



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

KAREN NAYARA MARCOLINO DA SILVA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE
BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO DRENANTE**

Caruaru

2024

KAREN NAYARA MARCOLINO DA SILVA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE
BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO DRENANTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal De
Pernambuco - UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Maria Victória Leal de Almeida Nascimento

Caruaru

2024

*Olho nenhum viu, ouvido nenhum ouviu, mente nenhuma imaginou
o que Deus preparou para aqueles que o amam.*

1 Coríntios 2:9

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por Sua infinita bondade sobre minha vida. Sem Ele eu não teria chegado até aqui. Ele é o meu sustento, refúgio e fortaleza. Me manteve firme e não permitiu que eu desistisse. É tudo sobre Ele e para Ele. A Ele toda honra e glória.

Ao meu esposo e melhor amigo, Bruno Bezerra, por estar sempre ao meu lado, contribuindo com o meu crescimento e me incentivando a não desistir. Agradeço todo apoio, cuidado, amor, compreensão, palavras de conforto, companheirismo, que ajudaram a me manter forte e no foco.

Aos meus pais, que renunciaram muitas coisas para que eu tivesse um futuro promissor. Eles sempre acreditaram na minha capacidade e estavam ao meu lado nos momentos mais difíceis. A minha mãe, Nelcineide Marcolino, que estava sempre em oração por minha vida, com palavras de amor e carinho, me incentivando a permanecer firme. Ao meu pai, Artur José, que renunciou muitos sonhos para que eu pudesse realizar os meus, que me amou e se dedicou até o fim, e sempre me fez acreditar que eu podia chegar aonde quisesse.

As minhas avós Marlene Marcolino e Maria José por fazerem tudo por mim e contribuírem com o meu crescimento. Elas estavam lá nos momentos mais felizes, me parabenizando e abraçando, e nos momentos mais difíceis, orando, cuidando, e me incentivando.

As minhas irmãs Aninha, Ellen, Emily e Evilyn, que estavam ao meu lado o tempo todo. Agradeço todo companheirismo, conversas, boas risadas e palavras amigas. Elas são parte de mim, não teria chegado até aqui sem nenhuma delas. Ao meu irmão Artur, por nos dar alegria pra continuar a caminhada.

As minhas tias e tios, Nelcilene, Everaldo, Neidilene, Saulo, Keila, Gustavo, Alexandra e Norberto, que sempre acreditaram que eu podia chegar até aqui, que foram amigos, que oraram por mim, me incentivaram e não permitiram que eu fraquejasse. Aos meus priminhos, Júlia, Samuel e Lucas, por trazerem tantas alegrias e me fazerem querer ser um exemplo para cada um deles. Aos meus cunhados, Ivaldo e Luis, pela parceria, amizade, pelo incentivo e companheirismo.

A minha orientadora Profa. Dra. Maria Victória Leal de Almeida Nascimento que foi essencial nesse fim de curso. Agradeço toda paciência, dedicação e incentivo. Obrigada por todo conhecimento passado. Muito obrigada também por não permitir que eu desistisse no momento mais difícil, por ter segurado minha mão e caminhado junto comigo.

Aos amigos que eu tive a alegria de conhecer na faculdade, que estavam no mesmo barco, mas um sempre apoiava o outro. Agradeço toda ajuda, companheirismo e aprendizado. Luana, que se tornou uma grande amiga que levarei por toda vida, Ellen que foi minha pessoa a vida

toda e sem ela eu não teria tido forças para continuar, e mais uma vez ao meu esposo Bruno, que foi uma das alegrias que eu pude ter na faculdade, por sempre ser forte, amigo, parceiro e companheiro em todas as horas. Amo muito todos vocês. Sou grata pela vida de cada um.

A todos que me ajudaram a realizar esse trabalho. Aos técnicos dos Laboratórios de Estrutura e Construção Civil. À Nóbrega Engenharia por todo apoio e insumos fornecidos. Ao Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) pelo beneficiamento do resíduo de construção civil (RCC). E, por fim, todos que, de alguma maneira, contribuíram com a minha trajetória.

Incorporação do resíduo da construção civil na produção de bloco intertravado de concreto drenante

Incorporations of construction waste into the production of interlocking drainage concrete blocks

Karen Nayara Marcolino da Silva¹

RESUMO

Um dos setores que mais geram resíduos sólidos, é o da construção civil. Em razão disso, boa parte dos materiais remanescentes de obras são descartados de maneira incorreta e na maioria dos casos não são reciclados ou reutilizados, estes materiais são classificados como Resíduos de Construção Civil (RCC). No presente trabalho, o RCC foi incorporado em blocos intertravados de concreto drenante, visando a sustentabilidade, por meio da redução da exploração de recursos naturais. O objetivo da pesquisa é avaliar como o RCC reciclado vai influenciar no bloco intertravado de concreto drenante, para que se possa obter as propriedades físicas e mecânicas desejadas, através dos ensaios de resistência à compressão, resistência à abrasão e permeabilidade. Para isso, foram determinados os traços para a produção dos blocos por meio de pesquisas e análises de métodos, sendo 1:4 (cimento; pedrisco) e 1:1:4 (cimento; areia; pedrisco), com relação água/cimento (a/c) de 0,40. Após a avaliação, foi selecionado o traço padrão que apresentou melhores resultados. Em seguida, foi realizada a incorporação por substituição do agregado gráudo, em porcentagens de 10%, 20%, 30% e 40% do agregado gráudo reciclado, no traço de 1:1:4. A incorporação do RCC manteve os resultados de resistência à abrasão, porém não apresentou bons resultados de resistência à compressão. Quanto ao coeficiente de permeabilidade, os índices foram satisfatórios, classificando-o como permeável. O traço mais eficiente foi o 1:1:4 com a incorporação de 40% do agregado gráudo reciclado, pois apresentou maior resistência à compressão, e resistência à abrasão e permeabilidade satisfatórias.

Palavras-chave: agregado reciclado; concreto drenante; sustentabilidade; reciclagem.

¹Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: karen.marcolino@ufpe.br

ABSTRACT

One of the sectors that generate the most solid waste is construction. Because of this, a large part of the remaining construction materials are discarded incorrectly and in most cases are not recycled or reused, these materials are classified as Civil Construction Waste (RCC). In the present work, the RCC was incorporated into interlocking drainage concrete blocks, aiming at sustainability, by reducing the exploitation of natural resources. The objective of the research is to evaluate how recycled RCC will influence the interlocking drainage concrete block, so that the desired physical and mechanical properties can be obtained, through compression resistance, abrasion resistance and permeability tests. For this, the traits for the production of the blocks were determined through research and analysis of methods, being 1:4 (cement; gravel) and 1:1:4 (cement; sand; gravel), with a water/cement ratio (w/c) of 0.40. After the evaluation, the standard trait that presented the best results was selected. Then, the incorporation was carried out by replacing the coarse aggregate, in percentages of 10%, 20%, 30% and 40% of the recycled coarse aggregate, in a ratio of 1:1:4. The incorporation of RCC maintained the abrasion resistance results, but did not present good compressive resistance results. As for the permeability coefficient, the indices were satisfactory, classifying it as permeable. The most efficient mixture was 1:1:4 with the incorporation of 40% of recycled coarse aggregate, as it presented greater compressive strength, and satisfactory abrasion resistance and permeability.

Keywords: recycled aggregate; drainage concrete; sustainability; recycling.

DATA DE APROVAÇÃO: 26 de março de 2024.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma região traz aliado consigo o crescimento da indústria da construção civil. Porém, esse crescimento causa grandes impactos ambientais, desde a extração da matéria prima, até o descarte de resíduos sem critério e controle (Silva, 2013a). Diante disso, soluções vêm sendo estudadas e desenvolvidas para uma construção mais sustentável. Um exemplo, é a utilização dos resíduos gerados na construção civil para produção de subprodutos, reduzindo assim os impactos ambientais.

Segundo Brasileiro *et al.* (2015) o desenvolvimento sustentável traz a ideia de produzir bens com a menor quantidade possível de recursos naturais e a menor poluição, ou seja, o desenvolvimento econômico não deve estar vinculado a geração de impacto ambiental. Para que isso aconteça, medidas de mitigação são necessárias, como: redução do consumo de matéria prima, principalmente as não renováveis; descarte adequado dos resíduos, bem como, a reciclagem e o reuso deles; adequação dos projetos a métodos construtivos mais sustentáveis e eficientes, com menos consumo de recursos naturais e menos poluição.

A Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) contém diretrizes, medidas e métodos de gestão para os resíduos de construção civil (RCC). Os resíduos que foram tratados no presente trabalho são os de Classe A, que são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, eles podem ser de construção, demolição, reforma e reparos de construções, como argamassa, concreto e componentes cerâmicos: tijolos, telhas, porcelanato, etc.

Assim, o reuso do RCC evita a deposição inadequada dos resíduos que compromete a paisagem; contamina o solo; assoreia os rios, lagos e córregos; causam enchentes; além de servirem como depósito irregular para outros resíduos, pondo em risco a saúde da população pela transmissão de doenças, etc (Cabral; Moreira, 2011).

Os materiais cimentícios são compostos que contém cimento como seu principal componente, por isso, possuem maior resistência, durabilidade, etc. São exemplos desses materiais: pasta, argamassas, concreto, blocos intertravados de concreto e tijolos solo-cimento. Dentre estes, o bloco intertravado de concreto drenante é o foco do presente estudo, por não terem sua trabalhabilidade comprometida pela incorporação de RCC, bem como, possuir fabricação em planta industrial, tornando mais fácil a incorporação de um novo material (Nascimento, 2016; Sipres, 2019).

A incorporação de resíduos, em materiais cimentícios, vem sendo estudada em blocos intertravados de concreto (Silva, 2013b; Nascimento, 2016; Campos, 2018; Silva *et al.*, 2021), na produção de argamassa (Aguiar *et al.*, 2018), em blocos de concreto (Scheifer; Callejas, 2020), em substituição do solo em tijolos de solo-cimento (Dantas *et al.*, 2020), e na indústria da construção civil, de forma geral (Brasileiro *et al.*, 2015).

Os blocos intertravados de concreto são componentes pré-moldados, empregado como revestimento em pavimento intertravado, descrito na NBR 9781 (ABNT, 2013). Um dos tipos de piso intertravado é o drenante, que vai permitir a infiltração da água que chega ao pavimento, melhorando assim a drenagem urbana, segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015).

Em blocos intertravados de concreto, também conhecido como *pavers*, a incorporação de

RCC traz melhorias na resistência à compressão simples (Silva, 2013b); resistência à tração por compressão diametral; índices de resistência à abrasão, superiores ao mínimo exigido por norma (Leal, 2018); aumento do módulo de resiliência (Sousa, 2011); aumento da trabalhabilidade; e acabamento de qualidade (Sipres, 2019).

Nesse contexto, a proposta em questão tem como objetivo analisar a incorporação de RCC a blocos intertravados de concreto drenante, destinados à pavimentação, em Caruaru-PE. Fazendo o emprego de um tratamento prévio de moagem e desagregação do resíduo, visando a sustentabilidade na produção.

1.1 Bloco intertravado de concreto drenante

Com o decorrer dos tempos e o crescimento populacional, a construção de caminhos, atalhos e estradas foram se tornando necessários para interligar os povoados, vencendo grandes distâncias e servindo para o transporte de cargas e de pessoas entre vilas e cidades, utilizando os materiais disponíveis para um acabamento mais plano da superfície (Wiebbelling, 2015).

Segundo Leal (2018), a origem da pavimentação intertravada se deu à 2.500 a.C., na Grécia, quando faziam o uso de pedras justapostas apoiadas sobre uma camada de areia para acomodar e fixar os elementos na composição dos caminhos.

Os blocos intertravados, propriamente dito, só foram patenteados em 1960 pelo alemão Fritz Von Langsdorff, como uma alternativa pós-guerra de reconstrução de cidades e geração de empregos. Eles eram industrializados, com características dimensionais determinadas, variedade de cores e formatos, e técnicas para aumento da resistência estrutural do pavimento (Fernandes, 2013).

A produção de piso intertravado de concreto para pavimento é baseado na NBR 9781 (ABNT, 2013) - “Peças de concreto para pavimentação - especificação e métodos de ensaios”, que tratam dos requisitos a serem atendidos pela peça, bem como os ensaios que necessitam ser realizados para atingi-los. Como também, a NBR 15.953 (ABNT, 2011) - “Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução”, que determina as diretrizes para execução e instalação do pavimento intertravado de concreto.

O uso de pavimento intertravado de concreto é uma alternativa que vem crescendo a passos largos no mundo inteiro, por serem modernos, trazerem vantagens econômicas e ambientais, terem eficiência técnica, além disso, podem ser incorporados por vários materiais reciclados ou reaproveitados (Silva, 2013a).

O pavimento intertravado é um tipo de pavimento flexível tendo sua estrutura composta por

uma camada de base (ou base e sub-base), e uma camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas sem a necessidade de uma camada de assentamento, tendo o intertravamento como resultado da contenção das peças de concreto, segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Apresentam vantagens como durabilidade, com mais resistência a cargas; conforto, pela baixa condutibilidade térmica; economia de manutenção, pois é possível o reaproveitamento dos mesmos blocos, visto que não se usa argamassa colante; versatilidade, pela variedade de cores, tipos e formatos; facilidade de aplicação, tornando o serviço mais rápido e eficiente (Nascimento, 2016).

Além disso, essa constante busca está relacionada também à sua diversidade, com diferentes modelos, como pisos drenantes, permeáveis, segregadores de tráfego, entre outros, podendo atender critérios e ser eficiente em várias áreas de aplicação (Fernandes, 2013). Dentre estes, o pavimento intertravado permeável e drenante é composto por peças pré-moldadas de concreto permeável com vazios interligados permitindo assim a percolação da água por gravidade, segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015).

A NBR 16416 (ABNT, 2015) ainda traz que os pavimentos de bloco intertravado permeável podem ser feitos de três maneiras, que são: peças de concreto com juntas alargadas, peças de concreto permeável e peças de concreto com aberturas de drenagem ou áreas vazadas. O que será evidenciado neste estudo é o bloco de concreto permeável que possui uma estrutura mais aberta e uma composição específica do concreto permitindo assim a passagem total da água que incide sobre ele (Ono; Balbo; Cargnin, 2017).

1.2 Resíduo da construção civil (RCC)

Atualmente é imprescindível a adoção de políticas que valorizem a reciclagem dos resíduos gerados, os processos de gestão, tratamento e reúso dos RCC, o que é de grande importância para o ramo da engenharia civil. Os processos de reciclagem do RCC vêm ganhando espaço no Brasil, principalmente por ser a solução contra o impacto ambiental, bem como, para a produção de subprodutos com um baixo custo, chamando a atenção dos gestores (Campos, 2018).

O Brasil ainda conta com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) regida pela Lei nº 12.305 (2010) que trata sobre princípios e instrumentos, bem como orientação para gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos, e às responsabilidades dos geradores e do poder público, visando a prática de hábitos mais sustentáveis para o país.

A divisão dos resíduos, segundo a Resolução 307 (CONAMA, 2002) é dada através de quatro classes, visando a obra, o material e a destinação. A Classe A é composta por resíduos que podem ser reutilizados ou reciclados como agregados, de construção, demolição, reforma ou reparo de construções. A Classe B são resíduos recicláveis, porém para outra destinação, como papel, plástico, vidro, madeira, entre outros. Já para a Classe C, os resíduos ainda não possuem uma tecnologia viável para sua reciclagem ou recuperação. Os de Classe D são os resíduos perigosos proveniente de construção, como solventes, tintas, óleos, entre outros.

A Resolução ainda traz que a disposição do RCC de Classe A deve ser feita em aterro de inertes, porém eles devem ser preferencialmente reciclados. Os aterros de inertes são áreas que se empregam técnicas no solo que visam reservar os materiais usando princípios de engenharia para confiná-los sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente (CONAMA, 2002; Cabral; Moreira, 2011).

Assim, os resíduos ou entulho gerados estão associados à preservação ambiental, mas também à oportunidade de trabalho, negociação com setor público e privado, bem como, traz benefícios para a sociedade e é uma alternativa lucrativa, devendo receber atenção e maiores cuidados, segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2018).

A reciclagem e reutilização do RCC já vem sendo estudada e técnicas de mitigação vêm sendo aplicadas para uma construção mais sustentável (Glória, 2020; Oliveira *et al.*, 2018; Mattos, 2013; Lins *et al.*, 2019), reduzindo os impactos ambientais e sociais, bem como favorecendo a economia.

1.3 Resíduo de construção civil incorporado em materiais cimentícios

A quantidade de resíduos produzidos pela construção civil vem aumentando com sua evolução ao longo do tempo. Dessa forma, é extremamente importante que se estudem formas de se reutilizar esses resíduos, e assim fazer com que o desenvolvimento da construção civil seja sustentável (Martinez *et al.*, 2016).

Uma das formas mais eficientes de se reutilizar o RCC é fazendo a reciclagem destes, para que eles possam ser incorporados como agregados reciclados (AR) em peças cimentícias (Silva *et al.*, 2016). A utilização de AR permite a redução de extração de agregados naturais (AN), consequentemente o impacto ambiental gerado é bem menor.

Um fator que dificulta a reciclagem do RCC, é sua extrema heterogeneidade. Isso se dá pela grande quantidade de materiais distintos que são utilizados durante a construção. Essa

característica é evidenciada por Frotté *et al.* (2017), onde mesmo fazendo a retirada de material de uma usina especializada em reciclados sólidos no Paraná, ainda tiveram certa dificuldade na separação dos diferentes agregados.

No Brasil, a NBR 15116 (ABNT, 2021), vem justamente para regular a produção e a recepção de agregados miúdos e graúdos obtidos a partir do RCC de Classe A. Além de definir, ensaios para verificação dos requisitos estabelecidos, e estabelecer diretrizes para essa incorporação.

Estudos mostraram que a incorporação de RCC, para produção de blocos intertravados de concreto, podem trazer benefícios para as características físicas e mecânicas do bloco, dependendo do teor de agregado que for incorporado (Silva, 2013b; Campos, 2018; Frotté *et al.*, 2017; Leal, 2018; Simões, 2021).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Analisar a incorporação por substituição de resíduos de construção civil (RCC) em blocos intertravados de concreto drenante destinados à pavimentação, em porcentagens de 10%, 20%, 30% e 40%, no agregado graúdo. Mediante isto, trazer melhoria para drenagem urbana e reduzir o impacto ambiental causado pela construção civil, visando a sustentabilidade.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os materiais, naturais e reciclados, para produção de bloco intertravado de concreto drenante;
- Determinar como a incorporação por substituição do RCC influencia nas propriedades físicas e mecânicas do bloco intertravado de concreto drenante;
- Avaliar a eficiência do bloco intertravado de concreto drenante, com RCC incorporado por meio da comprovação do seu coeficiente de permeabilidade.

2 METODOLOGIA

Nesta seção, foi apresentada a caracterização da pesquisa, explicando como a pesquisa foi planejada e conduzida. Também foram abordados os materiais utilizados no estudo, assim como

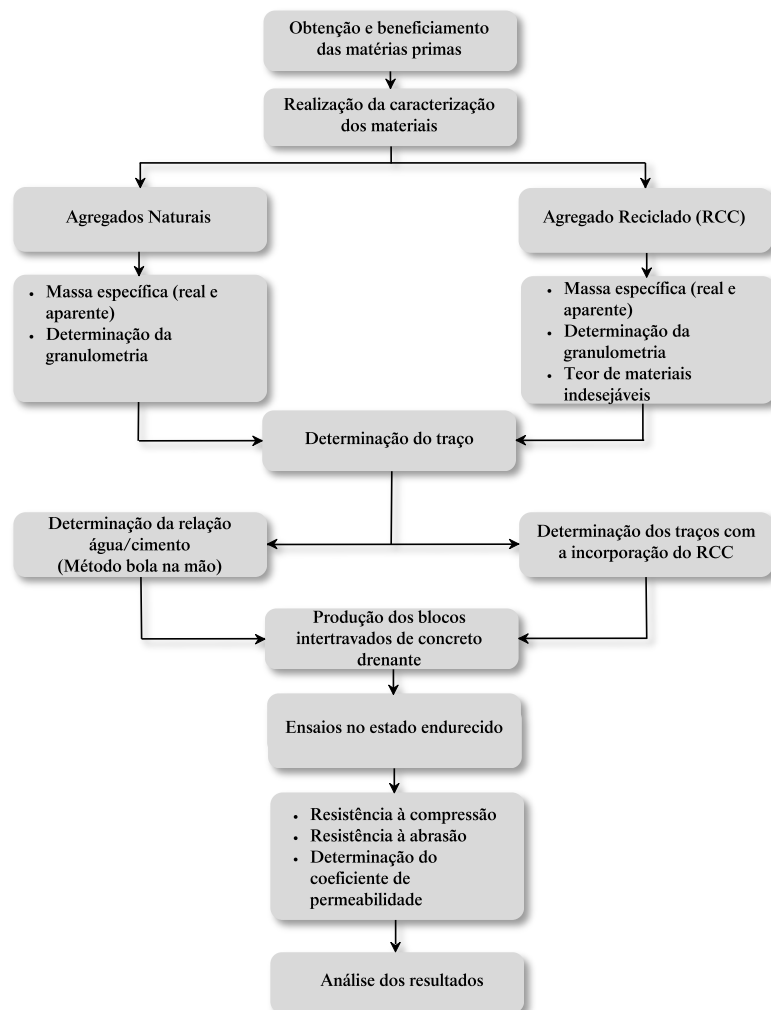
os ensaios e normas técnicas que compõem tanto a caracterização dos materiais, quanto os ensaios realizados após a produção dos blocos, incluindo os equipamentos utilizados.

2.1 Caracterização da pesquisa

O presente trabalho compreende uma pesquisa experimental, que segundo Gil (2008), é um exemplo de pesquisa científica, que pode ser classificada quanto à forma de abordagem em quantitativa, visto que tem por objetivo analisar fenômenos a partir da quantificação, utilizando ferramentas estatísticas. Além disso, também se enquadra na abordagem qualitativa, que busca compreender a explicação de fenômenos por meio de interpretações e comparações, sendo uma análise mais empírica (Fontelles *et al.*, 2009).

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma esquemático para o desenvolvimento do trabalho experimental, facilitando a caracterização da pesquisa.

Figura 1 - Fluxograma esquemático do trabalho experimental



Fonte: Autora (2024)

Os resíduos obtidos para a produção dos blocos intertravados de concreto drenante foram provenientes de resíduos de obra de construção civil, em Caruaru - PE. Em seguida, eles foram destinados à Central de Tratamento de Resíduos (CTR), onde ficaram armazenados e passaram por um processo de beneficiamento.

Para a caracterização dos materiais foram identificadas e analisadas as propriedades físicas de cada material, buscando determinar a sua correta aplicação e prever o seu comportamento, para uma melhor aplicação na produção do bloco.

Outro ponto de extrema importância é a determinação do traço, pois a partir dele é possível melhorar as características físicas e mecânicas necessárias para o bloco intertravado de concreto drenante. Tendo o traço padrão determinado, ocorreu a determinação da porcentagem de RCC que foi incorporado por substituição do agregado graúdo, bem como a determinação da relação água/cimento de cada traço. A partir disso, foi realizada a produção do bloco intertravado de concreto drenante.

A caracterização dos ensaios no estado endurecido foi baseada nas NBR 9781 (ABNT, 2013) e NBR 16416 (ABNT, 2015), que definem a verificação da Resistência à Compressão, Resistência à Abrasão e Permeabilidade. Foram moldados 15 blocos intertravados para cada traço. Sendo 6 para a verificação de Resistência à Compressão (3 para rompimento com 7 dias e 3 para 28 dias), 3 para o ensaio de Resistência à Abrasão e 6 para Permeabilidade. Os ensaios foram detalhados mais adiante.

A partir dos ensaios realizados foram feitas análises de resistências e permeabilidades de acordo com cada porcentagem de RCC incorporado. Com isso também foi definido se o bloco intertravado de concreto drenante produzido atende a NBR 9781 (ABNT, 2013) tendo índices para serem empregados em locais de baixas ou altas solicitações de tráfego.

2.2 Materiais

2.2.1 Cimento

Para a produção de blocos intertravados de concreto, pela necessidade de manuseio no dia seguinte, são mais indicados os cimentos dos tipos II (F-32) e do tipo V (ARI), por apresentarem maior resistência nas primeiras idades, resultando em uma maior qualidade dos produtos e maior produtividade, quando comparados com os outros tipos de cimento (Fernandes, 2013). Assim, o cimento escolhido para a produção do bloco foi o CP II (F-32), por ser mais empregado na região.

2.2.2 Agregados

Os agregados utilizados na produção do bloco foram pedrisco e areia. O pedrisco, elemento essencial para a composição do *paver*, contribuindo com a resistência à compressão e auxiliando contra o desgaste da peça. A areia vai atuar como estabilizador, trazendo firmeza à mistura e prevenindo desgastes precoces do produto final, bem como facilitando a moldagem dos blocos (Miranda, 2023).

2.2.3 Resíduos da construção civil

O RCC utilizado para a fabricação dos blocos foi oriundo de obras da construção civil, sendo classificado como resíduo de Classe A, fornecidos pela empresa Nóbrega Engenharia. A obra em que foram retirados os resíduos foi o Condomínio Reserva Portugal, situado na Rodovia PE - 095, Universitário, Caruaru – PE.

Posteriormente, eles foram levados para a CTR, onde ficaram armazenados e passaram por um processo de beneficiamento, sendo transformados para serem utilizados em outra cadeia produtiva. Assim, o material que chega à usina é armazenado, após são feitas as etapas de seleção e retirada das impurezas do RCC, para assim serem britados ou triturados, de acordo com a granulometria desejada.

2.2.4 Água

A água potável utilizada foi coletada nos Laboratórios de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco – CAA. Ela vai facilitar a moldagem, atuar na resistência e conferir um melhor acabamento superficial.

2.3 Caracterização dos materiais

Os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco – CAA, seguindo as normas estabelecidas. Todos os procedimentos foram executados com precisão e atenção aos detalhes, a fim de garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

2.3.1 Massa específica

A massa específica real do CP II (F-32), foi obtida através de boletim técnico fornecido pela empresa de cimento, que indicava um valor entre 2,8 e 3,2 g/cm³.

A determinação da massa específica dos agregados miúdos foi determinada por meio da norma, NBR 9776 (ABNT, 1987) – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco Chapman, para o agregado graúdo foi utilizada a Proveta, seguindo os procedimentos normativos.

A massa unitária dos agregados foi determinada por meio da NBR 16972 (ABNT, 2021) – Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios, em concordância com o Método C.

Os agregados foram secos em estufa a 100°C por 24 horas, antes da realização do ensaio. A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis à água.

2.3.2 Granulometria

A NBR 17054 (ABNT, 2022) determina a composição granulométrica dos agregados miúdo e graúdo. O ensaio de granulometria determina a distribuição dos tamanhos de partículas em um agregado.

A amostra é passada em peneiras com malhas de aberturas diferentes, da série normal, determinadas em função do tipo de agregado, assim é calculada a porcentagem de massa retida em cada uma delas. A partir disso, se consegue obter as curvas granulométricas dos agregados e suas classificações por meio do módulo de finura.

2.3.3 Teor de materiais indesejáveis

Mediante a NBR 15116 (ABNT, 2021), Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios, o teor de materiais indesejáveis que são obtidos, se trata da quantidade de substâncias presentes nos agregados que são consideradas indesejáveis devido aos efeitos adversos que podem causar em sua aplicação.

2.4 Determinação dos traços

O traço padrão foi determinado a partir de pesquisas de métodos de produção de blocos intertravados de concreto drenante. Com isso, foram selecionados traços que trouxeram

melhorias das características físicas e mecânicas no estado endurecido. No entanto, também foram descartados traços que resultariam em resistências fora dos padrões normativos.

Foram determinados os seguintes traços: 1:4 (cimento; pedrisco) e 1:1:4 (cimento; areia; pedrisco). Esses traços foram escolhidos após uma análise cuidadosa para garantir o desempenho adequado dos blocos, visando tanto a resistência quanto a permeabilidade (Souza *et al.*, 2022; Faria *et al.*, 2019).

A partir dos ensaios realizados, foi feita a escolha do traço padrão, e realizada a incorporação por substituição do RCC, no agregado graúdo, em porcentagens de 10%, 20%, 30% e 40%. Porcentagens mais baixas são recomendadas quando não são empregados aditivos ou quando o agregado reciclado não passa por algum tipo de tratamento (Silva Filho, 2023; Souza *et al.*, 2022).

Segundo Frotté *et al.* (2017), Campos (2018), Leal (2018), Lopes (2013), Simões (2021) e Souza *et al.* (2022), a incorporação por substituição com porcentagens acima de 50%, resultou em uma queda significativa na resistência à compressão, não alcançando os padrões exigidos pela norma. Portanto, a possibilidade de usar porcentagens mais elevadas foi descartada, já que para o presente trabalho não foi realizado melhoramento do concreto.

A relação a/c foi obtida ao fazer a análise tátil-visual de cada traço. O método utilizado para cada composição, foi o Método do Ponto de Pelota, conhecido como “bola na mão”, que corresponde à maior quantidade de água que pode ser utilizada na formação da bola, sem que sua forma seja comprometida por excesso ou falta de água, na tentativa de garantir impacto positivo na resistência (Pagnussat, 2004; Tango 1994).

Para atender essas substituições a relação a/c foi de 0,40 para os traços de 1:4 e 1:1:4. No caso dos traços com incorporação por substituição do resíduo reciclado, após a definição do traço padrão, a relação a/c foi de 0,42 para substituição de 10% e 20%, de 0,46 para 30% e 0,52 para 40%.

2.5 Produção dos blocos intertravados de concreto drenante

Após os ensaios referentes aos agregados naturais e reciclados serem realizados e tendo o traço determinado, iniciou-se a produção do bloco intertravado de concreto drenante. O traço foi misturado em uma betoneira de 400 L com motor e transmissão por engrenagem. Posteriormente, foi feita a moldagem dos blocos.

Para moldagem dos blocos foi utilizada a máquina pneumática Permaq, modelo MBHD.01003, é um modelo semiautomático. A máquina facilita a fabricação de blocos de

concreto, através de um sistema de compactação e de vibração concentrada, tendo capacidade de moldar 8 blocos por vez, com dimensões de 20 cm x 10 cm x 6 cm (comprimento, largura e altura).

A máquina pneumática se encontra nos Laboratórios de Estruturas e Construção Civil, da Universidade Federal de Pernambuco - CAA.

2.6 Cura

Na pesquisa sobre a produção de concreto seco moldado sobre pressão, as principais características que devem ser observadas são a resistência mecânica e a durabilidade. Mota (2014) realizou uma comparação entre três métodos de cura com o objetivo de determinar qual deles proporcionava o maior ganho de resistência mecânica. Os métodos avaliados foram a cura úmida por aspersão, a cura ao ar livre em ambiente coberto e a cura por imersão em solução saturada em cal. Os resultados indicaram que a cura por imersão foi a mais eficiente, seguida pela cura por aspersão e, por último, a cura ao ar livre.

Assim, nesse trabalho, foi adotada a cura por imersão em solução de cal, com o objetivo de obter maiores resultados de resistência à compressão final do bloco e, para garantir a hidratação adequada.

2.7 Ensaios

2.7.1 Resistência à compressão

O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica manual de referência 1504230 e série 2840, disponível no Laboratório de Controle Tecnológico, do Condomínio Reserva Portugal.

As prensas de concreto são destinadas aos ensaios de compressão e flexão de corpos de provas (CPs) de concreto, blocos de concreto, cerâmica, etc. O teste de rompimento tem por objetivo definir a resistência dos CPs, bem como a sua viabilidade em obra.

Cada traço possui 6 corpos de provas, como previsto em norma, para rompimento em idades de 7 e 28 dias. O rompimento deve ser feito de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013) - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Para isso, a peça deve estar saturada em água, por no mínimo 24h antes do ensaio, bem como, com a superfície de carregamento retificada. O carregamento deve ser aplicado até a ruptura completa da peça.

A resistência à compressão da peça, expressa em megapascals (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em quilonewtons (kN), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²), multiplicando-se o valor obtido pela função da altura da peça, representada pelo fator p , onde $p = 0,95$ para uma espessura de 60 mm, altura do bloco intertravado produzido, obtém-se o resultado final.

A resistência à compressão deve ainda atender às seguintes especificações, detalhada no Quadro 1:

Quadro 1 - Resistência característica à compressão

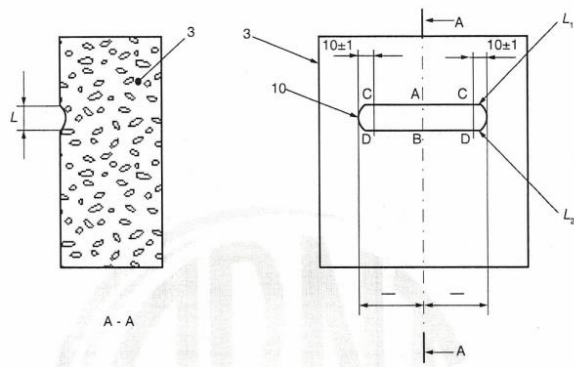
Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}), aos 28 dias Mpa	Método de ensaio
Tráfego de pedestres e tráfego leve	Maior ou igual a 20	ABNT NBR 16416
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	Maior ou igual a 35	ABNT NBR 9781
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	Maior ou igual a 50	ABNT NBR 9781

Fonte: Adaptado ABNT (2013)

2.7.2 Resistência à abrasão

A resistência à abrasão foi feita por meio de um dispositivo de abrasão que consiste em disco rotativo de aço, um funil de escoamento para alimentação de material abrasivo, um suporte para o corpo de prova, um contrapeso e uma caixa de armazenamento de material abrasivo. Um único corpo de prova foi posicionado por vez e tracionado por um contrapeso contra um disco de aço de 200 mm de diâmetro e 70 mm de espessura, com uma rotação de 75 RPM. O atrito entre o disco e o corpo de prova provoca um desgaste na superfície da amostra, resultando na formação de uma cavidade (ABNT, 2013).

Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013) o procedimento é feito para determinar a resistência ao desgaste superficial do bloco produzido sob efeito do tráfego. A dimensão de abrasão corresponde ao comprimento (L) da cavidade, corrigida por um fator de calibração. O comprimento (L) é a distância entre seus limites longitudinais (L1 e L2) ao longo da linha (AB). Para a calibração, foram feitas medições nos pontos (C e D), a fim de se obter uma média, como visto na Figura 2.

Figura 2 - Medição da cavidade na amostra

Fonte: ABNT (2013)

O resultado é obtido através da correção da dimensão por um fator de calibração. Esse fator é calculado como a diferença entre 17,0 mm e o valor obtido na última calibração do dispositivo e deve atender as especificações do Quadro 2.

Quadro 2 - Resistência característica à abrasão

Solicitação	Cavidade Máxima (mm)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	Menor ou igual a 23
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	Menor ou igual a 20

Fonte: Adaptado ABNT (2013)

2.7.3 Permeabilidade

O método de ensaio aplicado para avaliar o coeficiente de permeabilidade foi ASTM C1701 - *Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete* (método de ensaio *in situ* para determinação de coeficientes de permeabilidade em concreto permeável), incorporado à NBR 16416 (ABNT, 2015) – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos.

O coeficiente de permeabilidade pode ser avaliado em laboratório, podendo ser ensaiada apenas a camada de revestimento. O ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade segue o Anexo A da NBR 16416 (ABNT, 2015).

O coeficiente de permeabilidade é obtido através da Lei de Darcy, segundo a Equação 1.

$$k = \frac{C \cdot m}{d^2 \cdot t} \quad (1)$$

Em que:

k é o coeficiente de permeabilidade (mm/h);

m é a massa de água infiltrada (kg);

d corresponde ao diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm);

t é o tempo necessário para toda a água percolar (s);

C fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor de 4.583.666.000.

Assim, o pavimento permeável deve apresentar um coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s, segundo a Tabela 7 do item 6.7.1 da NBR 16416 (ABNT, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir foram apresentados os resultados da análise dos blocos intertravados de concreto drenante, tanto os traços com os agregados naturais, quanto com as diferentes porcentagens de incorporação por substituição do agregado graúdo reciclado. Os resultados abordaram as propriedades físicas e mecânicas, como permeabilidade, resistência à compressão e à abrasão.

3.1 Caracterização dos materiais

Para a produção do bloco intertravado de concreto, foram utilizados agregados naturais e reciclados, para tanto, os resultados de caracterização são encontrados no Quadro 3. Assim, pode-se encontrar as características físicas dos agregados.

Quadro 3 - Caracterização dos agregados

Materiais	Tipo	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)	Teor de Materiais indesejáveis (%)	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura
Agregado Natural	Miúdo	2,56	1,44	-	4,75	2,82
	Graúdo	2,63	1,40	-	9,5	5,05
Agregado Reciclado	Graúdo	2,27	1,13	0,59	9,5	5,59
Cimento	-	3,02	-	-	-	-

Fonte: Autora (2024)

A massa específica do cimento foi de 3,02 g/cm³, obtida por meio do ensaio. Dentre as massas específicas dos agregados, a menor foi a do agregado reciclado graúdo. Com isso, os

blocos com substituição do agregado graúdo são mais leves, o que facilita seu transporte, armazenamento e manuseio.

A massa unitária foi considerada para o cálculo de quantitativo de material, assegurando o correto dimensionamento dos materiais e evitando desperdícios. Dessa forma, observa-se que a massa unitária segue a mesma tendência que a massa específica, sendo o agregado reciclado graúdo o que apresenta a menor massa.

O teor de materiais indesejáveis para o agregado reciclado deve ser inferior a 1%, conforme especificado pela NBR 15116 (ABNT, 2021). A obtenção de índices mais baixos torna o agregado reciclado adequado para substituição, possibilitando a melhoria da qualidade e do desempenho dos *pavers*.

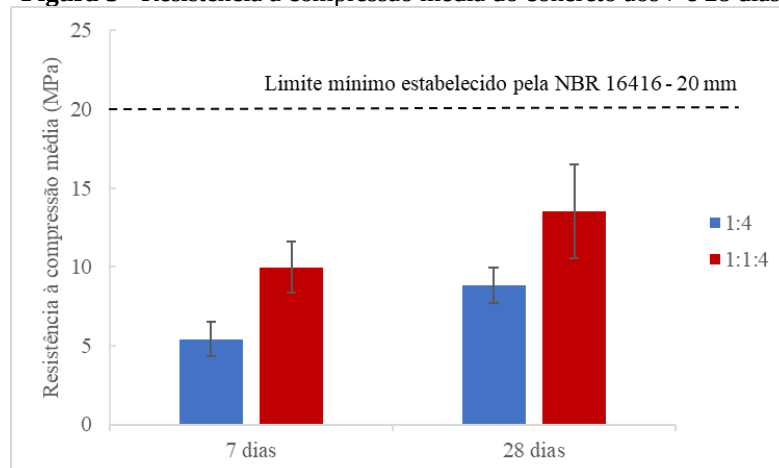
Em relação à granulometria, o agregado natural miúdo foi classificado como areia média, enquanto o agregado graúdo, seja natural ou reciclado, como pedrisco. Para o módulo de finura, quanto maior o seu valor, maiores são as dimensões do agregado. Os agregados graúdos apresentaram módulos de finura mais elevados, com valores próximos, indicando pouca variação em sua granulometria e compactação.

3.2 Definição do traço padrão

Inicialmente foram definidos dois traços com agregados naturais, 1:4 (cimento; pedrisco) e 1:1:4 (cimento; areia; pedrisco). Esses traços foram submetidos a análise de propriedades físicas e mecânicas, para assim avaliar seu desempenho e viabilidade.

Os resultados de resistência à compressão dos traços e seus respectivos desvios-padrões são encontrados na Figura 3.

Figura 3 - Resistência à compressão média do concreto aos 7 e 28 dias



Fonte: Autora (2024)

No traço 1:4, a resistência à compressão média foi de 5,4 MPa com um desvio-padrão de 1,09 para 7 dias, e de 8,83 MPa com um desvio-padrão de 1,12 MPa para 28 dias. No traço de 1:1:4, a resistência foi de 9,98 MPa com um desvio-padrão de 1,60 MPa para 7 dias, e de 13,54 MPa com um desvio-padrão de 2,96 MPa para 28 dias.

Fazendo uma análise, verificou-se que o traço de 1:1:4 alcançou os melhores resultados de resistência à compressão. Apesar de apresentar um desvio-padrão maior, sua resistência atinge valores superiores.

Além disso, foi realizada a análise visual dos blocos, como visto na Figura 4, a fim de avaliar a qualidade estética do pavimento, na qual foram verificados aspectos como coesão, textura e acabamento.



Fonte: Autora (2024)

É possível notar que o traço de 1:1:4 apresenta uma maior coesão entre seus componentes, além de uma textura mais lisa e um melhor acabamento. A coesão foi considerada devido à maior aderência entre os componentes da mistura, o que resulta em uma melhor homogeneidade e compactação do bloco, influenciando sua resistência. Além disso, a qualidade superficial do bloco, ou seja, sua textura, foi analisada, pois esta pode afetar a resistência ao desgaste. O acabamento após o processo de fabricação também foi levado em consideração devido à importância da estética e uniformidade do *paver*.

O traço padrão (TP) escolhido foi 1:1:4, pois obteve destaque nas análises realizadas. Com base nos resultados, optou-se por este traço para a incorporação por substituição do agregado gráudo, em percentagens de 10% (1:1:4/T10%), 20% (1:1:4/T20%), 30% (1:1:4/T30%) e 40% (1:1:4/T40%) do agregado gráudo reciclado.

A partir da definição do traço e suas incorporações, foi realizado o cálculo de quantitativo de material para assim ser feita a produção dos *pavers*. Vale ressaltar que, a relação a/c foi de 0,40 para o traço padrão, 0,42 para substituição de 10% e 20%, de 0,46 para 30% e 0,52 para

40%. Os quantitativos de materiais para a produção de 15 blocos, por traço, totalizando 75 blocos, podem ser observados no Quadro 4.

Quadro 4 - Quantitativos de materiais para produção dos blocos

Traço	Cimento (Kg)	Agregado miúdo (Kg)	Agregado graúdo natural (Kg)	Agregado graúdo reciclado (Kg)	Água (L)
1:1:4/TP	6,82	6,82	27,27	-	2,73
1:1:4/T10%	6,71	6,71	24,15	2,68	2,82
1:1:4/T20%	6,65	6,65	21,28	5,32	2,79
1:1:4/T30%	6,49	6,49	18,18	7,79	2,98
1:1:4/T40%	6,31	6,31	15,13	10,09	3,28

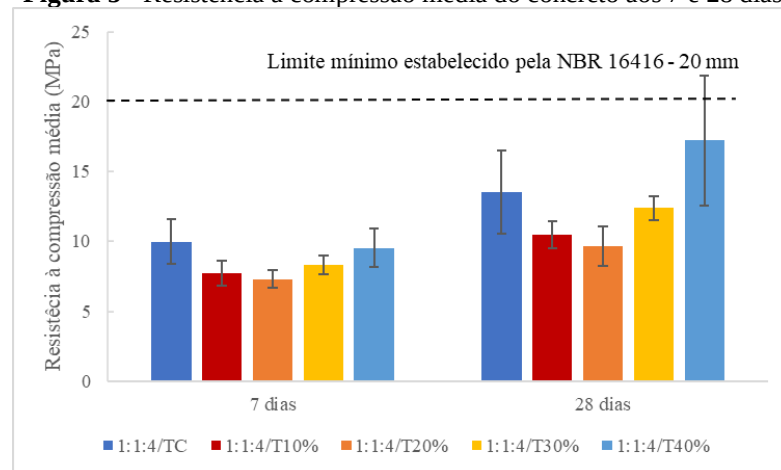
Fonte: Autora (2024)

Através do quantitativo é possível notar que com o aumento da incorporação do resíduo reciclado no bloco, houve uma redução no consumo de cimento para cada traço. Outro ponto que vale ser ressaltado é o consumo de água, quanto maior a quantidade de resíduo reciclado, maior o consumo de água (Souza *et al.*, 2022; Silva Filho, 2023).

3.3 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão média, acompanhados de seus respectivos desvios-padrões, tanto para o traço padrão quanto para aqueles com a incorporação por substituição do agregado reciclado, estão apresentados na Figura 5. Esses dados referem-se aos períodos de rompimento de 7 e 28 dias, respectivamente.

Figura 5 - Resistência à compressão média do concreto aos 7 e 28 dias



Fonte: Autora (2024)

Esses resultados foram calculados a partir da média dos valores obtidos pelo rompimento de 3 blocos para cada traço. O traço 1:1:4/T40% apresentou a maior resistência aos 28 dias, alcançando 17,23 MPa, com um desvio-padrão de 4,65 MPa. Vale ressaltar que, um dos blocos do traço com 40% de substituição obteve resistência de 23 MPa, satisfazendo o mínimo exigido pela NBR 16416 (ABNT, 2015), que é de 20 MPa.

O traço 1:1:4/T20% apresentou a menor resistência entre todos os traços, 9,66 MPa, aos 28 dias. No entanto, esperava-se que ele apresentasse uma resistência média maior do que o traço 1:1:4/T10%. Vários fatores podem ter influenciado no resultado, como o manuseio da máquina semiautomática durante a produção dos blocos. Portanto, é recomendável que esse traço seja investigado mais detalhadamente.

É possível observar que, de maneira geral, todos os traços apresentaram resistência menor em comparação com o traço padrão, tanto aos 7 dias quanto aos 28 dias, exceto o traço com 40% de substituição, que superou a resistência do traço padrão aos 28 dias. Nota-se também que houve um aumento gradual de resistência nos traços com RCC, com exceção do traço com 20% de substituição, que foi influenciado por fatores externos, como mencionado anteriormente.

O ensaio de resistência à compressão está sendo apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Ensaio de resistência à compressão dos blocos



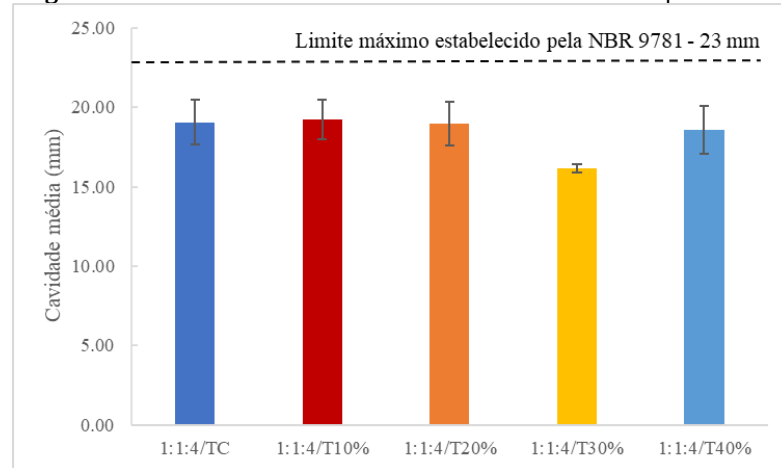
Fonte: Autora (2024)

Em resumo, o traço 1:1:4/T40% mostra-se promissor e merece um estudo mais detalhado devido aos bons resultados de resistência obtidos. Os traços com resistência mais baixa devem ser analisados com mais cuidado, pois diversos fatores podem ter influenciado esses resultados, como a qualidade dos materiais utilizados, o processo de compactação dos blocos, o momento da remoção das formas, entre outros aspectos.

3.4 Resistência à abrasão

Os resultados de resistência à abrasão e seus respectivos desvios-padrões, após os 28 dias são encontrados na Figura 7, onde é possível observar a relação entre os resultados e o limite determinado pela a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Figura 7 - Resultados da resistência à abrasão do concreto após 28 dias



Fonte: Autora (2024)

Analisando os resultados observa-se que os traços apresentaram valores de cavidade inferiores ao limite estabelecido pela NBR 9781 (2013), que é 23 mm. Esses valores também foram obtidos da média de 3 blocos para cada traço.

Os resultados de cavidade para os traços foram os seguintes: 1:1:4/TP (19,07 mm, desvio-padrão de 1,39 mm); 1:1:4/T10% (19,23 mm, desvio-padrão de 1,22 mm); 1:1:4/T20% (18,97 mm, desvio-padrão de 1,39 mm); 1:1:4/T30% (16,13 mm, desvio-padrão de 0,26 mm); 1:1:4/T40% (18,57 mm, desvio-padrão de 1,50 mm). Estes valores indicam a profundidade média das cavidades nos blocos, com os respectivos desvios-padrões.

Os traços obtiveram valores de cavidade próximo ao traço padrão, indicando desempenho semelhante, exceto o 1:1:4/T30%, que pode ter sido afetado pelo acabamento superficial do bloco. Isso sugere que a incorporação por substituição do agregado gráúdo reciclado não influencia diretamente no aumento da resistência à abrasão. Na Figura 8 é possível notar como aconteceu o desgaste no bloco.

Figura 8 – Desgaste provocado no bloco devido ao ensaio de resistência à abrasão



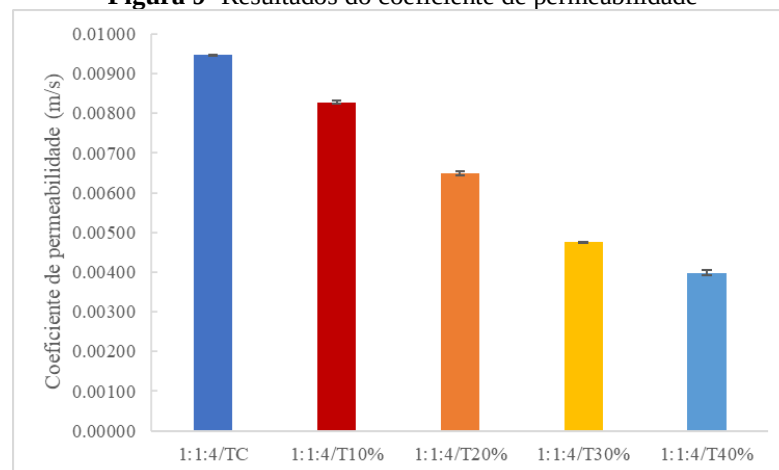
Fonte: Autora (2024)

Assim, é possível notar que os blocos, mesmo com a incorporação por substituição do RCC, apresentaram uma boa durabilidade e qualidade, sendo essencial para resistir ao contato repetitivo causado pelo tráfego na superfície do pavimento. Para se obter melhores resultados é preciso estar atento à qualidade do material, ao método de produção e ao acabamento superficial.

3.5 Permeabilidade

Os resultados de coeficiente de permeabilidade dos traços e seus respectivos desvios-padrões, foram calculados a partir da média dos coeficientes de permeabilidade obtidos para cada período de tempo de percolação da água nos segmentos de pavimento (Figura 9).

Figura 9- Resultados do coeficiente de permeabilidade



Fonte: Autora (2024)

Ao analisar os resultados, percebe-se que quanto maior a porcentagem de incorporação do agregado graúdo reciclado, maior é o tempo de percolação da água, e menor o coeficiente de permeabilidade encontrado. Dessa maneira, nenhum dos traços ultrapassou o limite estabelecido pela NBR 16416 (ABNT, 2015). Assim, o pavimento é considerado permeável por apresentar um coeficiente de permeabilidade $\geq 10^{-3}$ m/s. Na Figura 10 é visto o segmento de pavimento que foi montado para cada traço.

Figura 10 – Ensaio de permeabilidade para cada traço



Fonte: Autora (2024)

Vale ressaltar que foi testada a viabilidade de realizar uma adaptação do ensaio utilizando apenas um bloco, dispensando a montagem do segmento de pavimento, como visto na Figura 11. No entanto, é fundamental realizar a correta proporção das variáveis em relação à área de percolação da água. A NBR 16416 (ABNT, 2015) fornece todas as variáveis necessárias para o cálculo do coeficiente, bastando acompanhá-las e relacioná-las com a proporção adequada.

Figura 11 – Ensaio de permeabilidade adaptado



Fonte: Autora (2024)

Dessa forma, foi possível verificar a consistência dessa adaptação, uma vez que o coeficiente obtido para o traço padrão foi de $4,11 \times 10^{-2}$ m/s, com um resultado $\geq 10^{-3}$ m/s, o que se mostrou próximo aos coeficientes obtidos para o segmento de pavimento.

Como os resultados demonstraram coeficientes de permeabilidade satisfatórios, há margem para aumentar o teor de areia nos traços, sem comprometer a permeabilidade, e possivelmente melhorando a resistência dos blocos.

3.6 Análise final

Levando em consideração os resultados obtidos de resistência à compressão, resistência à abrasão e coeficiente de permeabilidade e, seus desvios-padrões, é possível comparar melhor o desempenho de cada traço, como visto no Quadro 5.

Quadro 5 - Resultados entre resistência mecânica e coeficiente de permeabilidade após 28 dias

Traço	Resistência à compressão (Mpa)	Desvio-padrão (Mpa)	Resistência à abrasão (mm)	Desvio-padrão (mm)	Coeficiente de permeabilidade * 10^{-3} (m/s)	Desvio-padrão * 10^{-3} (m/s)
1:1:4/TP	13,54	2,96	19,07	1,39	9,46	0,01
1:1:4/T10%	10,46	0,99	19,23	1,22	8,28	0,04
1:1:4/T20%	9,66	1,39	18,97	1,39	6,49	0,04
1:1:4/T30%	12,38	0,87	16,13	0,26	4,75	0,02
1:1:4/T40%	17,23	4,65	18,57	1,50	3,98	0,06

Fonte: Autora (2024)

Fazendo a análise final dos resultados, o traço 1:1:4/T40%, obteve a melhor relação entre a resistência mecânica e permeabilidade. Enquanto o traço 1:1:4/T20% atingiu menor resistência à compressão, porém resultados satisfatórios para resistência à abrasão e permeabilidade. Os traços de 1:1:4/T10% e 1:1:4/T30% apresentaram resultados intermediários entre os parâmetros.

Quanto à análise visual dos traços, foi possível notar que alguns blocos apresentaram desempenhos mais satisfatórios que outros, como mostrado na Figura 12. Vale ressaltar que a estética também é uma das avaliações necessárias para qualidade dos blocos.

Figura 12 – Análise visual entre os traços

Fonte: Autora (2024)

Os traços que apresentaram melhor coesão, juntamente com uma textura e acabamento satisfatórios, foram os com 30% e 40% de substituição do resíduo.

Pode ser visto através dos resultados que os parâmetros analisados são fundamentais para assegurar a qualidade dos blocos, tanto em termos de propriedades físicas quanto mecânicas.

4 CONCLUSÕES

No presente trabalho, foi realizada a produção de blocos intertravados de concreto drenante para uso em pavimentação, com e sem a incorporação de RCC. Foram analisadas as propriedades físicas e mecânicas, bem como a capacidade de drenagem de cada traço. Os resultados mostraram, de forma geral, bons índices de abrasão e permeabilidade, porém valores inferiores de compressão. Mesmo assim, incorporação do RCC se revela uma alternativa, otimista, sustentável e economicamente viável, na área de pavimentação.

No que diz respeito à caracterização física do RCC, observou-se que ele possui massa específica de 2,27 g/cm³, menor massa dentre todos os materiais utilizados. Isso torna o bloco com sua incorporação mais leve, facilitando o armazenamento e manuseio. Além disso, a massa unitária foi de 1,13 g/cm³, influenciando na quantidade de materiais necessários para a produção dos *pavers*. Quanto ao teor de materiais indesejáveis, obteve-se um valor de 0,59%, demonstrando índices aceitáveis de impurezas. O RCC foi classificado como pedrisco com base no seu módulo de finura.

Se tratando da avaliação de como a incorporação do RCC influencia nas propriedades físicas e mecânicas, foi mostrado que os blocos não apresentaram resultados satisfatórios em termos de resistência à compressão, exceto pelo traço com 40% de incorporação, que atingiu uma resistência média de 17,23 MPa, próximo ao limite mínimo estabelecido pela NBR 16416 (ABNT, 2015), para tráfego leve. Apesar do valor médio ter sido abaixo do limite estabelecido,

um dos blocos desse traço apresentou um valor de 23 MPa, atendendo as especificações da norma.

Quanto à resistência à abrasão, os blocos mostraram resultados aceitáveis (menor que 23 mm), dentro dos limites estipulados pela NBR 9781 (ABNT, 2013), demonstrando boa capacidade de resistir ao desgaste. O traço que registrou o maior valor de cavidade foi o de 1:1:4/T10%, com 19,23 mm. Em relação à análise visual, os blocos com a incorporação do RCC exibiram boa coesão, com uma mistura mais homogênea e uniforme, boa textura e acabamento superficial satisfatório.

Avaliando o efeito da incorporação do RCC na permeabilidade dos blocos, os traços apresentaram resultados aceitáveis, também dentro dos limites estabelecidos pela NBR 16416 (ABNT, 2015), maior que 10^{-3} m/s, sendo classificado como pavimento permeável. Por exibirem valores como uma certa margem, é possível aumentar a proporção de areia nos traços, sem que a drenagem seja ineficiente, enquanto pode melhorar a resistência à compressão dos blocos.

Para obter melhores resultados das propriedades mecânicas, se faz necessário aumentar a quantidade de areia na composição, e aprimorar a precisão na moldagem e desmoldagem dos blocos. Essas medidas combinadas têm o potencial de atender aos requisitos de resistência à compressão desejados.

Para trabalhos futuros é recomendável realizar uma análise mais detalhada do traço 1:1:4/T40%, investigando a influência de fatores externos durante a moldagem, desforma e ensaio de compressão. Além disso, sugere-se estudar os blocos intertravado de concreto drenante, com o RCC incorporado, para maiores teores de agregado miúdo e analisar seu desempenho quanto à resistência à compressão e permeabilidade. Outra sugestão seria produzir blocos intertravados de concreto drenante com a incorporação de outros resíduos, no traço padrão encontrado e avaliar suas propriedades no estado endurecido, bem como, produzir blocos com porcentagens de incorporação intermediárias.

REFERÊNCIAS

ABRECON, Associação Brasileira Para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição. **Entulho**. 2018. Disponível em: <https://abrecon.org.br/entulho>. Acesso em: 02 jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953:** Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416:** Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 25 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054:** Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022. 9 p.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Universidade Federal do Piauí, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>. Acesso em: 26 maio 2023.

BRASIL. INSTITUI A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS; ALTERA A LEI Nº 9.605, DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998; E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. **Lei Nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010.** 1. ed. Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 10 jul. 2010.

MIRANDA, B. **Aprenda como fabricar Pavers, Bloquetes e Pisos Intertravados.** Disponível em: <https://www.jarfel.com.br/aprenda-como-fabricar-pavimentacao-corretamente/>. Acesso em: 14 ago. 2023.

CABRAL, A. E. B.; MOREIRA, K. M. V. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil.** 2011. Disponível em: <http://www.ibere.org.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos---ce-pdf>. Acesso em: 26 maio 2023.

CAMPOS, I. G. **Utilização de Resíduos da Construção Civil e Demolição Como Agregado na Produção de Blocos Sextavados Não Estruturais Para Pavimentação.** 2018. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Formiga - Mg, 2018.

DANTAS, N. K. P. **Estudos do Comportamento de Tijolos de Solo Cimento com Substituição de Solo por Resíduos da Construção Civil.** 2020. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_14/2021-08-26-03-59-27N%C3%81JELA%20DANTAS_%20DISSERTA%C3%87%C3%83O%20FINAL.pdf. Acesso em: 28 jun. 2023.

FARIA, A. C.; SANTANA, J. G.; BARBOSA, J. M.; DONATO, M. **Pavimento de Concreto Drenante: Estudo da Granulometria que Favorece a Drenagem a que Afete o Mínimo na**

Resistência. In: Congresso De Pesquisa E Ensino Em Transporte Da Anpet, 33., 2019, Balneário Camboriú. Anais [...] . Santa Catarina: Anpet, 2019. v. 1, p. 1-12.
 FERNANDES, I. **Blocos e Pavers - Produção e Controle de qualidade.** São Paulo, 2013.

FONTELLES, M. J.; SIMÕES, M. G.; FARIAS, S. H.; FONTELLES, R. G.. **Metodologia Da Pesquisa Científica: Diretrizes Para A Elaboração De Um Protocolo De Pesquisa**1. 2009. 8 f. Curso de Bioestatística, Universidade da Amazônia – Unama, Belém, 2009. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C8_NONAME.pdf. Acesso em: 09 mar. 2024.

FROTTÉ, C.; NUBILA, C. S. A. D.; NAGALLI, A.; MAZER, W.; MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, L. O. S. D. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD.** Revista Matéria, v. 22, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170002.0143>.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GLÓRIA, M. V. A. RIBEIRO JUNIOR, L. C. SOUSA, F. H. F. **Reciclagem e reutilização de resíduos da construção civil e demolição.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 11, Vol. 09, pp. 61-80. Novembro de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/reciclagem-e-reutilizacao>. Acesso em: 10 jul. 2010.

LEAL, C. E. F. **Peças para Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo de Viabilidade Técnica na Incorporação de Agregado Reciclado.** 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9884/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Cleber%20E.%20F.%20Leal%20%28FINAL%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 jul. 2023.

MARTÍNEZ, P. S.; CORTINA, M. G.; MARTÍNEZ, F. F.; SANCHEZ, A. R. **Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication.** Journal of Cleaner Production, v. 118, p. 162-169, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.059>.

MATTOS, B. B. M. **Estudo do Reuso, Reciclagem e Destinação Final dos Resíduos da Construção Civil na Cidade do Rio de Janeiro.** 2013. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009307.pdf>. Acesso em: 10 jul.

MOTA, M. H. A. **Concreto Seco Com Incorporação De Cinzas De Madeira De Algaroba (Prosopis Juliflora) Moldado Sobre Pressão.** 2014, 122p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), UFPE, Caruaru.

NASCIMENTO, L. C. **Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Potencialidades de Reciclagem ou Reutilização em Obras de Edificação na Região de Ipojuca: Muro Alto.** 2017. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1357/1/tcc_art_lucascostadonascimento.pdf. Acesso em: 26 maio 2023.

NASCIMENTO, M. V. L. A. **Estudos de blocos Intertravados de Concreto para Pavimentação com Incorporação de Resíduo do Polimento do Porcelanato**. 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016.

OLIVEIRA, M. R.; BONETTO, N. C. F. **Reutilização de Resíduos da Construção Civil**. 2020. 9 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2018.
https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Edicao_22_MIGUEL_RAMOS_DE_O_LIVEIRA.pdf. Acesso em: 10 jul. 2023.

ONO, B. W.; BALBO, J. T.; CARGNIN, A. **Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado**. 2017. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v25i3.1314>. Acesso em: 07 jul. 2023.

PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de Escória Granulada de Fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação**. 2004. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

SCHEIFER, D. M.; CALLEJAS, I. J. A. **Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil**. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/7GSpds4kzSk75tTZZ5KwMpr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 jun. 2023.

SILVA FILHO, A. I. **Incorporação De Resíduos Da Construção Civil Na Produção De Concreto: Revisão De Literatura**. 2023. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco - CAA, Caruaru, 2023. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/54405/4/TCC%20Andr%c3%a9%20In%c3%a1cio%20da%20Silva%20Filho.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2024.

SILVA, P. H. P. **Avaliação do Desempenho de Pavers Fabricados com Resíduos de Caulim**. 2013. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2013a. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/12374/PEDRO%20HUGO%20PEREIRA%20DA%20SILVA%20-%20TCC%20-%20ENGENHARIA%20AMBIENTAL%202013.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. **Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes**. Construction and Building Materials, v. 105, p. 400-415, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.171>.

SILVA, V. L. **Uso de Resíduo de Demolição como Agregado na Produção de Pavers**. 2013. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - Pb, 2013b.

SIMÕES, M. N. **Caracterização de concreto permeável com RCC para uso em pavimentação**. 2021. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/41993/pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

SIPRES, C. **Análise Técnica de Uso de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) na Produção de Concreto Seco para Piso Intertravado**. 2019. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10027360.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2023.

SOUZA, B. C. G.; TRIGO, A. P. M.; FURINI, R. C. B.; SIMÕES, M. N.; ANONI, L. G. **Dosagem de pavers de concreto permeável com agregado reciclado misto**. *Concreto & Construções*, [S.L.], v., n. 108, p. 76-80, 2022. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2022.108.0005>.

SOUZA, W. F. **Estudo sobre a aplicação de agregado reciclado de concreto em construção de pavimentos**. 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-22112011-090155/publico/Wallace.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2023.

TANGO, C. E. S. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. *International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries*, 5., 1994, Florianópolis, SC/Brazil. São Paulo: 1994.

WIEBBELLING, P. O. G. **Pavimento com Blocos Intertravado de Concreto: Estudos de Caso na UNIVATES**. 2015. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/c012c16f-4f3a-4dcc-9209-e2787033dc68/content#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20blocos%20intert,em%20vias%20quanto%20em%20cal%C3%A7amentos>. Acesso em: 02 jul. 2023.

KAREN NAYARA MARCOLINO DA SILVA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE
BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO DRENANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Aprovado em 26 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Victória Leal de Almeida Nascimento (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Flávio Eduardo Gomes Diniz (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Dannúbia Ribeiro Pires (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco