. & Bitencourt M.F. 1980. Estratigrafia e tectônica de uma fração da Faixa de Dobramentos Tijucas no Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo. 11(7):27-59.
- Jost, H. (1981). Geology and Metallogeny of the Santana da Boa Vista region, South Brazil.
- Leinz, V., Barbosa, A. F., & Teixeira, E. A. (1941). Mapa geológico, Caçapava-Lavras: Rio Grande do Sul. *Min. Metalurgia*, 5(30), 252-258.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., & Wemmer, K. (2011). The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, 100(2-3), 201-220.
- Pertille, J., Hartmann, L. A., Philipp, R. P., Petry, T. S., & de Carvalho Lana, C. (2015). Origin of the Ediacaran Porongos Group, Dom Feliciano Belt, southern Brazilian Shield, with emphasis on whole rock and detrital zircon geochemistry and U–Pb, Lu–Hf isotopes. *Journal of South American Earth Sciences*, 64, 69-93.
- Philipp R.P., Bom F.M., Pimentel M.M., Junges S.L., Zvirtes G. (2016a). SHRIMP U-Pb age and high temperature conditions of the collisional metamorphism in the Várzea do Capivarita Complex: implications for the origin of Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 66:196-207.
- Philipp R.P., Lusa M., Nardi L.V.S. (2008). Geochemistry and petrology of dioritic, tonalitic and trondhjemitic gneisses from Encantadas Complex, Santana da Boa Vista, southernmost Brazil: a Paleoproterozoic continental-arc magmatism. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80(4):735-748.
- Philipp, R. P., & Machado, R. (2005). The late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(4), 461-478.
- Philipp, R. P., Machado, R., & Chemale Jr, F. (2003). Reavaliação e novos dados Geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações Petrogenéticas e Idade de Reativação das Zonas de Cisalhamento. *Geol. USP, Série científica*. v.3 n.1 São Paulo
- Philipp, R. P., Machado, R., & Chemale Jr, F. (2007). A Geração dos granitóides Neoproterozóicos do Batólito Pelotas: evidências dos isótopos de Sr e Nd e implicações para o crescimento continental da porção sul do Brasil. *Ianuzzi R. & Frantz JC (org.)*, 50, 59-77.
- Philipp, R. P., Nardi, L. V. S., & Bitencourt, M. F. (2000). O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. *Geologia do Rio Grande do Sul*, 133-60.
- Philipp, R. P., Pimentel, M. M., & Chemale Jr, F. (2016). Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46, 83-104.

Picada, R. S. (1971). Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense. Caracterização dos sistemas de falhas. *Congresso Brasileiro de Geologia*, 25, 167-191.

Queiroz, G. L., Salamuni, E., & Nascimento, E. R. D. (2014). Azimuthfinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. *Geologia USP. Série Científica*, 14(1), 69-80.

Rapela C.W., Fanning C.M., Casquet C., Pankhurst R.J., Spalletti L., Poiré D., Baldo E.G. (2011). The Rio de la Plata craton and the adjoining Pan-African/brasiliano terranes: Their origins and incorporation into south-west Gondwana. *Gondwana Research*, 20:673-690.

Remus M.V.D., Philipp R.P., Faccini U.F., Junges S.L. (1990). Contribuição ao estudo geológico-estrutural dos Gnaisses Encantadas e das relações com as supracrustais Porongos na região de Santana da Boa Vista-RS. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, *Anais*, 2:2358-2370.

Remus, M.V.D.; Faccini, U.F.; Tedesco, M.A. & Philipp, R.P. (1987). Evolução estrutural dos metamorfitos Porongos a sul do Rio Camaquã. *III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Atas*, Curitiba, 1: 223-243.

Singh, V. K., & Singh, D. P. (1993). Correlation between point load index and compressive strength for quartzite rocks. *Geotechnical and geological Engineering*, 11(4), 269-272.

Soliani Jr. E. (1986). *Os dados geocronológicos do Escudo Sul Rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica*. São Paulo, Tese de Doutorado em Geociências, Universidade de São Paulo, 425p.