

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA

FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC
TATUAPÉ

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS

CARLOS EDUARDO GONÇALVES FARIA

DEBORA ALVES LOPES

EDUARDO ALVES AGUIAR

WENDEL ROGERS MARIANO

**O ESTUDO E APLICAÇÃO DE RCD COMO
AGREGADOS EM TIJOLOS DE SOLO CIMENTO**

São Paulo

2022

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC
TATUAPÉ**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS**

**CARLOS EDUARDO GONÇALVES FARIA
DEBORA ALVES LOPES
EDUARDO ALVES AGUIAR
WENDEL ROGERS MARIANO**

**O ESTUDO E APLICAÇÃO DE RCD COMO
AGREGADOS EM TIJOLOS DE SOLO CIMENTO**

Trabalho de Graduação apresentado por Carlos Eduardo Gonçalves Faria, Debora Alves Lopes, Eduardo Alves Aguiar e Wendel Rogers Mariano como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios, da Faculdade Tecnologia do Victor Civita - Tatuapé, elaborado sob a orientação da Prof^a. Dra. Michelle Santos Rodrigues.

São Paulo

2022

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA VICTOR CIVITA – FATEC
TATUAPÉ

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE
EDIFÍCIOS

CARLOS EDUARDO GONÇALVES FARIA, DEBORA ALVES LOPES,
EDUARDO ALVES AGUIAR E WENDEL ROGERS MARIANO

**O ESTUDO E APLICAÇÃO DE RCD COMO AGREGADOS EM TIJOLOS DE
SOLO CIMENTO**

Aprovado em 22 de junho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Me. Maria Luisa Gomes da Silva Mancini – Fatec Tatuapé

Me. Murillo Donizeti dos Santos Rosa

Prof^a. Dra. Michelle Santos Rodrigues – Fatec Tatuapé

Carlos Eduardo Gonçalves Faria, Debora Alves Lopes, Eduardo Alves Aguiar,
Wendel Rogers Mariano, Orientadora Prof^a Michelle Santos Rodrigues

Faculdade de Tecnologia Victor Civita – FATEC
Tatuapé Tecnologia em Construção de Edifícios

Resumo – O segmento da construção civil utiliza muitos recursos minerais, o que resulta numa alta emissão de CO₂. Os resíduos de construção e demolição (RCD) da Classe A, que é composta basicamente por: tijolos, telhas, areias e trituráveis, têm alta capacidade de aproveitamento que muitas vezes é desperdiçado num setor que pouco recicla. A utilização de RCD como agregado na confecção de blocos de solo cimento surge como uma alternativa ambiental, econômica e social. O trabalho consistiu em substituir, no traço do tijolo de solo cimento, parte do solo por RCD de forma gradual e proporcional para, posteriormente, analisarmos as propriedades e a viabilidade desse bloco como uma opção para construções de casas populares. Os resultados obtidos após as moldagens e os ensaios normativos e não normativos mostraram que, quanto maior a quantidade de RCD, melhor o desempenho dos corpos de prova, seja na análise dimensional, na absorção de água ou até mesmo na resistência à compressão simples, ainda que não tenham atingido a resistência mecânica estipulada pela norma. O material mostra um grande potencial e, se combinado com um solo menos argiloso e que absorva menos água, possivelmente apresentará resultados ainda mais expressivos.

1. Introdução

O segmento da construção civil é um dos mais importantes do mundo. Muitas vezes é um dos segmentos que mais tem influência no PIB de um país e no Brasil isso não é diferente.

A previsão de crescimento do segmento de construção civil no Brasil estava em 2,5%, conforme dados fornecidos pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, ano), mas devido ao seu bom desempenho durante o segundo trimestre de 2021, essa previsão foi revisada para 4% até o final desse ano.

Com base na publicação da Carbon Brief (2021), o Brasil encontra-se em 4º lugar no ranking dos países com as maiores emissões acumuladas de CO₂, atrás apenas de EUA, China e Rússia. Como já é de conhecimento difundido por ampla parte da sociedade, o segmento da construção civil também é um dos que mais utiliza recursos minerais e por isso também é um dos maiores responsáveis pela emissão de CO₂ na atmosfera. Apesar de uma maior consciência e preocupação ambiental a nível nacional, a indústria brasileira está longe do que seria um processo que desenvolva produtos ecologicamente corretos para o mercado.

Observando-se que, assim como o setor da construção civil é grande personagem dentro do crescimento econômico dos países, ele também apresenta uma grande participação na poluição do planeta devido a emissão de CO₂ elevada. Segundo Presco (1999, *apud* BARBOSA *et al.*, 2003), nas

idades europeias, as emissões de CO₂ da indústria da construção correspondem aproximadamente a 30% do total das emissões. De acordo com Hickel (2020), as nações do chamado G8 (grupo dos 8 países mais rico e influentes do mundo, composto por Estados Unidos, Japão, Alemanha, Canadá, França, Itália, Reino Unido e Rússia) são responsáveis por 85% de todas as emissões globais de CO₂.

Mesmo já existindo algumas iniciativas como normas legislativas para a separação e reciclagem de entulho (Resolução 307/2002 do CONAMA), o setor ainda pode ser classificado como tradicional e reticente às necessidades de uma maior conservação ecológica.

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição é considerada uma alternativa sustentável, uma vez que estes materiais podem ser utilizados para substituir recursos naturais na própria indústria da construção civil. Segundo Castilho (2009), no Brasil, cerca de 60% de todo o lixo produzido são provenientes da construção civil e apenas 1% de todo esse resíduo é reutilizado. Na Holanda o percentual de reutilização chega por volta de 90%.

A reciclagem tem vantagens ambientais, econômicas e sociais, já que reduz o consumo de recursos naturais, gera empregos de forma direta e indireta e permite que a população mais vulnerável tenha acesso a produtos de qualidade e com um custo mais acessível. Assim, existe uma vasta gama de investigação sobre o custo social e financeiro, produção, caracterização e reciclagem destes resíduos (CONTRERAS et al., 2016). As fábricas de reciclagem de resíduos da construção e demolição (RCD) provaram ser economicamente viáveis (COELHO & BRITO, 2013a; COELHO & BRITO, 2013b), bem como ter um impacto ambiental positivo (COELHO & BRITO, 2013c; COELHO & BRITO, 2013d).

Quando se pensa em construção, o tijolo de solo-cimento se torna a melhor opção para vedação. Os tijolos ecológicos têm variadas vantagens, como economia, agilidade, facilidade e resistência. Além dessas vantagens, é possível construir sem que a natureza sofra os impactos produzidos pela poluição dos resíduos da construção civil, como entulho de obra e poluição do solo e da água pelo cimento (SAMPAIO & NUNES, 2017).

A utilização de RCD na fabricação de tijolos de solo-cimento pode ser ideal para fornecer ao solo adotado características apropriadas ao uso (SILVA & LAFAYETTE, 2016). A maior quantidade de material empregado na fabricação desses tijolos é o solo, logo, sua substituição por RCD reduz a progressiva exploração das jazidas para retirada de solos, além de reduzir os locais destinados a aterros e beneficiar a extensão dos processos de reciclagem dos resíduos da construção civil (VELASCO et al., 2014).

Sendo assim, o objetivo do trabalho é a produção de blocos de solo-cimento utilizando RCD como agregado, com o intuito de aproveitar os RCDs que são descartados e produzir um tijolo que possa ser utilizado para vedação.

2. Referencial Teórico

2.1. Resíduo de construção e demolição (RCD)

Segundo a Resolução nº 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (2002, Art. 2º), “Resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os

resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.”.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente traz a seguinte classificação (Figura 1) para RCD:

“I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.”.

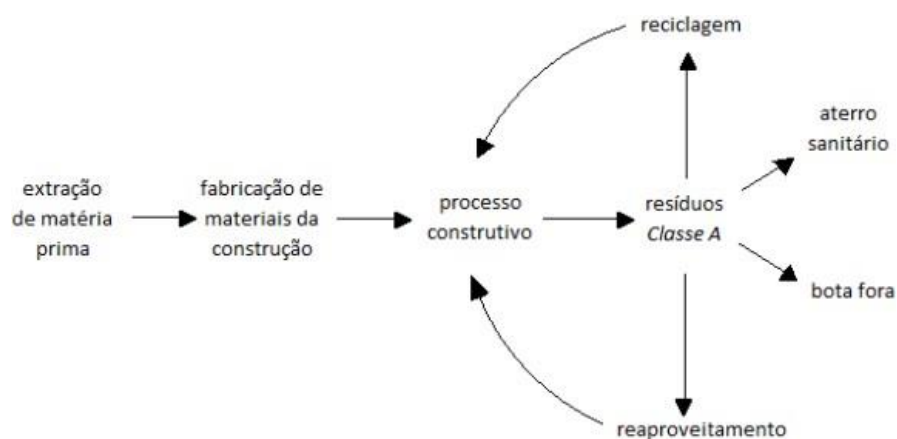
Figura 1 - Tipos de resíduos da construção civil



Fonte: RECICLI (2021)

Com o constante aumento da indústria da construção civil, tem-se procurado novas alternativas de se reutilizar os resíduos de construção e demolição com o intuito de amenizar os danos gerados pela extração desses materiais da natureza. Uma alternativa é a de utilização de RCD como agregado, em sua totalidade ou parcialidade. Eles poderão ser utilizados na própria obra onde foram gerados ou encaminhados a uma usina de reciclagem (Figura 2), conforme a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, onde ficam estabelecidas as diretrizes, os critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil no Brasil.

Figura 2 - Impactos ambientais da Cadeia da Construção Civil



Fonte: SACHO (2015)

É de extrema importância que a destinação dos resíduos de construção e demolição (RCD) seja feita de forma correta e cause o menor dano possível à natureza, especialmente em nosso país, tendo em vista a quantidade que é gerada anualmente. Em 2019, o Brasil coletou 44,5 milhões de toneladas de RCD, um número bem superior às 33 milhões de toneladas coletadas em 2010. Esse aumento se concentrou principalmente na região sudeste e nordeste do país. (ABRELPE, 2020).

Devido a rápida urbanização, a China tornou-se responsável pela produção de 30% dos resíduos sólidos urbanos do mundo, sendo que 40% deste total são RCDs. (YANG et al., 2017).

Em 2018, os Estados Unidos produziram 600,4 milhões de toneladas de RCD, sendo mais de 90% resultante de demolição e menos de 10% resultante de construção; 456,6 milhões de toneladas foram direcionadas para reuso (um aproveitamento superior a 76%), enquanto 143,8 milhões de toneladas foram enviadas para aterros sanitários. (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2020).

A União Europeia produziu 374 milhões de toneladas de RCD em 2016. Além de ser uma quantidade razoável para um grupo deste tamanho (28 países, na época), quase todos os países conseguiram, neste mesmo ano, cumprir a meta de recuperação de 70% desse resíduo que estava prevista apenas para 2020. (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2021).

2.2. Propriedades do RCD

Os agregados reciclados, tanto miúdo quanto graúdo, tendem a ter uma composição granulométrica um pouco mais grossa que os agregados naturais, resultando em um módulo de finura um pouco maior. O tipo e granulometria do resíduo, o britador e suas regulagens internas influenciam consideravelmente a granulometria final dos agregados reciclados produzidos. (LEITE, 2001).

A granulometria dos agregados exerce influência sobre a trabalhabilidade dos concretos no estado físico, além de ser importante parâmetro para a dosagem das misturas (BARRA, 1996). De acordo com a autora, está é uma característica que depende do processo de produção do agregado.

Durante a análise granulométrica de diversas amostras de agregados reciclados, Ogwuda et al. (1998) notaram uma quantidade maior de partículas de concreto retidas na peneira de abertura # 0,074mm. Já a fração de material cerâmico e grãos de cimento apresentaram dimensões menores que 0,074mm.

A textura dos agregados reciclados é geralmente mais rugosa e porosa do que a dos agregados naturais. Segundo Hamassaki et al. (1996), a superfície dos agregados naturais pode ser classificada como praticamente polida e a dos agregados reciclados como áspera a muito áspera. A argamassa aderida às partículas do material, ou o próprio material cerâmico, conferem ao agregado reciclado tal aspereza. A rebitagem do material pode favorecer a redução da porosidade do mesmo, principalmente no caso do agregado reciclado de concreto, pois este procedimento ajudaria a diminuir a quantidade da argamassa aderida a superfície (MOREL et al., 1993).

Tanto a massa específica quanto a massa unitária dos agregados reciclados, geralmente apresentam valores menores que os apresentados pelos agregados naturais, corretamente utilizados na produção de concretos. (LEITE, 2001).

Bazuco (1999) observa que os valores de massa específica dos reciclados são de 5% a 10% mais baixos que os valores apresentados pelos agregados naturais, podendo os números variar um pouco, de acordo com a origem e a granulometria do material.

Conforme levantamento bibliográfico realizado por Hansen (1992), os valores de massa específica de agregados originários de concreto oscilam entre 2,12kgf/dm³ a 2,70kgf/dm³.

Para os agregados convencionais, a taxa de absorção de água não exerce quase nenhum tipo de influência nas misturas de concreto, pois os agregados apresentam pouca, ou nenhuma, porosidade. No entanto, quando se utiliza agregados reciclados para produção, esta influência torna-se uma grande preocupação, pois este material apresenta valores bem mais altos de absorção que os agregados naturais geralmente utilizados. (LEITE, 2001).

A *Building Contractors Society in Japan* (B.C.S.J), citado por Hansen (1992), encontrou valores de absorção da ordem de 3,6 a 8% para os agregados reciclados graúdos e de 8,3 a 12,1% para os reciclados miúdos, ambos originários de concreto. Em estudo realizado por Hansen e Narud (1983), foram encontradas taxas de absorção de 8,7% para agregados entre 4 e 8mm e de até 3,7% para agregados entre 16mm e 32mm.

Os agregados reciclados, quando comparados aos agregados naturais, apresentam menor resistência ao impacto e menor resistência ao desgaste por abrasão. (LEITE, 2001). Sobral (2019) utilizou como método o ensaio Los Angeles para medir a resistência a abrasão de agregados graúdos reciclados e mais de 50% do material utilizado sofreu desgaste.

Francisco (2019), ao substituir 20% de agregado graúdo (pedrisco) por RCD triturado, em seus ensaios para produção de concreto, obteve um resultado muito satisfatório do ponto de vista normativo e até mesmo comercial. Após 28 dias de cura, as amostras com RCDs apresentaram resistência à compressão superior a 20 MPa, satisfazendo, inclusive, o valor mínimo exigido pela norma para concreto estrutural.

Ainda nesta pesquisa, o valor da massa específica das amostras com RCD foi menor do que as que não possuíam RCD em sua composição. Isso

ocorre devido a presença do material cerâmico, que tem maior porosidade e índice de vazios, resultando na produção de um material mais leve e de fácil manuseio.

Quanto à granulometria, também não houve problemas, já que o RCD apresentou dimensão semelhante ao agregado natural e pôde ser incorporado a massa de concreto sem prejudicar a aderência do conjunto.

Por absorver muita água, foi necessário umedecer o RCD, antes mesmo da mistura, para não afetar a trabalhabilidade do traço.

2.3. Aplicações de agregado de RCD

O processo acelerado de urbanização das cidades brasileiras associado a uma carência de planejamento e infraestrutura contribui tanto para o aumento dos resíduos sólidos originados das construções, reformas, ampliações, demolições, entre outros processos, quanto para a sua destinação incorreta. (NAGALI, 2014).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais — ABRELPE (2016), os municípios brasileiros coletaram cerca de 45,1 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição – RCD em 2016. Esse valor representa um índice de 0,6 kg/hab/dia.

Segundo a ABRECON (2015), é comum nos municípios brasileiros, o descarte desse material em aterros sanitários, implicando em um desperdício duplo de dinheiro, visto que 70% do resíduo total da construção civil poderia ser reutilizado ou reciclado.

Conforme citado por Leite (2001), vários países já possuem critérios para a caracterização e utilização do material reciclado. Como no Japão, com uma proposição de norma para o uso de agregado reciclado e concreto com agregado reciclado. Há outros como "Especificação para concreto com agregados reciclados - Diretriz proposta pelo Comitê Técnico 121 - DRG do RILEM (*The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures*)", "Recomendações do CUR (*Commissie vor Uitvoering van Research* — Comissão de desenvolvimento e pesquisa) para uso de agregado reciclado em concreto - Holanda", "Especificações para uso de agregados reciclados em obras rodoviárias - Estados Unidos", "Utilização de subprodutos industriais e sobras de materiais de construção e de engenharia civil" - Norma Britânica 6543 (1985) — Reino Unido e "Texto adicional a norma regular de concretos - Dinamarca".

Os resíduos de construção e demolição podem ser utilizados em diferentes aplicações como é o caso de aterros, pavimentação, produção de concreto e seus componentes, melhoramento de solos com estacas de compactação, argamassas, camadas drenantes, gabião, estruturas de solos reforçados e reabilitação de pavimentos. (SAMPAIO, 2014). Diante disso, ao considerar que o concreto é o material mais utilizado na construção civil em geral (LIMA, et. al., 2014), a aplicação de RCD enquanto agregado em sua composição é imprescindível para a diminuição do descarte de resíduos e retirada de recursos naturais.

A Figura 3 apresenta os tipos de RCDs mais utilizados na construção civil.

Figura 3 - Tipos de RCDs



Fonte: RECENTULHO (2021)

A Tabela 1 apresenta alguns tipos de materiais, suas características e onde esses materiais podem ser aplicados.

Tabela 1 - Algumas aplicações de RCD

Tipos de material Reciclável	Características e sua proveniência	Algumas aplicabilidades
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais (Figura 5) e obras de drenagens.
Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas (Figura 4), aterros e acerto topográfico de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.
Fração Concreto e Rocha Natural	Sobra de Rocha Natural (Brita), Bloco de Concreto, Sobra de Concreto.	Pode ser aplicado na produção de concreto estrutural, como agregado em artefatos de concreto (brita nº 1, 2, 3, etc.) e como cascalho granulado para regularização de vias não pavimentadas. Na granulometria superior, pode substituir a pedra britada na construção de lastros de vias.
Fração Argamassa	Areia, cal e cimento.	Como agregado na preparação de massa para assentamento de tijolos e blocos, bem como em revestimento de paredes (reduzindo-se os traços para areia e cal). (Figura 6)

Fonte: ABRECON e URBEM (2021)

Figura 4 - Utilização em pavimentação



Fonte: ABRECON (2021)

Figura 5 - Utilização como agregado para o concreto não estrutural



Fonte: ABRECON (2021)

Figura 6 - Utilização como agregado para a confecção de argamassas



Fonte: ABRECON (2021)

Segundo a ABRECON (2021) o uso do RCD também pode ser empregado na produção de concreto reciclado como agregado, cascalhamento

de estradas, preenchimento de vazios em construções, preenchimento de valas de instalações e reforço de aterros (taludes).

2.3.1. Aplicação de RCD como agregado em pavimento intertravado

O pavimento intertravado consiste em um pavimento flexível cuja estrutura é formada por uma camada de base (ou base e sub-base) subsequente a uma camada de revestimento composta por peças de concreto, comumente chamadas de pavers. Estas são sobrepostas em uma camada de assentamento e as juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento, conforme especificado pelas NBR 15953 (ABNT, 2011) e NBR 9781 (ABNT, 2013).

O intertravamento consiste na capacidade dos blocos de resistir a deslocamentos individuais em relação às peças adjacentes e é fundamental para a resistência e durabilidade do pavimento (NBR 15953:2011). Segundo o Manual de Pavimento Intertravado (ABCP, 2010), o intertravamento entre as peças de concreto é fruto de duas condições: contenção lateral e junta preenchida com areia. A contenção lateral (como meios-fios) impede o desvio lateral dos blocos, proporcionando o intertravamento; e a areia de selagem (rejuntamento) promove a transferência de esforços entre os pavers, permitindo que eles trabalhem unidos e resistam às cargas solicitantes.

Esse tipo de pavimento tem conquistado cada vez mais espaço nas áreas urbanas do país em função das suas diversas vantagens. Dentre elas, pode-se destacar a facilidade de execução, com equipamentos de pequeno porte, a liberação rápida ao tráfego e a facilidade de manutenção e reutilização. Além disso, blocos com pigmentação clara podem proporcionar menor absorção de calor e maior reflexão, contribuindo para o conforto térmico das calçadas e para uma economia na iluminação pública (ABCP, 2010; AMADEI, 2011; MARCHIONI, 2012; SIMIELI et al., 2007).

Poon et al. (2006) estudou blocos de pavimentação substituindo agregados reciclados por resíduos de cerâmica. Apesar do resíduo do tijolo cerâmico prejudicar algumas propriedades do concreto, como a diminuição da resistência à compressão e o aumento da absorção de água com o aumento da utilização do agregado reciclado, os blocos com substituição de até 50% atenderam aos requisitos estabelecidos pelas normas vigentes locais para o trânsito de pedestres, atingindo valores acima dos 30 MPa aos 28 dias.

Simieli et al. (2007) concluiu que blocos de concreto produzidos com os agregados reciclados de concreto apresentaram trabalhabilidade adequada e um acabamento excelente. O estudo aponta que a substituição de 40% da areia por agregados miúdos reciclados acarretou valores de resistência à compressão simples superiores a 35MPa, conforme recomendado pela normalização brasileira.

Amadei (2011) analisou blocos de concreto para pavimentação produzidos com diferentes teores de substituição dos agregados naturais por agregados miúdos reciclados, compostos por argamassa, concreto e materiais cerâmicos. Os resultados dos ensaios de Resistência à Compressão mostraram que a resistência diminuía conforme se aumentava o teor de substituição de agregado miúdo natural por reciclado. Os índices de 30% e 35% obtiveram resistência acima de 25 MPa aos 28 dias, viabilizando o uso desses blocos em situações de menor solicitação de tráfego de veículos ou

pedestres, porém, em desacordo com a norma brasileira. Somente a substituição de 25% de agregados miúdos naturais por reciclados atingiu valores acima de 35 MPa aos 28 dias, como determinava a NBR 9780 de 1987, que foi substituída pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

Em relação à absorção de água, os maiores teores de substituição, 45% e 50%, apresentaram os maiores índices de absorção em função da presença de grande quantidade de RCD. Os teores de 30%, 35% e 40% apresentaram os menores índices, ficando muito próximos do valor obtido pelo concreto de referência. Todavia, todos os traços confeccionados apresentaram valores inferiores a 6%, como é determinado pela maioria das normas internacionais e pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

A partir dos resultados obtidos por Amadei (2011), é possível concluir que os blocos de concreto com teor de substituição de até 25% encontram-se de acordo com os parâmetros estabelecidos pela NBR 9780 de 1987 e pela NBR 9781 (ABNT, 2013), sendo sua aplicação tecnicamente viável. Os traços com 30% e 35% de substituição, apesar de não se enquadrarem na norma brasileira, apresentaram índices satisfatórios para serem empregados em locais que exijam baixas solicitações de tráfego, além de consumirem uma maior quantidade de resíduo.

Apesar de ser objeto de pesquisa em várias universidades, a bibliografia sobre o uso de agregados reciclados oriundos de resíduos de construção e demolição em peças de concreto para pavimentação ainda é muito recente. Os resíduos de construção e demolição devem ser valorizados, sendo primordial o desenvolvimento de pesquisas para que o seu aproveitamento seja eficiente e seguro. (HOOD, 2006; SIMIELI et al., 2007).

A Figura 7 apresenta Pavers de Concreto produzidos com agregado reciclado.

Figura 7 - Pavers de Concreto com Agregado Reciclado



Fonte: BISCWIKI UFRGS (2014)

2.3.2. Aplicação de RCD como agregado em tijolo de solo-cimento

O tijolo de solo-cimento é uma das alternativas para a construção de alvenaria em habitações e em outras edificações, sendo utilizados como matéria-prima o solo, o cimento e a água. A confecção do tijolo se baseia em prensagem ou compactação, em moldes específicos, dispensando a necessidade de queima, favorecendo o meio ambiente (SOUZA, 2006). O princípio da confecção do tijolo de solo-cimento consiste em submeter à mistura de solo, cimento e água a pressões elevadas dentro de moldes metálicos, resultando em tijolos com formas e dimensões desejadas. Após 7 dias de tempo de cura, o tijolo de solo-cimento apresenta resistência à compressão similar à do bloco cerâmico (SOUZA et.al., 2008).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2000) citou algumas vantagens que os tijolos de solo-cimento apresentam, das quais se destacam:

- Utilização de solo do próprio local, reduzindo ou eliminando o custo do transporte;
- Manutenção da regularidade de suas formas com faces lisas e planas, implicando menor consumo da argamassa de assentamento e revestimento;
- Dispensa do revestimento do tijolo, quando a parede estiver devidamente protegida da ação direta da água;
- Redução do consumo de energia e, conseqüentemente, de danos ambientais, por não ser necessário o cozimento do tijolo;
- Dispensa a mão de obra especializada.

Carneiro et al. (2001) destacaram a possibilidade de incorporar outros materiais na sua fabricação, como por exemplo, agregados produzidos com resíduos da construção e demolição.

A necessidade da construção de moradias, especialmente as chamadas de habitações populares, aumenta em todos os países. A dificuldade de solucionar os problemas do déficit habitacional por meio das construções convencionais proporciona o surgimento de novas tecnologias de construção, sendo capazes de atender a população mais carente (SOUZA et.al., 2008).

O uso do tijolo de solo-cimento com o aproveitamento dos resíduos da construção e demolição é um exemplo dessas novas tecnologias, o solo é uma matéria-prima abundante e os RCD serão destinados de uma forma correta, possibilitando uma redução nos custos da obra e uma melhoria na qualidade ambiental (FERRAZ, 2004).

Através de pesquisas desenvolvidas a partir do solo-cimento identificou-se a possibilidade de incorporar materiais alternativos, seja para a correção do solo, ou para aumentar as qualidades físicas e visuais dos blocos e tijolos. Conforme o estudo desenvolvido por Beutler (2017), analisou-se o desempenho de blocos feitos com areia de fundição como forma de corrigir o solo e cimento supersulfatado, comparando-os com blocos fabricados com areia de fundição e cimento CP II — Z. A correção do solo foi feita em 70% de areia de fundição para 30% de solo e a dosagem do solo-cimento foi de 1:6 (cimento: solo corrigido). Beutler (2017) encontrou dificuldades na moldagem dos blocos de ambas as amostras, e os blocos com areia de fundição e cimento supersulfatado ao serem colocados em contato com a água foram degradados demonstrando a impossibilidade de sua utilização. Já os blocos com areia de fundição e CP II — Z que apresentaram melhor desempenho em contato com a água além de apresentar resistência à compressão significativamente superior.

Na pesquisa de Vieira (2017), as propriedades dos blocos de solo-cimento foram avaliadas após a utilização de areia natural e areia de britagem para a correção do solo, na proporção de uma parte de solo para duas partes de areia (1:2) e a dosagem do solo-cimento foi de 1:10 (cimento: solo corrigido). Tanto os blocos com areia natural como os blocos com areia de britagem apresentaram valores de resistência à compressão superiores ao indicado pela norma e de absorção inferiores ao indicado.

Bauer (2010) comenta que alguns fabricantes de prensas manuais ou automáticas utilizadas para a moldagem dos tijolos, telhas e outros produtos de solo-cimento, sugerem um traço de 1:2:9 para cimento, cal e solo.

No trabalho realizado por Motta et al. (2014), foi utilizada uma proporção de 15 partes de solo para 1 parte de cimento na confecção dos tijolos de solo-cimento e após a cura, foram ensaiados para a absorção de água e a resistência à compressão. Embora a dosagem de cimento adotada corresponda à 6,67% do peso do solo e este se enquadra na faixa indicada pela ABCP de 5% a 10%, os autores concluíram que é necessário utilizar um percentual maior de aglomerante na mistura. Vale ressaltar que o solo utilizado foi o do tipo arenoso.

Já na pesquisa de Lima e Alexandre (2006), os autores adotaram um traço de 1kg de cimento para 6kg de solo argiloso. Avaliaram 30 blocos, divididos em 3 partes iguais para ensaiar aos 7, 14 e 28 dias. Os autores obtiveram resultados satisfatórios quanto à absorção e à resistência à compressão das amostras e reafirmaram a necessidade de se utilizar uma quantidade maior de cimento quando o solo for argiloso.

Conforme os procedimentos descritos na NBR 10.833 (2012), para determinar a dosagem ideal do solo-cimento para a fabricação de blocos, devem ser preparados 30 blocos para 3 traços distintos. No ensaio de qualidade, retira-se de forma aleatória 10 amostras de cada traço, definindo ao fim, o traço que apresentou o melhor custo-benefício (ABNT, 2012).

Na NBR 10833 (2012), também consta a forma de mistura do material, que deve ser feita após o destorroamento e peneiramento do solo, colocando o cimento em cima dele e misturando até obter uma coloração homogênea. Após isso, acrescenta-se água até atingir a umidade ideal de trabalho da mistura.

Os blocos vazados de solo cimento utilizados para alvenaria, devem ter, segundo a NBR 10834/1994, seção transversal útil entre 40% e 80% da seção transversal total e a espessura mínima de qualquer parte do bloco deve ser de 25 mm.

Conforme a NBR 10835 de 1994, os blocos são classificados de acordo com sua forma e dimensões, podendo ser blocos comuns ou especiais. Os comuns precisam possuir a forma externa de um paralelepípedo retangular, sendo a largura do bloco representada por (L), a altura representada por (H), o comprimento representado por (C) e a espessura das paredes por (e). Já os blocos especiais podem ser feitos com diferentes formas e dimensões devendo seguir ainda as outras normas pertinentes, desde que atendam aos requisitos de qualidade.

No que se refere à resistência à compressão, a NBR 10834 orienta valores médios maiores que 2 MPa, ou valor individual maior que 1,7 MPa, aos 28 dias. A absorção de água, deve ser inferior a 20% (média), ou então valores individuais de 22% de absorção aos 28 dias (ABNT, 1994).

Nos procedimentos de cura dos blocos, presente na NBR 10.833, após retirar o material moldado, podem ser empilhados até uma altura máxima de 1,5m, sobre uma superfície plana e lisa deixando-os à sombra. A norma recomenda que, durante os sete primeiros dias devem ser mantidos úmidos e podem ser utilizados após 14 dias.

Em virtude de a fabricação dos blocos resultar de uma produção com forma padronizada, esse tipo de vedação permite um encaixe preciso auxiliando na diminuição de argamassa empregada (LEROY MERLIN, 2017).

Os blocos feitos com solo-cimento apresentam ótimas vantagens, pois seu emprego pode representar cerca de 30 a 50% de economia no custo total de uma obra. Outras vantagens desse material são: o processo de fabricação não possui queima; apresenta uma ótima resistência mecânica; possui um eficiente isolamento acústico e térmico; não absorve muita umidade; é consideravelmente mais leve que outros tipos de vedações (SANTOS et al., 2009; apud MACHADO; ARAÚJO, 2014).

A Figura 8 apresenta Tijolos solo-cimento produzidos com adição de resíduo de concreto.

Figura 8 - Tijolos solo-cimento com adição de resíduo de concreto



Fonte: RECICLOS UFOP (2018)

2.4. Vantagens com o uso de RCD:

Considerando as possíveis aplicações do RCD na indústria da construção civil, apresentam-se algumas de suas vantagens:

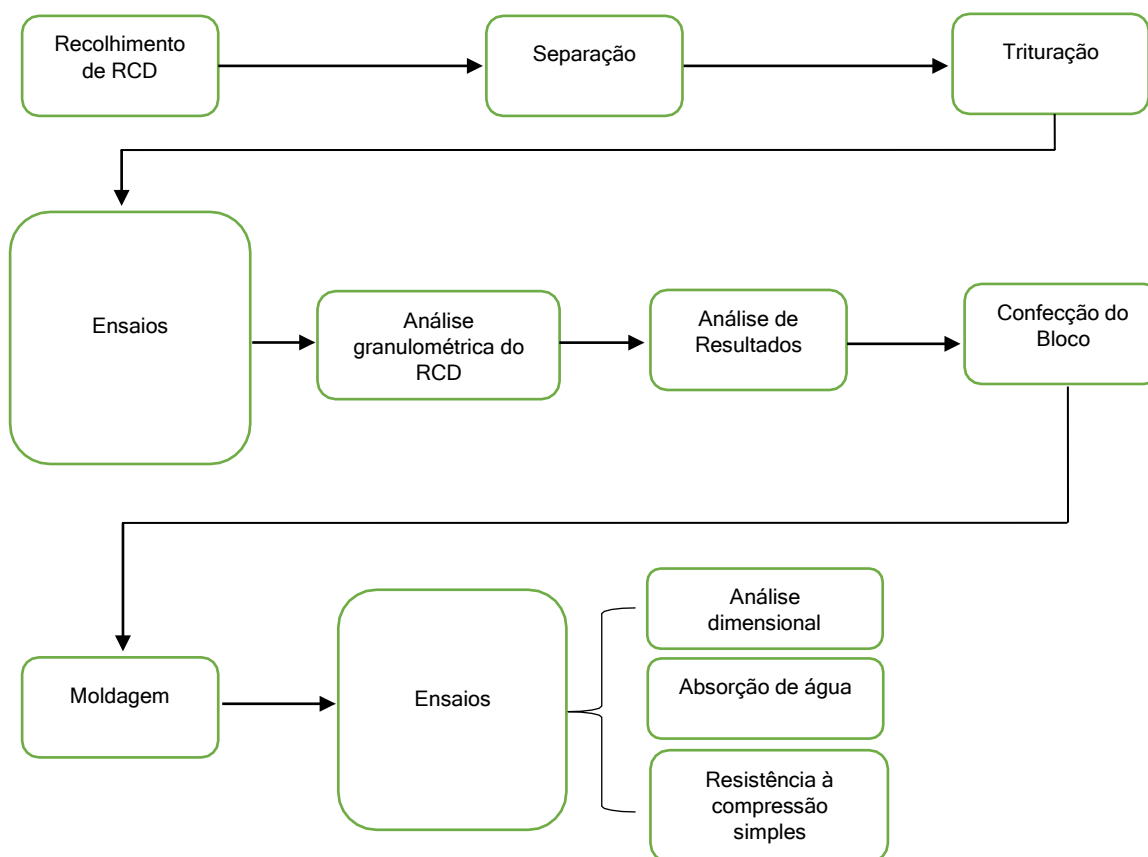
- Utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- Economia de energia no processo de moagem do entulho (em relação à sua utilização em argamassas), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometrias graúdas;

- Possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/ trituração;
- Possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento;
- Utilizado do resíduo no local gerador, o que elimina custos com transporte;
- Pode apresentar um efeito pozolânico dependendo da composição do entulho;
- Redução no consumo do cimento e da cal; e ganho na resistência a compressão das argamassas. (ABRECON, 2021).

3. Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido por meio de produção de tijolos de solo-cimento com o uso de RCDs, utilizando uma máquina prensa de tijolos adquirida pelo grupo ao longo do trabalho. O processo de compra da máquina e obtenção dos materiais levou a um atraso considerável nos prazos do programa experimental. A Figura 9 apresenta um Diagrama com as etapas do trabalho.

Figura 9 - Diagrama



Fonte: Do Autor (2022)

3.1. Materiais e equipamentos utilizados

Os materiais utilizados foram: Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), solo argiloso, resíduos de construção e demolição (RCD) e água fornecida pela rede pública.

O equipamento utilizado foi uma prensa manual para tijolos ecológicos, adquirida pelo grupo através de uma arrecadação online e que ao final do trabalho será doada a Fatec Tatuapé (Figuras 10, 11 e 12).

Figura 10 – Prensa utilizada para a fabricação dos blocos



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 11 – Prensa utilizada para a fabricação dos blocos



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 12 – Prensa utilizada para a fabricação dos blocos



Fonte: Do Autor (2022)

3.2. Composições

Segundo recomendações de Sherwood (1993), o valor mínimo de aglomerante para estabilização química dos solos deve ser de 4%. Em estudo mais recente, Góis (2012) utiliza o mínimo de 6%. Porém, em sua pesquisa, o tijolo que apresentou melhores resultados utilizou 10% de cimento.

Neste estudo, foi adotado apenas o percentual de cimento de 10% em relação à massa total. As composições de solo e RCD foram confeccionadas em proporções de 15% e 25% RCD em substituição à massa de solo. A nomenclatura das misturas de solo (S), cimento (C) e RCD (R) empregadas na moldagem dos tijolos de solo-cimento, encontra-se na Tabela 2.

Para comparação dos resultados que foram obtidos com a fabricação dos tijolos das misturas citadas acima, foi fabricado uma mistura de solo + 10% de cimento com relação a massa de solo.

Tabela 2 – Nomenclatura das composições dos tijolos

Nomenclatura	Determinação das misturas
S10C	Solo + 10% Cimento
S15R10C	70% Solo + 15% RCD + 10% Cimento
S25R10C	60% Solo + 25% RCD + 10% Cimento

Fonte: Do Autor (2022)

3.3. Moldagem

Os tijolos foram moldados em uma prensa manual com aproximadamente 6 ton de pressão. Os blocos têm dimensões de 25cm de comprimento x 12,5cm de largura e 7cm de altura, com furos de encaixe, atendendo o dimensionamento proposta no item 4.2.2 da NBR 8491:2012. Exemplo de tijolo conforme Figuras 13 e 14.

Figura 13 – Moldagem dos blocos na prensa manual



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 14 – Blocos com 25% de RCD



Fonte: Do Autor (2022)

3.4. Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados nesse trabalho foram caracterizados por análise granulométrica, e por avaliação do tipo de solo não normatizado.

3.4.1. Análise granulométrica

O RCD foi levado a análise granulométrica de acordo com a NBR NM 248:2003, que é a norma utilizada para avaliar a granulometria de agregados convencionais: areia, brita. As Figuras 15, 16 e 17 apresentam as etapas da análise granulométrica do RCD.

Figura 15 – Peneiras da série normalmente usadas no ensaio



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 16 – Agitador de Peneiras



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 17 – Peso da peneira + peso do RCD retido na peneira de 0,300mm (Kg)



Fonte: Do Autor (2022)

3.4.2. Ensaios do tipo de solo

Devido à granulometria do solo estudado e da falta de equipamentos necessários, o ensaio de granulometria não pôde ser realizado. Sendo assim, optou-se pela realização de ensaios não normativos que permitissem a caracterização das propriedades e do tipo de solo.

3.4.2.1. Teste da queda da bola

O objetivo deste teste, segundo Neves et al. (2005) é classificar o solo a partir de sua coesão. O teste basicamente consiste em se umidificar uma porção de solo e modelá-la a fim de se formar uma bola com cerca de 3cm de diâmetro. Em seguida, deve-se soltar a bola em queda livre de uma altura de aproximadamente 1m e observar seu comportamento (Figuras 18 e 19).

Figura 18 – Preparação da bola



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 19 – Teste da queda da bola



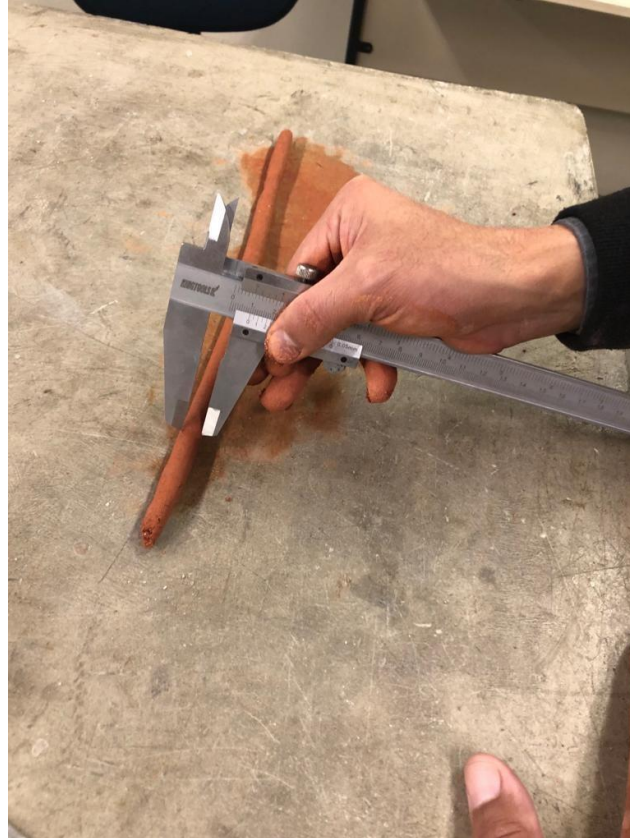
Fonte: Do Autor (2022)

A amostra de solo é considerada argilosa já que a bola se manteve coesa e espalhou pouco.

3.4.2.2. Teste do cordão

Este teste avalia a coesão e plasticidade da terra em um determinado estado de umidade e a relaciona com o tipo mais provável de terra. Separa-se uma amostra de terra e adiciona-se água até que se consiga formar um cordão, que se rompa com cerca de 3cm de diâmetro, ao rolá-la sobre uma superfície plana e lisa. Com este estado de umidade determinado, molda-se uma bola com a terra. Feito isso pressiona-se a bola entre o polegar e o indicador, esmagando-a conforme observado nas (Figuras 20 e 21).

Figura 20 – Preparação e dimensão do cordão



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 21 – Teste do cordão



Fonte: Do Autor (2022)

Segundo os resultados apresentados, a amostra de solo pode ser considerada Argilo-siltosa, pois a bola se mostrou pouco resistente e esmigalha facilmente.

3.4.2.3. Teste da fita

O teste da fita analisará a plasticidade apresentada pela amostra de terra. Toma-se uma amostra de terra com a mesma umidade apresentada no testado cordão, e forma-se um cilindro de terra no tamanho e formato de um charuto de cigarro comum. Em seguida, pressiona-se o charuto entre o polegar e o indicador, achatando-o a fim de moldar uma fita de 3 a 6 mm de espessura e com o maior comprimento possível (Figuras 22 e 23).

Figura 22 – Preparação da fita



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 23 – Teste da fita



Fonte: Do Autor (2022)

Conforme resultado apresentado Tipo/Comportamento da fita ficou entre Curta e Longa (Média) com 16cm, podendo ser considerada Argilo-siltosa com plasticidade mediana.

3.4.2.4. Teste da Exsudação

Analisa a plasticidade da amostra de terra, de acordo com sua capacidade de reter água.

Separa-se uma amostra de terra e adiciona-se água até que esta fique bastante úmida. Coloca-se esta amostra em uma das palmas da mão. Golpeia-se a amostra com a outra mão livre e observa-se o número de golpes necessários para que surja na superfície da amostra uma fina película d'água, deixando-a lisa e brilhante (Figuras 24 e 25).

Figura 24 – Amostra de terra úmida antes da aplicação dos golpes



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 25 – Amostra de terra úmida após a aplicação dos golpes



Fonte: Do Autor (2022)

De acordo com o número de golpes, 22, e o resultado apresentado, podemos considerar como solo Silte-argiloso ligeiramente plástico.

3.4.2.5. Teste da Resistência Seca

Este ensaio busca determinar o tipo de solo pela resistência apresentada por pastilhas de terra seca. Com uma amostra de terra úmida, deve-se formar de duas a três pastilhas de terra com diâmetro entre 2 a 3cm e espessura de 0,5 a 1cm aproximadamente. As pastilhas devem ser postas ao sol para secagem por dois ou mais dias. Após a secagem, tenta-se romper cada pastilha entre o polegar e o indicador (Figuras 26 e 27).

Figura 26 – Pastilhas de terra úmidas



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 27 – Rompimento das pastilhas (após secagem ao sol por dois dias)



Fonte: Do Autor (2022)

As pastilhas de terra argilosa somente se rompem quando se aplica um esforço de flexão e com auxílio das duas mãos conforme figura acima.

3.5. Caracterização dos tijolos

Foram fabricados 5 tijolos para cada tipo de mistura conforme apresentado na Tabela 2. Os tijolos fabricados foram submetidos a ensaios dimensionais, ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples.

3.5.1. Análise dimensional

Os tijolos foram produzidos seguindo as diretrizes da NBR 8491:2012. A análise dimensional realizada respeitou as tolerâncias descritas no item 5.1 da NBR 8491:2012.

Os blocos têm dimensões de 25cm de comprimento x 12,5cm de largura e 7cm de altura.

3.5.2. Ensaio de absorção de água

Para a determinação da absorção da água dos tijolos foram obedecidas as determinações da NBR 8492:2012.

Para a realização do ensaio foi utilizada uma estufa de secagem, com controle de temperatura de 50°C a 250°C.

Conforme a norma, os valores individuais de absorção de água são expressos em porcentagem e obtidos por meio da expressão 1:

$$A = (M2 - M1) / M1 \times 100 \text{ (Eq 1)}$$

Em que:

A = absorção de água, expressa em porcentagem (%);

M1 = massa do corpo de prova seco em estufa, em gramas (g).

M2 = massa do corpo de prova saturado, em gramas (g).

Após a cura de 07 (sete) dias, 2 tijolos de cada composição foram colocados em estufa para secar, entre 105°C a 110°C, até atingir a constância da massa, obtendo-se o tijolo seco, M1, em gramas (g).

Após atingirem a temperatura ambiente, os tijolos foram imersos em um tanque com água por 24 horas.

Ao serem retirados da água, foram enxutos superficialmente com um pano levemente umedecido e, antes de encerrar 3 minutos, pesados, para obter a massa do tijolo saturado, M2, em gramas (g).

3.5.3. Ensaio de resistência à compressão simples

Os ensaios de resistência à compressão simples, dos tijolos, foram realizados aos 7 dias, por isso foi adotado o cimento CPV ARI, para que se pudesse ter alcance de resistência mecânica mais rapidamente.

Para este ensaio 3 tijolos foram utilizados para os ensaios, sendo, cada um, partido ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão.

Foi criada uma pasta de cimento Portland que foi colocada em repouso por aproximadamente 30 minutos, para que ocorresse a expansão. Em seguida, as superfícies cortadas dos tijolos foram superpostas por suas faces maiores de forma invertida e ligadas por uma fina camada da pasta de cimento, com 3 mm de espessura, aguardando-se o endurecimento da pasta por 12 horas.

Para que ocorresse um contato preciso entre as superfícies de trabalho, as faces dos corpos de prova precisariam estar planas e paralelas, então foi necessário realizar uma regularização das faces, por meio de capeamento de espessura de 3 mm, com a pasta de cimento Portland, retirando as rebarbas existentes.

Após o endurecimento, os corpos de prova moldados foram imersos em água por 6 horas, o mínimo recomendado pela norma. Por fim, retirados da água e colocados na máquina de ensaio à compressão, com aplicação de carga uniforme e à razão de 500 N/s (50 kgf/s). A resistência mecânica foi calculada pela relação da carga de ruptura aplicada pela área da seção.

As Figuras 28 e 29 apresentam os corpos de prova quando submetidos ao ensaio de compressão e após a ruptura.

Figura 28 – Corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 29 – Corpo de prova rompido após ensaio



Fonte: Do Autor (2022)

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização dos materiais

A Tabela 3 apresenta a análise granulométrica do RCD utilizado no trabalho. O módulo de finura foi calculado pelo somatório dos valores apresentados nas peneiras de % retidas acumuladas/100 e o valor obtido foi de 2,59 e a dimensão máxima característica (D_{max}) é de 4,75 mm.

A Tabela 4 apresenta os limites de distribuição granulométrica dos agregados miúdos, quando utilizados no concreto, e como se pode observar o resíduo de RCD utilizado no trabalho apresenta o perfil de zona ótima, granulometria bem distribuída para um agregado miúdo.

Tabela 3 – Análise granulométrica do RCD

Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
4,75	2	0,4	0,4
2,36	50	10	10,4
1,20	70	14	24,4
0,600	116	23,2	47,6
0,300	160	32	79,6
0,150	84	16,8	96,4
Fundo	18	3,6	100
Soma	500		

Fonte: Do Autor (2022)

Tabela 4 – Limites de granulometria para agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 μ m	15	35	55	70
300 μ m	50	65	85	95
150 μ m	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211 (2009)

4.2. Análise granulométrica do solo

Devido à falta de equipamentos necessários, optou-se pela realização de ensaios não normativos que permitem a caracterização das propriedades e do tipo de solo.

Foram realizados 5 testes, o que nos permitiu chegar à conclusão de que o solo utilizado tem características argilo-siltoso. Sendo classificado dessa forma.

4.3. Análises físicas e mecânicas dos blocos

As Figuras 30a e 30b apresentam os blocos submetidos a análise dimensional. Todos os blocos moldados apresentaram as medidas estabelecidas em norma de 25cm de comprimento x 12,5cm de largura e 7cm de altura.

Figura 30 – Blocos submetidos à análise dimensional

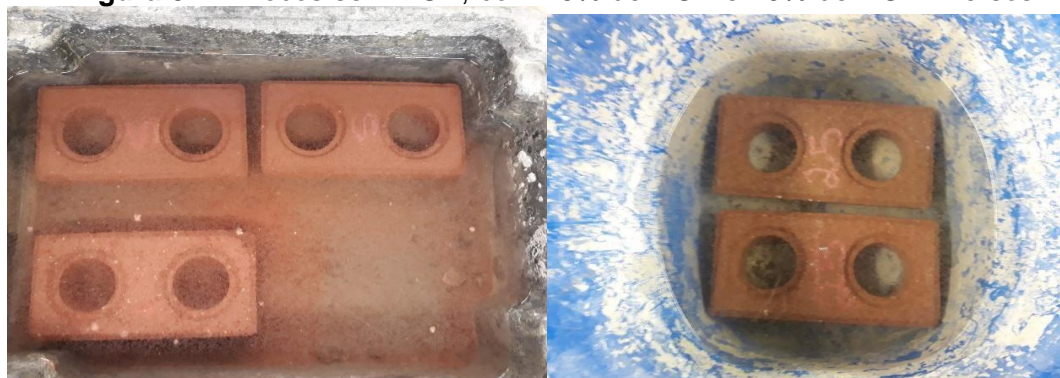


Fonte: Do Autor (2022)

As Figuras 31, 32 e 33 apresentam os blocos imersos para o ensaio de absorção de água e as Figuras 32 e 33 apresentam um bloco com 15% de RCD rompido durante a imersão e posteriormente sendo pesado.

Como se pode observar na Figura 32, o bloco se desfez ainda enquanto submerso, isso porque há uma alta concentração de solo em relação a RCD nesse traço em específico, o que impede uma absorção de água equilibrada entre ambos.

Figura 31 – Blocos sem RCD, com 15% de RCD e 25% de RCD imersos.



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 32 – Bloco com 15% de RCD rompido durante a imersão (após 7 horas).



Fonte: Do Autor (2022)

Figura 33 – Pesagem do bloco com 15% de RCD rompido durante a imersão.



Fonte: Do Autor (2022)

A Tabela 5 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água dos blocos. É importante ressaltar que o número de blocos foi inferior para uma das misturas visto que o material foi insuficiente para a produção total dos blocos.

Observando-se a Tabela 5 percebe-se que, conforme se aumenta a quantidade de RCD e diminui a quantidade de solo, a absorção de água apresenta um resultado menor e, no caso dos blocos com 25% de RCD, apresentaram um valor dentro do parâmetro normativo (entre 8% e 22%). Esse fato pode ter ocorrido devido ao fato de o solo utilizado ser argiloso, que tem como característica absorver muita água. Além disso, a areia de RCD pode ter melhorado as características do material, diminuindo o número de vazios.

Segundo o trabalho realizado por Motta et al. (2014), é recomendado o uso de solo arenoso, porém o grupo teve dificuldades de encontrar este tipo de solo.

Tabela 5 – Ensaio de absorção de água

Composição	Identificação	M1 (g)	M2 (g)	A (%)	A Médio (%)
Sem RCD	Bloco 1	1505	2092	39	
Sem RCD	Bloco 2	1660	2241	35	37
15% de RCD	Bloco 1	1785	2333	30,70	30,70
25% de RCD	Bloco 1	2095	2627	25,39	20,83
25% de RCD	Bloco 2	2180	2535	16,28	

Fonte: Própria (2022)

A Tabela 6 apresenta os resultados de resistência mecânica aos 7 dias para os 3 tipos de tijolos.

Observa-se de acordo com os valores apresentados na Tabela 6 que a amostra de 15% teve um dos seus corpos de prova sem resultado, pois o material estava bastante frágil e rompeu antes de ir ao ensaio. Verifica-se que a amostra com 25% de RCD apresenta uma resistência maior do que a sem RCD. Essa diferença ocorre devido ao solo argiloso, que tem como característica uma grande absorção de água e conseqüentemente uma menor resistência, ou seja, ao acrescentar o RCD e diminuir a quantidade de solo argiloso e conferir uma consistência mais arenosa, obteve-se uma resistência melhor.

Esses valores não estão de acordo com o mínimo estipulado pela norma, e isso se deu muito provavelmente por conta do solo utilizado nos ensaios realizados. Porém infelizmente o grupo não teve tempo hábil para fazer outros tipos de tijolos.

Tabela 6 – Ensaio de resistência à compressão simples

Composição	Identificação	Medidas (cm)	Área (cm ²)	Força (Kgf)	R (MPa)	R Médio (MPa)	
Sem RCD	Bloco 1	12,5 x 12,5	156,25	390,00	0,25		
Sem RCD	Bloco 2	12,5 x 12,5	156,25	250,00	0,16	0,19	—
Sem RCD	Bloco 3	12,5 x 12,5	156,25	260,00	0,17		
15% de RCD	Bloco 1	12,5 x 12,5	156,25	170,00	0,11		—
15% de RCD	Bloco 2	12,5 x 12,5	156,25	260,00	0,17	0,14	—
15% de RCD	Bloco 3	12,5 x 12,5	156,25	-*	-*		—
25% de RCD	Bloco 1	12,5 x 12,5	156,25	490,00	0,31		—
25% de RCD	Bloco 2	12,5 x 12,5	156,25	710,00	0,45	0,36	—
25% de RCD	Bloco 3	12,5 x 12,5	156,25	510,00	0,33		—

***O Bloco 3 com 15% de RCD rompeu ainda dentro d'água.**

Fonte: Do Autor (2022)

5. Considerações finais

Apesar das dificuldades, consideramos os resultados positivos, uma vez que a intenção era reaproveitar um material — que muitas vezes acaba sendo desperdiçado — em um elemento construtivo não apenas sustentável, mas também de qualidade.

Mesmo com poucos testes, foi possível observar um comportamento satisfatório nas amostras que continham RCD quando comparadas as amostras sem RCD, seja na absorção de água ou na resistência à compressão simples. Entretanto não apresentou o mínimo de resistência estipulado pela norma.

As características do RCD e do solo sofrerão variações de um lugar para outro, por isso a importância de os testes serem realizados para obter o traço ideal, bem como os ensaios para comparar seu comportamento com os blocos convencionais. Ressalta-se que o tipo de solo utilizado é fundamental para conseguir um bom desempenho dos tijolos de solo cimento.

Esperamos que nosso trabalho contribua para que num futuro próximo tenhamos casas e construções com o uso do RCD em sua composição, especialmente para construções de habitação popular — já que esse era o objetivo do grupo, produzir um material que pudesse ser utilizado também nesse tipo de construção.

Agradecimentos

Agradecemos a Professora Michelle por toda dedicação e paciência, a Fatec Tatuapé pelo espaço cedido nos laboratórios e a todos que contribuíram de alguma forma para a aquisição da prensa manual, que agora passa a pertencer ao laboratório de materiais da Fatec e aos alunos.

Referências

ABCP. Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público. Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público, p. 36, 2010.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural: especificações. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15953: Pavimento intertravado com peças de concreto: execução. Rio de Janeiro, 2011.

AMADEI, Daysa Ione Braga. *Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do município de Juranda/PR*. 2011. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2016*. ABRELPE: São Paulo, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2020*. ABRELPE: São Paulo, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. *Relatório Pesquisa Setorial – 2014/2015*. ABRECON: São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. *Mercado – 2021*. ABRECON: São Paulo, 2021.

BARRA, M. Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado. Barcelona, 1996. 223 p. Tese (Doutorado). Escola técnica Superior d'Enginyers da Camim, Canal i Ports. Universitat Politècnica de la Catalunya.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de construção: vol. 2*. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010. 538 p.

BAZUCO, Régis Sandro. *Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos*. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BEUTLER, Cheila Sirlene. *Estudo da adequabilidade do uso de areia de fundição e cimento supersulfatado em blocos de solo-cimento*. 2017. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

BISCWIKI. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Pavers de Concreto com Agregado Reciclado*. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/bisc/solucao-impressao.php?id=24>>. Acesso em: 02 out. 2021.

CARBON BRIEF. *Analysis: Which countries are historically responsible for climate change?* 2021. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

CASTILHO, T. “Resíduos da Construção e Demolição: Reciclar mais para gerar menos”. Revista Visão Ambiental, São Paulo, 3ª edição, p. 40-44, nov./dez. 2009.

Coelho A., de Brito J. (2013a). Economic viability analysis of a construction and demolition waste plant in Portugal — Part I: location, materials, technology and economic analysis, J. Cleaner Prod. 39 (1),338–352.

Coelho A., de Brito J. (2013b). Economic viability analysis of a construction and demolition waste plant in Portugal — Part II: economic sensitivity analysis, J. CleanerProd. 39 (1), 329– 337.

Coelho A., de Brito J. (2013c). Environmental analysis of a construction and demolition waste plant in Portugal — Part I: energy consumption and CO2 emissions. Waste Manage. 33 (5), 1258–1267.

Coelho A., de Brito J. (2013d). Environmental analysis of a construction and demolition waste plant in Portugal – Part II: environmental sensitivity analysis. Waste Manage. 33 (1), 147–161.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução nº307, de 05 de julho de 2002*. Brasília, 2002.

Contreras, M., Teixeira, S. R., Lucas, M. C., Lima, L. C. N., Cardoso, D. S. L., da Silva, G. A. C., dos Santos, A. (2016). Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). Construction and Building Materials, 123, 594- 600.

ENGENHARIA 360. *Saiba o que é solo-cimento e qual sua aplicação na construção civil*. 2017. Disponível em: <<https://engenharia360.com/saiba-o-que-e-solo-cimento/>>. Acesso em: 17 nov. 2021.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Construction and demolition waste: challenges and opportunities in a circular economy*. Copenhagen, 2021. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/construction-and-demolition-waste-challenges/construction-and-demolition-waste-challenges>>. Acesso em: 01 set. 2021.

FRANCISCO, Joyce Tatiani Masselani. *Resíduo de construção e demolição em concreto: propriedades de peças pré-moldadas para pavimentação intertravada*. 2019. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019.

GÓIS, Luciano Costa de. *Estudo da incorporação da cal em composições binárias de solo-cimento para produção de tijolos maciços*. 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C. Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997. 170 p. p. 107-115.

HANSEN, T.C. Recycled of demolished concrete and masonry. London: Chapman & Hall, 1992. 316 p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160.

HANSEN, T.C.; NARUD, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International*, v. 5, n. 1, p. 79-83, 1983.

Hong Yang, Junqiang Xia, Julian R. Thompson, Roger J. Flower, Urban construction and demolition waste and landfill failure in Shenzhen, China, *Waste Management*, Volume 63, 2017, Pages 393-396.

HOOD, Rogério da Silva Scott. *Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação*. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

LEITE, Mônica Batista. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. 2001. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEROY MERLIN. Tijolo ecológico: material de construção sustentável reduz custos de acabamento sem abrir mão do design. 2017. Disponível em:. Acesso em: 26 out. 2017.

LIMA, Sandovânio Ferreira et al. Concreto e suas inovações. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, v. 1, n. 1, p. 31-40, 2014.

LIMA, T. V.; ALEXANDRE, J. Estabilização de três solos argilosos para a produção de blocos ecológicos (solo-cimento). In: encontro nacional de tecnologia no ambiente construído XI, 2006, Florianópolis. Encontro. Florianópolis: Entac, 2006. p. 4168 - 4177.

MACHADO, Amanda Ozório; ARAÚJO, Joice Andrade de. Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de ETA e Resíduos da Construção Civil. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, XI, 2014. Simpósio. Resende: SEGET.

MARQUES NETO, José da Costa. *Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil*. São Carlos: Rima, 2004. 164 p. (ISBN 8576560437).

MARCHIONI, Mariana Lobo. *Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada*. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva et al. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. *E-xacta: Editora UniBH*, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p.13-26, 2014.

NAGALLI, André. *Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil*. Oficina de Textos, 2016.

OGWUDA, O. I; FORDYCE, D; UNDERWOOD, J. Variation in particle size distribution from primary crushing of demolition waste. In: DHR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHYA, M. C. (Eds.). *Sustainable Coconstruction: Use of Recycled Concrete*

Aggregate. London: Thomas Telford Pub., 1998. p 121-133

POON, C. S.; CHAN, D. Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. *Construction and Building Materials*, v. 20, n. 8, p. 569–577, 2006.

RECENTULHO. Agregados Reciclados para Construção. *Produtos*. Jacareí, 2021. Disponível em: <<http://www.recentulho.com.br/produtos/>>. Acesso em: 12 out. 2021.

RECICLI. Reciclagem Inteligente. *Produtos Finais*. São Cristóvão, 2021. Disponível em: <<https://www.recicli.com.br/servicos-e-produtos/produtos-finais>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

RECICLOS. Universidade Federal de Ouro Preto. *Tijolos mais que ecológicos*. Ouro Preto, 2018. Disponível em: <<https://reciclos.ufop.br/news/aberta-sele%C3%A7%C3%A3o-para-inicia%C3%A7%C3%A3o-ci%C3%AAnt%C3%ADficao-do-grupo-reciclos>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

SACHO, Sara Duarte. *Avaliação do potencial de reaproveitamento dos resíduos sólidos classe a da construção civil em Goiânia*. 2015. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitarista) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

Sampaio, G. S., & Nunes, I. E. S. (2017). Estudo interdisciplinar da viabilidade de aplicação do tijolo de solo-cimento na construção civil: economia aliada à sustentabilidade. *Janus*, 12(22).

SAMPAIO, Liliane Lima. *Comportamento mecânico de resíduos beneficiados da construção e demolição utilizados na fabricação de concreto e estabilização de solos*. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2014.

Sherwood, P.T. Soil stabilization with cement and lime: state of the art review. London: HMSO, 1993. 153p.

Silva, L., & Lafayette, K. P. V. (2016). Avaliação das propriedades do Resíduo da Construção Civil RCC como subsídio para confecção de tijolos de solo-cimento. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, 2(1).

SIMIELI, D. et al. Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados. *Exacta*, v. 5, p. 231–241, 2007.

SOBRAL, Bruno Silva. *Agregados de RCD: Caracterização e estudo de aplicações*. 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SOUZA, Márcia I. B.; SEGANTINI, Antonio A. S.; PEREIRA, Joelma A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 2, p.205-212, 2008.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet*. Washington, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021.

USINA DE RECICLAGEM E BENEFICIAMENTO DE ENTULHO E MATERIAIS – URBEM. *Produtos – 2021*. URBEM: São Bernardo do Campo, 2021.

Velasco, P. M., Ortíz, M. M., Giró, M. M., & Velasco, L. M. (2014). Fired clay bricks

manufactured by adding wastes as sustainable construction material—A review. *Construction and Building materials*, 63, 97-107.

VIEIRA, Gustavo Henrique Veronese. Avaliação de blocos de solo-cimento utilizando o solo de Pato Branco corrigido com areia natural ou areia de britagem. 2017. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.