

COMPÓSITO DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS: PERSPECTIVAS DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS EM SÃO LUÍS-MA

SOIL-CEMENT COMPOSITE AND WASTES: PROSPECTS OF SUSTAINABLE MATERIALS

JULYANA DA SILVA LIMA, M.Sc. | UFMA
DENILSON MOREIRA SANTOS, Dr. | UFMA

RESUMO

A indústria da construção civil recorre aos materiais que acarretam impactos negativos ao meio ambiente, bem como promove a geração de elevada quantidade de resíduos. Por outro lado, as inovações em elementos construtivos, através dos princípios do design, podem contribuir para a sustentabilidade. Assim, o objetivo da pesquisa é a avaliação técnica de compósitos formados por diferentes traços de solo-cimento e resíduos da construção e demolição (RCD), visando a aplicação futura em tijolos de vedação para habitações populares na Ilha de São Luís - MA. Desse modo, a pesquisa realiza uma revisão bibliográfica relacionando as temáticas design de produto, materiais e sustentabilidade. Para a verificação da hipótese de um material eficiente e sustentável para a realidade local, foram desenvolvidas diferentes composições de solo-cimento-resíduo de construção e demolição (RCD) para confecção de corpos de prova, aos quais são submetidos às análises de propriedades tecnológicas. Seguindo as diretrizes das normas, os ensaios selecionados para esta pesquisa são: análise granulométrica dos solos, ensaio de retração linear, ensaio de resistência à compressão e ensaio de absorção de água. Com os resultados positivos obtidos, concluiu-se a viabilidade de aplicação de determinadas composições para posterior confecção de tijolos como alternativa aos tijolos cerâmicos tradicionalmente utilizados.

PALAVRAS CHAVE: Tijolo; Design de produto; Reciclagem; Solo-cimento

ABSTRACT

The civil construction industry uses materials that have negative impacts on the environment, such as the generation of a high amount of waste. On the other hand, innovations in construction elements, through the principles of design, can contribute to sustainability. Thus, the objective of the research is the technical evaluation of composites formed by different traces of soil-cement and construction and demolition residues (RCD), aiming at the future application in sealing bricks for popular housing in São Luís Island - MA. Thus, the research carries out a bibliographic review relating the themes of product design, materials and sustainability. In order to verify the hypothesis of an efficient and sustainable material for the local reality, different compositions of soil-cement-construction and demolition residues (RCD) were developed for making specimens, which are subjected to the analysis of technological properties. Following the guidelines of the standards, the tests selected for this research are: soil particle size analysis, linear shrinkage test, compressive strength test and water absorption test. With the positive results obtained, the feasibility of applying certain compositions for subsequent brick making as an alternative to the traditionally used ceramic bricks was concluded.

KEY WORDS: Block; Product Design; Recycling; Soil-cement



1. INTRODUÇÃO

O consumo consciente dos recursos naturais tornou-se uma tendência na sociedade atual, de forma que o homem contemporâneo busca assumir as consequências das suas ações no meio ambiente. Tais mudanças de paradigmas e surgimentos de novos conceitos transformaram a economia, produção industrial e gestão dos materiais, sendo evidenciado no número crescente de empresas que se interessam em empregar resíduos no desenvolvimento de seus produtos, visto que o material reciclado tem valor comercial e pode retornar ao mercado (INACIO; ROVER, 2015).

O design, progressivamente, tem se preocupado em corroborar a sustentabilidade de algum modo na sociedade, seja repensando o ciclo de vida dos produtos ou criando materiais inovadores, principalmente os fundamentados nos processos sustentáveis (FARIAS; SANTOS, 2016). Dentre tantos estudos de casos no âmbito científico, é notória a ligação do surgimento de novos materiais ou compósitos a fim de cooperar com soluções à problemática ambiental.

Neste contexto, o design para a sustentabilidade contribui com mudanças sistêmicas, visando os impactos territoriais a nível local e global na concepção, projeto e fabricação de produtos ou serviços. Inúmeros problemas sociais são mitigados consideravelmente quando a sustentabilidade é incluída como via resolutiva. Como Tamborrini (2012) afirma: “desenhar e produzir: ao fazer escolhas e explorar recursos, dever-se-ia ter em mente o território em questão, além de como atender às necessidades reais dos habitantes” (TAMBORRINI, 2012, p. 57).

Direcionando o foco ao problema habitacional atual do Maranhão, estudos que proporcionem a reutilização de materiais para a geração de novos materiais na construção civil, também podem auxiliar na produção de moradias com melhor custo-benefício para a população carente. Esta pesquisa tem como objetivo a avaliação de compósitos de solo-cimento resultantes da incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD), como elemento adicional aos materiais tradicionais da composição do tijolo de solo-cimento, visando a aplicação futura em alvenarias de habitações populares na Ilha de São Luís – MA.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo a Fundação João Pinheiro – FJP (2015), além do elevado déficit absoluto, o Maranhão apresenta-se com o maior déficit relativo – isto é, que dimensiona a carência em relação ao total de domicílios de uma região - entre as unidades da federação: “a região Nordeste foi a região com o maior número de habitações precárias em 2015, totalizando 492 mil unidades. Desse total, 241 mil unidades estavam no

Maranhão” (FJP, 2015). As necessidades mínimas de habitação não são atendidas de forma eficiente e, em busca de melhorias na problemática habitacional do país, o governo federal tem investido em programas habitacionais e políticas públicas voltadas para a população de baixa renda.

Todavia, a indústria da construção civil recorre às técnicas construtivas, processos e materiais prejudiciais ao meio ambiente. Conforme o Conselho Internacional de Construção, a indústria da construção civil é o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais (MMA, 2016). Portanto, existe também uma ausência de consciência ambiental na produção massiva de habitações. Simultaneamente, o crescimento exacerbado das cidades acarreta um significativo impacto ambiental em diversas áreas. Tais problemáticas alertam para a necessidade de construções de edificações eficientes, abrangendo também as habitações populares.

A proposta de uma habitação popular não deveria enquadrar-se apenas na questão econômica, isto é, adoções de soluções de baixo custo. Desse modo, deve englobar a melhoria da qualidade de vida e a preservação do meio ambiente. Neste contexto, pesquisas realizadas anteriormente comprovam que o solo-cimento contribui significativamente na redução da degradação ambiental (GRANDE, 2003; FERRAZ, 2004; SOUZA, 2006; MAGALHÃES, 2010). Segundo Conciani (2002), a utilização do tijolo de solo-cimento gera redução de custos na construção de habitações populares, podendo atingir até 40% do custo total da edificação. Isto decorre da possibilidade de racionalização e rapidez do processo construtivo através do uso de tijolos modulares, economia de outros materiais construtivos e de mão-de-obra qualificada, eliminação dos rasgos nas paredes para a passagem de tubulações elétricas e hidráulicas, além da redução do consumo de argamassas de assentamento e de regularização (SOUZA, 2006).

Aliando as vantagens existentes na fabricação e aplicação de tijolos de solo-cimento, propõe-se a incorporação dos resíduos de construção e demolição (RCD) na formação do compósito da pesquisa. Desse modo, o compósito proporciona a união de propriedades físicas inerentes a cada componente em um único e novo material, para que apresente “o melhor dos dois mundos”, isto é, as particularidades eficientes de cada material para um determinado fim (SHACKELFORD, 2012).

O reaproveitamento de resíduos da construção civil em tijolos de solo-cimento busca o aperfeiçoamento de um material construtivo já categorizado como sustentável. De forma geral, a viabilidade técnica da utilização de

diversos resíduos na fabricação de blocos de alvenaria já foi estudada. Em tijolos de solo-cimento também já houve incorporação de resíduos específicos da construção civil e, como demonstrado por Patricio et al. (2013), os resultados obtidos mostraram que a adição do resíduo de concreto ao solo melhorou as propriedades mecânicas dos tijolos solo-cimento, possibilitando redução de custos e produção de blocos prensados de melhor qualidade, constituindo-se, portanto, numa excelente alternativa para o aproveitamento deste material (PATRICIO et al. 2013).

Outro estudo pode ser destacado devido ao seu resultado positivo. Silva et al. (2014) aborda a incorporação de resíduos cerâmicos em tijolos feitos com misturas solo-cimento e adição de resíduos de construção e demolição (RCD), com cal hidratada e cimento Portland CII F-32. Os autores avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de tais tijolos pressionados uniaxialmente e concluíram os melhores resultados a partir dos percentuais de 12% de cimento e 4% de resíduos cerâmicos. Portanto, o RCC utilizado especificamente nos dois estudos apresentados foi o resíduo de concreto e o resíduo cerâmico, deixando um leque de materiais alternativos em disponibilidade para estudo.

A inserção do pó de brita em elementos construtivos, sendo este um resíduo proveniente de atividades indiretas do setor da indústria da construção civil (desenvolvimento de matéria-prima), aponta a utilização eficiente do resíduo em argamassas, conforme Santos, Lira e Ribeiro (2012). Os autores demonstram a potencialidade do material através do seu reaproveitamento, incentivando testes em outros elementos construtivos. Outros estudos ressaltam a grande produção destes resíduos de britagem em decorrência do crescimento da indústria da construção civil, e consequentemente a maior geração de resíduos. A busca por resíduos em materiais de escavação, demolição de edificações, construções ou limpeza de terrenos também estão inclusas na esfera dos resíduos da construção civil.

Nesta pesquisa, propõe-se além da composição original solo-cimento, analisar mais três composições com diferentes percentuais de resíduos de construção e demolição (RCD) em relação à massa do solo, segundo os parâmetros utilizados em estudos realizados por Segantini, Souza e Pereira (2007):

- Solo + cimento + 20% de RCD;
- Solo + cimento + 40% de RCD;
- Solo + cimento + 60% de RCD.

A resistência do RCD é articulada às propriedades dos solos arenosos-argilosos locais. É importante ressaltar que apesar da existência de estudos que comprovem a viabilidade técnica do solo-cimento e RCD em outros locais, busca-se a

produção com matéria-prima local (solo), podendo esta ser determinante para a eficácia do compósito. O solo-cimento e o RCD constituem-se potenciais alternativas para a inovação de materiais construtivos como aporte à resolução da problemática habitacional na Ilha de São Luís - MA.

A eficácia da inserção de materiais alternativos em edificações no que diz respeito às propriedades físicas e mecânicas dos tijolos, acarreta a redução dos impactos ambientais e inovação de suas características originais. Além disso, o prolongamento do ciclo de vida dos resíduos de construção ao aplicá-los em novos materiais, favorece a redução do volume de entulhos em aterros sanitários ou áreas públicas indevidas.

3. METODOLOGIA

Segundo Frankel e Racine (2010), a pesquisa aplicada conduz os estudos através do design. O design é o meio para alcançar um objetivo ainda maior, visto que compósito em si não é um fim, mas a possibilidade de obtenção de um design sustentável. Neste sentido, a busca por inovação sob a ótica do design sustentável é apresentada “como uma força criadora de novos modelos de comportamento que tenham a capacidade de promover, ao mesmo tempo, resultados econômicos para os produtores e modificações significativas no contexto social” (LUCCA; DAROS, 2017). Assim, a inserção das estratégias vinculadas às relações entre a sustentabilidade econômica e a resiliência ambiental no âmbito do Design, denotam uma significativa potencialidade para a obtenção de resultados inovadores.

A pesquisa prossegue com a etapa da experimentação baseada em normas existentes, como a ABNT NBR 8491/1984, ABNT NBR-8492/1984 e diretrizes da Associação Brasileira de Cimento Portland. Para o alcance do objetivo, realiza-se a maior parte da pesquisa em ambiente experimental nos laboratórios disponíveis na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) e no SENAI DI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – Distrito Industrial).

Para a verificação da viabilidade de produção do compósito, os materiais e equipamentos foram criteriosamente selecionados para a confecção dos corpos de prova cilíndricos. A pesquisa compreende os seguintes materiais: Solo, Cimento Portland, água e resíduos de construção e demolição (RCD).

As duas amostras de solo foram coletadas em áreas pertencentes ao município de São Luís - MA, sendo ambas classificadas como Latossolo-amarelo. A amostra do Solo 01 foi coletada no bairro do Angelim (2°31'54" S; 44°13'46" W) e a amostra do Solo 02 foi coletada no bairro Vinhais

(2°31'11" S; 44°15'01" W). Apesar da curta distância, aproximadamente 2,72 km, entre os pontos de coleta selecionados e da sua localização dentro da área de classificação do Latossolo-amarelo, visivelmente os solos possuem características diferentes. Ao avaliar os solos, notou-se (Figura 1) um com características mais arenosas (Solo 01) e outro com características mais argilosas (Solo 02).

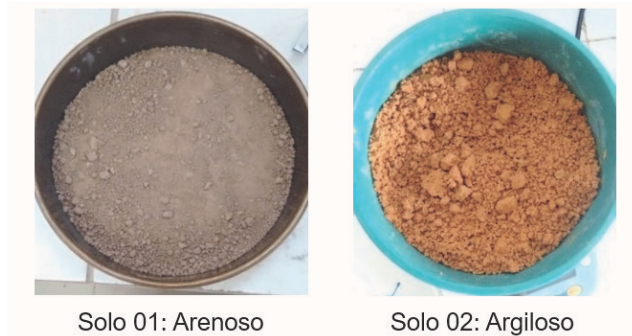


Figura 1 - Solos coletados.
Fonte: Autora (2018).

A água utilizada nesta pesquisa é proveniente do laboratório de cerâmica da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), fornecida pela rede de abastecimento comum da cidade. A quantidade de água destinada a cada mistura variava de acordo com o tipo de solo e os percentuais da granulometria do RCD, contudo chegou-se a um percentual médio de umidade variável de 5% a 10% de água. A verificação da consistência plástica da massa foi feita por meio de um teste visual e manual.

Os resíduos de construção e demolição (RCD) foram coletados em diferentes canteiros de obras. No geral, foram selecionados entulhos de revestimentos/pisos cerâmicos, tijolos e telhas para serem triturados posteriormente. Caracterizadas como obras de reformas residenciais de pequeno porte, nos canteiros referentes a estas obras buscou-se pelo descarte predominante de materiais de ordem cerâmica.

O cimento selecionado para a etapa experimental foi o CP-II Z, isto é, o Cimento Portland composto. Este é o mais utilizado no país, atendendo por aproximadamente 75% da produção industrial brasileira (ABCP, 2018). Visando trabalhar com materiais encontrados em abundância e de fácil aquisição no local de estudo, o cimento selecionado é o mais utilizado na região com alta demanda nas lojas de construções. Segundo o fabricante, o cimento escolhido é composto por clínquer (calcário e argila) e pozolana, rochas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza. Possui as seguintes especificações técnicas (Tabela 1):

Tipo	Sigla	Norma	Clínquer + Gesso	Material Pozolânico	Material Carbonático
II	CP II Z	11578	76 a 94%	6 a 14%	0 a 10%

Tabela 1 - Especificações técnicas do cimento CP II Z – 40, da marca Poty.
Fonte: Autora (2019), adaptado de ABCP (2018).

Como a mistura padrão de estudo desta pesquisa é solo-cimento-resíduo, para cada uma das composições se utilizou o mesmo teor de cimento em relação à massa da composição solo-resíduo: 8% de cimento. Optou-se por este percentual de segurança na mistura, embora outros estudos demonstrem resultados positivos na resistência mecânica dos corpos de prova com até mesmo com 6% de cimento nas composições (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2007).

Quanto aos equipamentos, foram utilizados: Triturador; Peneira com trama maior (mesh nº 4 / abertura 4.75 mm) para limpeza dos resíduos; Jogo de peneiras para ensaio granulométrico (mesh nº 7, 8 e 9); Agitador magnético para ensaio granulométrico; Molde para confecção dos corpos de prova (cilindro com diâmetro de 50mm e altura de 100mm); Fôrma para ensaio de retração; Objetos de apoio, como bacias, baldes, luvas, pilões e toalhas; Câmera fotográfica; Balança semi-analítica; e Prensa para ensaio de compressão (HD-20T / Prensa elétrica Servo Controlada, Capacidade de 20 toneladas, marca Contenco).

Seguindo a aplicação das normas técnicas selecionadas, destaca-se alguns dos processos da etapa experimental: preparação dos resíduos e solos (seleção, limpeza, trituração, mistura); ensaios granulométricos para caracterização do solo; definição do traço para a mistura dos materiais; moldagem dos corpos de prova; cura dos corpos de prova; e os ensaios físicos: retração, absorção de água e resistência à compressão simples.

Quanto ao ensaio de resistência à compressão simples, a NBR 8491 (ABNT, 1984d) determina que a resistência média dos tijolos de solo-cimento deve ser igual ou superior a 2,0 MPa aos sete dias de cura, mas que os valores individuais não podem ser inferiores a 1,7 MPa. Com base em pesquisas anteriores, Segantini (2000) e Ferraz (2004) por exemplo, conclui-se que a resistência do solo-cimento aumenta de forma considerável ao longo do tempo, sendo que o período mínimo aconselhado é 28 dias.

No ensaio de absorção de água, segue-se com as diretrizes da norma NBR 8492 (ABNT, 1984e). Os três corpos de prova de cada composição deverão secar em estufa entre 105° e 110° até a constância de massa, obtendo-se a massa do corpo seco. Depois disso, deve-se imergir o corpo em tanque d'água por um período de 24 horas e, no momento da retirada do corpo, enxugar superficialmente

com pano úmido para pesagem do material, obtendo-se a massa do corpo saturado (Figura 2). Para blocos de solo-cimento vazados sem função estrutural, a média dos valores de absorção de água deve ser igual ou menor que 20% e os valores individuais devem ser iguais ou menores que 22%, segundo a NBR 10836 (ABNT, 2013).



Figura 2 - Pesagem dos corpos de prova pós-estufa.
Fonte: Autora (2018).

Os procedimentos realizados em laboratório avaliaram as variáveis das composições de solo-cimento e RCD.

4. CORPOS DE PROVA

Os traços das misturas foram definidos considerando os estudos semelhantes feitos anteriormente e o conhecimento adquirido durante os estudos na temática da pesquisa. Contudo, foi estabelecido previamente a necessidade de minimizar o consumo do cimento Portland e reduzir a quantidade de solo natural utilizada na composição dos corpos de prova.



Figura 3 - Granulometria do RCD.
Fonte: Acervo da Autora (2018)

Desse modo, obtém-se três diferentes granulometrias de RCD para a confecção de corpos de prova (Figura 3), respectivamente P7, P8 e P9. Todos os resíduos passantes na peneira de limpeza inicial com mesh nº 4 e abertura de 4,76mm, são retidos na P7 com abertura de 2,83mm. Assim, a granulometria do RCD retido na P7 é variável entre 4,76mm e 2,83mm. Do mesmo modo, prossegue-se com a classificação dimensional dos grãos do RCD retido e passante na P8 (com granulometria variável entre 2,83mm e 2,38mm) e P9 (com granulometria variável entre 2,38mm e 2,00mm). O RCD passante na P9 não foi utilizado nesta pesquisa.

Sendo o compósito constituído por solo, cimento, RCD e água, as três diferentes granulometrias estabelecidas serão utilizadas nas misturas com três diferentes percentuais de RCD: 20%, 40% e 60% (SEGANTINI; SOUZA; PEREIRA, 2007). O cimento permanece com uma quantidade fixa em todas as misturas e o solo varia mediante a quantidade de RCD acrescentada. Desse modo, existem três variáveis na execução das misturas (Figura 4): Tipo de solo: solo 01 e solo 02; Granulometria de RCD: Peneira mesh nº 7, Peneira mesh nº 8 e Peneira mesh nº 9; e Percentual de RCD: 20%, 40% e 60%.

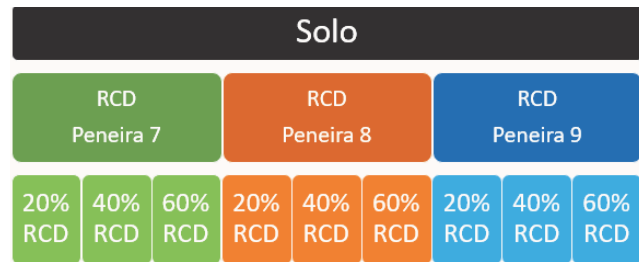


Figura 4 - Esquema de Variáveis.
Fonte: Autora (2018)

A Tabela 2 a seguir explana os traços utilizados nas misturas em cada uma das três granulometrias de RCD nos dois solos. Vale ressaltar que também foram confeccionadas misturas com a fórmula original solo-cimento, logo sem a incorporação de RCD na mistura. Quanto ao teor de água, foi determinado que a adição de água à mistura homogeneizada, fosse realizada aos poucos até que a massa alcançasse uma consistência adequada para a moldagem.

TRAÇOS GERAIS				
PENEIRA RCD	SOLO (%)	CIMENTO (%)	RCD (%)	TOTAL (%)
-	92	8	-	100
7, 8 e 9	72	8	20	100
	52	8	40	100
	32	8	60	100

Tabela 2 - Traços das composições.
Fonte: Autora (2018)

Os corpos de prova cilíndricos foram moldados no cilindro de PVC (diâmetro= 50 mm; altura= 100 mm), com uma compactação manual realizada em três camadas. Após a confecção, os corpos de prova foram transferidos para área arejada, onde permaneceram em cura até a data da realização dos ensaios de compressão simples e absorção (Figura 5).

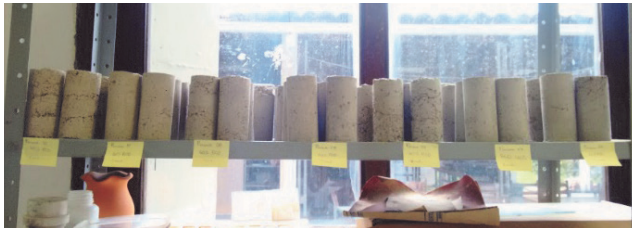


Figura 5 - Corpos de prova em processo de cura.
Fonte: Autora (2018).

Para cada traço determinado, três corpos cilíndricos foram utilizados nos ensaios de absorção e outros três nos ensaios de resistência a compressão simples. Por fim, todos os corpos de prova cilíndricos foram confeccionados em conformidade com as normas NBR 8492 (ABNT, 1984d) e NBR 12024 (ABNT, 2012). Esta etapa obedeceu ao período de cura mínimo de 28 dias e estendeu-se a realização dos ensaios de resistência a compressão e absorção de água para a quantidade de 156 dias de cura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio granulométrico (Figura 6), apesar das diferentes características geológicas, ambos os solos foram aprovados nos requisitos. Tal constatação foi feita após a realização dos ensaios granulométricos, segundo a NBR 7181 (ABNT 1984c) – Solo: Análise granulométrica. O Solo 01 apresenta a seguinte taxa de arenosidade, de acordo com sua granulometria: 91,07%. A subdivisão da fração arenosa mostrou uma predominância da parte média sobre os demais. Enquanto o Solo apresenta a seguinte taxa de arenosidade, de acordo com sua granulometria: 80,97%. De forma geral, o ensaio serviu para concluir que a Ilha de São Luís possui pontos com solo apropriado para a utilização na produção do tijolo de solo-cimento.



Figura 6 - Ensaio de peneiramento - série de peneiras padronizadas e aparelho elétrico de peneiramento.
Fonte: Autora (2018).

No ensaio de retração, em todos os testes realizados com RCD na mistura, nenhum molde obteve retração, fissura ou rachadura. No entanto, ao inserir nos moldes a mistura comum de solo-cimento sem RCD, o solo 02 apresentou fissuras após 07 dias de cura (Figura 7).



Figura 7 - Teste de retração em mistura solo-cimento (Solo 02)
Fonte: Autora (2018).

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água, foram selecionados 60 corpos de provas para cada ensaio, especificando 3 corpos de cada variável: tipo de solo/granulometria do RCD/percentual do RCD (Ex: P7.40). Além disso, foram separados 3 corpos referentes à composição solo-cimento (SC) original de ambos os solos estudados nesta pesquisa. Segue a Tabela 3 com os resultados dos ensaios de compressão, sendo que os valores sinalizados em vermelho representam os corpos que não atendem a resistência exigida em norma:

ENSAIO DE COMPRESSÃO							
SOLO	PENEIRA	RCD (%)	NOME	Σ			
				CP01	CP02	CO03	MÉDIA
SOLO 01	PENEIRA 09 (ou P9)	20	P9.20	3,6	3,7	3,6	3,63
		40	P9.40	4,5	4	4,1	4,20
		60	P9.60	2,4	2,2	2,6	2,40
	PENEIRA 08 (ou P8)	20	P8.20	2,1	2,5	3,7	2,77
		40	P8.40	2,7	2,2	2,5	2,47
		60	P8.60	1,08	0,94	0,88	0,97
	PENEIRA 07 (ou P7)	20	P7.20	2,5	2,2	2,3	2,33
		40	P7.40	2,6	3	3,2	2,93
		60	P7.60	1,6	2,7	1,2	1,83
	SOLO-CIMENTO	0	SC01	2,5	2,4	2,5	2,47

SOLO 02	PENEIRA 09 (ou P9)	20	P9.20	2	2,05	2,22	2,09
		40	P9.40	1,88	1,85	1,7	1,81
		60	P9.60	1,09	1,37	1,02	1,16
	PENEIRA 08 (ou P8)	20	P8.20	0,63	0,65	0,55	0,61
		40	P8.40	0,72	0,81	0,7	0,74
		60	P8.60	0,5	0,7	-	0,60
	PENEIRA 07 (ou P7)	20	P7.20	0,6	0,79	-	0,70
		40	P7.40	0,53	0,52	-	0,53
		60	P7.60	0,48	0,45	0,42	0,45
	SOLO-CIMENTO	0	SC02	0,8	0,62	0,6	0,67

Tabela 3 - Análise Geral dos ensaios tecnológicos.
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

No ensaio de resistência a compressão simples, o Solo 01 obteve um desempenho significativamente superior ao Solo 02. A maior média de resistência encontrada no Solo 01 foi 4,20 MPa, referente ao corpo P9.40 (Figura 8). Enquanto no Solo 02, obteve-se o valor máximo de 2,09 MPa. Concluindo-se, assim, que este seria o único corpo de prova apto para aplicações em solo-cimento – visto que possui um valor maior que 2,0 MPa, conforme exigido em norma - e os demais estão abaixo da resistência mínima estabelecida pela NBR 8491 (ABNT, 1984d). Quanto aos valores mais baixos do Solo 01 (como o corpo P7.60), este solo ainda possui uma resistência superior ao Solo 02, enquanto o corpo de prova com resistência mais baixa do Solo 02 alcançou apenas 0,45 MPa (P7.40).



Figura 8 - Ruptura do corpo de prova P9.40. (solo 01)
Fonte: Autora (2018).

Em todas as três diferentes granulometrias de RCD (P7, P8 e P9) e nos dois tipos de solos, o percentual de 60% de RCD obteve o índice mais baixo de resistência quando comparado aos demais percentuais. Isto demonstrou que uma quantidade maior de resíduos na mistura ocasionou a fragilidade do corpo devido a existência de muitos vazios, evidenciado pela textura porosa das superfícies (Gráfico 1):

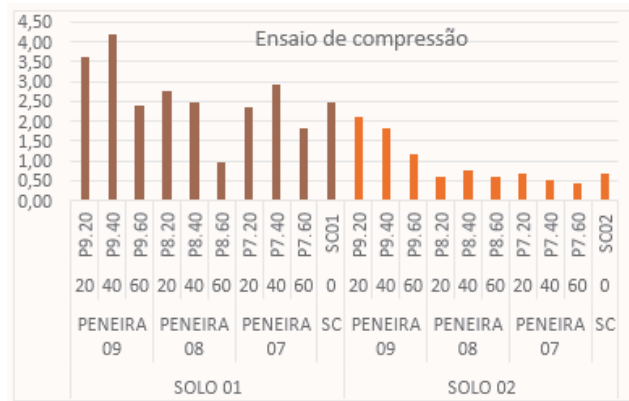


Gráfico 1 - Ensaio de compressão dos compósitos.
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Quanto ao ensaio de absorção, ambos os solos tiveram bom desempenho na mistura bem como as três granulometrias de RCD (P7, P8 e P9) possuem médias satisfatórias ao exigido na norma, uma vez que a média mais alta de absorção de água equivale a 16,22% (< 22%), referente à peneira com mesh nº 8 (P8) do Solo 02.

Ao focar nos valores individuais dos corpos de prova, todos também se adequam ao valor máximo de absorção exigido na norma, com destaque ao corpo P8.40 com Solo 02 que possui o percentual de absorção mais próximo do limite e ainda assim eficiente: 20,58%. Os valores mais baixos de absorção concentram-se na peneira com mesh nº 09 (P9), Solo 01, com o percentual de 20% de RCD (9,09%) e 40% de RCD (9,87%). No que diz respeito às granulometrias de RCD, principalmente no que se refere ao Solo 02, as peneiras P8 e P7 apresentaram os maiores índices percentuais de absorção, sendo mais propícios a conter fissuras e outras patologias durante a cura do material.

Quando o resíduo de construção e demolição em maior granulometria é adicionado como substituto ao cimento Portland, o aumento nos valores de absorção de água ocorre em decorrência da maior rugosidade do RCD e pelos vazios deixados na estrutura.

Além disso, o Solo 02 possui características geológicas mais argilosas, o que acarreta mais absorção da água. Por isso, uma quantidade maior água foi retida nestas composições. De forma geral, ao analisar os dados do gráfico e tabela, com as devidas ressalvas, é constatado que a absorção de água aumenta ao adicionar na mistura um percentual a partir de 40% de RCD. Portanto, quanto mais resíduos substituírem o solo e o cimento, mais água será absorvida pelo corpo de prova (Gráfico 02).

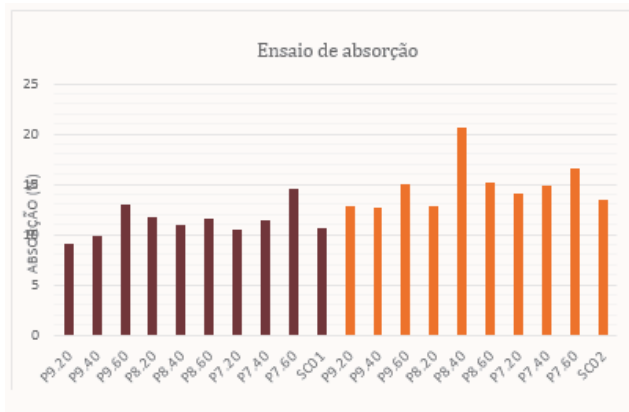


Gráfico 2 - Ensaio de absorção dos compósitos.
 Fonte: Elaborado pela autora (2019).

SOLO 02	P9	20	P9.20	OK	OK	OK	OK
		40	P9.40				
		60	P9.60				
	P8	20	P8.20				
		40	P8.40				
		60	P8.60				
	P7	20	P7.20				
		40	P7.40				
		60	P7.60				
	SC	0	SC02		X		

Tabela 4 - Análise Geral dos ensaios tecnológicos.
 Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Neste sentido, para facilitar a compreensão dos dados numéricos obtidos, realizou-se uma análise geral sobre todos os ensaios realizados – ensaio de resistência a compressão simples, ensaio de absorção, ensaio de retração e ensaio de granulometria -, com as variáveis consideradas nesta pesquisa (Solo, Percentual de RCD e Granulometria de RCD).

Na Tabela 4 a seguir, é possível verificar as composições de misturas que foram reprovadas e sua relação com as demais. O termo “OK” refere-se aos ensaios que obtiveram êxito nas variáveis estudadas nesta pesquisa, ou seja, tipo de solo, granulometria de RCD e percentual de RCD que são aprovados após a realização dos ensaios realizados. O símbolo “X”, por sua vez, demonstra todas as variáveis que não alcançaram o desempenho exigido em normas. Sendo este o critério utilizado para reprovação dos corpos de prova, percebe-se que o ensaio de resistência foi crucial para definir os traços dos compósitos mais eficientes, fornecendo premissas para uma futura aplicação em tijolos de solo-cimento-RCD em São Luís - MA.

Com o percentual de apenas 8% de cimento nas composições dos corpos, atingiu-se ao objetivo de encontrar compósitos que satisfazem às normas de resistência à compressão e absorção de água para fabricação de tijolos de solo-cimento. Foi também evidenciado que a incorporação de RCD na massa de solo-cimento acarretou alterações nas propriedades tecnológicas e influenciou radicalmente na eficiência do corpo de prova. Isto é, a adição de RCD nos corpos de prova demonstrou que a resistência à compressão simples tende a diminuir e a absorção de água aumentar. Além disso, foi verificado que quanto maior o percentual e granulometria de RCD, menor a resistência do compósito (Figura 9).



Figura 9 - Corpo de prova poroso após ruptura.
 Fonte: Acervo da autora (2018).

SOLO	PENEIRA	RCD (%)	NOME	ENSAIOS			
				GRANULO-MÉTRICO	RETRACÇÃO	ABSORÇÃO	RESISTÊNCIA
SOLO 01	P9	20	P9.20	OK	OK	OK	OK
		40	P9.40				
		60	P9.60				
	P8	20	P8.20				X
		40	P8.40				
		60	P8.60				
	P7	20	P7.20				OK
		40	P7.40				
		60	P7.60				
	SC	0	SC01				

Analisando de forma geral, o Solo 01 se enquadrando em todos os ensaios realizados nesta pesquisa. Por isso, as considerações a seguir serão feitas a partir da análise deste solo. Considerando o Solo 01 como solo local mais adequado para a fabricação de tijolos de solo-cimento com RCD na Ilha de São Luís, explana-se que quanto aos percentuais de RCD nas diferentes composições:

- O ensaio de resistência a compressão simples conclui que todos os corpos de prova com a incorporação

de 20 e 40% de RCD na composição (excepcionalmente, incluindo o corpo de prova P9.60), alcançaram os valores mínimos para a resistência a compressão, segundo a NBR 8491 (ABNT, 1984d) e a NBR 10834 (ABNT, 2013).

• O ensaio de absorção de água demonstrou que todos os corpos de prova com 20% de RCD (com exceção do corpo de prova P8.20) apresentaram os valores individuais abaixo de 22% e os valores mais baixos quando comparados aos demais percentuais de RCD em suas respectivas peneiras, em conformidade com a NBR 8491 (ABNT, 1984d) e a NBR 10834 (ABNT, 2013).

Quanto à granulometria do RCD, verificou-se também que as peneiras de mesh nº 9 e 8 apresentam melhores desempenhos de resistência, visto que a granulometria dos resíduos proporciona melhor organização estrutural dos grãos no corpo compactado e reduzindo a incidência de vazios. Em contrapartida, o ensaio de absorção de água apontou que os corpos de prova referentes às peneiras de mesh nº 8 e 7 apresentaram médias de corpos de prova com os índices de absorção de água mais elevados. Logo, a P9 se destaca com os índices mais baixos de absorção dentre todas as composições. Conclui-se, assim, que quanto maior for a granulometria dos grãos adicionados à composição, pior será o desempenho obtido.

Vale destacar que a análise de absorção de água considera minuciosamente os índices mais baixos e mais elevados dos corpos de prova, pois todos os índices encontram-se dentro dos percentuais exigidos em norma e aptos à aplicação em tijolos de solo-cimento. Recapitulando a análise geral, esta pesquisa demonstrou que o percentual de RCD entre 20% e 40% com sua granulometria correspondente às peneiras de mesh nº 8 e 9 incorporado ao Solo 01, apresentou os valores resultantes dos ensaios que denotam aptidão para moldagem de tijolos de solo-cimento (Figura 10).

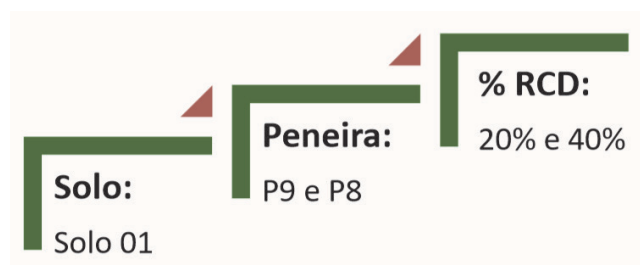


Figura 10 - Síntese dos resultados
Fonte: Acervo da autora (2018).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao verificar os resultados dos compósitos com a incorporação de matérias-primas na própria região de São Luís - MA, reitera-se a possibilidade de confecção de materiais

de vedação alternativos aos meios tradicionais amplamente utilizados, a fim de contribuir com as necessidades socioeconômicas locais no âmbito habitacional.

Diante da etapa experimental, percebe-se que o ensaio de resistência à compressão simples foi crucial para restringir composições e até mesmo o tipo de solo ideal. A partir desta análise, considera-se apenas o Solo 01 como ideal para os compósitos, visto que o Solo 02 fora reprovado no ensaio de resistência a compressão, tendo apenas um corpo de prova alcançado o limite de resistência de 2MPa. Logo, esta pesquisa descarta a utilização deste tipo de solo para fabricação futura de tijolos de solo-cimento na Ilha de São Luís.

O reaproveitamento de resíduos de construção e demolição em composições de solo-cimento possibilita o surgimento de alternativas construtivas viáveis, tanto do ponto de vista tecnológico quanto ecológico. Além de propor uma destinação mais adequada à grande demanda de resíduos resultantes da indústria da construção civil, proporciona a redução de impactos ambientais resultante do processo de fabricação de tijolos cerâmicos tradicionais.

Uma vez que o Design pode ser visualizada como atividade humana que produz e aplica saberes, a pesquisa demonstra em sua base teórica uma interligação de diferentes conceitos e áreas do conhecimento no meio acadêmico, como também enfatiza a necessidade por uma inovação interdisciplinar na busca por novas tecnologias construtivas. Desse modo, os materiais - sendo estes tradicionais, sustentáveis ou inovadores -, devem ser analisados com mais profundidade técnica e criticidade no campo do design. Através da proposição deste compósito, o design possibilita uma análise mais integralizada à diversos aspectos. Além disso, com o objetivo da avaliação de traços de compósitos adequados para produção futura de tijolos de solo-cimento-RCD em São Luís - MA a partir da matéria-prima local, analisou-se algumas proposições para a continuação da discussão e consequente melhoria dos compósitos estudados. Segue abaixo:

- Elaboração de estudo de viabilidade construtiva de tijolos de solo-cimento em edificação do tipo casas populares;
- Estudos para a destinação dos resíduos de demolição e construção mais finos em outros materiais, visto que uma quantidade significativa de resíduos passantes na peneira 9 foram descartados.
- Realização da coleta de amostras de solo em outros pontos da Ilha de São Luís e com uma distância maior dos pontos já coletados, visando uma avaliação mais abrangente das características do solo na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CAPES e da FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão) no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia Básico de Utilização do Cimento Portland: Revisado por Arnaldo Forti Battagin e atendendo à nova norma de cimento **ABNT NBR 16.697**. 10a ed. São Paulo - SP: ABCP, 2018, 40p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984, 4p.

_____. NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984, 4p.

_____. NBR 12024: Solo-cimento: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos, 2012, 3p.

CONCIANI, W. Geotechnical use of a mini tomography. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOIL/UNSAT 2002. Paris, França. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2002, p. 447-452.

GRANDE, F. M. (2003). Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. 2003. 165p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

FARIAS, Jamerson Araújo; SANTOS, Denilson Moreira. AVALIAÇÃO DE COMPÓSITO OBTIDO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E PET. 2016. 120p. Dissertação – Mestrado em Design, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

FERRAZ, A. L. N. Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento. 2004. 107p. Dissertação Mestrado. Ilha Solteira: UNESP, 2004.

FRANKEL, L.; M. RACINE. The Complex Field of Research: for Design, through Design, and about Design. In: *Proceedings of the DRS – Design e Complexity, 2010, Montreal - Canada. Anais... Montreal: Design Research Society, 2010, p. 1-12.*

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Estatística & Informações - Demografia e Indicadores Sociais. Déficit Habitacional no Brasil 2015. Belo Horizonte: MCidades, 2018. Disponível em: <[http://www.fjp.mg.gov.br/index](http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/direi-2018/estatistica-e-informacoes/797-6-serie-estatistica-e-informacoes-deficit-habitacional-no-brasil-2015/file)

<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/direi-2018/estatistica-e-informacoes/797-6-serie-estatistica-e-informacoes-deficit-habitacional-no-brasil-2015/file>>. Acesso em: 18. jul. 2018.

LUCCA, A. S.; DAROS, C. A inovação sob a ótica do design sustentável: uma revisão da literatura. e-Revista LOGO, v. 6, p. 41-58, 2017.

MAGALHÃES, Luciana Nunes. Análise comparativa dos blocos de solo-cimento, de concreto e cerâmicos utilizados na construção civil do sudeste brasileiro. Construindo, Belo Horizonte, v.2, n.2, p.7-10, jul./dez 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Construção Sustentável. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059>>. Acesso em: 28 de outubro de 2016.

PATRICIO, S. M. R.; FIGUEIREDO, S. S.; BEZERRA, I. M. T., NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Blocos Solo-cal Utilizando Resíduo da Construção Civil. Cerâmica, v. 59(349), p. 27–33, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0366-69132013000100003>>. Acesso em: 23 ago. 2019

TAMBOURINI, P. Design de inovação. Do design ao design de sistemas: objetos, relações e comportamento. In: CADERNOS DE ESTUDOS AVANÇADOS EM DESIGN: INOVAÇÃO. Anais... ORGANIZAÇÃO: Dijon De Moraes, Itirolida, Regina Álvares Dias – Barbacena: EdUEMG, 2012, p. 53-63. Disponível em: <http://eduemg.uemg.br/images/livros-pdf/catalogo-2012/2012_CADERNOS_DE_ESTUDOS_AVANÇADOS_EM_DESIGN_-_INOVACAO_BILINGUI_VOL_6.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2018

ROVER, S; INACIO, F. S. A Evidenciação da Gestão de Resíduos e Logística Reversa nas Empresas Listadas no Índice de Sustentabilidade Empresarial. In: Congresso de Contabilidade. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2015,. Anais... p.1-19, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/163131>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

SANTOS, R. A.; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. Revista Holos, Paraíba, v. 5(8), p. 125–135, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/223611707238>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

SEGANTINI, A. A. S. Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP. 2000. 176 p. Tese (Doutorado), Campinas: UNICAMP, 2000.

SEGANTINI, A. A. S., SOUZA, M. I. B, PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. Revista Brasileira de

Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2, p. 205-212, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbe-aa/v12n2/v12n02a14.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

SHACKELFORD, James F. Ciência dos materiais. 6.ed. São Paulo: Pearson, 2012.

SILVA, Vamberto Monteiro da et al. Incorporation of ceramic waste into binary and ternary soil-cement formulations for the production of solid bricks. Mat. Res. [online]. 2014, vol.17, n.2, pp. 326-331. Epub Feb 18, 2014. ISSN 1516-1439.

SOUZA, M. I. B. Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento. 2006. 121 p. Dissertação (Mestrado), Ilha Solteira: UNESP, 2006.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7779-7084>

JULYANA DA SILVA LIMA, M.Sc. | Universidade Federal do Maranhão - UFMA | Programa de Pós Graduação em Design | São Luís, MA - Brasil | Correspondência para: Campus Universitário do Bacanga – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET) – Bloco 06, Sala 216 – CEP 65080-580. São Luís – MA | e-MAIL: julyana.slima.jl@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2247-5106>

DENILSON MOREIRA SANTOS, Dr. | Universidade Federal do Maranhão - UFMA | Programa de Pós Graduação em Design | São Luís, MA - Brasil | Correspondência para: Campus Universitário do Bacanga – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET) – Bloco 06, Sala 216 – CEP 65080-580. São Luís – MA | e-MAIL: denilson.santos@ufma.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

LIMA, Julyana da Silva; SANTOS, Denilson Moreira. Compósito de Solo-Cimento e Resíduos: Perspectivas de Materiais Sustentáveis em São Luís-MA. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 117-128, jun. 2020.** ISSN 24473073. Disponível em:<<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n3.117-128>.

DATA DE ENVIO: 20/12/2019

DATA DE ACEITE: 22/05/2020

