



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

ENGENHARIA CIVIL

LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

KALIL RUAN SILVA DA VEIGA

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM
INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL COMO ADIÇÃO E RESÍDUO DE CERÂMICA
VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**

Caruaru

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
ENGENHARIA CIVIL
LABORATÓRIO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

KALIL RUAN SILVA DA VEIGA

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM
INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL COMO ADIÇÃO E RESÍDUO DE CERÂMICA
VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para a
graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil.

Orientadora: Professora doutora Ana Cecília Vieira da Nóbrega.

Caruaru

2019

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

V426d	<p>Veiga, Kalil Ruan Silva da. Desenvolvimento de blocos intertravados de concreto com incorporação de lodo têxtil como adição e resíduo de cerâmica vermelha em substituição do cimento Portland. / Kalil Ruan Silva da Veiga. – 2019. 50 f. il. : 30 cm.</p> <p>Orientadora: Ana Cecília Vieira da Nóbrega. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2019. Inclui Referências.</p> <p>1. Blocos de concreto. 2. Resíduos têxteis. 3. Lodo residual. 4. Cerâmica vermelha. I. Nóbrega, Ana Cecília Vieira da (Orientadora). II. Título.</p>
	<p>CDD 620 (23. ed.)</p> <p>UFPE (CAA 2019-095)</p>

KALIL RUAN SILVA DA VEIGA

DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL COMO ADIÇÃO E RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste – CAA, da Universidade federal de Pernambuco – UFPE, como requisito para a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Área de concentração: Construção Civil.

A banca, composta pelos professores abaixo, considera o aluno KALIL RUAN SILVA DA VEIGA, APROVADO com nota _____.

Caruaru, 25 de junho de 2019.

Banca examinadora:

Prof^a. Dra. Ana Cecília Vieira da Nóbrega _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE(Orientadora)

Prof^o. Dr. Flávio Eduardo Gomes Diniz _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof^o. Dr. Humberto Correia Lima Júnior _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos com um imensurável sentimento de gratidão por finalmente ter finalizado esta etapa em minha vida. Agradeço à Deus ou ao Universo, dependendo do ponto de vista da crença de quem esteja lendo, por ter tido de tudo de melhor nestes anos de graduação, pela saúde e livramentos a mim concedidos, pelas oportunidades encontradas e criadas pelo caminho, pelas interferências boas e ruins de pessoas boas e ruins as quais deparei-me neste mesmo caminho, por todas as experiências e resultados alcançados, bons e ruins, que me geraram sempre grandes e importantíssimos aprendizados e que me fizeram ser quem hoje sou.

Agradeço então primeiramente ao meu pai e à minha mãe, José Énio da Veiga Lima e Vera Lúcia Silva da Veiga, por todo esforço, carinho, amor, dedicação e incentivos a mim dedicados; por me ensinarem que para conquistar vitórias é preciso ser perseverante e ter disciplina, andar por caminhos sinceros, éticos e honestos com a cabeça erguida. Em especial à minha mãe que, mesmo depois de falecida, sinto que ainda cuida de mim.

Ao meu irmão, Kelvin Rudah Silva da Veiga, que se mostrou um grande amigo e companheiro, sendo compreensivo nos momentos em que precisei de consolo, e sendo rígido nos momentos nos quais precisei ser corrigido. Agradeço pelo companheirismo e por nunca ter desistido de mim.

Em especial, à professora, minha orientadora, Ana Cecília Nóbrega, pelo investimento acadêmico, pelo apoio em todos os momentos, pelo companheirismo, amizade e orientações que contribuíram fortemente na minha formação profissional e pessoal, bem como pelos tantos anos de parceria. Minha eterna admiração.

Aos meus amigos Arthur Almeida, Andrew Saulo, Hugo Rafael e Athos Murilo por estarem desde o início comigo, bem como Raimundo Paulo, Felipe Michel, Emerson Thiago Luciano Barbosa, Eronildo Luiz e Pedro Marcos que, apesar de não terem iniciado o curso comigo, tornaram-se grandes aliados nessa jornada acadêmica e pessoal. Em especial ao meu companheiro de iniciações científicas e grande amigo Vanderlan Vieira, uma pessoa de grande estima e valor para mim, que sempre incentivou-me nos trabalhos que resultaram neste TCC. Em especial ainda aos meus grandes amigos Júlio César e Guilherme Casé que nos últimos tempos fizeram e

continuam fazendo enorme diferença em minha vida com nossa busca pelo desenvolvimento pessoal.

Aos professores da UFPE/CAA que participaram da minha formação profissional e acadêmica. Conviver diariamente com profissionais de excelência me serviu e serve de inspiração. Agradeço, além de tudo, por me apresentarem a natureza e me capacitaram a interferir nela para o bem comum.

E aos técnicos do Laboratório de Construção Civil/UFPE CAA, Everton Rodrigues e Fabíola Franca, pelo apoio nos ensaios.

“Tudo em que você foca se expande.”

Autor desconhecido.

RESUMO

Duas indústrias aparecem com destaque no quesito geração de resíduos em Caruaru e região. São elas: a indústria de lavanderia têxtil, com a geração de lodo têxtil, e a indústria de cerâmica vermelha, com os resíduos de cerâmica vermelha (RCV); ambos com destinação final custosa e/ou inadequada. Diante disso, viu-se a oportunidade de utilizar os resíduos em questão, a priori inúteis, na incorporação ao traço de concreto de blocos intertravados, os *pavers*, que vem cada vez sendo mais utilizados devido a sua facilidade de aplicação, custo e versatilidade. O lodo têxtil foi incorporado como adição isoladamente (0, 5, 10, 20 e 30%, em relação à massa de cimento) e concomitantemente com o RCV (0, 5, 10, 15 e 20%, em relação à massa de cimento), este último em substituição do cimento Portland. Resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias, bem como resistência à abrasão aos 28 dias foram avaliadas, conforme preconizações da NBR 9781 (ABNT, 2013). Possíveis alterações na coloração dos *pavers* também foram avaliadas. Para todas as incorporações feitas no presente trabalho, todos os traços estudados foram adequados para a produção de *pavers* utilizados em tráfego de pedestres e veículos leves, atingindo a resistência mínima de 35 MPa, exceto os traços de adições isoladas de lodo têxtil nas porcentagens de 20 e 30%, servindo apenas para usos menos nobres estruturalmente. Todos os traços estudados foram aprovados em termos de resistência à abrasão, com cavidade inferior à cavidade máxima de 23 mm, que corresponde à resistência à abrasão mínima exigida pela norma supracitada.

Palavras-chave: Blocos intertravados. Pavers. Lodo têxtil. Resíduo de cerâmica vermelha.

ABSTRACT

Two industries appear prominently in the area of waste generation in Caruaru and in the region. These are: the textile laundry industry, with the generation of textile sludge, and the red ceramic industry, with red ceramic waste (RCV); both with costly final e-or inadequate destination. In view of this, we saw the opportunity to use the waste in question, a priori useless, in the incorporation of concrete blocks interlocking pavers, which are increasingly being used due to its ease of application, cost and versatility. The textile sludge was incorporated as a single addition (0, 5, 10, 20 and 30%, relative to the cement mass) and concomitantly with the RCV (0, 5, 10, 15 and 20%, in relation to the mass of cement), the latter replacing Portland cement. Compressive strength at 7, 14 and 28 days as well as abrasion resistance at 28 days were evaluated, according to NBR 9781 (ABNT, 2013) recommendations. Possible changes in the color of the pavers were also evaluated. For all the embodiments made in the present work, all the traits studied were adequate for the production of pavers used in pedestrian traffic and light vehicles, reaching a minimum resistance of 35 MPa, except for the traces of isolated additions of textile sludge in the percentages of 20 and 30%, serving apposite for less noble uses structurally. All the traits studied were approved in terms of abrasion resistance, with cavity inferior to the maximum cavity of 23 mm, which corresponds to the minimum abrasion resistance required by bove-mentioned norm.

Keywords: Interlocked blocks. Pavers. Textile sludge. Red ceramic waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Pavers.....	18
Figura 2 -	Pavimentação feita com pavers.....	18
Figura 3 -	Seção transversal da aplicação dos pavers.....	19
Figura 4 -	Tijolos de cerâmica vermelha.....	20
Figura 5 -	Telhas de cerâmica vermelha.....	21
Figura 6 -	Lavanderia têxtil.....	22
Figura 7 -	Lodo em seu leito de secagem.....	26
Figura 8 -	Lodo secando ao ar livre.....	27
Figura 9 -	Lodo secando em estufa.....	27
Figura 10 -	Lodo têxtil em moagem.....	27
Figura 11 -	Fases do lodo têxtil.....	28
Figura 12 -	Forno onde é produzida a cerâmica.....	28
Figura 13 -	Cerâmica vermelha após moagem.....	29
Figura 14 -	Prensa Universal.....	31
Figura 15 -	Dispositivo abrasivo (Abrasímetro).....	32
Figura 16 -	Gráfico da curva granulométrica do lodo têxtil.....	35
Figura 17 -	Distribuição discreta e curva granulométrica do RCV para partículas finas	36
Figura 18 -	Difratograma do RCV.....	37
Figura 19 -	MEV (150x) do RCV.....	37
Figura 20 -	MEV (5000x) e uma partícula de RCV em detalhe.....	38
Figura 21 -	Resistência à compressão - adição de lodo têxtil (idade x resistência)	39
Figura 22 -	Resistência à compressão - adição de lodo têxtil (porcentagem x resistência).	39
Figura 23 -	Resistência à compressão - incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV (idade x resistência).....	40
Figura 24 -	Resistência à compressão - incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV (porcentagem x resistência).	41
Figura 25 -	Resistência à abrasão aos 28 dias - adição de lodo têxtil.....	42
Figura 26 -	Resistência à abrasão aos 28 dias - incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização da areia média.....	34
Tabela 2 – Caracterização física do pedrisco (brita 0)	35
Tabela 3 – Caracterização química do cimento.....	35
Tabela 4 – Caracterização física do cimento.....	35
Tabela 5 – Caracterização física do lodo têxtil.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA	14
3	OBJETIVOS	17
3.1	Objetivo Geral	17
3.2	Objetivos Específicos	17
4	REVISÃO DA LITERATURA	18
4.1	Blocos de concreto para pavimentação intertravada.....	18
4.2	Indústria de cerâmica vermelha	20
4.3	Indústria de Lavanderias Têxteis.....	22
5	ESTADO DA ARTE	23
6	METODOLOGIA.....	26
6.1	Coleta dos materiais.....	26
6.1.1	<i>Tratamento do Lodo Têxtil.</i>	26
6.1.2	<i>Tratamento do Resíduo Cerâmica Vermelha (RCV)</i>	28
6.2	Caracterização dos materiais de partida	29
6.3	Formulação e dosagem.....	30
6.4	Testes de propriedades.....	31
6.4.1	<i>Ensaio de Resistência à Compressão</i>	31
6.4.2	<i>Ensaio de Resistência à Abrasão</i>	32
7	RESULTADOS	33
7.1	Caracterização dos materiais	33
7.1.1	<i>Caracterização dos Agregados</i>	33
7.1.2	<i>Caracterização do Cimento CP V ARI</i>	34
7.1.3	<i>Caracterização do Resíduo Lodo Têxtil</i>	35
7.1.4	<i>Caracterização do Resíduo de Cerâmica Vermelha</i>	36
7.2	Verificação da coloração dos pavers.....	38
7.3	Resistência à Compressão.....	38
7.4	Resistência à Abrasão.....	42
8	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A - Resistência à compressão (adição isolada de lodo têxtil)	48

APÊNDICE B - Resistência à compressão (incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV)	49
APÊNDICE C - Resistência à abrasão	50

1 INTRODUÇÃO

Duas indústrias aparecem com destaque no quesito geração de resíduos em Caruaru e região. São elas: a indústria de lavanderia têxtil e a indústria de cerâmica vermelha.

Um dos resíduos têxteis é o lodo têxtil. Este precisa de um tratamento prévio antes de ser descartado, além de seu descarte custar muito aos donos das lavanderias, visto que esse resíduo deve ser destinado a um aterro industrial, tendo que ser pago o transporte desse material e o uso do aterro. Já por parte da indústria de cerâmica vermelha tem-se o resíduo de cerâmica vermelha (RCV). A maior problemática não é a geração de resíduos e sim o descarte destes que, comumente, é feito em terrenos baldios ou às margens de rios e estradas.

Outra indústria que se destaca na região e, principalmente, em Caruaru-PE (local onde foi realizada a pesquisa), é a indústria de materiais cimentícios, enfatizando a fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada, também conhecidos como pavers, que vem cada vez sendo mais utilizados devido a sua facilidade de aplicação, custo e versatilidade.

Diante disso, observou-se a oportunidade de utilizar os resíduos em questão, a priori inúteis, na incorporação ao traço de concreto desses blocos, os pavers. Assim a pesquisa tem como intuito desenvolvimento de blocos intertravados de concreto primeiramente com a adição isolada de lodo têxtil e, segundamente, com incorporação de lodo têxtil como adição e resíduo de cerâmica vermelha em substituição do cimento Portland. Para tanto, deve-se validar a utilização do lodo e do RCV na produção do concreto e, para isto, a pesquisa terá como testes de parâmetros/propriedades os ensaios de resistência à compressão e resistência à abrasão.

Outro fator importante a ressaltar nesse escopo é a utilização de pigmentos, por parte da indústria de materiais cimentícios, na fabricação de pavers, para dar-lhes a coloração desejada. Porém, a adição desses pigmentos prejudica as propriedades do concreto, reduzindo assim a qualidade do produto final. E como o lodo têxtil possui coloração azulada e o RCV, avermelhada, a ideia é verificar a influência da incorporação destes resíduos na coloração dos pavers produzidos, pois caso seja notada uma coloração esteticamente aceitável, o lodo e o RCV caracterizarão uma incorporação ao processo produtivo dos pavers com finalidades também estéticas.

2 JUSTIFICATIVA

A indústria de lavanderia têxtil gera uma grande quantidade de efluentes. Dentre outros resíduos, as lavanderias produzem grandes quantidades de lodo têxtil, provenientes do processo de tratamento físico-químico de seus efluentes. De composição variável, este resíduo pode conter concentrações de substâncias químicas agressivas ao ambiente e aos seres vivos (LELOUP, 2013).

Quando não destinado corretamente, esse resíduo (lodo) causa prejuízos ambientais, visto que pode possuir, em sua composição, substâncias agressivas, tais como corantes com metais pesados. São de interesse deste segmento industrial, o tratamento, a reciclagem e a disposição final adequada do resíduo gerado. Devido à elevada quantidade de lodo resultante dos tratamentos de efluentes empregados e do alto custo para a sua destinação final em aterros industriais, a prática de reutilização do lodo têxtil em materiais cimentícios pode ter grande contribuição para a diminuição do impacto ambiental e econômico na cadeia da construção civil e no setor de lavanderias da região (JÚNIOR, 2013).

O setor têxtil do Agreste pernambucano, chamado Arranjo Produtivo Local (APL), é o segundo maior polo têxtil do país, perdendo apenas para São Paulo. Para manter sua importância e conquistar novos mercados, é fundamental que o APL adote ações que garantam a sustentabilidade ambiental. Em uma lavanderia, a produção de resíduo pode variar de 50 a 300m³ por hora.

Além disso, uma indústria bastante presente no ramo da construção civil é a chamada Indústria de Cerâmica Vermelha. Essa indústria é responsável pela fabricação de tijolos e telhas convencionais e especiais, dentre tantos outros produtos. Estes possuem como principal matéria prima a argila. Constitui em uma área altamente viável devido a abundância de sua matéria prima e desnecessidade de alta tecnologia no seu processo fabril.

Assim como o ramo da construção civil em geral, a indústria de cerâmica vermelha também é bastante tradicional. Isto reflete nos métodos empregados desde o processo de fabricação dos produtos desta indústria até o armazenamento e transporte. Tais métodos, muitas vezes são inadequados sob o ponto de vista sustentável e até sob a perspectiva de eficiência, que diz respeito à relação custo/benefício, isto é, a utilização do menor volume possível de insumos para a obtenção dos resultados desejados, pois há um elevado desperdício de material. O

incomum nesse desperdício é que, diferentemente de muitos outros casos onde há desperdício de material, este ocorre, no caso da indústria de cerâmica vermelha, após a fabricação, isto é, a maior parte do desperdício ocorre não com a matéria prima, mas sim com o produto final. Esse desperdício refere-se à quebra e reprovação de algumas peças, que constituem uma das fontes geradoras dos resíduos dessa indústria.

Para ficar mais claro, explicar-se-á a questão de a quebra e reprovação de peças ser uma fonte geradora de resíduos. Peças defeituosas são simplesmente descartadas, assim como aquelas que quebram durante a fabricação, manuseio interno, transporte e armazenamento. Classificam-se como defeituosas as peças que possuem trincas, deformações, empenamentos e baixa resistência mecânica.

Outro problema, tão importante quanto a geração do resíduo de cerâmica vermelha (RCV), é a destinação final deste resíduo. É prática comum a deposição de RCV em terrenos baldios, leitos de rios e acostamentos de estradas pouco movimentadas.

E assim como a indústria têxtil, a indústria de cerâmica vermelha também tem interesse no quesito “desenvolvimento sustentável”, o que se torna interessante, visto que há uma considerável presença desses dois tipos de indústria em Pernambuco e já há pesquisas com reaproveitamento e reutilização de resíduos industriais por parte de alunos da UFPE.

Além da alta concentração de lavanderias, Pernambuco conta também com diversas empresas do ramo de materiais cimentícios, ressaltando as fábricas de pavers e blocos de concreto.

Assim, tendo em vista o fato de que, em Caruaru e nas cidades circunvizinhas, há um grande número de lavanderias, significativa quantidade de fábricas de peças de cerâmica vermelha e várias empresas do ramo de materiais cimentícios, este projeto busca a incorporação do resíduo lodo têxtil e do RCV em blocos de concreto intertravados de forma isolada e concomitante.

O desenvolvimento desta pesquisa seria de grande relevância e utilidade para os três ramos industriais. Para as lavanderias e para as fábricas de tijolos e telhas cerâmicas, seria encontrada uma solução e destinação final para seus resíduos; já para as empresas de materiais cimentícios, seria desenvolvido um novo produto mais sustentável – que reaproveita resíduos industriais como material de construção – e talvez colorido, visto que o lodo têxtil pode conferir cor azul à mistura, enquanto que o

RCV confere a cor laranja. Deve-se ressaltar ainda que a produção de peças coloridas seria vantajosa, pois provocaria a diminuição do teor de pigmento utilizado. A cor predominantemente azul do lodo têxtil tem origem nos corantes utilizados nas lavanderias de calças jeans do APL, enquanto que a coloração vermelha do RCV é característica da argila utilizada como matéria-prima.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo dessa pesquisa é produzir pavers para pavimentação intertravada com a incorporação (como adição) do lodo têxtil e resíduo de cerâmica vermelha em substituição do cimento Portland.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar fisicamente o lodo têxtil;
- Verificar o índice de pozolanicidade do resíduo de cerâmica vermelha;
- Avaliar como a incorporação isolada do lodo têxtil interfere nas propriedades no estado endurecido dos blocos de concreto para pavimentação;
- Avaliar como a incorporação concomitante do lodo têxtil e do RCV interfere nas propriedades no estado endurecido dos blocos de concreto para pavimentação;
- Avaliar visualmente as alterações na coloração dos sistemas produzidos.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Blocos de concreto para pavimentação intertravada

Os blocos de concreto para pavimentação intertravada, também conhecidos como *pavers*, consistem em peças pré-moldadas em diferentes medidas, cuja principal função é servir de superfície de rolamento e acabamento para pavimentação ou calçamento (ALCANTARA, 2015).

Figura 1 – Pavers.



Fonte: Manual de Pavimento Intertravado (2010).

A camada superficial apresenta características que propiciam conforto ao trânsito de pessoas. Já sua estrutura permite o trânsito de veículos leves ou pesados, dependendo da categoria e da aplicação dos *pavers*. A pavimentação intertravada se caracteriza pela sua simplicidade de assentamento, visto que as peças são simplesmente colocadas sobre uma camada de areia que serve de regularização da base e também atua na distribuição das cargas (FERNANDES, 2013).

Figura 2 – Pavimentação feita com pavers.



Fonte: Manual de Pavimento Intertravado (2010).

Os principais benefícios da aplicação do pavimento intertravado com *pavers* de concreto, tanto para o tráfego de pessoas como para veículos pesados, são:

- Permeabilidade e conforto térmico: harmonia com o meio-ambiente;
- Utilização imediata: liberação para o tráfego logo após sua aplicação;
- Facilidade de manutenção: as peças podem ser removidas e reutilizadas;
- Segurança: a superfície do paver é antiderrapante;
- Versatilidade arquitetônica: vários modelos, cores e combinações;
- Fácil assentamento: com equipamentos de pequeno porte ou até manual;
- Durabilidade: altamente resistente ao clima e a agentes agressivos;
- Possui norma técnica específica: NBR 9781;
- Baixo custo de produção

A forma de aplicação dessas peças é algo imprescindível. O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos. Esta técnica é de suma importância para o desempenho e a durabilidade do pavimento. Duas condições são fundamentais para a execução do intertravamento, são elas: contenção lateral e junta preenchida com areia. A primeira tem como objetivo impedir o deslocamento lateral dos blocos da camada de rolamento, promovendo o intertravamento. Enquanto que a segunda proporciona a transferência de esforços entre os blocos de concreto, permitindo que eles trabalhem juntos, uns com os outros, e suportem as cargas solicitantes.

Figura 3 - Seção transversal da aplicação dos pavers.



Fonte: Manual de Pavimento Intertravado (2010).

Quanto à fabricação, o concreto é produzido industrialmente e compactado em vibroprensas que, por sua vez, proporcionam elevada compactação às peças,

aumentando sua resistência mecânica e durabilidade. Feito isso, as peças são destinadas à cura, onde há um controle de umidade, o que otimiza a hidratação do cimento e proporciona menor absorção de água da peça, permanecendo nesse processo por 24 horas.

Nesta pesquisa, serão envolvidas três indústrias, a de materiais cimentícios, supracitada, a de lavanderias têxteis e a de cerâmica vermelha.

4.2 Indústria de cerâmica vermelha

Ao falar-se cerâmica vermelha, a Associação Brasileira de Cerâmica tem este termo como uma expressão com significado amplo, compreendendo aqueles materiais empregados na construção civil (argila expandida, tijolos, blocos, elementos vazados, telhas e tubos cerâmicos) e alguns de uso doméstico e afins. Nos dois casos os produtos têm coloração predominantemente avermelhada.

Figura 4 - Tijolos de cerâmica vermelha.



Fonte: website da empresa Cerâmica Assu (2018).

Segundo a Anicer, Associação Nacional da Indústria Cerâmica, a indústria de cerâmica vermelha brasileira é composta por 6.903 empresas, que geram faturamento de R\$ 18 bilhões ao ano. Esse ramo objetiva disponibilizar ao mercado e ao consumidor produtos qualificados e sustentáveis que possam apoiar o desenvolvimento crescente e contínuo do País em todas as frentes: da construção de habitações de interesse social até as obras de infraestrutura. Tal segmento representa 4,8% da indústria da Construção Civil e gera mais de 400 mil postos de trabalho diretos e 1,25 milhão indiretos. No Brasil, o principal fornecedor de materiais para edificações, coberturas e saneamentos é o setor de blocos, telhas e tubos cerâmicos. Para se ter uma noção da magnitude dessa indústria, mensalmente apenas as

fábricas de blocos produzem mais de 4 bilhões de unidades, e a fabricação de telhas ultrapassa 1 bilhão de peças neste mesmo intervalo de tempo.

Figura 5 - Telhas de cerâmica vermelha.



Fonte: website da empresa La Cobertura (2018).

As peças brasileiras possuem renome internacional, visto que, além de abastecerem mercados regionais, fazem o mesmo para países vizinhos também. Isto é um reflexo do potencial, qualidade, resistência criatividade por parte da indústria de cerâmica vermelha brasileira. Estes aspectos positivos podem ser justificados pela natureza da matéria prima utilizada, já que os ceramistas possuem as argilas com excelentes propriedades minerais, o que garante aos produtos finais qualidade, durabilidade, conforto térmico e acústico e preço competitivo, quando comparados com as demais opções oferecidas pelo mercado.

Deve-se ressaltar que, assim como esta pesquisa, este ramo industrial tem a preocupação em relação ao escopo sustentável. Neste caso, a sustentabilidade acontece através de práticas, políticas e produtos que reúnem cuidados e ações que respeitam e desenvolvem o meio ambiente, a responsabilidade social, o desenvolvimento econômico e o aprimoramento humano.

Com o intuito de obter conformidade técnica e estimular o desenvolvimento profissional e gerencial da cadeia da construção civil brasileira, muitas indústrias de cerâmica vermelha participam do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H). Este é um programa misto, isto é, de origem pública e privada, em outras palavras, é uma ação do Governo e da iniciativa privada.

4.3 Indústria de Lavanderias Têxteis

As lavanderias têxteis existem há muito tempo; entretanto só vieram a ganhar destaque por volta de 1970, quando o francês Marithé François Girbaud inventou a Stonewash, que é um processo de fabricação têxtil usado para dar uma roupa de pano recém-fabricado uma aparência desgastada. Essa técnica também ajuda a aumentar a suavidade e flexibilidade de tecidos de outra forma dura e rígida. A partir daí surgiu um circuito de desenvolvimentos técnicos passando pelo jato de areia, oxidantes e resinas.

Por ter os setores de fabricação e venda de roupas como destaque em seu potencial industrial, Pernambuco destaca-se no ramo de lavanderias têxteis. Este tipo de indústria é responsável pelo tratamento e acabamento de roupas, sobretudo de peças em jeans. Dentre os seus serviços, inclui-se a pigmentação e lavagem do jeans, o que gera significativa quantidade de resíduos. Geralmente, esses resíduos passam, ainda na lavanderia, por um tratamento primário que, por fim, tem como um de seus subprodutos o lodo têxtil.

Figura 6 - Lavanderia têxtil.



Fonte: website da empresa gbl jeans (2018).

5 ESTADO DA ARTE

Já existem alguns trabalhos feitos embasados na inserção de lodo têxtil em materiais cerâmicos, tanto por adição como por substituição. A. H. Moreira *et al.* (2001) analisou, em seu trabalho, o efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção, e concluiu que existe uma significativa quantidade de matéria orgânica no lodo, pois na análise de perda ao fogo, a calcinação do lodo à 1000ºC mostrou perda de 34,59% em peso, que corresponde à quantidade de matéria orgânica existente no lodo. Além de que o processo permite incorporar grande quantidade de lodo e, portanto, pode absorver uma percentagem elevada do mesmo.

Enquanto que L. C. S. Herek *et al.* (2009) estudou a incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos, através do processo de extrusão. Ele afirma que o lodo gerado em ETEs de lavanderias industriais é um material não inerte de Classe IIA, devido à sua solubilidade em água. Testou-se a qualidade dos tijolos através de ensaios de resistência à compressão, absorção de água, lixiviação e solubilização. Teve-se então como resultado que a resistência à compressão é inversamente proporcional à quantidade de lodo adicionada, enquanto que a absorção de água é diretamente proporcional. No ensaio de lixiviação, nenhum dos metais pesados analisados foi lixiviado. E o ensaio de solubilização comprovou que o produto é inerte, visto que nenhum dos metais analisados foi detectado. A conclusão final de L. C. S. Herek foi que é possível a fabricação de tijolos de vedação com até 20% de lodo incorporado em argila.

R. C. Aquino *et al.* (2014) estudou o efeito da adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação, onde os blocos foram avaliados para misturas com 0%, 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, em peso, de resíduo de lodo inserido como substituição parcial em uma massa padrão utilizada por uma indústria de cerâmica vermelha para fabricação de blocos cerâmicos. Teve-se como resultado que a adição do lodo fez com que houvesse diminuição da retração linear, aumento na perda ao fogo, aumento na absorção de água e diminuição na tensão de ruptura à flexão. A melhor formulação utilizada foi a que continha 2% de lodo, que por sua vez apresentou pouca variação em relação à massa cerâmica sem lodo, sendo um teor considerável para produção em escala industrial.

S. S. Hokazono *et al.* (2013) estudou, em seu trabalho, o uso do lodo da indústria têxtil como agregado ao concreto para análise de resistência. Neste trabalho, utilizou-se cimento portland CPII e um traço padrão de 1: 2: 3 na confecção dos corpos, com uma relação de água e cimento (A/C) de 0,5, atingindo uma resistência à compressão de 15 MPa. Fizeram-se corpos de prova a partir do traço inicial substituindo parcialmente a areia média por lodo em uma proporção de 15%, resultando em 3 composições diferentes, que foram ensaiados em relação à resistência à compressão aos 3, 7 e 21 dias. Neste teste, constatou-se que a resistência dos copos de provas rompidos em 7, 14 e 21 dias foi de respectivamente 13.71 MPa, 16.21 MPa e 15.98 MPa. Concluiu-se então que não seria possível a utilização desse concreto em peças estruturais na construção civil, pois o mesmo não atinge a resistência mínima exigida por norma de $f_{ck} = 20$ MPa. Assim esse concreto poderia ser utilizado em peças não estruturais como: contra-piso, base para regularização de solos, envelopamento de tubulações, acabamento de peças em concreto, entre outros fins. O concreto sem substituição atingiu um $f_{ck} = 16,95$ MPa, já o concreto com substituição, um $f_{ck} = 15,98$ MPa.

Já se referindo ao uso do resíduo de cerâmica vermelha, também há diversas pesquisas desenvolvidas. Com o intuito de se determinar o comportamento do agregado reciclado de cerâmica vermelha na produção de concretos, Cabral, A. E. B. *et al.* (2009) desenvolveram um programa experimental onde se substituiu os agregados miúdos e graúdos naturais pela cerâmica vermelha, além de se variar a relação água/cimento. Os concretos produzidos foram analisados com relação a três propriedades: resistência à compressão, módulo de deformação e volume de poros permeáveis (VPP). Como resultado, todos os modelos obtiveram excelentes coeficientes de determinação, acima de 95%. Conclui-se também que a substituição do agregado miúdo natural pelo miúdo reciclado resulta em um acréscimo da resistência à compressão dos concretos produzidos e para a substituição do agregado graúdo natural pelo graúdo reciclado, um decréscimo. Para as demais propriedades do concreto estudadas, observou-se que a utilização dos agregados reciclados, tanto graúdo quanto miúdo, influi negativamente no comportamento do concreto, sendo que o agregado do tipo graúdo reciclado exerceu em todas as propriedades, uma maior influência.

No Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), foi feito uma pesquisa utilizando os resíduos de cerâmica vermelha na forma de adição mineral para a produção de

concretos autoadensáveis (CAA), sendo considerada tanto na produção de cimentos compostos quanto como adição ao concreto para a obtenção das propriedades específicas do CAA. Foram feitos ensaios para medir os parâmetros de autoadensabilidade, de acordo com a NBR 15823/2010. Também foram realizados ensaios físicos e mecânicos para a determinação do índice de vazios, absorção de água, massa específica e resistência à compressão. Por fim, o constatou que os resíduos de cerâmica vermelha gerados apresentam condições de utilização na forma de pozolana, tanto na incorporação para a produção do cimento composto quanto na utilização como adição de materiais finos ao CAA, melhorando a estabilidade da mistura e suas propriedades físicas, mecânicas e, possivelmente, de durabilidade.

Em outra pesquisa, Angela Teresa Costa Sales e Ricardo dos Santos Alferes Filho, da Universidade de Federal de Sergipe, estudaram o efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. Verificou-se a utilização de pó de resíduo de cerâmica em substituição parcial ao cimento Portland na produção de concretos. Na análise da atividade pozolânica desse material, o ensaio com argamassa de cimento resultou em um índice de 76,9%. Para avaliar o comportamento do concreto, foram produzidas misturas com substituição de 10%, 20% e 40% do cimento pela adição de pó de resíduo cerâmico. Ensaios de resistência mecânica à compressão mostraram que, aos 28 dias, houve redução de 11% dessa propriedade para a substituição de 10% do cimento; houve aumento de 11% para a substituição de 20% do cimento; e 17% de redução para a substituição de 40% do cimento. O módulo de elasticidade dos concretos não sofreu significativas variações, registrando-se apenas um aumento de 8% para o concreto com 20% de adição. Não houve grandes variações nos índices físicos com a introdução da adição ao concreto. Pode-se concluir que a substituição do cimento por adição de pó cerâmico, nos teores estudados, não causou significativa redução da resistência mecânica, rigidez e compacidade nos concretos estudados, indicando a viabilidade de sua aplicação em concretos, com vantagens relacionadas à preservação ambiental, pela incorporação do resíduo cerâmico.

6 METODOLOGIA

Primeiramente, deve-se deixar claro que este trabalho advém de duas iniciações científicas e, por isto, alguns dados aqui utilizados são de anos anteriores ao ano atual.

6.1 Coleta dos materiais

Os materiais utilizados na pesquisa foram coletados em empresas parceiras da UFPE-CAA - Laboratório de Construção Civil (LCC) do CAA - onde foi realizada a pesquisa.

Os agregados foram coletados na empresa JCL Lajes, localizada em Caruaru-PE (como doação). O cimento portland CP V ARI foi coletado na empresa POLIMIX, localizada no distrito industrial, também em Caruaru-PE (como doação). Já o resíduo lodo têxtil foi coletado na Lavanderia MAMUTE, em Toritama-PE (como doação). E o RCV foi coletado em fábricas de cerâmica vermelha de Caruaru, também como doação.

6.1.1 Tratamento do Lodo Têxtil

O resíduo lodo têxtil foi coletado em uma empresa parceira da UFPE, a Lavanderia Mamute, localizada na cidade de Toritama-PE, próximo à Caruaru. O lodo foi coletado no leito de secagem pertencente à lavanderia, posto em baldes e transportado para a UFPE, onde passou por um processo de secagem. Este processo se deu pela secagem do lodo ao ar livre durante 24 horas, e em seguida pela secagem em estufa, também durante 24 horas, sob uma temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.

Figura 7 - Lodo em seu leito de secagem.



Fonte: Do Autor (2017).

Figura 8 - Lodo secando ao ar livre.



Fonte: Do Autor (2017).

Figura 9 - Lodo secando em estufa.



Fonte: Do Autor (2017).

Após a secagem, o lodo foi levado a um moinho de bolas. Neste, em cada ciclo, 5 kg de resíduo foi submetido a moagem durante 2h, garantindo a uniformidade do produto final.

Figura 10 - Lodo têxtil em moagem.



Fonte: Do Autor (2017).

A figura a seguir mostra os estados do lodo têxtil em suas respectivas etapas do tratamento do resíduo, isto é, coletado, seco e moído.

Figura 11 - Fases do lodo têxtil.



Fonte: Do Autor (2017).

6.1.2 Tratamento do Resíduo Cerâmica Vermelha (RCV)

Os RCVs foram doados por uma cerâmica parceira. Na produção da cerâmica, são feitos dois tipos diferentes de telhas, um é calcinado a uma temperatura de 750 °C e o outro a uma temperatura de 900 °C. Os resíduos gerados no processo são descartados juntamente, o que significa que o RCV utilizado nesta pesquisa contém cerâmica dos dois tipos.

Figura 12 - Forno onde é produzida a cerâmica.



Fonte: Alcântara (2015).

O RCV, assim como o resíduo lodo têxtil, teve que passar por processos físicos para se adequar ao meio em que seria submetido, assim, foi necessário a realização de um beneficiamento granulométrico. Este beneficiamento foi dividido em duas partes. Na primeira parte, o material foi quebrado em pedaços menores, para facilitar a moagem. Na segunda parte, o material foi moído em moinho de bolas.

Para a otimização da granulometria do material, utilizou o método usado por Alcântara (2015), que forneceu o tempo de moagem necessário para atingir a finura adequada do RCV. Este tempo é de 2,5 horas de moagem, com o qual cerca de 71% do material passa na peneira de abertura 75 µm (#200). Desta forma, a moagem ocorreu em ciclos de 2,5 horas, sendo moído 10kg de RCV a cada ciclo.

Figura 13 - Cerâmica vermelha após moagem.



Fonte: Alcântara (2015).

Para avaliar a potencialidade pozolânica do resíduo, que é uma propriedade química, foi empregado o método quantitativo de Chapelle da NBR 15895 (ABNT, 2010).

6.2 Caracterização dos materiais de partida

Os materiais caracterizados foram o cimento Portland CP V ARI e os agregados – areia média e pedrisco (brita 0), bem como o lodo têxtil e o resíduo de cerâmica vermelha.

De acordo com Fernandes (2013) para a produção de blocos intertravados de concreto, devido a necessidade de manipular no dia seguinte, são indicados os cimentos do tipo II (composto) e do tipo V (ARI), por expressarem maior resistência nas primeiras idades, quando comparados a outros tipos de cimento (tipos III e IV). O cimento CP V ARI, nas idades iniciais, chega a alcançar o dobro da resistência do cimento CP II, ainda que o tipo II, quando comparado aos outros tipos de cimento (tipos III e IV), tenha uma boa resistência inicial. Devido a esses motivos foi escolhido o cimento CP V ARI, da marca MIZU, para execução da presente pesquisa. As características físicas e químicas do cimento Portland foram fornecidas pelo fabricante. Em laboratório, foram caracterizadas sua finura (%) (ABNT NBR 11579:2012) e massa unitária (g/cm^3) (ABNT NBR NM 23:2001).

Todos os agregados utilizados nesse projeto são os mesmos que a empresa parceira de pré-moldados usa em sua fabricação de *pavers*. A empresa cedeu, atenciosamente, um agregado miúdo e um graúdo. Para sua caracterização física, primeiramente, todo o material foi seco em estufa a 105°C durante um período de 24 horas. Para caracterização granulométrica com dimensão máxima característica e módulo de finura dos agregados, foram seguidos os preceitos da norma NBR NM 248 (ABNT, 2007); para determinar a massa específica, os da norma NBR 9776 (ABNT, 1987) e para determinação da massa unitária, os da norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

6.3 Formulação e dosagem

O traço do *paver* padrão foi o utilizado por Alcantara (2015), cuja dosagem seguiu a metodologia da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para concretos secos. A natureza dos agregados utilizados nesta pesquisa foi a mesma utilizada por Alcantara (2015); tal fato garante a reproduzibilidade do traço padrão. Para avaliar a influência da incorporação do lodo têxtil e do RCV nas propriedades do *paver*, foram confeccionados traços com adição isolada do resíduo lodo têxtil em porcentagens de 0, 5, 10, 20 e 30% (em relação à massa de cimento), e posteriormente foram confeccionados traços com adição do resíduo lodo têxtil em porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20% (em relação à massa de cimento) concomitantemente à incorporação do RCV (em substituição do cimento) em porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20% (em relação à massa de cimento). Ajustes nessas

porcentagens, bem como uso de superplastificante, foram realizados quando necessário.

6.4 Testes de propriedades

As propriedades testadas para os *pavers* desenvolvidos foram as recomendadas pela NBR 9781 – Peças de Concreto par Pavimentação – Especificação e Métodos de Ensaios (ABNT 2013): resistência à compressão e resistência à abrasão. Além disso, foi verificada a influência da adição do lodo têxtil na cor dos sistemas produzidos.

6.4.1 Ensaio de Resistência à Compressão

Corpos de prova do paver padrão e das diversas formulações (nove amostras de cada traço) foram testadas em termos de resistência à compressão na Prensa Universal do Laboratório de Construção Civil (LCC) do CAA (Figura 14), aos 7, 14 e 28 dias de idade, seguindo os preceitos da NBR 9781. Buscaram-se *pavers* que possuíssem resistência à compressão igual ou superior a resistência mínima exigida pela norma para *pavers* utilizados em tráfego de pedestres e veículos leves (35 MPa). Caso não fosse atendida, usos menos nobres estruturalmente foram propostos.

Figura 14 - Prensa Universal.



Fonte: Do Autor (2017).

6.4.2 Ensaio de Resistência à Abrasão

Corpos de prova do *paver* padrão e das diversas formulações (3 amostras de cada traço) foram testados em termos de resistência à abrasão, aos 28 dias de idade, seguindo os preceitos da NBR 9781. Vale salientar que o abrasímetro (equipamento utilizado na medição da resistência à abrasão), Figura 15, foi montado no próprio Laboratório de Construção Civil (LCC) da UFPE – CAA, de acordo com a norma citada anteriormente. E, então, foram aprovados os *pavers* que possuíssem resistência à abrasão maior ou igual à resistência à abrasão mínima exigida pela norma, que é representada por uma cavidade máxima de 23 mm produzida no corpo de prova pelo abrasímetro.

Figura 15 - Dispositivo abrasivo (Abrasímetro).



Fonte: Alcântara (2015).

7 RESULTADOS

7.1 Caracterização dos materiais

7.1.1 Caracterização dos Agregados

Nas Tabelas 1 e 2 são expostas as caracterizações dos agregados. De acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados miúdo e graúdo empregados foram classificados como areia média e pedrisco (brita 0), respectivamente.

Tabela 1 – Caracterização física da areia média.

DETERMINAÇÕES	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADOS OBTIDOS		
Composição granulométrica	NM 248	Abertura da peneira	Porcentagem retida	
		ABNT (mm)	Individual	Acumulada
		4.75	1.01	1.01
		2.36	4.03	5.04
		1.18	8.67	13.71
		0.59	24.70	38.41
		0.30	19.73	58.14
		0.15	15.66	73.80
		Fundo	26.04	99.84
Dimensão máxima característica	NM 248	2.36 mm		
Módulo de finura	NM 248	2.90		
Massa específica	NBR 9776	2.54 g/mL ou g/cm ³		
Massa unitária	NM 45	1.44 g/mL ou g/cm ³		

Fonte: Do Autor (2017).

Tabela 2 – Caracterização física do pedrisco (brita 0).

DETERMINAÇÕES	MÉTODO DE ENSAIO	RESULTADOS OBTIDOS		
Composição granulométrica	NM 248	Abertura da peneira	Porcentagem retida	
		ABNT (mm)	Individual	Acumulada
		9.50	0.13	0.13
		4.75	73.32	73.45
		2.36	24.51	97.95
		1.18	0.42	98.37
		0.59	0.08	98.45
		0.30	0.08	98.53
		0.15	0.16	98.69
		Fundo	1.23	99.92
Dimensão máxima característica	NM 248	9.50 mm		
Módulo de finura	NM 248	6.65		
Massa específica	NBR 9776	2.70 g/mL ou g/cm ³		
Massa unitária	NM 45	1.29 g/mL ou g/cm ³		

Fonte: Do Autor (2017).

7.1.2 Caracterização do Cimento CP V ARI

As características químicas do cimento CP V ARI, fornecidas através do boletim técnico da empresa de cimento, para o lote utilizado está explícito na Tabela 3, bem como suas características físicas estão mostradas na Tabela 4.

Tabela 3 – Caracterização química do cimento.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	RESULTADO (%)
Perda ao fogo	3.99
Resíduo insolúvel	0.84
SO ₃	3.10
CaO livre	1.71

Fonte: MIZU (2015).

Tabela 4 – Caracterização física do cimento.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	UNIDADE	RESULTADO
Início de pega	Minuto	86.67
Fim de pega	Minuto	134.26
Resistência à compressão (1 dia)	MPa	21.00
Resistência à compressão (3 dias)	MPa	31.96
Resistência à compressão (7 dias)	MPa	39.43
Resistência à compressão (28 dias)	MPa	49.26

Fonte: MIZU (2015).

7.1.3 Caracterização do Resíduo Lodo Têxtil

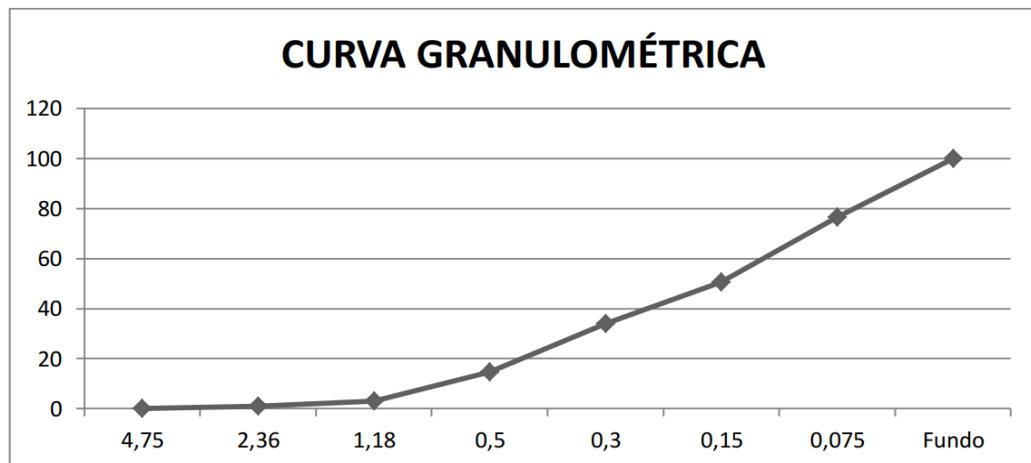
A caracterização do resíduo lodo têxtil foi feita a partir de sua granulometria, onde pôde-se perceber que se trata de um material com muitos finos e de efeito filler.

Tabela 5 – Caracterização física do lodo têxtil.

PENEIRA (mm)	MASSA DE LODO (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
4.75	0.6	0.075	0.075
2.36	7.6	0.955	1.03
1.18	16.6	2.085	3.115
0.5	92.7	11.646	14.761
0.3	153.9	19.334	34.095
0.15	130.7	16.420	50.515
0.075	206.5	25.942	76.457
Fundo	187.4	23.543	100

Fonte: Do Autor (2017)

Figura 16 - Gráfico da curva granulométrica do lodo têxtil.



Fonte: Do Autor (2017)

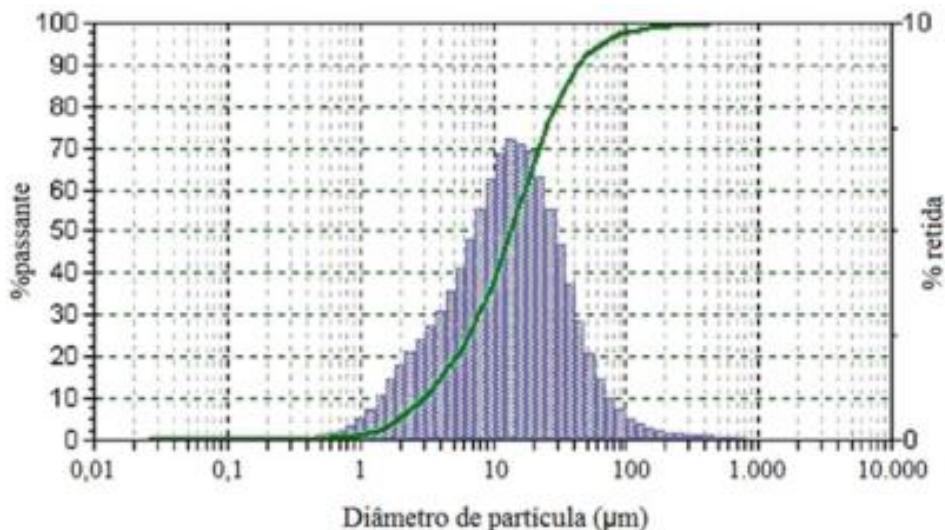
Após o ensaio granulométrico, foi possível também o cálculo do módulo de finura e a determinação do diâmetro máximo característico. O módulo de finura calculado foi de aproximadamente 1,04. E o diâmetro máximo característico determinado foi de 1,18mm.

7.1.4 Caracterização do Resíduo de Cerâmica Vermelha

Como este resíduo foi exatamente o mesmo utilizado por Alcântara (2015) e nesta pesquisa foi realizada sua caracterização, então não foi necessário recaracterizá-lo. Os dados a seguir foram retirados do trabalho supracitado.

Caracterizou-se fisicamente o RCV em termos de massa específica pela NRB NM 23 (ABNT, 2001) (2,69 g/ml) e de massa unitária (0,98 g/ml). Sua área superficial, determinada através de ensaio de BET, é de 27,31 m²/g. A distribuição granulométrica de tamanho de partícula do RCV através de granulometria a laser encontra-se exposta na Figura 17 e evidencia a presença de finos com maior frequência em torno de 15 µm.

Figura 17 - Distribuição discreta e curva granulométrica do RCV para partículas finas.



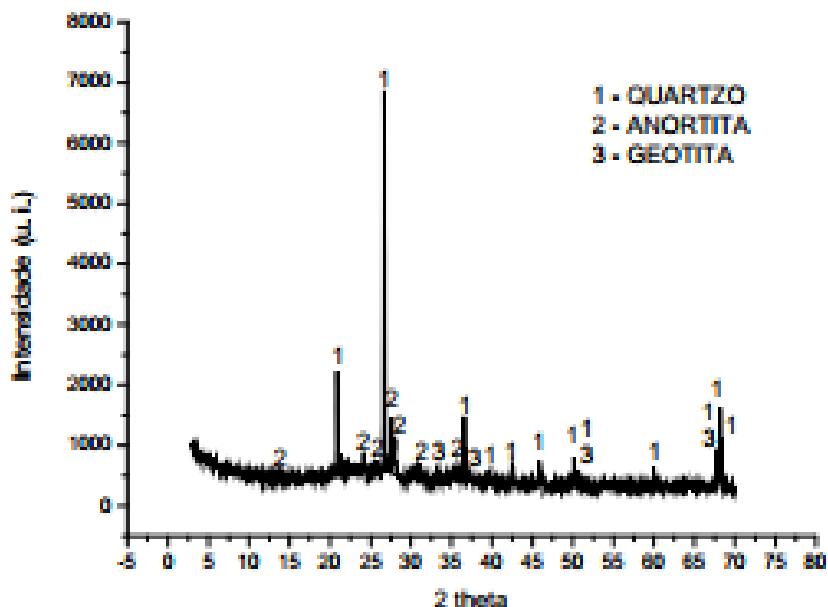
Fonte: Alcântara (2015).

O índice de atividade pozolânica Chapelle ($I_{Ca(OH)_2}$) encontrado do resíduo foi de 311,71 mg CaO/g. Pelo método de Chapelle, para o material ser considerado efetivamente pozolânico, deve apresentar um índice de consumo mínimo de 330 mg de CaO/g da amostra (CHRISTÓFOLI, 2010). Como o resultado obtido foi menor que o mínimo citado, tem-se que a cerâmica em questão não possui propriedades pozolânicas. No entanto, não é inerte, conferindo certa reatividade pozolânica ao sistema.

Também foi realizada a DRX do RCV, para identificar a natureza cristalina ou amorfa do material; e, assim, além de saber sua composição, dar suporte para os resultados de atividade pozolânica; visto que uma pozolana possui organização

microestrutural predominantemente amorfa por serem reativas. Como pode ser observado na Figura 18, o difratograma do RCV apresenta picos representativos de minerais cristalinos como quartzo, anortita e geotita, não acompanhados de halo amorfó significativo, caracterizando o RCV como pouco reativo e, consequentemente, de baixa pozolanicidade.

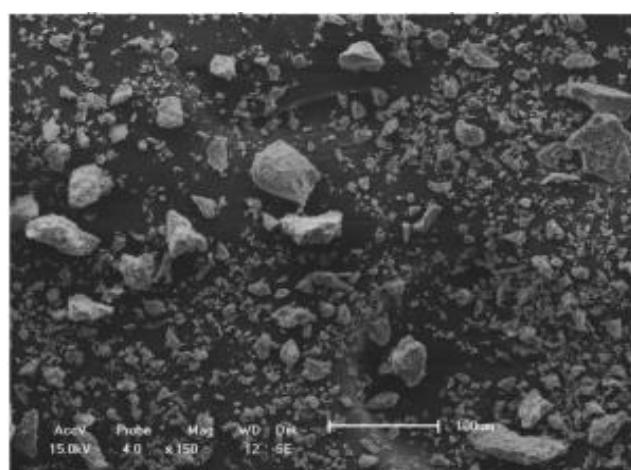
Figura 18 - Difratograma do RCV.



Fonte: Alcântara (2015).

Fez-se ainda análise de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) por Elétrons Secundários (SE) a baixo vácuo, a fim de caracterizar a morfologia da partícula do RCV. A microscopia eletrônica de varredura é mostrada na Figura 19.

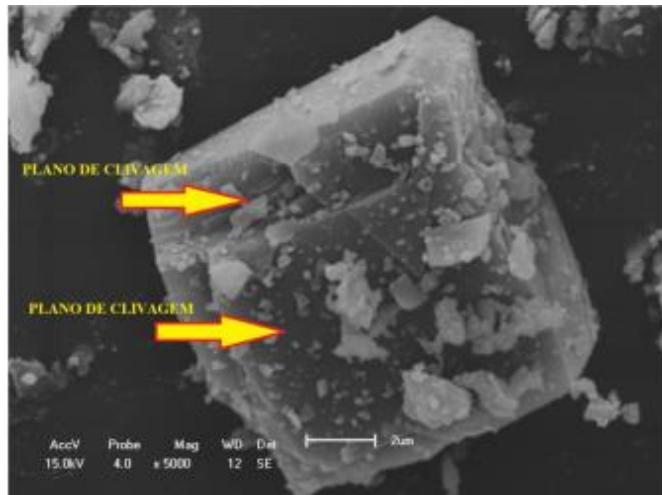
Figura 19 - MEV (150x) do RCV.



Fonte: Alcântara (2015).

Na Figura 20, pode-se observar uma microscopia mais detalhada de uma partícula de RCV. Mostra-se assim sua natureza sem poros, densa e fechada, apresentando planos de clivagem provenientes do processo de moagem, além de grãos menores aderidos à superfície de grãos maiores, responsáveis pelo incremento da área superficial do RCV.

Figura 20 - MEV (5000x) e uma partícula de RCV em detalhe.



Fonte: Alcântara (2015).

7.2 Verificação da coloração dos *pavers*

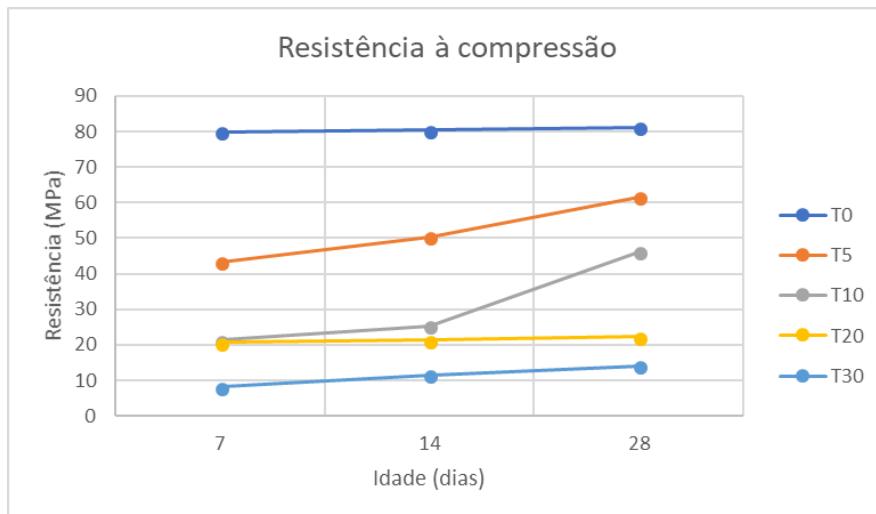
A ideia inicial da adição do resíduo lodo têxtil, quanto à coloração do produto final, era dar à mistura a cor azulada; e, para a adição do RCV, a cor alaranjada. Para que, posteriormente, fosse analisada a possibilidade de diminuir ou até mesmo extinguir o uso de pigmentos na adição, para coloração, ao traço dos blocos em questão. Entretanto, infelizmente, observou-se que a influência, quanto à coloração, da adição do lodo têxtil isolada e concomitantemente com o RCV na mistura é irrigária, visto que os *pavers* que tiveram incorporação destes resíduos continuaram praticamente com a mesma cor do paver padrão (sem adição).

7.3 Resistência à Compressão

Primeiramente foram testados os *pavers* nos quais foi feita a adição isolada do lodo têxtil. E obtiveram-se, então, como resultados as resistências médias na sequência explanadas. Para ilustrar o comportamento das peças testadas em relação a resistência à compressão, foram plotados os gráficos expostos nas Figuras 21 e 22,

um relacionando as idades dos *pavers* com suas respectivas resistências e outro relacionando as porcentagens de adição de lodo têxtil com suas respectivas resistências. Os valores absolutos encontram-se expostos no Apêndice 1.

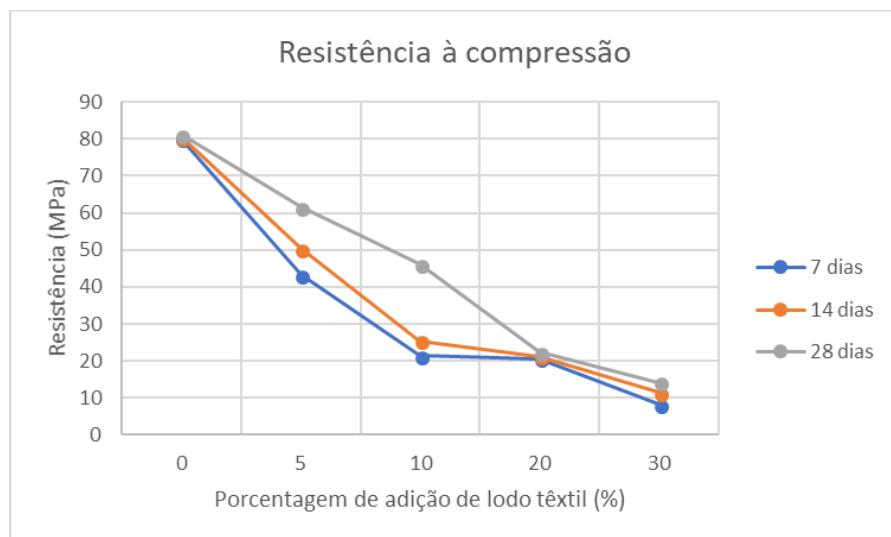
Figura 21 - Resistência à compressão - adição de lodo têxtil (idade x resistência).



Fonte: Do Autor (2017).

Verifica-se na Figura 21 que a incorporação de lodo têxtil, em sua menor proporção, 5%, reduz em cerca de 50% a resistência à compressão do sistema. Com o aumento da idade de cura, no entanto, há uma tendência ao aumento da resistência à compressão, mesmo utilizando-se o cimento CP-V ARI, indicando um retardamento nas reações de hidratação quando da presença do lodo têxtil.

Figura 22 - Resistência à compressão - adição de lodo têxtil (porcentagem x resistência).

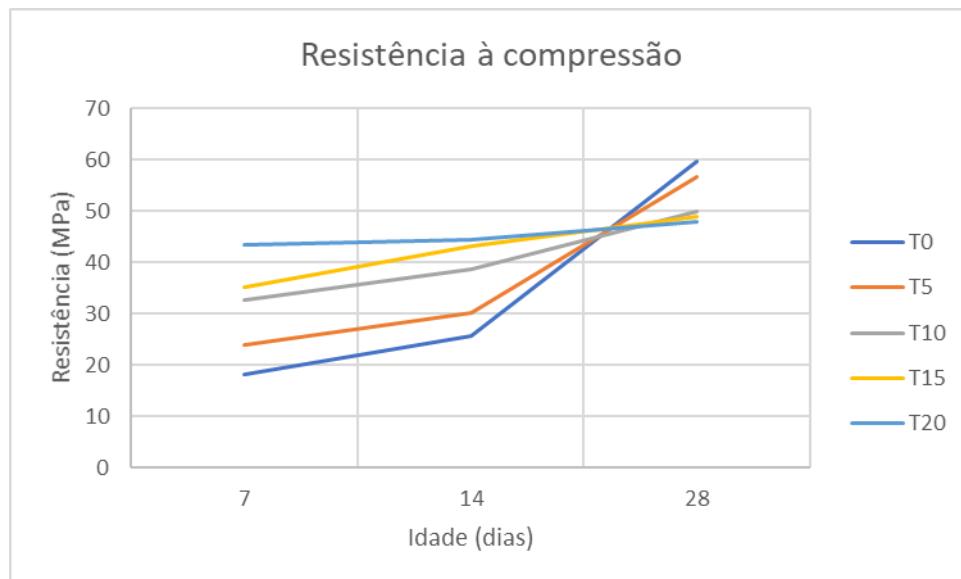


Fonte: Do Autor (2017).

Para a incorporação isolada do lodo têxtil, no ensaio de resistência à compressão, seguindo os preceitos da NBR 9781, teve-se traços aprovados e outros reprovados em relação à resistência à compressão mínima exigida pela norma (35 MPa). Assim, os traços com adições de lodo têxtil em 0, 5 e 10% atingiram a resistência mínima de 35 MPa, servindo para a produção de pavers utilizados em tráfego de pedestres e veículos leves. Já os traços com 20 e 30% de adição de lodo têxtil tiveram resistência à compressão inferior à mínima, servindo apenas para usos menos nobres estruturalmente.

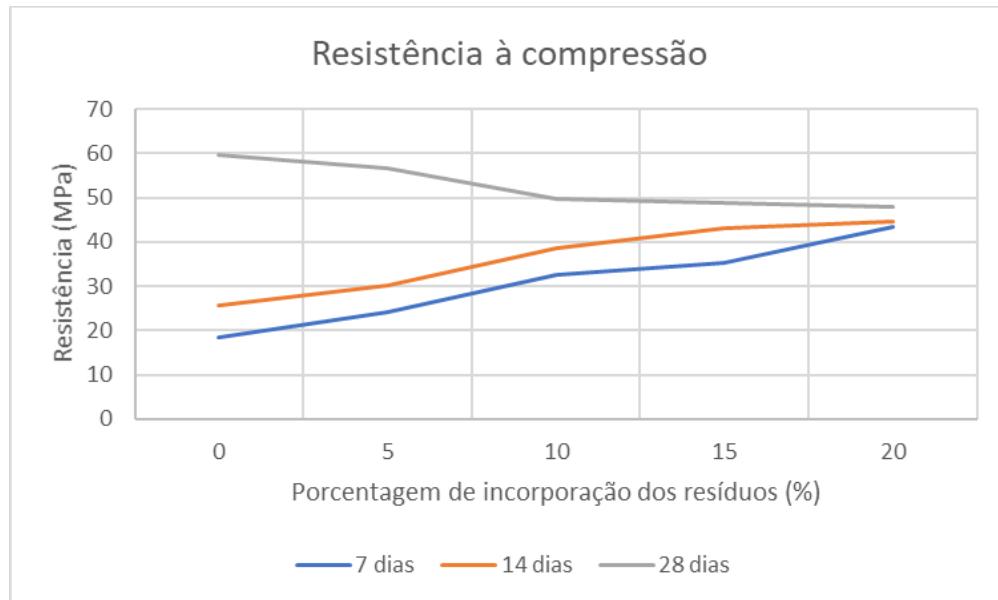
Feitos estes testes, pôde-se fazer o mesmo ensaio para os pavers que tiveram a adição de lodo têxtil concomitantemente à incorporação do RCV. Para ilustrar o comportamento das peças testadas em relação a resistência à compressão, foram plotados os gráficos expostos nas Figuras 23 e 24, um relacionando as idades dos pavers com suas respectivas resistências e outro relacionando as porcentagens de adição de lodo têxtil e RCV com suas respectivas resistências. Os valores absolutos encontram-se expostos no Apêndice 2.

Figura 23 - Resistência à compressão - incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV (idade x resistência).



Fonte: Do Autor (2018).

Figura 24 - Resistência à compressão - incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV (porcentagem x resistência).



Fonte: Do Autor (2018).

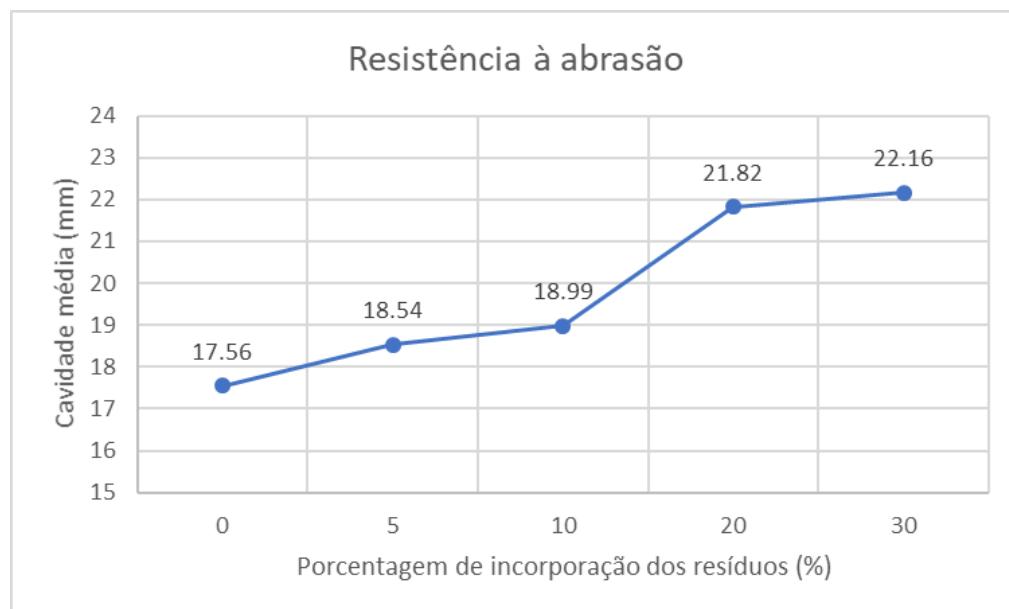
Já para a incorporação concomitante do lodo têxtil e do RCV, no ensaio de resistência à compressão, seguindo os preceitos da NBR 9781, observou-se que nas primeiras idades, 7 e 14 dias, esta incorporação simultânea foi benéfica à mistura, visto que a resistência à compressão aumentou de acordo com o aumento da porcentagem de incorporação dos resíduos em questão. Entretanto, aos 28 dias, que é a idade que determina se o traço atende às exigências da norma, pôde-se ver que a resistência decresceu conforme a porcentagem de incorporação dos resíduos aumentou, sendo, assim, prejudicial à mistura. No entanto, mesmo com a constatação negativa da incorporação dos resíduos ao concreto, todos os traços testados foram aprovados, isto é, possuíram resistência à compressão superior à resistência mínima exigida pela norma (35 MPa).

Vale ressaltar que a diferença entre os valores das resistências à compressão dos traços padrão do primeiro caso (adição isolada de lodo têxtil) e do segundo caso (incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV) dá-se pelo fato de que, no primeiro caso, foi usado superplastificante, enquanto que no segundo, não.

7.4 Resistência à Abrasão

Primeiramente foram testados os *pavers* nos quais foi feita a adição isolada do lodo têxtil. Para ilustrar o comportamento das peças testadas em relação a resistência à abrasão, foi plotado o gráfico exposto na Figura 25, onde a porcentagem de adição de lodo têxtil é relacionada com a respectiva cavidade produzida. Os valores absolutos encontram-se expostos no Anexo 3.

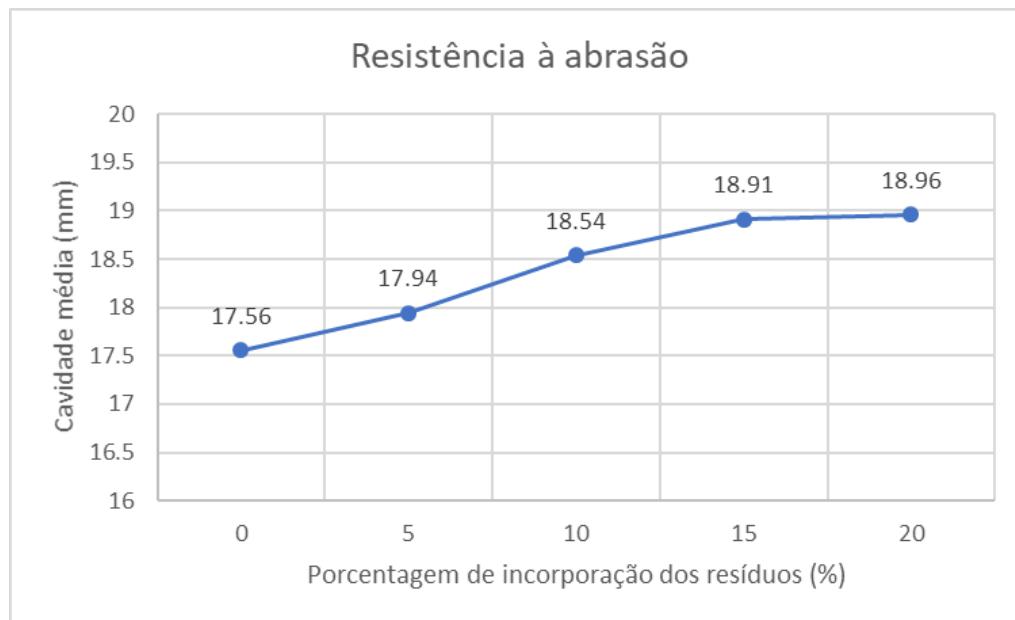
Figura 25 - Resistência à abrasão aos 28 dias - adição de lodo têxtil.



Fonte: Do Autor (2017).

Feitos estes testes, pôde-se fazer o mesmo ensaio para os *pavers* que tiveram a adição de lodo têxtil concomitantemente à incorporação do RCV. O comportamento das peças testadas em relação a resistência à abrasão para esse caso, encontra-se exposto na Figura 26. Os valores absolutos encontram-se expostos no Anexo 3.

Figura 26 - Resistência à abrasão aos 28 dias - incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV.



Fonte: Do Autor (2018).

Verifica-se que no ensaio de resistência à abrasão, tanto para a incorporação isolada de lodo têxtil como para a incorporação concomitante do lodo têxtil e do resíduo de cerâmica vermelha, apesar de ambas as incorporações em questão terem se mostrados prejudiciais às misturas, visto que com a resistência diminuiu com o aumento da porcentagem de incorporação, todos os traços estudados foram aprovados; isto é, os *pavers* testados apresentaram uma cavidade inferior à cavidade máxima de 23 mm, que corresponde à resistência à abrasão mínima exigida pela norma NBR 9781.

8 CONCLUSÕES

Foram testados *pavers* com a adição isolada do resíduo lodo têxtil em porcentagens de 0, 5, 10, 20 e 30% (em relação à massa de cimento), e posteriormente foram confeccionados traços com adição do resíduo lodo têxtil em porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20% (em relação à massa de cimento) concomitantemente à incorporação do RCV (em substituição do cimento) em porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20% (em relação à massa de cimento).

Para todas as incorporações feitas no presente trabalho, todos os traços estudados são adequados para a produção de *pavers* utilizados em tráfego de pedestres e veículos leves, atingindo a resistência mínima de 35 MPa, exceto os traços de adições isoladas de lodo têxtil nas porcentagens de 20 e 30%, servindo apenas para usos menos nobres estruturalmente.

Já para a incorporação concomitante do lodo têxtil e do RCV, a presença do RCV foi positiva em termos de resistência à compressão aos 7 e 14 dias. No entanto, aos 28 dias comportamento inverso foi observado.

Todos os traços estudados foram aprovados em termos de resistência à abrasão, com cavidade inferior à cavidade máxima de 23 mm, que corresponde à resistência à abrasão mínima exigida pela norma ABNT NBR 9781:2013.

Desta forma, assim como proposto, o presente trabalho mostrou que o concreto utilizado para a fabricação de *pavers* pode ser considerado como uma destinação correta e sustentável para o lodo têxtil e o RCV.

Fica então a sugestão, para trabalhos futuros, de testar novas porcentagens de incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV, a fim de determinar a quantidade máxima desses resíduos que o concreto dos paver pode receber sem comprometer sua resistência à ponto de não atingir a resistência mínima de 35 Mpa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 49: Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6467: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), 2013.

AQUINO, R. C. et al. **Adição de Resíduo de Iodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos.

Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB. 2014.

ALCANTARA, P. S. X. **Blocos intertravados coloridos para pavimentação com incorporação de resíduos de cerâmica vermelha em prol da redução de pigmentos.** 2015. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru.

ESTADÃO. **Agreste tem 2º maior polo têxtil do país.** 2013. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,agreste-tem-2-maior-polotextildopais,981078,0.htm>>.

HEREK, L. C. S. et al. **Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos.** CERÂMICA 55. CTC-DEQ, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR. 2009.

JÚNIOR, M. L. D. **Incorporação de lodo de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos para aplicação na construção civil.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2013.

LELOUP, W. A. **Efeito da adição de lodo têxtil e cinzas de lenha gerados no APL de confecções pernambucano em argamassas de cimento Portland.** 2013. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru.

MOREIRA, A. H. et al. **Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção.** CERÂMICA 47. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. 2001.

HOKAZONO, S. S. et al. **Estudo do uso do lodo de indústria têxtil como agregado ao concreto para análise de resistência.** VIII EPCC – Encontro Nacional de Produção Científica. 2013

SOLUÇÕES PARA CIDADES E ABCP (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND). Manual de Pavimento Intertravado – Passeio Público. 2010.

ANICER (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA). A Cerâmica Vermelha no Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Cerâmica Vermelha, 2016. Disponível em <<http://abceram.org.br/ceramica-vermelha/>>.

APÊNDICE A - Resistência à compressão (adição isolada de lodo têxtil)

A1 Resistência à compressão aos 7 dias (adição isolada de lodo têxtil)

- T0: 79,97 MPa;
- T5: 43,25 MPa;
- T10: 21,32 MPa;
- T20: 20,67 MPa;
- T30: 8,22 MPa.

Onde T0 é o traço com 0% de adição de lodo têxtil, T5 é o traço com 5% de adição de lodo têxtil, e assim por diante.

A2 Resistência à compressão aos 14 dias (adição isolada de lodo têxtil)

- T0: 80,42 MPa;
- T5: 50,35 MPa;
- T10: 25,37 MPa;
- T20: 21,25 MPa;
- T30: 11,45 MPa;

A3 Resistência à compressão aos 28 dias (adição isolada de lodo têxtil)

- T0: 81,16 MPa;
- T5: 61,57 MPa;
- T10: 46,17 MPa;
- T20: 22,32 MPa;
- T30: 14,15 MP

APÊNDICE B - Resistência à compressão (incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV)

B1 Resistência à compressão aos 7 dias (incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV)

- T0: 18,32 MPa;
- T5: 24,07 MPa;
- T10: 32,62 MPa;
- T15: 35,27 MPa;
- T20: 43,37 MPa.

Onde T0 é o traço com 0% de adição de lodo têxtil e 0% de incorporação de RCV, T5 é o traço com 5% de adição de lodo têxtil e 5% de incorporação de RCV, e assim por diante.

B2 Resistência à compressão aos 14 dias (incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV)

- T0: 25,67 MPa;
- T5: 30,20 MPa;
- T10: 38,75 MPa;
- T15: 43,25 MPa;
- T20: 44,53 MPa.

B3 Resistência à compressão aos 28 dias (incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV)

- T0: 59,58 MPa;
- T5: 56,72 MPa;
- T10: 49,88 MPa;
- T15: 48,92 MPa;
- T20: 47,93 MPa.

APÊNDICE C - Resistência à abrasão

C1 Resistência à abrasão aos 28 dias (adição isolada de lodo têxtil)

- T0: 17,56mm
- T5: 18,54mm
- T10: 18,99mm
- T20: 21,82mm
- T30: 22,16mm

Onde T0 é o traço com 0% de adição de lodo têxtil, T5 é o traço com 5% de adição de lodo têxtil, e assim por diante.

C2 Resistência à abrasão aos 28 dias (incorporação concomitante de lodo têxtil e RCV)

- T0: 17,56 mm
- T5: 17,94 mm
- T10: 18,54 mm
- T15: 18,91 mm
- T20: 18,96 mm

Onde T0 é o traço com 0% de adição de lodo têxtil e 0% de incorporação de RCV, T5 é o traço com 5% de adição de lodo têxtil e 5% de incorporação de RCV, e assim por diante.