

## **APROVEITAMENTO DE APARAS, LASCAS E RESÍDUOS GERADOS NA MINERAÇÃO DE ROCHAS DE QUARTZITOS PARA CONFECÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS**

*Andreza Rafaela Morais Pereira<sup>1</sup>; Elbert Valdiviezo Viera<sup>2</sup>*

**RESUMO** - A demanda por rochas ornamentais no Estado da Paraíba, principalmente de rochas de quartzitos tem aumentado significativamente, incentivada pelo aumento na demanda para uso na construção civil. Devido a essa grande procura aumentou a lavra e o beneficiamento desse material, consequentemente gerando mais rejeitos nas frentes de lavra e nas serrarias, causando grande impacto ambiental. Assim, agregar valor a esses resíduos tem sido visto, tanto pelos produtores, como por órgãos governamentais, como uma das alternativas com melhor oportunidade de desenvolvimento para o setor. O objetivo desse trabalho é estudar a viabilidade de utilização dos resíduos dos quartzitos, como agregado graúdo e miúdo, na produção de blocos para pisos intertravados com aplicação na construção civil. Foram realizadas análises quantitativas obtidas por ensaios mecânicos de resistência à abrasão, tração na flexão e ensaio de absorção de água. Os resultados obtidos foram muito promissores, visto que promoveriam a redução desse passivo ambiental. Concluiu-se que o produto fabricado utilizando o quartzito como agregado graúdo e miúdo na produção do pré-moldado não atendeu todas às normas técnicas vigentes, principalmente o de resistência à compressão. No entanto, esse tipo de piso pode ser utilizado em calçamentos, que não sejam submetidos à intensa movimentação de pedestres e veículos.

**Palavras-chave:** Quartzitos; caracterização; resíduos; pisos intertravados.

**ABSTRACT** - Demand for natural stone in the Paraíba State (Brazil), mainly quartzite rocks has increased significantly encouraged by the increase in demand for use in construction. Due to this great demand increased mining and processing of this material, thus generating more tailings in the mining fronts and in sawmills, causing great environmental impact. Thus add value to this waste has been seen by producers, such as government agencies, as an alternative with better development opportunities for the sector. The aim of this work is to study the feasibility of using the tailings quartzite as mineral aggregate in the production of concrete blocks with application in construction. Quantitative analyzes were performed obtained by mechanical tests of abrasion resistance, tensile and flexural test and water absorption. Results were very promising, since this would promote reducing environmental impacts. It was concluded that the product manufactured using quartzite as mineral aggregate in production of precast did not meet all the current technical standards, especially the compressive strength test. However, this type of flooring can be used in pavements, which are not subjected to the intense movement of pedestrians and vehicles.

**Keywords:** Quartzites; characterization; tailings; concrete bricks.

---

<sup>1</sup> Graduada em Engenharia de Minas. Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Campina Grande, PB, CEP 58109-970, Brasil.

<sup>2</sup> Professor Associado. Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Campina Grande, PB, CEP 58109-970, Brasil. E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescimento populacional impulsiona a atividade de extração de rochas ornamentais, a indústria da construção civil, e dos bens de consumo. Com isso, a população tem cada vez mais acesso a informações e consciência sobre os impactos ambientais gerados por essa atividade, e observa-se uma cobrança maior sobre o aproveitamento desses resíduos sólidos, havendo uma preocupação principalmente na mineração, que é uma indústria primária e de primordial necessidade para o crescimento mundial, para a (re)utilização dos seus rejeitos. Com o aumento da demanda de rochas ornamentais no Brasil, principalmente na Paraíba, na região do Seridó, tem-se gerado mais resíduos ao redor das lavras de rochas de quartzitos bem como também nas serrarias, incentivado pelo aumento da produção.

O quartzito é uma rocha metamórfica, onde sua composição é basicamente quartzo e sua origem está ligada aos processos metamórficos desenvolvidos em rochas sedimentares (rochas com grande quantidade de sílica amorfa). Também podem estar relacionadas ao metamorfismo de quartzo e de rochas vulcânicas com alto grau de sílica. A rocha é fonte de matéria-prima para confecção de tijolos e refratários de sílica, muito usada também na siderurgia, e para o preparo do leito de fusão dos altos-fornos, rocha ornamental utilizada de diferentes maneiras (rústica, talhada, polida entre outras formas). As principais propriedades do quartzito são: alta resistência mecânica; antiderrapante; alta resistência à ação de produtos químicos; resistência à exposição ao sol inibindo a absorção de calor, e baixa adsorção de água (Agência Ambiental Pick-Up, 2006).

O aproveitamento dos resíduos provindos da mineração de rochas de quartzitos possibilitam a redução do passivo ambiental, e a diminuição de acidentes nas áreas onde estão localizadas, entre outras vantagens. Este trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade dos resíduos de rochas de quartzitos, como agregado graúdo e miúdo, na produção de blocos para pisos intertravados e também estudar as propriedades mecânicas dos blocos fabricados, comparando os resultados obtidos com as especificações técnicas recomendadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

A partir da substituição dos agregados convencionais, em forma de brita e areia, pelo quartzito, para fabricação de blocos de concreto, pretende-se: determinar as propriedades mecânicas dos pisos intertravados produzidos, quantificando a resistência à compressão e a tração na flexão; quantificar a absorção de água dos pisos intertravados produzidos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As principais áreas mineralizadas de quartzitos na Paraíba estão localizadas nos municípios de Junco do Seridó e Várzea, cujos depósitos se estendem até os municípios de Parelhas e Ouro Branco, no Rio Grande do Norte. Nessas áreas observa-se uma extração intensa de lajotas quadradas ou retangulares de quartzitos para aplicação em revestimento de paredes, calçadas, piscinas e em pisos de construção moderna e rústica. (Souza *et al*, 2001 apud Xavier, 2014).

A lavra de quartzitos no Seridó Paraibano é realizada ainda de forma precária, utilizando força braçal para extração e corte dos blocos, sem ajuda de profissional ou técnico especializado, que indique melhores métodos para retirada do quartzito, não são realizados estudos geológicos da área a ser lavrada, e também não são utilizados equipamentos corretos para o aproveitamento racional da substância logo, há muito desperdício do material, o qual forma pilhas de rejeitos nas frentes de lavra como também nas serrarias (Figura 1), colocando em risco a vida e a saúde dos trabalhadores como também da população.

Mesmo com o impacto positivo na geração de receita para as cidades, bem como para pequenas empresas, cooperativas do setor, e para os trabalhadores da lavra e beneficiamento do quartzito, a forma inadequada da disposição do rejeito gera um grande impacto ambiental na região do Seridó.

Os pisos intertravados (Figura 2) são compostos por peças de concreto, assentadas sobre camada de areia e travadas entre si por contenção lateral. (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2010). Um pavimento intertravado (Figura 3) basicamente é constituído pelas seguintes camadas: subleito, sub-base e base. A camada de revestimento composta por peças pré-moldadas de concreto (PPC) é a superfície de desgaste e

cumpre, ainda, uma importante função estrutural. Ela estabelece a condição de rolamento (conforto ao usuário), durabilidade do pavimento e contribui decisivamente para a função estrutural do pavimento (distribuição de tensões) por meio de suas características de intertravamento, além de suportar as tensões cisalhantes superficiais de contato das rodas dos veículos (Maciel, 2007).



Figura 1 – Serraria do município de Várzea/PB com pilha de resíduos gerados no corte de quartzitos, constituídos por aparas, lascas, tiras e outros. Fonte: Própria.



Figura 2 - Arranjo de pavimento intertravado. Fonte: Prisma, 2007 apud Maciel, 2007.

O intertravamento é a capacidade das peças resistirem a movimentos de deslocamento individual, seja vertical ou horizontal. Quando um conjunto de blocos de um piso recebe uma carga bem no centro de um dos blocos, a tendência dele é afundar, ter um deslocamento vertical, e horizontal quando o esforço for horizontal, como no caso da freada de um veículo, os blocos tendem a se deslocar lateralmente. O deslocamento de rotação ou de giração em relação às peças vizinhas ocorre se a carga for aplicada na extremidade do bloco, a tendência é a rotação, segundo Associação Brasileira de Cimento Portland (2010).

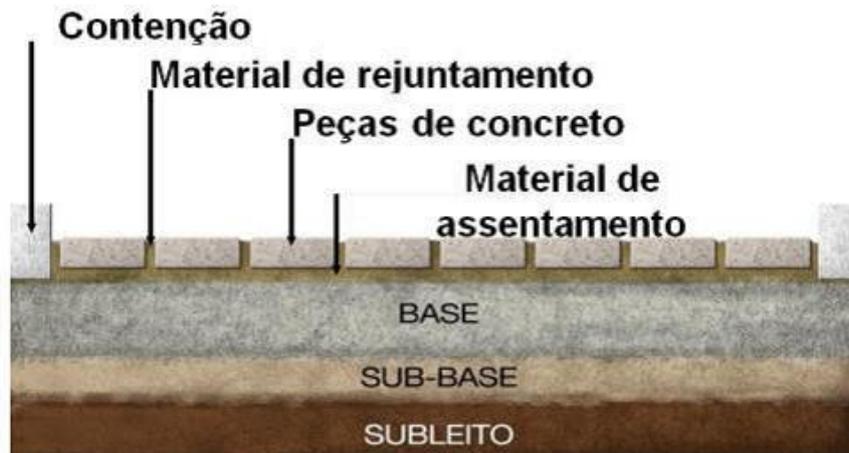


Figura 3 - Estrutura Típica de um pavimento intertravado. Fonte: Associação Brasileira do Cimento Portland, 2010.

As principais características desse tipo de pavimento são: a) superfície antiderrapante - o concreto proporciona segurança aos pedestres, mesmo em condições de piso molhado; b) conforto térmico - a utilização de peças de concreto com pigmentação clara proporciona menor absorção de calor, melhorando o conforto térmico das calçadas; c) liberação ao tráfego - imediato, após a compactação final do pavimento; d) resistência e durabilidade - a elevada resistência do concreto confere grande durabilidade à calçada; e) produto ecológico - os produtos à base de cimento podem ser totalmente reciclados e reutilizados na produção de novos materiais. Isso ajuda na preservação de jazidas de calcário e evita a saturação de aterros; f) diversidade de cores - as peças de concreto podem ser fabricadas com uma ampla variedade de cores e texturas (Associação Brasileira do Cimento Portland, 2010).

São definidos três tipos básicos de formatos de blocos: Tipo 1 - constituído por formas retangulares, apresenta facilidade de produção e colocação em obra, além de facilitar a construção de detalhes nos pavimentos. As suas dimensões são, usualmente, 20 cm por 10 cm e as suas faces laterais podem ser retas, curvilíneas ou poliédricas. Tipo 2 - genericamente, apresenta o formato “I” e somente pode ser montado em fileiras travadas. As suas dimensões são, usualmente, 20 cm por 10 cm. Tipo 3 – esse bloco que, pelo seu peso e tamanho, não pode ser apanhado com uma mão só (suas dimensões são de, pelo menos, 20 x 20 cm). (Associação Brasileira do Cimento Portland, 2010).

Segundo Maciel (2007), o tipo de arranjo em pavimentos intertravados (Figura 4) tem influência tanto na aparência estética quanto no desempenho do pavimento, pois ambos são afetados conforme a escolha do tipo de assentamento. Em geral, não existe um consenso entre os pesquisadores sobre a interferência do tipo de arranjo em sua durabilidade. O arranjo "espinha-de-peixe" é considerado o mais adequado devido a sua boa resposta frente ao fenômeno de "escorregamento" analisado em relação ao travamento horizontal.

Com relação às especificações técnicas, as principais normas brasileiras para os blocos de concreto destinados à pavimentação são a NBR 9781 – “Peças de concreto para pavimentação: especificação” e a NBR 9780 – “Peças de concreto para pavimentação: determinação da resistência à compressão”. Algumas das especificações mencionam que os blocos ou tijolos de cimento devem possuir: Resistência à compressão  $\geq 35$  MPa; espessura: 6, 8 ou 10 cm (definida em projeto); acabamento superficial: diversidade de cores e formatos; tipo de base: para calçadas utiliza-se brita graduada simples compactada.

## 2.1 Composição do Concreto

O concreto é o resultado da mistura de cimento, água, brita e areia (Figura 5). O cimento ao ser hidratado pela água forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados (brita e areia), formando um bloco monolítico. A relação entre o peso da água e do cimento utilizados na dosagem é chamada de fator água/cimento (a/c). O concreto deve ter uma boa distribuição granulométrica a fim de preencher todos os vazios, pois a porosidade por sua vez tem influência na permeabilidade e na resistência das estruturas de concreto (Portal do concreto).

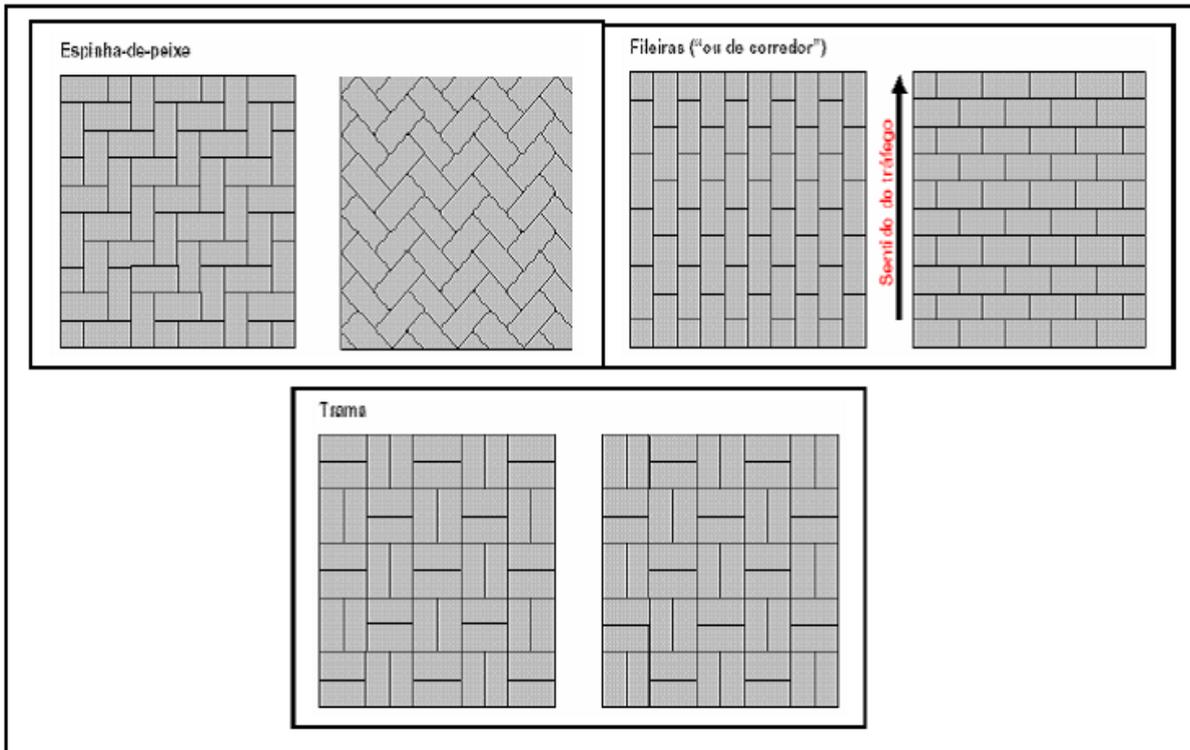


Figura 4 - Tipos de arranjos de pisos Intertravados. Fonte: Muller, 2005 apud Maciel, 2007.

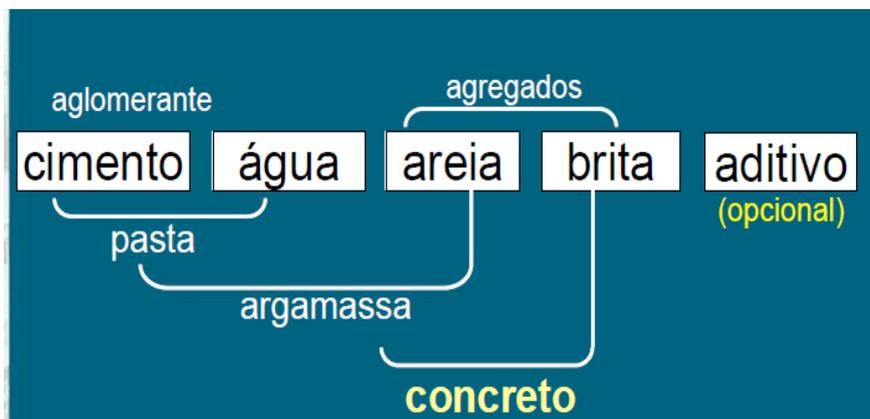


Figura 5 - Composição do concreto. Fonte: Curti, 2004.

A proporção entre todos os materiais que fazem parte do concreto é também conhecida por dosagem ou traço, podendo-se obter concretos com características especiais, ao acrescentar-se à mistura, aditivos, pigmentos, fibras ou outros tipos de adições. Cada material a ser utilizado na dosagem deve ser analisado previamente em laboratório (conforme normas da ABNT), a fim de verificar a qualidade e para se obter os dados necessários à elaboração do traço (massa específica, granulometria, e outras) (Portal do Concreto). A expressão I mostra a proporção do traço ou dosagem dos materiais constituintes do concreto:

$$1:2:3:0,5 \text{ (c:a:b:a/c)}$$

Ex (I)

Sendo:

- c = Quantidade de cimento Portland
- a = Quantidade de areia
- b = Quantidade de brita
- a/c = Relação água/cimento

O cimento Portland usado na confecção dos blocos deve ser de alta resistência inicial, tipo CP V–ARI. Esse cimento tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto. Esse tipo de cimento confere uma alta resistência inicial ao concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26 MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade. Por se tratar de um cimento de maior custo de produção, normalmente apresenta preços mais elevados que os demais tipos (Cimento.org, 2010).

Os agregados são relativamente baratos, e não entram em reações químicas com a água, logo são tratados no concreto como materiais inertes. Entende-se por agregados, o material granular, sem formas e volumes definidos, geralmente inertes, de dimensões e propriedades adequadas para usos em obras de engenharia. São agregados as rochas britada, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rochas.

Os agregados desempenham um papel importante nas argamassas e concretos, quer do ponto de vista econômico, quer do ponto de vista técnico e influenciam beneficentemente algumas características importantes, como retração, aumento da resistência ao desgaste, entre outros, sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade tem resistência superior ao da pasta de aglomerante (Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2004). São usados dois tipos: agregado graúdo e agregado miúdo.

Segundo a ABNT 7211/2009, agregado graúdo (agregados para concreto – Especificações), agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 75 mm e ficam retidos na peneira de malha 4,75 mm. Agregado Graúdo é o pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, proveniente da britagem de rochas estáveis, com um máximo de 15 % passando na peneira de 4,8 mm. Os agregados devem ser provenientes de rochas estáveis, isto é, inalteráveis sob a ação do ar, da água ou do gelo. As britas no Brasil são obtidas principalmente pela trituração mecânica de rochas de granito, basalto e gnaíse.

Segundo a ABNT 7211/2009, agregado miúdo (agregados para concreto – Especificações), agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm. O agregado miúdo é a areia extraída em leito de curso de água (por dragagem), em cava seca (por simples carregamento ou por desmonte hidráulico), ou extraída em cava submersa (por dragagem) (RUSSO, 2011).

A água utilizada no amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento. É usual dizer que toda água que serve para beber pode ser utilizada na confecção de concreto. Na realidade, os maiores defeitos provenientes da água de amassamento têm maior relação com o excesso de água do que propriamente com os elementos que ela possa conter. A NBR - 6118, no item 8.1.3, presume como satisfatórias as águas potáveis e as águas que tenham pH entre 5,8 e 8,0.

Os aditivos indicados para o uso em concreto devem atender os requisitos da NBR 11.768 (tipo SP) e ASTM C494 (tipo F). O aditivo adicionado ao concreto apresenta as seguintes vantagens: redução da relação água/cimento; melhora consideravelmente a trabalhabilidade, reduzindo o tempo de vibração; permite melhor adensamento em armaduras; aumenta a resistência à compressão, permitindo economia de cimento, reduzindo o custo do concreto; não altera o tempo de pega. A dosagem indicado para uso deve ser de 0,3 % a 2,0 % em peso sobre o cimento.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Na confecção dos pisos Intertravados (blocos de concreto), utilizou-se um traço de 1:2:3, sendo 1 parte de cimento, 2 partes de agregado miúdo, e 3 partes de agregado graúdo. As dimensões dos blocos foram de 20 cm x 10 cm x 6 cm. Para cada bloco foram usados 460 g de cimento CPV ARI RS da marca Mizu, 920 g de quartzito rosa, como agregado miúdo, 1.380 g de quartzito branco como agregado graúdo, 253 ml de água potável, e 10 ml de aditivo “Liquiplast 1700”. O quartzito rosa é proveniente de uma lavra

(“Serra da Carneira”) localizada no município do Junco do Sérido/PB. O quartzito branco é proveniente de uma serraria localizada no município de Várzea/PB.

A massa para confecção dos blocos de concreto foi preparada em uma betoneira, onde ocorre a mistura homogênea dos materiais (cimento, areia, brita, água, e aditivo). Após a mistura dos materiais colocou-se a pasta em fôrmas plásticas, levando-as para uma mesa vibratória para retirada de todo ar existente na pasta, a fim de que as peças tenham maior resistência e durabilidade. As peças de concreto ficaram durante 24 h nas fôrmas, em uma estante para cura inicial, após as 24 h as peças de concreto foram desmoldadas e colocadas imersas dentro d’água por 28 dias para a cura final.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Agregado Graúdo

Composição granulométrica do agregado graúdo: Na análise granulométrica, mostrada na Tabela I, foi utilizado 10,0 kg de agregado graúdo. A norma NM 248:2001 recomenda que a massa mínima de amostra de ensaio para agregados acima de 4,75 mm seja maior que 0,30 kg.

Tabela I – Análise granulométrica do agregado graúdo.

Peneira Tyler (n°)	Peneira (mm)	Retido (Kg)
3/8 pol.	9,5	0,605
5	4,0	4,440
8	2,38	3,215
16	1,19	1,620
30	0,60	0,055
Total	--	9,935

Observa-se nessa tabela que 50,5 % do material ficou retido nas peneiras acima de 4 mm e 32,2 % ficou retido na peneira de 2,38 mm, indicando encontra-se dentro da faixa de composição granulométrica estabelecida para os agregados graúdos, segundo a NBR 7211.

Composição química do agregado graúdo: A Tabela II mostra os resultados das análises de FRX do quartzito branco. Os agregados podem, em alguns casos, conter substâncias como materiais carbonosos, sais, alta quantidade de ferro, grânulos tenros friáveis que podem prejudicar a durabilidade e resistência do concreto; por essa razão, o conhecimento da composição química dos agregados fornece informações relevantes para a avaliação de seus usos específicos seja, em cerâmica, em pisos intertravados e em outras aplicações, assim podendo-se esperar resultados positivos.

Tabela II – Análise de fluorescência de raios-X da amostra de quartzito branco.

Óxidos (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	Rb <sub>2</sub> O	SrO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	70,73	12,19	9,79	4,39	0,99	0,92	0,45	0,40	0,09	0,03	0,02

Fonte: Valdiviezo, E.V. *et al*, 2013.

Os resultados mostrados na tabela indicam que o quartzito branco, contém alto teor de SiO<sub>2</sub>, mostrando um caráter predominantemente quartzoso, seguido do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (12,19 %) e do K<sub>2</sub>O (9,79 %), devido a presença de feldspato e mica. A quantidade de óxido de ferro (F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 4,39% deve-se, possivelmente, à presença de mica biotita.

### 4.2 Agregado Miúdo

Composição granulométrica do agregado miúdo: Na análise granulométrica, mostrada na Tabela III, foi utilizado 10,0 kg de agregado miúdo. A norma NM 248:2001 recomenda que a massa mínima de amostra de ensaio para agregados menores que 4,75 mm seja de, no mínimo, 0,30 kg.

Tabela III – Análise granulométrica do agregado miúdo.

Peneira Tyler (n°)	Peneira (mm)	Retido (Kg)
5	4,0	0,10
8	2,38	0,55
16	1,19	0,85
30	0,60	2,00
48	0,30	2,40
Total Retido (Kg)	--	5,90
Passante (Kg)		4,10
Total		10,0

Observa-se nessa tabela que o 59,0 % do material encontra-se passante na peneira de 4 mm e retido na peneira de 0,30 mm, assim estando na faixa aceitável de granulometria, estabelecida para os agregados miúdos, segundo a NBR 7211.

Composição química do agregado miúdo: A análise de FRX foi realizada na amostra de quartzito rosa gerando os resultados apresentados na Tabela IV.

Tabela IV – Análise de fluorescência de raios-X da amostra de quartzito rosa.

Óxidos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
(%)	77,25	9,94	8,30	3,71	0,72	0,59	0,42	0,35	0,24	0,16
Óxidos	CuO	ZrO <sub>2</sub>	SrO	Rb <sub>2</sub> O	ZnO	PbO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ac	C	--
(%)	0,09	0,08	0,06	0,03	0,03	0,03	0,01	0,005	0,000	--

Os resultados mostrados na tabela indicam que o quartzito rosa, contém alto teor de SiO<sub>2</sub>, mostrando um caráter predominantemente quartzoso, seguido do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e do K<sub>2</sub>O, devido a presença de feldspato e mica. A quantidade de óxido de ferro (F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) deve-se, possivelmente, à presença de mica biotita.

### 4.3 Ensaios Físico-Mecânicos

Resistência à compressão: No ensaio utilizou-se 06 corpos de prova, e o equipamento usado de acordo com a ABNT NBR NM ISO 7500-1. O corpo de prova foi posicionado, para que o seu centro esteja dentro dos discos de apoio da máquina. O acionamento foi através de uma fonte estável de energia propiciando uma aplicação de força contínua e isenta de choques, como mostra a Figura 6.



Figura 6 - Ensaio de resistência à compressão, mostrando detalhes do corpo de prova colocado no equipamento.

Na determinação da resistência à compressão dos blocos, preparados com traço de 1:5, utilizou-se a Equação I, expressa em Megapascal (MPa), e a Equação II, ambas recomendadas pela norma da ABNT NBR 9781:2013.

$$f = f_p - t \times S \quad \text{Eq. I}$$

Sendo:

$$S = ( \sum (f_p - f_{pi})^2 / n - 1 )^{1/2} \quad \text{Eq. II}$$

A resistência à compressão determinada experimentalmente para os 06 blocos de concreto testado foi, em média, de 11,18 MPa. A confecção de blocos de concreto, para uso em pisos intertravados, com a utilização de cimento, agregado miúdo (quartzito rosa), e agregado graúdo (quartzito branco) na proporção 1:2:3, teve resultados não muito promissores, já que a resistência à compressão foi inferior à recomendada na norma técnica da ABNT (Tabela V). Por essa razão, o uso desses pisos pré-moldados poderia ser aplicado em calçamentos que sejam submetidos a menores esforços de movimentação de pedestres e veículos, como o caso de calçadas internas e externas de residências.

Segundo a norma da ABNT NBR 9781:2013, a resistência à compressão deve cumprir as exigências conforme mostrado na Tabela V.

Tabela V – Resistência à compressão

Aplicação	Resistência à compressão após 28 dias de cura. MPa.
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.	≥ 35,0
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.	≥ 50,0

Resistência à tração na flexão: Nesse ensaio, um corpo-de-prova de forma cilíndrica foi submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até à ruptura. O ensaio também é designado por “carregamento nos terços”, devido que as seções carregadas se encontrarem nos terços do vão (Figura 7). A força deve ser aplicada de modo contínuo e sem choques, de forma que o aumento da tensão sobre o corpo de prova esteja compreendido no intervalo de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min. (ABNT NBR 12142:1991).



Figura 7 – Ensaio de Resistência à Tração na Flexão, mostrando detalhes do corpo de prova colocado no equipamento.

A resistência à tração na flexão foi calculada de acordo com a seguinte Equação III:

$$f_{ct,f} = F \cdot l / b \cdot d^2 \quad \text{Eq. III}$$

Sendo:

$f_{ct,f}$  = resistência à tração na flexão, em MPa;

F = força máxima registrada na máquina de ensaio, em Newton (N);  
l = dimensão do vão entre apoios, em mm;  
b = largura média do corpo de prova, em mm;  
d = altura média do corpo de prova, em mm.

A força máxima (F) aplicada foi de  $8 \times 10^3$  N, a dimensão entre os vão de apoio (l) foi de 50 mm, a largura média do corpo de prova (b) foi de 100 mm, e a altura média do corpo de prova (d) foi de 60 mm. A resistência a tração na flexão, calculada com equação acima, foi de 1.11 MPa. A norma da ABNT recomenda que a resistência à tração seja 10 % do valor da resistência à compressão.

Absorção de água: Segundo a ABNT NBR 9781:2013, a absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso, devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação a sua massa em estado seco. O bloco de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não se admitindo nenhum valor individual maior do que 7 %. No ensaio foram utilizados 6 corpos de prova, água potável, estufa, balde com água potável, balança (Figura 8).



Figura 8 – Ensaio de absorção de água, mostrando detalhes do: a) fragmentos do corpo de prova; b) pedaços do bloco mergulhados em balde com água potável; c) estufa; e d) balança.

Nesse ensaio imergiu-se os corpos de prova em água, a temperatura ambiente por 24 horas, depois de passadas as 24 horas, cada corpo de prova foi pesado na balança na condição saturada. Em seguida, colocou-se os corpos de prova saturados na estufa a 110 °C, mantendo-se nessa condição por mais 24 horas, após 24 horas os corpos de prova secos foram pesados novamente. O valor de absorção de água de cada corpo de prova foi calculado utilizando-se da Equação IV.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Equação IV}$$

## 5. CONCLUSÕES

O estudo do aproveitamento dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas de quartzitos mostraram resultados muito promissores. Esses resíduos, constituídos de lascas, aparas, recortes, tiras, e outros, podem ser usados como agregado graúdo e agregado miúdo, na fabricação de pisos intertravados, porém com restrições.

Os blocos de concreto confeccionados com resíduos de quartzito, no traço 1:2:3, sendo 1 parte de cimento, 2 partes de agregado miúdo, e 3 partes de agregado graúdo, mostrou resultados pouco satisfatórios, devido a que os ensaios de resistência à compressão foram inferiores aos recomendados pelas normas técnicas da ABNT. A resistência à compressão do bloco foi de 11,18 MPa. Enquanto que a norma técnica recomenda valores  $\geq 35,0$  MPa. Por essa razão, o uso desses pisos pré-moldados poderiam ter restrições quanto à aplicabilidade. Esse tipo de bloco de concreto pode ter aplicação na pavimentação de calçamentos, que sejam submetidos a menores esforços de movimentação de pedestres e veículos.

No ensaio de tração à flexão, o resultado obtido se encontra dentre os valores recomendados pela norma técnica. Verificou-se que o bloco fabricado apresenta alta resistência à tração na flexão, o que indicaria maior flexibilidade quando exigido. Esse comportamento deve-se, possivelmente, à presença da mica moscovita, mineral que normalmente ocorre na composição mineralógica dos quartzitos.

O resultado do ensaio de absorção de água mostrou que o material teve uma absorção de água ligeiramente superior ao recomendado pela norma técnica. Esse valor, provavelmente, não acarretaria alterações significativas na utilização desses agregados minerais na confecção dos pisos pré-moldados.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI), Programa de Entidades Associadas, pelo apoio financeiro.

## 7. REFERÊNCIAS

Agência Ambiental Pick-Upau. 2014. São Thomé das Letras: Cidade Mineira em Perigo. Pick-Upau Brasil. 2006. Disponível em: [http://www.pickupau.org.br/sos/caso\\_sao\\_thome\\_das\\_letras/pedra\\_mineira/pedra\\_mineira.htm](http://www.pickupau.org.br/sos/caso_sao_thome_das_letras/pedra_mineira/pedra_mineira.htm), acessado em 25/10/2014.

Associação Brasileira de Cimento Portland. 2010. Manual de Pavimentos Intertravados: Passeio público. São Paulo, Disponível em <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fsolucoesparacidades.com.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F08%2FManualPavimentoIntertravado.pdf&ei=hEZpVPjkI8meNrPsgvgN&usg=AFQjCNH96hsTQ2HTvzDUHdkx29wGs29yZg&sig2=8ebgyEokWVuzO9KoYenxsQ>. Acesso em: 29 Set. 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1991. NBR 12142: Concreto – Determinação da Resistência à Tração na Flexão em Corpos-de-prova Prismáticos. Rio de Janeiro, RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2009. NBR 7211: Agregados para Concreto – Especificação. Rio de Janeiro, RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1987. NBR 9780: Peças de Concreto para Pavimentação - Determinação da Resistência à Compressão. Rio de Janeiro, RJ.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013. NBR 9781: Peças de Concreto para Pavimentação – Especificações e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ.

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 2004. Apostila de Tecnologia do Concreto. Disponível em:

<http://www.ebah.com.br/search?q=controle+tecnologico+concreto+instituto+federal+esp%EF%BF%BDrito+santo+engenharia+civil>. Acesso em: 17 Out. 2014.

Cimento.org – O Mundo do Cimento. CP V Ari – Cimento Portland de Alta Resistência. 2010. Disponível em: <http://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial>. Acesso em 23 Set. 2014.

Curti, R. 2004. Gestão de Estruturas Racionalizadas de Concreto. Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em: <http://www.comunidade-da-construcao.com.br/ativos/82/curso-de-gestao-de-estruturas-racionalizadas-de-concreto-controle-tecnologico-de-pavimentos.html>. Acesso em: 28 Set. 2014.

Maciel, A. B. 2007. Dossiê Técnico: Pavimentos Intertravados. SENAI Vergílio Lunadi. Rio Grande do Sul, RS. Disponível em: <http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico?dossie=Mjcz>. Acesso: 01 Ago. 2014.

Portal do Concreto. 2014. Concreto. Disponível em:

<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html>. Acesso: 27 Set. 2014.

Russo, M. L. C. 2011. Reciclagem de Resíduos Gerado na Extração de Quartzito. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) 174 p. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. Disponível em: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8RRFAS/2011\\_12\\_06\\_tese\\_vers\\_o\\_final\\_mario\\_cabello\\_capa\\_contra\\_capa\\_ficha\\_catalografica\\_e\\_tese.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8RRFAS/2011_12_06_tese_vers_o_final_mario_cabello_capa_contra_capa_ficha_catalografica_e_tese.pdf?sequence=1). Acesso: 23 Set. 2014, 15:22:40.

Valdiviezo, E.V. *et al.* 2013. Caracterização dos Resíduos da Lavra de Quartzitos da Região do Seridó Visando a Produção de Cerâmicas para Porcelanato. Ambiente Mineral – Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente, Campina Grande, V.1, n.1, p.16-24.

Xavier, V. J. M. 2014. Utilização do Resíduo de Quartzito em Argamassas de Múltiplos Usos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 51 p. Disponível em:

[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww2.ufersa.edu.br%2Fportal%2Fview%2Fuploads%2Fsetores%2F270%2FTFG%2520-%2520Eng%2520Civil%2FMONOGRAFIA\\_VANESSA\\_JAMILLE.pdf&ei=MDhpVI\\_UOoqggwScqoLADw&usg=AFQjCNFxPYillGy1sV2JqIvjGvhEnpK2jw&sig2=snw03N0Gh5BkaHuAvvxVSA](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww2.ufersa.edu.br%2Fportal%2Fview%2Fuploads%2Fsetores%2F270%2FTFG%2520-%2520Eng%2520Civil%2FMONOGRAFIA_VANESSA_JAMILLE.pdf&ei=MDhpVI_UOoqggwScqoLADw&usg=AFQjCNFxPYillGy1sV2JqIvjGvhEnpK2jw&sig2=snw03N0Gh5BkaHuAvvxVSA). Acesso: 25 out. 2014.