



Caracterização Tecnológica de Quartzitos do Estado do Ceará

Luzia Suerlange Araújo dos SANTOS¹, Wollker Cunha SOARES¹, Roney Sérgio M. de MOURA¹, Davi Aland Ferreira GOMES¹, José de Araújo NOGUEIRA NETO², Leonardo Corecco de QUEIROZ³

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar as caracterizações tecnológicas, em 20 tipos de quartzitos de ocorrências variadas, de 11 localidades do estado do Ceará, a partir dos ensaios físico-mecânicos: Índices Físicos (porosidade, densidade e absorção d'água), resistência à flexão 3 pontos, resistência à compressão, resistência ao impacto e resistência ao desgaste Amsler. Por se tratar de uma rocha com características bastante exóticas, feições maciças e aspecto agradável, os quartzitos, vem se destacando no setor de rochas ornamentais. A caracterização físico-mecânicas das rochas ornamentais desempenham papel importante para classificar as condições da rocha e sua finalidade. Os resultados deste estudo foram comparados com valores limites sugeridos pelas normas: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 15845:2015 e American Society for Testing Materials – ASTM C 615-11. Os ensaios apresentaram médias de resistência a compressão uniaxial de 72,24 MPa, resistência a flexão de 7,11 MPa, absorção aparente de 0,38%, porosidade aparente de 0,38%, densidade aparente em 2774,51 kg/m³, desgaste em 1000m, de 0,54cm e impacto de corpo duro, de 0,50m. Possui qualidade estética muito boa, é resistentes, podendo ser usada na construção civil, como revestimentos em ambientes internos e externos; a resistência a flexão, somente 30% das amostras atendem aos limites adotados pelas normas especificadas, devendo assim, evitar usar-los em locais exteriores sujeitos a ação do vento; apresenta porosidade, considerada média, esse parâmetro não comprometeu a resistência da rocha, deve-se evitar usá-los em locais com prolongado contato com a água ou qualquer substância química; É uma rocha resistente ao desgaste por abrasão, podendo assim, ser utilizada em locais com grande fluxo de movimento como shoppings, estações de metrô, estações rodoviárias e aeroportos; a resistência ao impacto de corpo duro, exibiram uma boa resistência ao choque, podendo ser usada para revestimento de pisos, degraus, mesas, balcões e pias.

Palavras-Chave: Rochas Ornamentais; Caracterização Tecnológica; Revestimento.

¹ Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC

² Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) – Campus de Aparecida de Goiânia (CAP) – Universidade Federal de Goiás (UFG)

³ GeoSystem – Engenharia, Geologia e Meio Ambiente

Autor para correspondência: Luzia Suerlange Araújo dos Santos

Rua Prof. Rômulo Proença, s/n – Campus Universitário do Pici – Fortaleza, CEP 60.455-760.

E-mail: luzia.santos@nutec.ce.gov.br

Recebido em 30 de Agosto de 2017 / Aceito em 04 de Dezembro de 2017.

ABSTRACT: *This paper have as an objective show a technological characterization, in 20 quartzites samples of various occurrences, of different cities of Ceará State, totalizing 11 localities, from physical-mechanical tests: physical indices (porosity, density and water absorption), bending strength in 3 points, compressive strength, impact resistance and Amsler wear resistance. Due to it has an exotic characteristics, like massive features and a chromatic aspect, the quartzites, has been highlighting in the ornamental rocks sector. The physical-mechanical characterization of ornamental rocks play an important role in the classification of rock conditions and their purpose. The results of this study were compared with the limit values suggested by the standarts: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR15845:2015 and American Society for Testing Materials – ASTM C 615-11. The presented tests means values of uniaxial compression strength of 72.24 MPa, flexural strength of 7.11 MPa, apparent absorption of 0.38%, apparent porosity, 0.38%, apparent density, 2774.51 kg/m³, wear in 1000 m of 0.54 cm and hard body impact, from 0.50 m. These quartzites have a very good aesthetic quality, they are resistant, can be used even in civil construction, as coating an internal and external environments. In flexural strength, only 30% of the samples attended the adopted limits by the specified standards and thus avoid using them in external locations subject to wind action. Have porosity, considered as average, this parameter did not compromise the resistance of the rock, but it should be avoided to use them in places with prolonged contact with water or any chemical substance. It is a rock resistant to wear by abrasion, so it can be used in places with great flow of movement such as shopping malls, subway stations, bus stations and airports. The hard body impact, exhibited good resistance to shock, and can be used to coat floors, steps, tables, counters and sinks.*

Keywords: *Ornamental rocks; Technological characterization; Coating.*

1. INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais no estado do Ceará é crescente e teve impulso a partir dos anos 90, quando se iniciaram as primeiras extrações. Nesse período as atividades foram intensificadas, com os trabalhos realizados pela Companhia Cearense de Mineração – CEMINAS, em parceria com o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, onde foram identificados os primeiros jazimentos favoráveis à exploração técnico-econômica desses materiais (MELO & CASTRO, 1989).

A região do semiárido, apesar de não deter a maior produção, verifica-se a maior diversidade geológica do país, ou seja, maior diversidade de litologias e evolução tectônica. Dentre os estados

Nordestinos, destacam-se a Bahia, o Ceará e Paraíba como os três maiores produtores, (PARAHYBA et al, 2009).

O estado do Ceará vem se destacando no cenário nacional, aparece como terceiro estado do Brasil e o primeiro do Nordeste em exportação de rochas ornamentais, figura 01. Isso se deve ao incremento nos setores da construção civil e arquitetura, os quais desenvolvem papel importante na economia do estado do Ceará, impulsionado, ainda mais, o setor de rochas ornamentais.

De acordo com o Sindicato das Industrias de Mármore e Granitos do Estado do Ceará – SIMAGRAN – CE – o Ceará, embora distantes dos primeiros,

mas com perspectiva de consolidar sua posição entre os três maiores polos produtores, principalmente, com a chegada das primeiras empresas na Zona de Processamento de Exportação do Ceará - ZPE CEARÁ. Mensalmente, cerca de 4 mil m³ de granitos e quartzitos, com preço de comercialização em blocos brutos (entre US\$ 1 mil m³ e US\$ 2,5 mil m³), são levados do Ceará para o Sudeste, onde são beneficiados e transformados em chapas polidas, seguindo para os Estados Unidos.

O Brasil apresenta um cenário positivo no setor de rochas ornamentais, principalmente nas exportações, o qual exportou rochas ornamentais para 120 países; com destaque para EUA, China e Itália. Tais foram efetuadas por 18 estados brasileiros, sendo os principais: Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará e Bahia (ABIROCHAS, 2017) (Figura 1).

Ceará possui uma variedade de rochas ornamentais, o quartzito aparece como coadjuvante. É uma rocha metamórfica, derivadas de sedimentos

arenosos, formadas por grãos de quartzos recristalizados. Possui características peculiares, são rochas exóticas, com feições maciças e aspecto cromático. O quartzito apresenta um leque de opção para sua aplicabilidade, como: uso em fachadas, praças, mesas, dentre outros.

As rochas ornamentais com suas características: qualidades estruturais, estética (cor, brilho, padrão textural) e modismo, vem cada dia ganhando mais espaço, com isso tem acarretado maiores exigências e critérios para seleção e aplicabilidade desse material. A caracterização físico-químicas e mecânicas das rochas ornamentais desempenham papel importante para classificar as condições da rocha e sua finalidade.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15845:2015 define rochas ornamentais como material rochoso natural submetido a diferentes graus e tipos de beneficiamento ou afeiçãoamento (bruta,

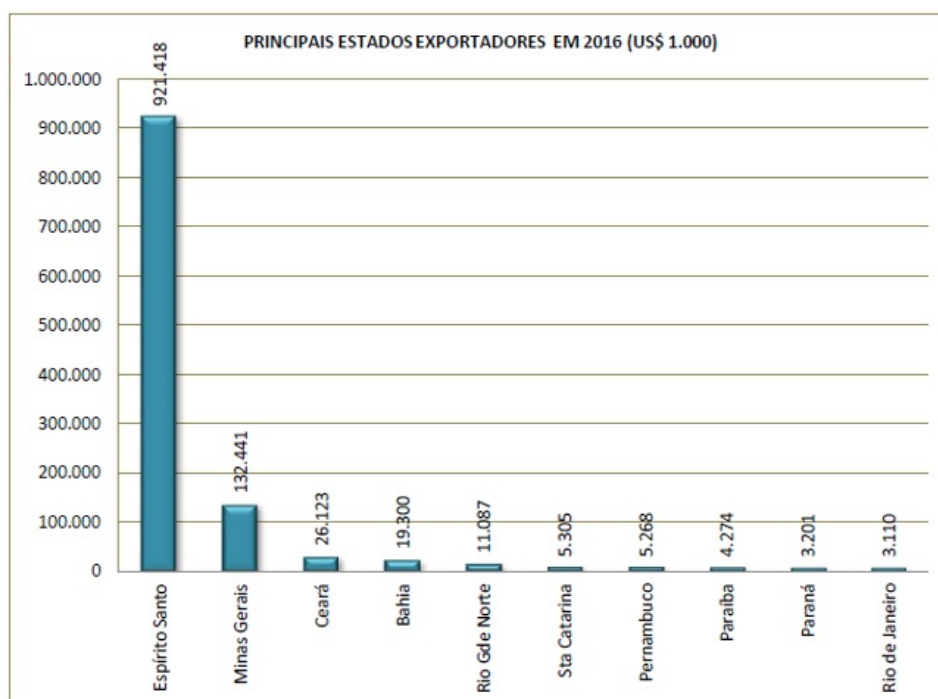


Figura 1: Principais estados exportadores de rochas ornamentais em 2016 (ABIROCHAS, 2017).

aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética.

Para definir o uso e a aplicação das rochas ornamentais, se faz necessário o conhecimento do ambiente em que as mesmas serão aplicadas, bem como sua composição mineralógica, textura, porosidade, entre outros.

Dado o dinamismo e a importância do setor mineral no estado do Ceará, o estudo realizou ensaios de caracterização tecnológica em 20 amostras de quartzitos, de diferentes municípios do Estado, sendo eles: Santana do Acaraú (02 amostras), Russas, Ocara (02 amostras), Granja (03 amostras), Hidrolândia, Sobral (02 amostras), Canindé (02 amostras), Morrinhos, Independência, Viçosa do Ceará (02 amostras), Massapê e Beberibe.

O objetivo da pesquisa é contribuir com o setor mineral do estado do Ceará, os de rochas ornamentais e o da construção civil, apresentando estudo das propriedades físico-mecânicas desses materiais. Tal estudo, em detrimento das características tecnológicas (resistências física e mecânica), deverá proporcionar um melhor conhecimento das características desta rocha, contribuindo para especificar o melhor uso.

Os resultados destes

estudos foram comparados com os valores limites sugeridos pelas normas: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15845:2015 – Rochas para Revestimento, Partes: Parte 02 - Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água; Parte 05 - Determinação da resistência à compressão uniaxial; Parte 06 Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos); e Parte 08 Determinação da resistência ao impacto de corpo duro; NBR 12042:2012 - Materiais Inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão; e American Society for Testing Materials – ASTM C 615-11. Os valores limites especificados nas referidas normas, encontram-se apresentados na tabela 1.

1.1 Caracterização Tecnológica

Realizada por meio de ensaios físicos-mecânicos e químicos, a caracterização tecnológica das rochas é o principal parâmetro grande importância, é a primeira etapa para definir a finalidade ou aplicabilidade da mesma. Os parâmetros analisados qualificam as rochas e permitem direcionar seu uso, sejam eles: pavimentação, revestimentos de fachadas, balcões pilares, peças decorativas e de mobília, dentre outras

Tabela 1: Valores limites especificados pelas normas: ABNT 15844:2015 e ASTM C 615-11.

Propriedades	ABNT 15845:2015	ASTM C 615-11
Densidade (kg/m ³)	>2.550	≥ 2.560
Porosidade (%)	1	n.e.
Absorção Aparente (%)	< 0,4	≤ 0,4
Desgaste Amsler (mm)	< 1,0	n.e
Resistência Compressão Uniaxial (MPa)	> 100,0	≥ 131
Resistência Flexão (módulo de ruptura) (MPa)	> 10,0	≥ 10,34
Resistência ao Impacto Corpo Duro (m)	> 0,3	n.e.

funções. A escolha do material a ser empregado nas obras de construção civil, além das características físico-mecânica das rochas, leva em conta, mais fortemente, os parâmetros relacionados à sua beleza, como, cor e textura.

A caracterização tecnológica indica e conduz as possíveis ocorrência das mais diversas patologias geradas em função da deterioração das rochas, que não estão adequadas às condições ambientais e aos esforços aos quais são submetidas.

Segundo Duarte (2003) as propriedades físico-mecânicas e químicas das rochas, devem ser observadas, pois em locais com características diferentes daquelas onde foram formadas, ficam sujeitas a condições agressivas, sejam antrópicas (atrito ou desgaste, choques, contatos com produtos industriais dentre outros) ou naturais (variação de temperatura, exposição solar, água e gelo).

1.1.1 Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial

As propriedades mecânicas de uma rocha são regidas pelo tipo de reação que a mesma oferece quando sobre ela atuam forças, onde induzirão um determinado estado de tensão e deformação na rocha (DIONÍSIO, 1997).

O ensaio de compressão uniaxial determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha, quando a mesma é submetida a esforços compressivos unidirecionais (Frasca, 2002). Tem por objetivo avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física (grau de fraturamento, trincamento, dentre outros parâmetros pertinentes).

De acordo com Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses – ISRM (1977), as rochas podem ser classificadas com base na resistência à compressão simples, conforme tabela 02.

Tabela 2: Classificação ISRM

ISRM 1978				
Classificação 1978	(MPa)			
Extremamente branda (solo)	< 1			
Muito branda	1 – 5			
Branda	5 – 25			
Resistência Média	25 – 50			
Resistente	50 – 100			
Muito resistente	100 – 250			
Extremamente Resistente	>250			

ISRM 1977				
Intervalos MPa (Kg/cm ²)	Símbolos		Designações	
> 200 (>2000)	S1	S ₁₋₂	Muito elevada	Elevada
60 – 200 (600 - 2000)	S2		Elevada	
20 – 60 (200 – 600)	S3		Média	Média
6 – 20 (60 – 200)	S4	S ₄₋₅	Baixa	Baixa
< 6 (< 60)	S5		Muito baixa	

Valores elevados de resistência à compressão implicam, de maneira geral, em rochas de baixa porosidade e alta resistência mecânica. Segundo Benavente (2006), os materiais de alta porosidade, grau de alteração elevado e densidade de fraturamento intensa, implicam em uma resistência mecânica baixa.

1.1.2 Resistência à Flexão Três Pontos

O ensaio visa determinar qual a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores. Quanto maior a porosidade e o grau de fissuramento, menor a resistência da rocha.

1.1.3 Resistência ao Desgaste Amsler

Este ensaio simula o resultado do atrito ou desgaste devido ao alto tráfego de pessoas em determinados ambientes, permite mensurar o comportamento de uma determinada rocha para ser utilizada em revestimento de pisos.

1.1.4 Índices Físicos (Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'Água)

Estes ensaios fornecem indicações relacionadas à existência e comportamento de fissuras e poros existentes na rocha, permitindo a avaliação indireta do estado de alteração e de coesão das mesmas. Esses ensaios são importantes, pois a alterabilidade, a durabilidade e o comportamento físico e mecânico das rochas ornamentais estão relacionadas ao movimento dos fluídos dentro do material rochoso. As patologias observadas em rochas de revestimento, como manchas por exemplo, está associada à percolação e/ou acumulação desses fluídos.

1.1.5 Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Este ensaio dá informação acerca da capacidade do material suportar ações mecânicas instantâneas e dissipar energia. A capacidade de um determinado material absorver energia do impacto está ligada à sua tenacidade que, por sua vez, está relacionada à sua resistência e ductilidade, propriedades dependentes do grau de imbricação dos cristais, estado microfissural e porosidade da rocha. É importante para os materiais que são utilizados como revestimento e pisos.

2. GEOLOGIA REGIONAL

O Estado do Ceará possui uma geologia bastante complexa, o que contribui em muito no seu rendimento como produtor de rochas com a finalidade ornamental. Desta forma foram coletadas amostras de domínios diferentes em vários municípios: Granja, Viçosa do Ceará, Morrinhos, Santana do Acaraú, Massapê e Sobral, representando o Domínio Médio Coreauá; Hidrolândia, Canindé, Beberibe, Ocara e Independência, representando o Domínio Ceará central; e o município de Russas, representando o Domínio Rio Grande do Norte.

Geologicamente, o Ceará situa-se na Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977), nordeste do Brasil (Figura 02).

A Província Borborema (PB) é composta por rochas de idade que variam do Arqueano ao Neoproterozóico, cuja estruturação atual foi desenvolvida no final do Neoproterozóico (ca. 600Ma), durante a orogenia Pan-africano/Brasílica, marcada por intenso magmatismo granítico e pela formação de extensas zonas de cisalhamento (ZC) transcorrentes. Segundo Brito Neves *et al.* (2000) a porção setentrional da

Província Borborema pode ser dividida nos seguintes domínios:

- i – Médio Coreaú (DMC – entre a zona de cisalhamento Sobral Pedro II e o cráton São Luis-Oeste África);
- ii – Ceará Central (DCC – entre as zonas de cisalhamento Sobral Pedro II e Senador Pompeu) e
- iii – Rio Grande do Norte (DRGN – entre as zonas de cisalhamento Senador Pompeu e Patos).

O Domínio Médio Coreaú (DMC) está localizado a noroeste do Estado do Ceará e nordeste do Estado do Piauí. Limita-se pela Bacia do Parnaíba a oeste e pela bacia do Jaibas a sudeste e pelo oceano atlântico a nordeste.

Sua morfologia predominantemente de nappes deve-se à colagem dos crátons São Luís – Oeste África, que aglutinou o embasamento e todos os cinturões móveis neoproterozoicos. As nappes são seccionadas posteriormente por zonas de cisalhamento transcorrentes, regionalmente identificado como Lineamento Sobral-Pedro II (Brito Neves *et al.*, 2000). Para Santos *et al.* (2008), representa a margem noroeste da Província Borborema, compreendendo um cinturão colisional brasileiro/pan-africano formado durante a aglutinação do supercontinente Gondwana.

O embasamento desse domínio é composto de rochas metamórficas de alto grau, apresentando idades de 2,29 – 2,36 Ga (FETTER *et al.*, 2000; NOGUEIRA NETO, 2000; SANTOS *et al.*, 2008; AMARAL *et al.*, 2012). É constituído por ortognaisses TTG (tonalito, tronjhemito e granodiorito), migmatitos, enderbitos, granulitos, kinzigitos e khondalitos (SANTOS *et al.*, 2009; AMARAL *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2014), sendo referido como Complexo Granja por Brito Neves (1983).

No DMC ocorrem quartzitos puros

e micáceos compactos e laminados (Grupo Martinópole) (NOGUEIRA NETO *et al.*, 2014) e os quartzitos conglomeráticos da Formação Trapiá (Grupo Ubajara) (CAVALCANTE, 2003). Corpos graníticos também de idade Neoproterozoica (Plutons Mucambo e Meruoca) ocorrem localizados no limite sudeste do DMC.

A Bacia do Jaibas e o Grupo Jaibas representam a unidade litoestratigráfica do limite SE. É uma bacia residual molássica continental, poligonal, com vulcanismo bimodal (TORQUATO & NOGUEIRA NETO, 1996 E NOGUEIRA NETO, 2000) de idade Cambriana, possuindo quartzitos da Formação Massapê.

Por fim, o Grupo Barreiras, constituindo uma cobertura sedimentar terrígena continental e marinha (ARAI, 2006) de idade miocênica a pleistocênica inferior (SUGUIO & NOGUEIRA, 1999).

O Domínio Ceará Central é a unidade geotectônica mais extensa da porção setentrional da Província Borborema e abrange quase a totalidade do estado do Ceará. É limitado a noroeste pela zona de cisalhamento Sobral - Pedro II, que corresponde ao lineamento transbrasileiro e a sudeste pela zona de cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP), sendo encoberta pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba na porção sudoeste e oeste.

Por sua vez, Fetter *et al.* (2000) dividiram o DCC em quatro unidades geotectônicas: 1 – Núcleo Arqueano; 2 – Embasamento gnáissico paleoproterozóico; 3 – Supracrustais de idade neoproterozóica e 4 – Complexo Tamboril Santa Quitéria.

O Núcleo Arqueano é representado pelo Complexo Cruzeta, aflorante na porção sudeste do DCC e está limitado a leste pela zona de cisalhamento Senador

Pompeu e a oeste e a norte pelos gnaisses do embasamento Paleoproterozóico. Os Terrenos Arqueanos da região de Pedra Branca/Mombaça são divididos em gnaisses cinza (grey gneisses), derivados de protólitos plutônicos de natureza essencialmente tonalítica/granodiorítica, e rochas supracrustais formando associação do tipo greenstone-gnaisses (PESSOA & ARCHANJO, 1984; CABY & ARTHAUD, 1986; CABY *et al.*, 1995), nos quais, segundo Fetter (1999), afloram os terrenos mais antigos do DCC (2.7 – 2.8 Ga).

As rochas de idade Paleoproterozóica predominam no DCC e podem ser subdivididas em: terrenos do tipo TTG, constituídos principalmente por rochas metaplutônicas de composição tonalítica, com idades entre 2,1 a 2,3 Ga (FETTER, 1999; MARTINS, 2000), a granodiorítica associadas a Faixas Supracrustais, como os quartzitos; e ortognaisses (ARTHAUD, 2005; Parente *et al.*, 2008), com idades de cristalização entre 2.21 a 1.98 Ga e idade modelo TDM entre 2.77 a 2.50 Ga (FETTER, 1999).

O Mesoproterozóico é composto por coberturas metasedimentares que podem ser encontradas no Grupo Ceará (ARTHAUD *et al.*, 1998).

O Grupo Ceará é caracterizado pela ocorrência de rochas essencialmente metapelíticas, que sugerem um início de sedimentação ao redor de 750 Ma a partir do rifteamento do embasamento Arqueano/Paleoproterozóico, e metapsamíticas (CAVALCANTE *et al.*, 2003, FETTER *et al.*, 2003, ARTHAUD, 2008), nos quais Fetter (1999) sugere uma idade U-Pb de 772 ± 31 Ma.

Por fim, os granitos intrudidos durante o ciclo Orogênico Brasileiro, no Domínio Ceará Central, foram agrupados por Arthaud (2008) nas seguintes

categorias: I – Pré-Colisionais, granitos do Arco Magmático de Santa Quitéria; II – Anatéticos aluminosos, granitos de duas micas do tipo S, gerados durante o pico metamórfico (batólito de Senador Pompeu e Banabuiú); III – Sin fase transcorrente, formados durante a fase transcorrente com extrusão lateral (Batólito de Quixeramobim e Quixadá); IV – Pós-colisionais, associados ao colapso da Cadeia Brasileira (Complexos anelares de Tauá e Taperuaba, com exames de diques ácidos a intermediários de Tauá e Independência e stocks graníticos da Serra da Barriga, São Paulo, Reriutaba, Mucambo e Meruóca).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consistiu em agrupar 20 amostras de quartzitos, de 12 diferentes localidades do estado do Ceará, tabela 3, as mesmas foram descritas macroscopicamente e em seu início aos ensaios de caracterização tecnológica. Os mesmos foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Estado do Ceará – NUTEC/LRO. Para fins destes procedimentos técnicos foram adotadas as definições de acordo com as diretrizes das Normas Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 15845:2015, todos os aparelhos contam com uma calibração anual e encontram-se devidamente calibrados. Para o tratamento e confecção de gráficos e tabelas, fez-se uso do Excel versão 2007.

Os dados obtidos a partir de ensaios físicos-mecânicos foram comparados com os valores limites sugeridos pelas normas: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15845:2015 – Rochas para Revestimento, Partes: Parte 02 -

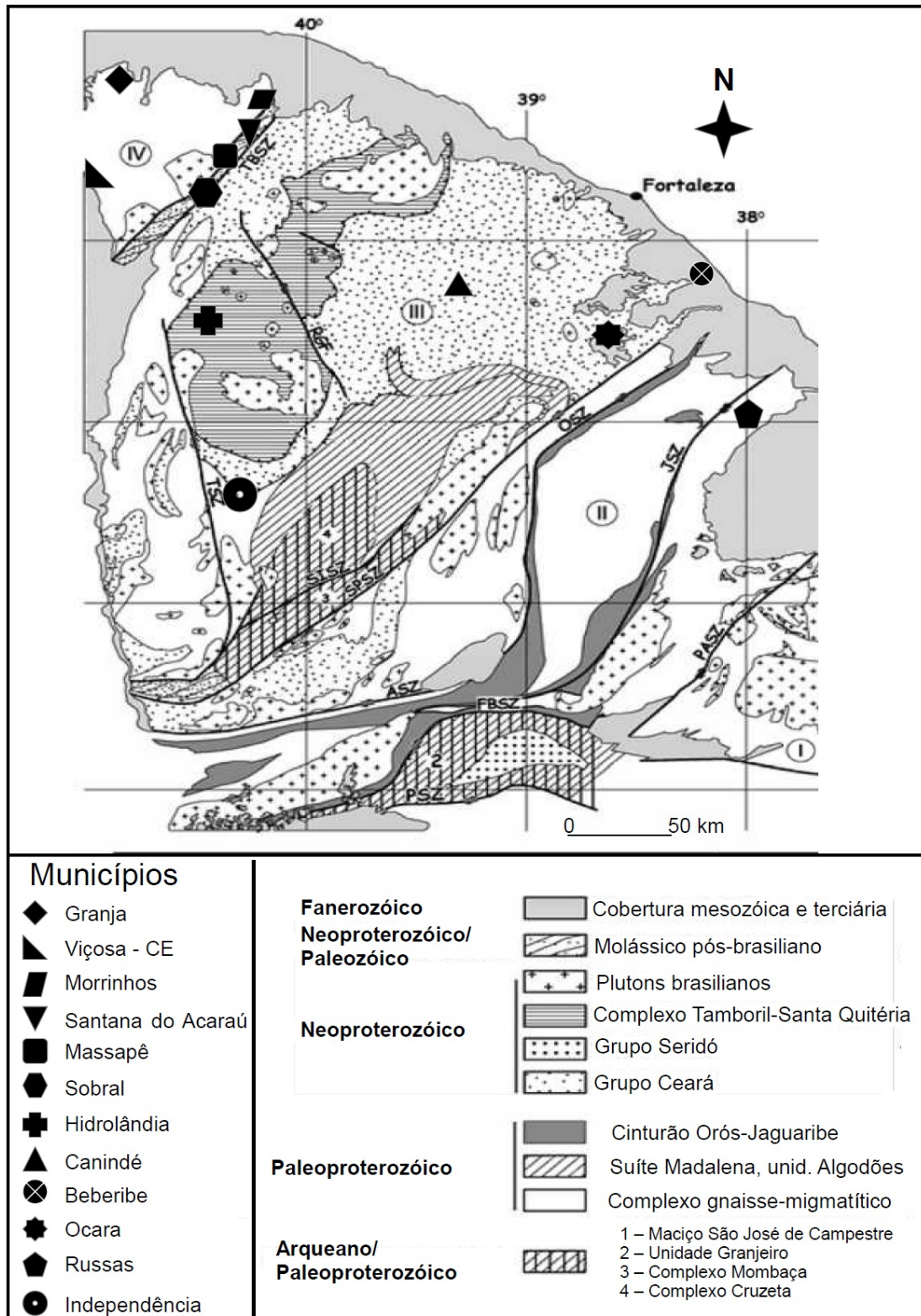


Figura 02: Mapa geológico simplificado da parte norte da Província Borborema. I – Domínio Rio Grande do Norte, II - Domínio Orós-Jaguaribe, III - Domínio Ceará Central, IV - Domínio Noroeste Ceará. Zonas de cisalhamento principais: TBSZ, Tansbrasiliano (Sobral e Pedro II); TSZ, Tauá; SISZ, Sabonete e linhares; SPSZ, Senador Pompeu; OSZ, Orós; JSZ, Jaguaribe; PASZ, Portalegre; JCSZ, João Câmara; ASZ, Aiuába; FBSZ, Farias Brito; PSZ, Patos. RGF, falha Rio Groaíras. Modificado de Mont'Alverne et al. (1998), Cavalcante (1999), Cavalcante et al. (2003), Van Schmus et al. (2003), Dantas et al. (2004).

Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água; Parte 05 - Determinação da resistência à compressão uniaxial; Parte 06 Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos); e Parte 08 Determinação da resistência ao impacto de corpo duro; NBR 12042:2012 - Materiais Inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão; e American Society for Testing Materials – ASTM C 615-11.

Os ensaios de resistência a compressão uniaxial, resistência a flexão 3 pontos e índices físicos (densidade, porosidade e absorção de água) foram realizados em 20 amostras; resistência ao impacto de corpo duro, em 16 amostras; e desgaste Amsler em 7 amostras.

3.1 Ensaios de Caracterização Tecnológica

3.1.1 Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial

Para este ensaio foram preparados 05 (cinco) corpos-de-prova, cúbicos, medindo 7 cm de lado, usando paquímetro com curso de no mínimo 100 mm e resolução de 0,05mm para medição dos corpos-de-prova; foram levados a estufa na temperatura $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 48h. Após resfriados foram levados a prensa, máquina de compressão, marca EMIC, capacidade de 200t e divisões de 200 kgf. Para cálculo dos resultados foi usada a expressão:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad \text{onde } \sigma_c$$

é a tensão de ruptura na compressão expressa em megapascals (Mpa); P é a força máxima de ruptura expressa em quilonewtons (kN); A é a área da face do corpo de prova submetida a carregamento, expressa em metros quadrados (m^2).

3.1.2 Determinação do Módulo de Ruptura para Flexão Três Pontos

Para este ensaio foram preparados 5 (cinco) corpos-de-provas com formato retangular, com dimensões de $(50 \times 100 \times 200)$ mm; Foram efetuadas as medidas usando paquímetro com curso de no mínimo 100 mm e resolução de 0,05mm para medição dos corpos-de-prova; foram levados a estufa, a $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$, por no mínimo 48h. Após resfriados foi executado ensaio na prensa, máquina de compressão, marca EMIC, capacidade de 200 t e divisões de 200 kgf. Para cálculo dos resultados foi usada a expressão:

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2}$$

onde σ_f = Valor numérico do módulo de ruptura (Mpa); P = é o valor numérico da força de ruptura, expresso em kilonewtons (kN); L = é o valor numérico da distância entre os roletes inferiores, expresso em metros (m); b = é o valor numérico da largura do corpos-de-prova, expresso em metros (m); d = é o valor numérico da espessura do corpos-de-prova (m).

3.1.3 Determinação da Resistência ao Desgaste por Abrasão Amsler

Foram preparados 02 (dois) corpos-de-provas com forma de um paralelepípedo regular medindo 70 ± 2 mm e com altura de 3 cm. Utilizando relógio comparador para efetuar a espessura dos corpos de provas: em seguida forma levados ao equipamento, Desgaste Amsler, para realização do ensaio. Foram colocados nas respectivas sapatas e aplicados uma carga de 66N em cada peça, liberar o abrasivo em uma vazão constante de $72 \pm 6 \text{ cm}^3/\text{min}$. O equipamento foi colocado para funcionar,

Tabela 3: Descrição macroscópica das amostras.

AMOSTRA	LOCALIDADE	DESCRIÇÃO MACROSCÓPIA DA AMOSTRA
1	Acaraú	Possui coloração branca, na condição seca. A rocha exibe granulação variando entre fina e média composta essencialmente por quartzo. Observa-se também a presença de fraturas.
2	Santana do Acaraú	Rocha de coloração branca acinzentada à creme claro. Apresenta textura granoblástica, granulação grossa e evidências de forte processo de fraturamento. Verifica-se, com particularidade, a presença de pequenas cavidades, irregulares, resultantes da tectônica rúptil de fraturamento e do processo de corte à que a amostra foi submetida. A amostra se apresenta maciça e não foliada.
3	Russas	Rocha de cor branca com pequenas manchas acastanhadas e granulação muito fina. O principal mineral constituinte é o quartzo contendo alguns veios tardios, ligeiramente mais grosseiros com alguns vazios que podem ser superfícies de fraturas, preenchidas por minúsculos cristais de quartzo. A presença de manchas acastanhadas parecem ser de hidróxido de ferro que emanam de fraturas muito finas.
4	Ocara	Quartzito de coloração clara, esbranquiçada com partes amareladas de textura grano-lepidoblástica com quartzo alongado no sentido da foliação.
5	Granja	Quartzito puro e compacto, em parte com cianita ou sillimanita. Possui coloração clara e presença de algumas fraturas.
6	Granja	Quartzito puro e compacto, em parte com muscovita. Possui coloração clara, brilho metálico devido a presença de micas, além de apresentar de algumas fraturas.
7	Hidrolândia	Quartzito de coloração variada de creme a marrom claro, com tons avermelhados e amarelados provavelmente devido a alterações na amostra. Observam-se microfraturas distribuídas em toda a amostra.
8	Sobral	Quartzito de cor branca com tons acastanhados, as quais, devem ocorrer por conta de alteração na rocha. A rocha é composta unicamente por quartzo e se encontra bastante fraturada.
9	Canindé	Quartzito de cor branca com manchas de cor marrom, onde essas manchas ocorrem por conta da alteração da rocha através das inúmeras fraturas contidas nela. É constituída unicamente por quartzo.
10	Canindé	Rocha de coloração branca, composta basicamente por quartzo e micas, denominada de quartzito. Fraturas ocorrem timidamente.
11	Morrinhos	Quartzito de coloração branca, com ocorrência de fraturas, composta basicamente por quartzo.
12	Independência	Quartzito micáceo de cor clara e granulometria média a fina.
13	Viçosa do Ceará	Quartzito de coloração branca, com grande número de fraturas presente. Composta basicamente por quartzo e pequenas quantidades de micas.
14	Massapê	Quartzito puro de coloração branca, com algumas fraturas presente. Composta basicamente por quartzo.
15	Saco da Serra	Quartzito de coloração clara, esbranquiçada com partes alaranjada, possivelmente óxido de ferro, textura granoblástica, composta basicamente por quartzo.
16	Sobral	Rocha ornamental, denominada de quartzito
17	Viçosa do Ceará	Quartzito de coloração branca (leitoso). Composto basicamente por quartzo em uma textura granoblástica.
18	Beberibe	Quartzito de coloração variada de creme a marrom claro, com tons avermelhados e amarelados provavelmente devido a alterações na amostra. Observam-se microfraturas distribuídas em toda a amostra.
19	Granja	Quartzito puro. Possui coloração clara, além de apresentar de algumas fraturas.
20	Massapê	Quartzito puro de coloração branca, com algumas fraturas presente. Composta basicamente por quartzo.

até chegar a 250 voltas, equivalente a 500 m. Após retirar os corpos de provas do equipamento, foi realizada novamente a medida da espessura. A mesma operação foi realizada para completar os 1000 m. Os resultados relativos a 500 m e a 1000 m de percurso são obtidos respectivamente pela diferença entre a leitura final e leitura intermediária, e pela diferença entre a leitura final e a inicial.

3.1.4 Índices Físicos (determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água de rochas)

Para a realização do ensaio foram confeccionados Dez (10) corpos de prova, com dimensões entre 5 e 7 cm e com relação base:altura 1:1; os mesmos foram lavados em água corrente e escovados com escova de cerdas macias, para retirada de algum resíduo; foram colocados em estufa ventilada a temperatura de $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$ até massa constante (que é atingida quando a diferença entre duas pesagens sucessivas, num intervalo de $24\text{h} \pm 2\text{h}$, for menor que 0,1%); após serem retirados da estufa foram colocados no dessecador para resfriarem à temperatura ambiente; em seguida foram pesados individualmente ao ar, com precisão de 0,01g; anotar a massa seca "Msec". Após pesagem os corpos-de-prova foram colocados em recipiente adequado com água deionizada ou destilada, até 1/3 de sua altura. Após 4 horas foi adicionado água até 2/3 da altura dos corpos-de-prova, após 4 horas completados a submersão dos corpos-de-prova. Após este período foram deixados por mais 40h. Novamente pesados individualmente, na condição submersa, utilizando-se o dispositivo da balança para pesagem hidrostática, amarrando-se o corpo-de-prova com fio de massa

desprezível, anotando a massa submersa "Msub"; em seguida os corpos-de-prova da água, foram enxugados com um pano levemente úmido e pesados ao ar; anotou-se a massa saturada "Msat". Os cálculos foram realizados com as seguintes expressões:

a) Densidade aparente:

$$\frac{M_{sec}}{M_{sat} - M_{sub}} \times 1000 \quad (\text{Kg/m}^3)$$

b) Porosidade aparente:

$$\frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \quad (\%)$$

c) Absorção d'água aparente:

$$\frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 \quad (\%)$$

Onde: M_{sec} = Massa seca; M_{sat} = Massa saturada; M_{sub} = Massa submersa.

3.1.5 Determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Foram preparados, cinco corpos-de-prova com dimensões de 20 cm x 20 cm ($\pm 0,05$ cm); para realização do ensaio, os corpos-de-provas foram assentados, individualmente, sobre um colchão de areia; foi alçado a esfera de aço até uma altura inicial de 20 cm (distância entre a face da placa a ser submetida ao impacto e o centro de massa da esfera), abandonando-a a seguir em queda livre. A partir desta altura inicial, foi repetido o procedimento em intervalos, crescentes, 5 cm de altura, até que ocorra fissura e ruptura da placa. Os resultados foram expressos pela média aritmética das alturas de rupturas e pela energia de ruptura das placas de acordo com a seguinte expressão:

$$W = m \times g \times h$$

onde: W representa a energia de ruptura, expressa em joules (J); m é a massa da esfera em kg; g é a aceleração da gravidade ($9,806 \text{ m/s}^2$); h é a altura de

de ruptura expressa em metros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo da caracterização tecnológica de 20 amostras de quartzitos de diferentes municípios do estado do Ceará, foram realizados seguindo as diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15845:2015, os resultados estão descritos na tabela 4. Os resultados dos mesmos foram comparados com os valores limites sugeridos pelas normas: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 15845:2015 – Rochas para Revestimento, Partes: Parte 02 - Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água; Parte 05 - Determinação da resistência à compressão uniaxial; Parte 06 Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos); e Parte 08 Determinação da resistência ao impacto de corpo duro; NBR 12042:2012 - Materiais Inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão; e American Society for Testing Materials – ASTM C 615-11.

O conjunto desses resultados mostra que:

4.1 Resistência Compressão Uniaxial

Entende-se por resistência à “compressão uniaxial” a tensão de ruptura sofrida por um material rochoso quando submetido a esforços de compressão, determina a capacidade que uma rocha pode apresentar para suportar forças compressivas. Os resultados obtidos são valiosos para a realização de cálculos geotécnicos e de dimensionamento, e estão condicionados a vários fatores intrínsecos à rocha, pode-se destacar: porosidade e estado de alteração do

corpo rochoso. De maneira geral, rochas com baixa porosidade, geralmente apresenta uma alta resistência mecânica.

A resistência da rocha está condicionada a vários fatores intrínsecos como: direção do esforço de compressão em relação à estrutura, o estado de alteração, microfissuras, anisotropia, dimensões dos minerais e porosidade da rocha, (FIGUEREDO, 1997).

Neste ensaio, das 20 amostras, apenas 05 amostras atendem aos valores limítrofes pela norma ABNT NBR 15845:2015, nenhuma das amostras ensaiadas atendem aos valores estabelecidos pela ASTM C615-11, os resultados estão descritos na tabela 4.

As amostras: 04, 15, 17, 18 e 19; apresentaram valores de resistência maior que 100 MPa. Observa-se que dessas amostras, apenas a 19, apresenta valor limítrofes de porosidade maior que os estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15845:2015 e ASTM C615-11, no entanto não interferiu na resistência da rocha, conforme mostra a figura 3.

A média da resistência a compressão foi de 72,24 MPa.

Ainda, de acordo com a classificação Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses – ISRM (1977), dos vinte tipos de quartzitos ensaiados, apenas as amostras: 04, 15, 17, 18 e 19, um percentual de 25%, se apresentam como rochas muito resistentes. As amostras: 05, 06, 08, 09, 11, 14, 16 e 20 – 40% - classificadas como rochas resistentes e as amostras 01, 02, 03, 07, 10, 12 – 35% - Rochas com resistência média.

Tabela 4: Valores dos ensaios realizados nas amostras de quartzitos do estado do Ceará.

AMOSTRAS	COMPRESSÃO UNIAXIAL (Mpa)	FLEXÃO 3 PONTOS (Mpa)	DESGASTE		ÍNDICES FÍSICOS			IMPACTO DE CORPO DURO	
			500 m	1000 m	DENSIDADE (kg/m ³)	POROSIDADE (%)	ABSORÇÃO (%)	ALTURA DE RUPTURA (m)	ENERGIA DE RUPTURA (J)
1	31,1	5,6	0,25	0,39	2610,40	0,45	0,17	-	-
2	48,4	6,9	0,26	0,60	2605,89	0,09	0,10	0,44	4,31
3	33,9	10,4	-	-	2667,40	0,18	0,07	0,38	3,73
4	101,3	2,6	-	-	2632,12	0,97	0,37	0,38	3,73
5	72,3	4,5	-	-	5651,00	0,61	0,23	1,06	10,39
6	77,3	2,8	-	-	2648,67	0,41	0,15	-	-
7	42,0	10,8	0,29	0,51	2617,65	1,32	0,51	0,64	6,28
8	68,3	12,1	-	-	2548,77	4,41	1,73	0,44	4,31
9	69,0	11,7	-	-	2603,11	0,61	0,23	0,45	4,41
10	46,0	7,5	-	-	2615,01	0,24	0,09	0,64	6,28
11	76,4	10,9	-	-	2633,40	0,58	0,22	0,53	5,20
12	42,0	5,9	-	-	2649,47	0,10	0,04	0,32	3,14
13	30,8	7,0	-	-	2656,16	0,57	0,21	-	-
14	95,3	4,5	0,39	0,73	2586,55	2,37	0,92	0,57	5,59
15	110,0	6,6	-	-	2638,31	0,70	0,26	0,45	4,41
16	55,8	4,1	-	-	2640,28	0,58	0,22	0,46	4,51
17	122,9	9,2	0,13	0,32	2640,21	0,89	0,34	0,39	3,82
18	115,4	10,6	-	-	2634,86	0,93	0,35	-	-
19	111,4	4,1	0,27	0,53	2624,33	1,30	0,50	0,34	3,33
20	95,3	4,5	0,39	0,73	2586,55	2,37	0,92	0,57	5,59
MÉDIA	72,24	7,11	0,28	0,54	2774,51	0,98	0,38	0,50	4,94
DESVIO PADRÃO	29,67	3,02	0,08	0,15	660,47	1,00	0,39	0,17	1,69
NBR 15844	100	10	-	1	2550	1,0	0,4	0,3	-
ASTM C 615	≥ 131	≥ 10,34	-	-	≥ 2560	-	≤ 0,4	-	-

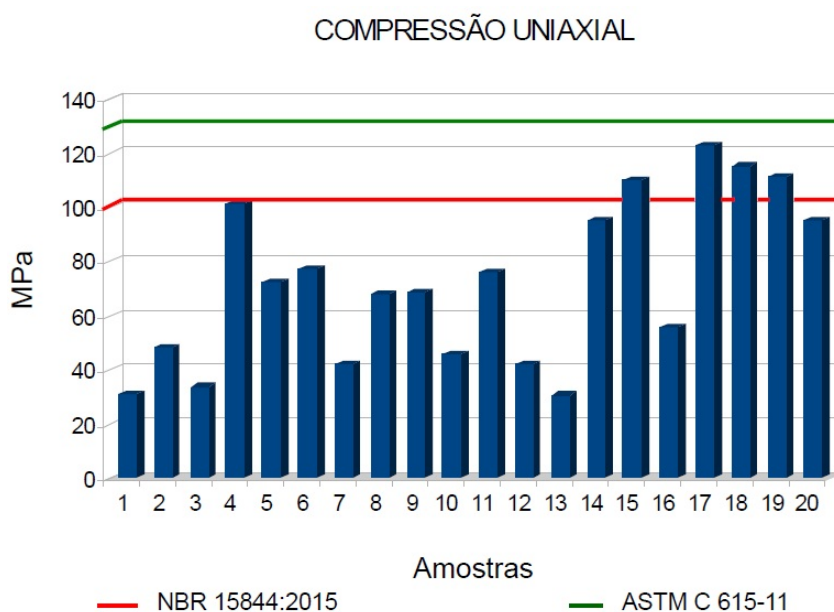


Figura 3: Ensaio de resistência compressão.

4.2 Resistência Flexão 3 Pontos

O ensaio de flexão visa determinar qual tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores. Quanto maiores a porosidade e o grau de fissuramento (e outras descontinuidades), menor a resistência da rocha. Os resultados estão descritos na tabela 4.

Este ensaio tem relevância particular no caso de revestimentos exteriores, são importantes para definir o dimensionamento (comprimento, largura e espessura) das placas a serem usadas em revestimento de fachadas de prédios, especialmente em regiões onde ocorra a presença de fortes ventos especialmente

quando estiverem sujeitos a força produzida pela ação do vento.

A média para o módulo de ruptura foi de 7,11 Mpa.

As amostras 03, 07, 08, 09, 11 e 18 - 30% - atendem aos limites adotados pelas normas da ABNT NBR 15845:2015,

e as amostras 08 e 09, também, atendem aos valores estabelecidos pela ASTM C615-11, figura 4. Observa-se que as amostras 07 e 08, apresentam uma alta porosidade. Não interferindo na resistência da rocha.

FLEXÃO EM 3 PONTOS

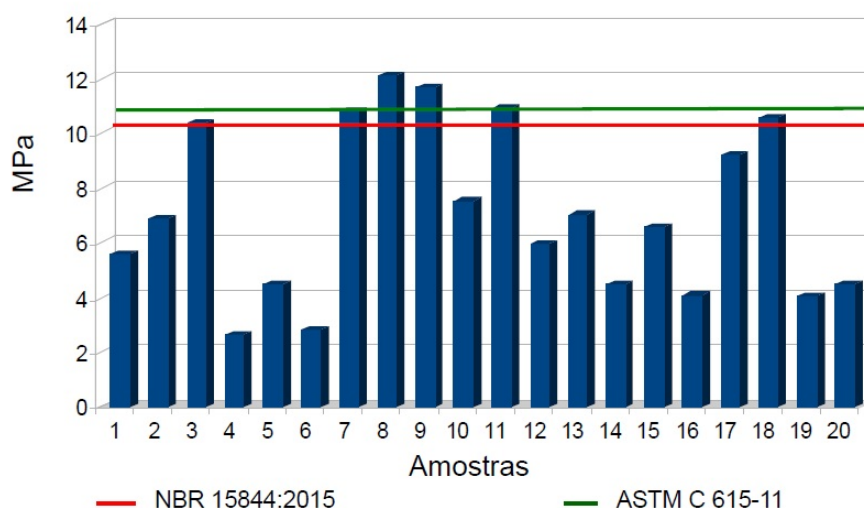


Figura 4: Ensaio de resistência flexão.

4.3 Índices Físicos (Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'Água)

Esses ensaios são parâmetros importantes como indicadores de qualidade, para se prever a tendência da rocha de ter aptidão, maior ou menor, de ser alvo de alterações e degradações ao longo do tempo, pois a alterabilidade, a durabilidade e o comportamento físico e mecânico das rochas ornamentais estão, de certa forma, condicionados com os espaços vazios, fissuras e propriedades hídricas, relacionadas ao movimento dos fluídos dentro do material rochoso. A massa específica depende essencialmente da composição mineralógica. Cada índice físico influencia de várias maneiras os demais parâmetros. Por exemplo, a alta porosidade (baixa densidade) e a alta absorção refletirão em baixa resistência mecânica e em menor durabilidade do

material.

Os resultados dos ensaios estão descritos na tabela 4.

Para os ensaios de absorção aparente e porosidade aparente, as amostras 07, 08 14, 19 20; não atendem aos limites especificados pelas normas ABNT- ABNT NBR 15845:2015 e ASTM C 615-11. A média para esse parâmetro foi 0,38(%) e 0,98 (%), respectivamente. O ensaio de Densidade aparente, apenas a amostra 08, não atende aos limites especificados pelas normas ABNT NBR 15845:2015 e. Observa-se que essa amostra apresenta também a maior porosidade dentre as amostras ensaiadas. A média desse parâmetro foi de 2774,51 kg/m³ figuras: 5, 6 e 7. A porosidade de uma rocha comportase de maneira inversa, quanto maior a porosidade, menor a resistência da rocha.

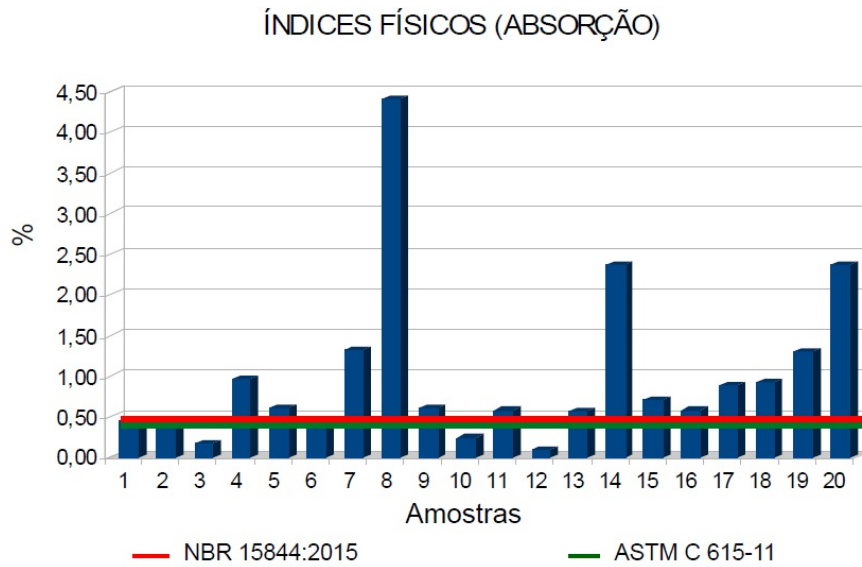


Figura 5: Ensaio de índices físicos (Absorção).

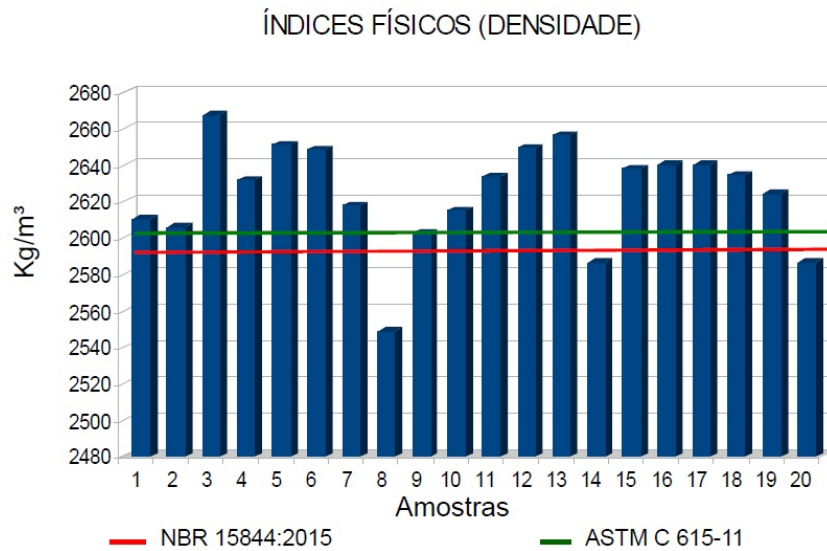


Figura 6: Ensaio de índices físicos (Densidade).

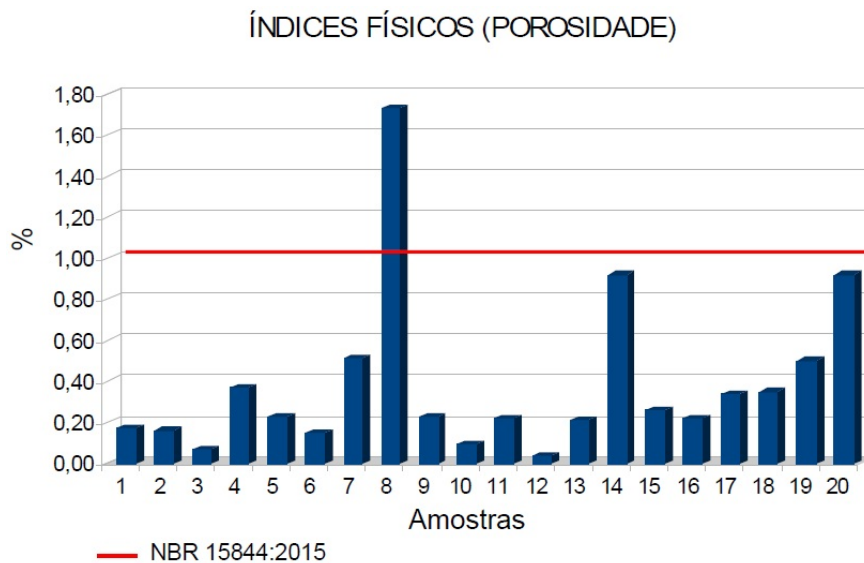


Figura 7: Ensaio de índices físicos (Porosidade).

4.4 Impacto Corpo Duro

Este Ensaio fornece informações sobre o grau de tenacidade de um material rochoso e conseqüentemente a capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas, dá informações acerca da capacidade do material absorver e dissipar energia, avalia a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física (grau de fraturamento, trincamento, dentre outros parâmetros pertinentes). O resultado desse ensaio é importante para os materiais que são utilizados como revestimento de pisos. Os resultados dos ensaios estão descritos na tabela 4.

Todas as amostras atendem ao especificado pela norma ABNT-NBR15845:2015, figura 8. A média das amostras analisadas para este ensaio foi de 0,50m.

4.5 Resistência Desgaste Amsler

Esse ensaio permite mensurar o comportamento de uma determinada rocha para ser utilizada em revestimento de pisos. A medida do desgaste é particularmente importante para materiais que se destinam a revestimentos, tanto interiores como exteriores, pisos e degraus de escadas, uma vez que procura simular em laboratório a solicitação por abrasão, em razão do tráfego de pessoas ou veículos.

Este ensaio foi realizado em 07 amostras de quartzitos, pelas normas ABNT-NBR 15845:2015, Figura 9. A média de resistência ao desgaste das amostras foi de 0,73 mm.

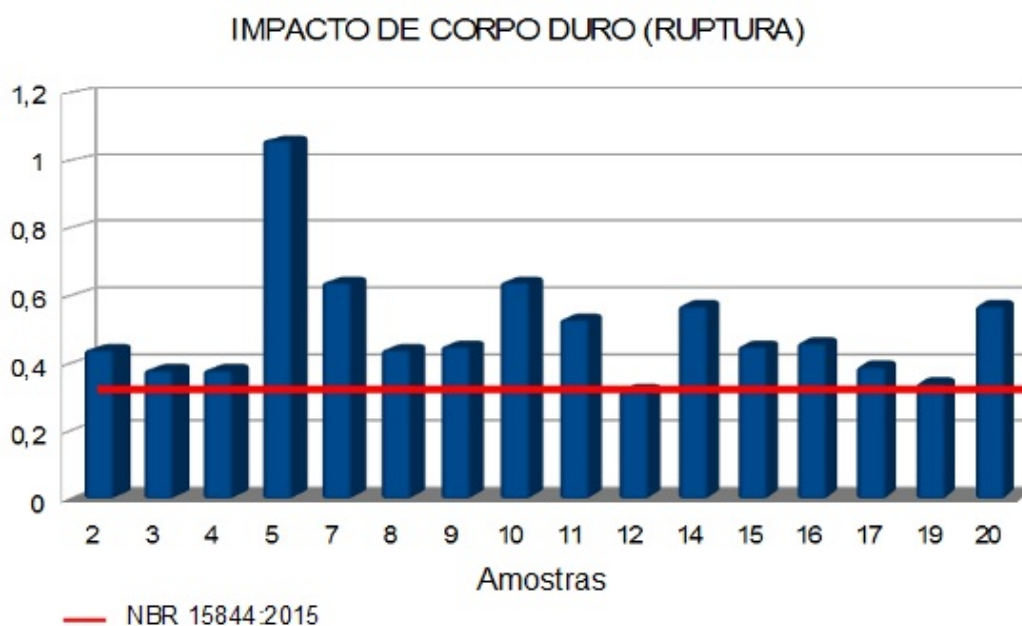


Figura 8: Ensaio de resistência ao impacto.

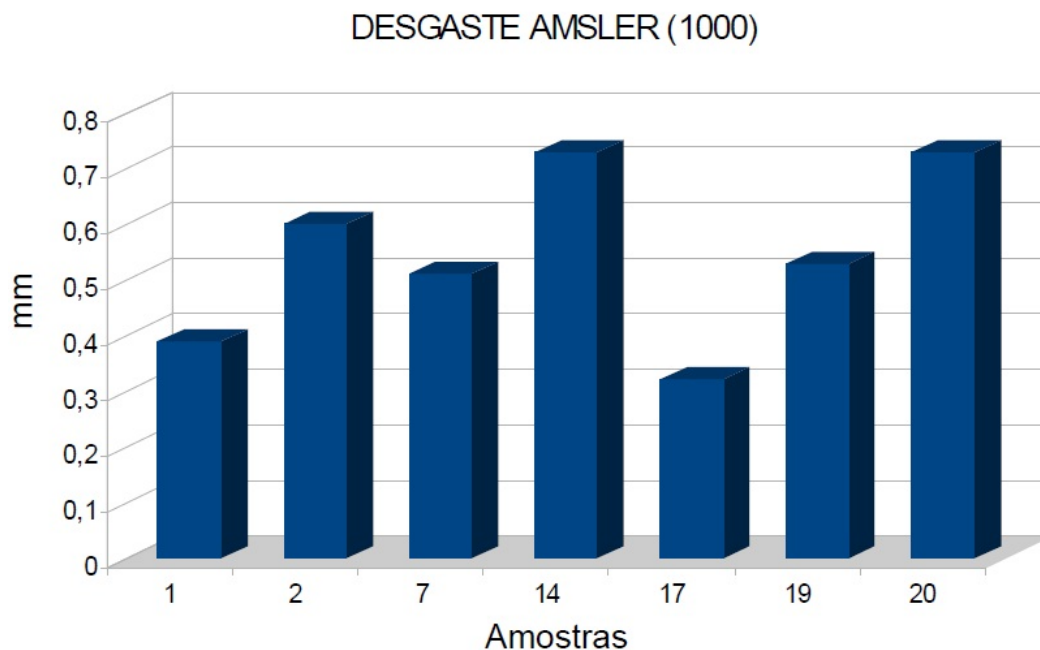


Figura 9: Ensaio de desgaste Amsler.

5. CONCLUSÃO

Os quartzitos, como rocha ornamental, vêm ganhando destaque na demanda por novos tipos de materiais considerados exóticos, principalmente no cenário da construção civil, por apresentar boas propriedades físicas e estéticas, adequadas para ambientes internos e externos.

Baseado nos ensaios realizados em 20 amostras de quartzitos do estado do Ceará, observou-se que:

- Possui uma alta qualidade estética;
- É uma rocha ornamental com boas propriedades físicas, apresentam-se como rocha resistente, em relação a resistência a compressão, com média de 72,24 MPa, podendo ser usada na construção civil, como revestimentos internos e externos;
- O estudo mostra que a resistência a flexão, somente 30% das amostras atenderam aos limites adotados pelas normas especificadas, devendo assim, evitar a utilização em locais exteriores sujeitos a ação do vento;
- O quartzito, geralmente, apresenta

porosidade, considerada média, no entanto, nessas amostras, esse parâmetro não comprometeu a resistência da rocha, levando em consideração que o estado de alteração de uma rocha, também influencia diretamente os valores inerentes à sua resistência. Esta propriedade pode, ainda, ser atenuada, usando a técnica de resinar a rocha, proporcionando uma maior proteção contra o desgaste e degradação da rocha, diminuindo, ainda, o risco de patologias adversas, considerando que a porosidade de um material rochoso é a porta de entrada de líquidos, sais e demais poluentes produtores de reações que alteram o estado de sanidade da rocha. Sendo assim, deve-se evitar usar essa rocha em locais com prolongado contato com a água ou qualquer substância química;

- Apresenta-se como rocha resistente ao desgaste por abrasão, devido a rocha conter um percentual elevado de quartzo, certamente apresentará uma resistência maior. Podendo assim ser utilizada em

locais com grande fluxo de movimento como shoppings, estações de metrô, estações rodoviárias e aeroportos.

- A resistência ao impacto de corpo duro, os valores demonstram que os materiais rochosos estudados exibiram uma boa resistência ao choque, podendo ser usada para revestimento de pisos, degraus, mesas, balcões e pias.

Agradecimentos

Agradecimento a Fundação Núcleo de Tecnologia do Estado do Ceará – NUTEC, pelo incentivo e realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.7,1997. Disponível em: <<http://ppegco.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11179/10638>>. Acesso em: 20.mar.2017.
- AMARAL W. S et al. High-pressure granulites from Cariré, Borborema Province, NE Brazil: Tectonic setting, metamorphic conditions and U–Pb, Lu–Hf and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Research*. Amsterdam: Elsevier, v.22, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X12000524>>. Acesso em: 23.mar.2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM C 615-11: Standard Specification for Granite Dimension Stone.
- ARAI, M.A. Grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Revista de Geologia da USP*, São Paulo, v. 6, n. 2, 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27419>>. Acesso em: 25.mar.2017.
- ARTHAUD, M.H. Evolução neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências: Universidade de Brasília (UnB). 2008.
- ARTHAUD, M.H. Geologia e tectônica no Domínio Ceará Central. Qualificação (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (UnB), 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Informe 01/17. Brasília, 2017. Disponível em: <www.abirochas.com.br>. Acessado em 20 de mar. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-2: Rochas para revestimento: Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2015
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-5: Rochas para revestimento: Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-6: Rochas para revestimento: Parte 6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos). Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845-8: Rochas para revestimento: Parte 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12042: Materiais Inorgânicos: Determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, 2012.

- BENAVENTE D. Propiedades Físicas y Utilización de Rocas Ornamentales. Laboratório de Petrologia Aplicada. Unidad asociada CSIC-UA Departamento de Ciências de la Tierra y Medio Ambiente. Universidade de Alicante. 2006.
- BRITO, B.B.N.; DOS SANTOS E.J.; VAN SCHMUS W. R. Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In: Cordani U; Milani E.J.; Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro: International Geological Congress: Rio de Janeiro, 2000.
- BRITO, B.B.N. O mapa geológico do Nordeste oriental do Brasil, escala 1/1.000.000. Tese (Livre Docência), Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1983.
- CABY, R.; ARTHAUD, M.H.; ARCHANJO C.J. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamic implications. *J. South Amer. Earth Sciences*, Barking Essex. 1995
- CABY, R.; ARTHAUD, M. H. Major Precambrian nappes of the Brazilian Belt. Ceará, Northeast Brazil. *Geology*, n. 14, v.10, 1986. Disponível em: <<http://geology.geoscienceworld.org/content/14/10/871>>. Acesso em: 28.mar.2017
- CAVALCANTE, J.C. et al. Mapa geológico do Estado do Ceará. Brasília: Ministério de Minas e Energia; Fortaleza: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2003. Escala 1:500.000.
- CAVALCANTE, J.C. Limites e evolução geodinâmica do Sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 1999.
- DANTAS, E.L.; VAN SCHMUS, W.R.; HACKSPACHER, P.C.; FETTER, A.H.; NEVES, B.B.D.; CORDANI, U.; NUTMAN, A.P.; WILLIAMS, I.S. The 3.4-3.5 Ga Sao Jose do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*. Amsterdam: Elsevier B.V., v. 130, n. 1-4, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/33143>>. Acesso em: 01.abr.2017.
- DIONÍSIO, M.A.A.R. 1997. A pedra de Anção: Características mineralógicas e petrofísicas. Dissertação (Mestrado). UTL. LIST. Lisboa.
- DUARTE, M. C. A. O. Características físico-mecânicas de rochas ornamentais portuguesas. Relatório de estágio. Licenciatura em Engenharia Geológica. Universidade Nova de Lisboa, 2003.
- FETTER, A.H.; SANTOS, T.J.S.; VAN SCHMUS, W.R.; HACKSPACHER, P.C.; BRITO NEVES, B.B.; ARTHAUD, M.H.; NOGUEIRA NETO, J.A.; WERNICK, E. Evidence for neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of west Gondwana. *Gondwana Research*, 6(2): 265-273, 2003.
- FETTER, A.H.; VAN SCHMUS, W.R., SANTOS, T.J.S., ARTHAUD, M.H., NOGUEIRA, NETO J.A. 2000: UPb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic Supercontinent "Atlantica". *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 102-106.

- FETTER, A.H. 1999. U–Pb and Sm–Nd Geochronological constraints on the crustal framework and geological history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana. Ph.D. Thesis, University of Kansas.
- FIGUEREDO, P.M.S.L.R. Estudo tecnológico das rochas calcárias de Lisboa Jurássico e Cretáceo. Tese (doutorado). Lisboa: IST, 1997.
- ISRM, Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. In: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15.
- MARTINS, G. Litogeoquímica e controles geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró. 2000. 218 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- MONT'ALVERNE, A.A.F. et al: Mapa geológico do Rio Grande do Norte :UFRJ/DNPM, 1998.1 mapa, Escala 1:500.000.
- NOGUEIRA NETO, J.A. et al. Carta geológica Folha SA.24-Y-C-III Granja, Estado do Ceará, Brasília: UFC/CPRM, 2014. Escala 1:100.000.
- NOGUEIRA NETO J. A. Evolução Geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da Província Borborema. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2000.
- PARENTE, C.V.; ALMEIDA, A.R.; ARTHAUD, M.H. Itatira- SB.24-V-B-V: nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem - Ceará: Fortaleza, UFC/CPRM, 2008. Escala 1:100.000.
- PARAHYBA, R. E. R.; CAVALCANTI, V. M. M.; PERLATTI, F. Mineração no Semiárido Brasileiro. Brasília: DNPM, 2009.
- PESSOA, R. R.; ARCHANJO, C. J. Tectônica de empurrões na região de Tróia-CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SGB, 1984. p. 1721-1728.
- SANTOS, T.J.S. Evidence for 2.35 to 2.30 Ga juvenile crustal growth in the northwest Borborema Province, NE Brazil. In: REDDY, S.M. et al. Palaeoproterozoic Super-continent and Global Evolution, London: Geological Society Special Publications, 2009. p. 323: 271–281.
- SANTOS T.J.S. et.al. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. Journal of South American Earth Sciences, v. 25, 2008.
- SILVA, A.J.F. et al. Petrographical and geochemical signatures of the Granja paragneisses (Médio Coreau Domain, NW Ceará, Brasil). Estudos Geológicos, v. 70, n. 2, 2014.
- SUGUIO K.; NOGUEIRA, A.C.R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais, São Paulo, Revista Geociências, v. 18, n. 2, 1999.
- TORQUATO, J.R.; NOGUEIRA NETO J.A. Historiografia da Região de Dobramentos do Médio Coreau. Fortaleza, Revista Brasileira de Geociências, v. 26, n.4, 1996.
- VAN SCHMUS, W.R. et al. The Serido Group of NE Brazil, a late pre- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. Precambrian Research. v. 127, 2003.