

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE  
CAMPUS DE NATAL  
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**ALICE DA COSTA SILVA**

**PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE CONCRETO INTERTRAVADO POR MEIO DA  
REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**NATAL  
2018**

ALICE DA COSTA SILVA

**PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE CONCRETO INTERTRAVADO POR MEIO DA  
REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada ao Departamento de  
Ciência e Tecnologia como requisito para a  
obtenção do título de bacharel em Ciência e  
Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Brismark Goes  
Rocha.

**NATAL  
2018**

ALICE DA COSTA SILVA

PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE CONCRETO INTERTRAVADO POR MEIO DA  
REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Aprovada em 28 de junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Brismark Goes Rocha- Orientador  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

---

Dra. Andrea Jane da Silva  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

---

Ms. Dyego Monteiro de Souza  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Dedico este trabalho a DEUS: o Pai, o Filho  
e o Espirito Santo, pois todas as coisas  
foram feitas por intermédio dEle, e sem Ele  
nada do que foi feito se fez.

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por toda paciência que me foi concedida para lidar com os problemas enfrentados durante todo o percurso acadêmico, e de uma forma geral, por tudo, pois, sem o intermédio dEle nada teria sido feito.

A minha família, por todo o apoio que me foi dado, principalmente aos meus pais, Maria Aparecida Da Costa e Adjailton da Silva, pela paciência pelas muitas vezes que me fiz ausente, sou grata por sempre poder contar com toda a compreensão, todo o amor e com todo apoio deles.

A essa universidade e a todo o seu corpo docente, que vieram a contribuir para a minha formação acadêmica, em especial ao meu orientador o Prof<sup>o</sup>. Dr. Brismark Goes Rocha, por toda orientação que me foi dada, por todo apoio, confiança, pelo suporte durante todos esses mais de dois anos de pesquisa na área, para que pudesse ser feito um bom trabalho, e principalmente pelo seu empenho e dedicação para que esse trabalho desse certo. Também à Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Andrea Jane, por toda paciência nas orientações e por todo incentivo.

Ao Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), por ter cedido os seus laboratórios para a execução dos testes de resistência à compressão.

Os meus mais sinceros agradecimentos aos meus amigos de trabalho, Rodrigo de Lima, Thalita Queiroz, Pâmala Samara, Natalia Ramos, Irlan Camelo e Tanara Caroline, que estiveram comigo durante toda essa árdua e longa caminhada acadêmica, amigos esses que se tornaram uma verdadeira família, os quais levarei para sempre comigo.

Desde já agradeço a todos os meus amigos, em geral, por toda força, por toda paciência pelas vezes que me fiz ausente, e por toda ajudada que me foi dada. Em especial as três pessoas que se mostraram fundamentais ao meu lado nessa caminhada, a minha amiga, Rayssa Mesquita, e a minha prima/Irmã, Beatriz Tavares, pelo apoio, compreensão e por toda ajuda que me foi dada, não só na vida acadêmica e social, mas também na elaboração desse trabalho. A também a minha amiga/irmã, Monique Lopes, que sempre se fez presente durante toda essa minha caminhada, e esteve dividindo comigo os melhores e os mais difíceis momentos vividos durante esse período da minha vida, de forma que agradeço por todos os conselhos, a força

e principalmente pela paciência, incentivos e por não me permitir desistir nos momentos difíceis.

“E também nos alegremos nos sofrimento, pois sabemos que os sofrimentos produzem a paciência, e a paciência traz a aprovação de Deus, e essa aprovação cria a esperança.”

(Romanos 5:3-4)

## RESUMO

Esse estudo apresenta a análise da reutilização do resíduo de construção civil (RCC), na produção de tijolos de concreto intertravados, tendo como prioridade verificar a resistência à compressão e fazer a comparação entre tijolos convencionais e os tijolos de resíduos. Para isso, foram produzidos dois grupos de tijolos, um grupo convencional (controle), denominado de A, e outro produzido com RCC, denominado R, cada grupo contendo seis amostras (NBR 9781/2013). Para alcançar os objetivos, foram realizados testes de absorção de água, e teste de resistência à compressão axial. Por meio dos resultados obtidos nesses testes, foi feita a comparação entre os grupos, e para isso foi utilizado o teste estatístico não paramétrico qui-quadrado ao nível de significância de 5%, o que foi possível concluir que os grupos não apresentam diferenças significativas no teste de absorção de água e no ensaio mecânico de resistência à compressão. Porém, esses tijolos não poderão ser utilizados para o tráfego de veículos leves, pois, apresenta a taxa de resistência à compressão inferior a 35 Mpa ( NBR 9781/2013), isso se deu pelo fato de não ter sido realizada a prensagem no processo de fabricação. No entanto, poderá ser utilizado em substituição aos tijolos cerâmicos de alvenaria, pois os valores obtidos foram maiores que 1,5 Mpa e 4,0 Mpa (NBR 7170).

**Palavras chave:** Resíduos da construção civil. Tijolos de concreto intertravados. Ensaios mecânicos de resistência à compressão. Teste estatístico qui-quadrado.



## ABSTRACT

This study presents a analysis of the reuse of the civil construction waste (CCW), in the production of interlocked concrete bricks, with the priority of checking the compressive resistance and comparing usual bricks and waste bricks. For this, two groups were produced, one usual group (control), called A, and another produced with CCW, called R, each group containing six samples (NBR 9781/2013). To achieve the objectives, water absorption tests and axial compression tests were performed. Through the obtained results in these tests, a comparison was made between the groups, using the nonparametric chi-square statistical test at a significance level of 5%, which made possible to conclude that the groups did not present significant differences in the tests of water absorption and on the mechanical essay of compressive resistance. However, these bricks can not be used for traffic of light vehicles, since it has a compression ratio of less than 35 Mpa (NBR 9781/2013), this was due to the fact that the pressing process was not performed in the manufacturing process. It can be used instead of masonry ceramic bricks because the values obtained were higher than 1.5 Mpa and 4.0 Mpa (NBR 7170).

**Keywords:** Civil construction waste. Interlocked concrete bricks. Mechanical tests to compressive strength. Chi-square statistical test.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tijolo de piso intertravado .....	16
Figura 2 – Entulho recebido pela empresa, antes de ser tratado.....	29
Figura 3 – Triagem realizada manualmente .....	29
Figura 4 – Máquina de tratamento de resíduos .....	30
Figura 5 – Resíduo de construção civil, cedido pela empresa Duarte.....	30
Figura 6 – Retirada do excesso presente no Resíduo .....	31
Figura 7 – Cimento Portland CP-II-Z-32 .....	31
Figura 8 – Molde para confecção dos tijolos.....	32
Figura 9 – Areia convencional .....	33
Figura 10 – Cimento Portland CP-II-Z-32 sendo pesado.....	34
Figura 11 – Água .....	35
Figura 12 – Mistura feita manualmente .....	36
Figura 13 – Corpos de prova submersos a água .....	38
Figura 14 – Secagem da superfície dos corpos de prova .....	38
Figura 15 – Corpos de provas na estufa para o procedimento de secagem.....	39
Figura 16 – Corpos de prova capeados .....	41
Figura 17 – Prensa hidráulica elétrica .....	42
Figura 18 – Corpos de provas convencionais rompidos .....	42
Figura 19 – Corpos de prova de resíduos rompidos .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área de porosidade da peneira .....	34
Tabela 2 – Índice de forma (IF).....	36
Tabela 3 – Tempo de cura das amostras.....	37
Tabela 4 – Massas obtidas pelo grupo A (g) .....	40
Tabela 5 – Massas obtidas pelo grupo R (g) .....	40
Tabela 6 – Resultado do teste de absorção de água (%).....	43
Tabela 7 – Resistência característica à compressão .....	44
Tabela 8 – Teste de resistência à compressão (Mpa).....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública
AGR	Agregado Graúdo Reciclado
AMR	Agregado Miúdo Reciclado
cm	Centímetros
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
g/	Gramas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFRN	Instituto Federal do Rio Grande do Norte
ml	Mililitro
mm	Milímetros
Mpa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
PGRS	Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RCC	Resíduos de Construção Civil
RCD	Resíduos da Construção e Demolição

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS E PRODUÇÃO DE TIJOLOS</b> .....	18
2.1 RESÍDUOS .....	18
2.1.1 Resíduos sólidos.....	18
2.1.2 Classificação dos resíduos da construção civil.....	20
2.1.3 Origem dos resíduos da construção civil .....	22
2.2 USINAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	22
2.2.1 Duarte Usina de reciclagem de resíduos de construção civil .....	23
2.3 TIJOLOS .....	23
2.3.1 Tipos de tijolos .....	23
2.3.2 Tijolo de concreto .....	24
2.3.3 Piso de concreto intertravado.....	25
2.4 TESTE QUI-QUADRADO PARA DUAS AMOSTRAS INDEPENDENTES....	27
<b>3. ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO E DA RESISTÊNCIA DOS TIJOLOS</b> .....	28
3.1 MATERIAIS E METÓDOS.....	28
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	47

## 1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente vem sofrendo cada vez mais com as agressões do homem, e atualmente é observado uma preocupação das pessoas com os problemas do impacto ambiental de tal forma que têm surgido pesquisas que busca analisar formas de reduzir a agressão do homem.

Também preocupa a geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), que vem crescendo significativamente ano a ano e, de 2011 para 2012, aumentou em 5,3%, chegando a 35 milhões de toneladas. Esse volume tende a ser ainda maior, considerando que os municípios, via de regra, coletam apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos (ABRELPE,2012).

Com o crescimento da construção civil, o elevado número de descarte de materiais tem aumentado significativamente, de forma que acaba afetando diretamente o meio ambiente de diversas formas, como por exemplo: contaminação do solo, do ar, da água e uma enorme geração de resíduos.

Segundo Grupo Duarte (2017, apud ABRELPE, 2011), uma pesquisa feita pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública - ABRELPE no ano de 2010, realizada em 372 municípios do Brasil, a variação per capita gira em torno de 230 a 760 kg por habitante ano. De pequenas reformas domiciliares a grandes obras, cada brasileiro produz por ano cerca de meia tonelada de resíduo de construção civil, aponta o presidente do Instituto Nova Ágora de Cidadania (Inac), Carlos de Matos Leal (ABRECON, 2011).

Sabendo o quanto de Resíduos da construção civil (RCC) são desperdiçados, foram buscadas formas para sua reutilização com a finalidade de reduzir as agressões ao meio ambiente. De modo que tivemos a ideia de produzir um tijolo com a utilização desses resíduos, para solucionar esse problema que é a grande geração de resíduos, que vem a prejudicar o meio ambiente e para agregar valor aos agregados, surgiu interesse em realizar esta pesquisa.

A destinação adequada dos resíduos e a reutilização, além da economia ambiental, uma vez que se deixa de extrair novos materiais da natureza, é altamente viável economicamente, diz Rafael Clemente Filgueira, gerente da Usina de Reciclagem de Entulho de Osasco, município da Região Metropolitana de São Paulo, administrada pelo Inac. No município, 50% do material produzido pela usina é entregue à prefeitura, que o utiliza em obras públicas. (ABRECON,2011,sp).

Tendo em vista os dados mencionados na citação, e sabendo o quanto os resíduos podem ser agressivos ao meio ambiente, foi proposta a reutilização de resíduos da construção civil, de forma que o produto gerado através dessa reutilização volte diretamente para a própria construção civil, uma vez que também estaremos agregando valor aos resíduos de maneira que afete diretamente a diminuição da poluição ambiental gerada pelos RCC.

Para realização desse estudo foram utilizados dois tipos de pesquisas: bibliográfica e experimental, a pesquisa bibliográfica serviu para obter um embasamento sobre o assunto e o experimental para que assim possamos analisar o uso dos resíduos na produção de tijolos. Segundo Lakatos (2003), bibliográfica é resumo geral de alguns trabalhos já realizados sobre o tema escolhido, que são de suma importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e fundamentais relacionados ao tema. O estudo da literatura pode ajudar na elaboração de trabalho, a evitar alguns erros e representar uma fonte de informação que não poderia faltar um. Para isso, usei o auxílio do Google acadêmico, portal de periódicos da CAPES, Scielo.

Conforme GIL (2002), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, de modo que, sejam selecionadas algumas variáveis das quais possam vir a influenciar tal, para que, assim possam ser definidas formas de controle e observação dos efeitos que essas variáveis possam produzir sobre o objeto. Com base na definição usada por Gil, foi confeccionado um molde com as dimensões de acordo com as medidas de tijolo convencional a ser usado (Figura 1), que são: 19,5 cm de comprimento, 9,5 cm de altura, 5,6 cm de espessura, de modo que tem uma área de 185,25 cm<sup>2</sup> e possui o volume de 1.037,4 cm<sup>3</sup>, para que assim seja considerado como uma amostra de controle.

**Figura 1:** Tijolo de Piso intertravado.



**Fonte:** Autor.

Adotamos como traço pronto 1:2:3 (cimento, areia e água), de maneira que a partir desse traço, estipularemos quantidades dos agregados (areia de resíduo e cascalho). De modo que, posteriormente foram produzidos tijolos com 100% de resíduos da construção civil, onde cada concentração terão três repetições, com o tempo de cura de sete dias. Os Resíduos têm gramatura de 4 mm e foram cedidos pela Usina Duarte de reciclagem.

Essa pesquisa tem como finalidade fazer uso de resíduos da construção civil na fabricação de tijolos, a fim de propor a substituição dos tijolos convencionais por tijolos a base de resíduos. De modo que serão confeccionados moldes feitos de metal, para os tijolos ganharem suas dimensões.

Em seguida, foram feitos ensaios mecânicos de resistências à compressão individualmente, com base na NBR 9781/2013. De modo que, os tijolos também foram submetidos ao teste de absorção de água, que foi feito, submergindo os corpos de prova em água e posteriormente verificando a sua massa até obter peso constante, após a obtenção dos resultados, foram realizadas comparações entre os tijolos produzidos e os tijolos convencionais.

Os dados obtidos dos ensaios mecânicos bem como o teste de absorção de água, foram comparados entre os percentuais por meio de um teste Estatístico não paramétrico Qui-Quadrado com um nível de significância de 5%.



Esse trabalho está dividido em quatro partes, quais sejam, a introdução, o referencial teórico, a análise de dados e a conclusão. Na introdução, foi feita uma contextualização do estudo, mostrando o problema a ser estudado a fim de buscar uma forma de solucioná-lo.

No referencial teórico, temos alguns dados obtidos na geração de entulhos no Brasil de forma geral e de forma mais específica no estado do Rio Grande do Norte, com a finalidade de servir como base para todo estudo e elaboração da pesquisa.

Na parte de análise e dados, temos uma avaliação dos dados gerados na elaboração dos tijolos, e uma comparação entre os produzidos e os convencionais. E, por fim, a conclusão conta com uma avaliação entre os dados obtidos a fim de mostrar sua viabilidade.

## **2. REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS E PRODUÇÃO DE TIJOLOS**

Nesta seção, discutiremos algumas noções essenciais para compreender nosso objeto de estudo. Para tal fim, é necessário a compreensão do que é um resíduo, quais tipos existem, e o tipo de resíduos que será utilizado que, neste caso, são os resíduos da construção civil. Também é preciso compreender o que é um tijolo, quais tipos existentes e porque foi escolhido o tijolo de concreto para ser trabalhado.

### **2.1 RESÍDUOS**

Segundo Sebrae (2017), entende-se por resíduos tudo aquilo que sobra de processos realizados pelas atividades humanas e animal, e também de processos produtivos como a matéria orgânica, lixo domésticos e os gases liberados por processos sejam eles, industriais ou de motores.

A necessidade do ser humano de crescer os meios urbanos, como por exemplo construir cada vez mais casas habitacionais, centros comerciais entre outros, vem produzindo cada vez mais resíduos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, e isso afeta diretamente o meio ambiente, causando poluição e desmatamento, de forma que as consequências disso para o meio ambiente, ocasionaram elevados custos para o seu tratamento. “Lidar com as sobras das atividades humanas e produzir de forma sustentável é fundamental para preservar o meio ambiente” (Sebrae, 2017).

A consciência humana vem evoluindo cada vez mais a favor da sustentabilidade, de modo que é possível notar que cada vez mais pessoas estão se empenhando em buscar formas alternativas de preservar o meio ambiente, sejam com campanhas, com projetos de reutilização de resíduos, entre outros.

#### **2.1.1 Resíduos sólidos**

O crescimento dos resíduos sólidos é diretamente proporcional a evolução humana, e isso vem ocasionando uma preocupação de caráter mundial. Isso se dá pelo fato do homem querer ser cada vez mais inovador, e investir cada vez

mais em novas tecnologias. Na área da construção civil, por exemplo, é comum pessoas que tenham uma condição financeira mais favorável investir cada vez mais em novas residências, e isso acarreta em demolições que geram uma grande quantidade de resíduos de construção civil (RCC).

Resíduos sólidos: Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004, p.1)

**Quadro 1.** Classificação dos tipos de Resíduos e de onde originam.

<b>TIPOS DE RESÍDUOS</b>	<b>SUAS ORIGENS</b>
Domiciliares	Atividades domésticas e residencia urbanas;
Limpeza urbana	Da varrição, limpeza de logradouros, vias públicas e outros;
Industriais	Gerados nos processos produtivos das industriais;
Serviços de Saúde	Gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento;
Construção civil	Das construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil;
Serviços de transporte	De aeroportos, portos, terminais rodoviários e ferroviários, entre outros;

Fonte: Brasil, 2010.

Pesquisas realizadas pelo IBGE, em 2008, mostram que o Sul, entre as grandes regiões, é a que possui mais municípios que não fazem destinação dos seus resíduos sólidos, chegando a aproximadamente 63%, seguido pela região Sudeste com aproximadamente 42%, o Nordeste com aproximadamente 6%, a região Norte com aproximadamente 4%.

Para termos uma ideia da disposição final do lixo nos municípios brasileiros, o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – divulgou em 2011 um Atlas de Saneamento, o qual revelou que atualmente, somente 33% dos municípios brasileiros adotam uma destinação adequada para os resíduos sólidos gerados em seu território. A análise que utilizou a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB – realizada em 2008, apresentou uma tabela que faz a gradação com o passar dos anos de 1989 até 2008, apresentando a divisão da destinação dos resíduos em 2008: 50,8% nos lixões, 22,5% em aterros controlados, 27,7% em aterros sanitários, conforme tabela abaixo. Resta, ainda expor quanto aos dados do Atlas que somente 19,9% dos municípios possuem coleta seletiva, sendo que somente 38% destes a fazem em todo município. (Massuda, apud IBGE, 2011. p15)

Segundo a ABRELPE, no ano de 2015, foram coletados no Brasil cerca de 198.750 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos, no qual a região Sudeste foi citada como a que mais produz resíduos, com cerca de 104.631 toneladas por dia, seguida da Região Nordeste com cerca de 43.894 toneladas por dia.

No estado do Rio Grande Do Norte, no ano de 2015, foram registrados pelo IBGE (2015), uma geração de 3.049 tonelada por dia de resíduos sólidos na área urbana, dos quais foram coletadas 2.695 toneladas por dia.

Esses dados mostram claramente que a quantidade de resíduos produzidos é muito grande, e que é preciso obter formas de destinação correta para esses resíduos, a reutilização e a reciclagem já são formas bastante sucintas de destinação para os resíduos, de forma que venham a diminuir cada vez mais a quantidade de agressões ao meio ambiente.

### **2.1.2 Classificação dos resíduos da construção civil**

Segundo Pinto (2015, apud CONAMA, 2002) os resíduos da construção civil (RCC) são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e 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.

Não é fácil achar uma solução para o destino dos RCC, de forma que é necessária uma participação dos governos federais, estaduais e municipais. Como forma de obter um avanço da construção de forma sustentável, a gestão

de resíduos é a forma mais rápida de obter resultados significativos.

Segundo a Resolução do CONAMA nº 307/2002 no Art 2º da Lei nº 10.257, de 10 de julho, são estabelecidas formas para classificar os resíduos, os critérios e os procedimentos para o tratar da gestão dos mesmos. A mesma resolução Classifica os resíduos em 4 classes, conforme o art. 3º, como mostra a seguir.

- Classe A – Resíduos que são reutilizáveis ou recicláveis como por exemplo: tijolo, concreto, blocos, tubos, etc.
- Classe B – Resíduos que são reutilizáveis ou recicláveis para outras destinações como por exemplo: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;
- Classe C – Resíduos os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias que permitam sua reciclagem de uma forma viável, como por exemplo: estopas, isopor, lixas, mantas asfálticas, massas de vidro, sacos de cimento e tubos de poliuretano, e etc.
- Classe D – Resíduos perigosos provindo do processo de construção, como por exemplo: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde provindo de demolições, reformas, instalações industriais e outros, como por exemplo: telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos prejudiciais à saúde;

Segundo a mesma resolução, foram estabelecidas algumas definições dessas responsabilidades:

- Geradores: são as pessoas responsáveis pela geração dos resíduos;
- Transportadores: são as pessoas encarregadas de coletar os resíduos da fonte geradora até a área de destinação;
- Agregado Reciclado: é o material granular produzido a partir dos resíduos da construção, o qual pode ser reutilizado em obras;
- Gerenciamento de Resíduos: é o sistema de gestão responsável por reduzir, reciclar ou reutilizar os resíduos;
- Reutilização: é o processo do qual faz o reuso dos resíduos sem que ele precise passar por modificações.
- Reciclagem: é o processo de reutilização dos resíduos, após passarem por modificações;

- Beneficiamento: é a submissão dos resíduos a processos que os tornem utilizáveis como matéria prima ou produto;
- Aterro de resíduos da construção civil: é a área onde serão destinados os RCC, onde serão reservados materiais segregados, para que possam ser usados no futuro, sem causar danos ao meio ambiente.
- Áreas de destinação de resíduos: são áreas destinadas a deposição final dos resíduos.

### **2.1.3 Origem dos resíduos da construção civil**

Segundo Pinto (2005), os RCC no Brasil, podem se originar de reformas e demolições, edificações novas de grande porte e residências novas. Segundo Scremin (2007, apud Levy, 1997), as catástrofes, as deficiências inerentes aos processos construtivos nos dias de hoje e a má qualificação da mão de obra, também podem ser consideradas fontes de gerações de RCC.

Ainda há outros fatores que podem interferir diretamente a geração de RCC, como por exemplos a ignorância por parte de construtores, pois, muitos têm o pensamento que o que eles produzem é muito pouco e não afetaria quase em nada ao meio ambiente.

Segundo Piovezan (2007, apud JOHN, 2001), nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que o complexo da indústria da construção civil, setor esse que dá suporte para o desenvolvimento da sociedade, sofra grandes transformações.

## **2.2 USINAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Existem duas categorias de usinas de reciclagem de RCC, as fixas, e as moveis. As fixas consistem em ter um terreno próprio, cujo seu tamanho vai varias de acordo com a sua necessidade, ou seja, quando maior for sua produção será preciso uma maior capacidade, logo de um terreno grande. Já as moveis são compostas por três componentes, um caminhão Roll On Roll Off, uma britadeira e uma peneira móveis.

### **2.2.1 Duarte Usina de reciclagem de resíduos de construção civil**

Essa foi a empresa que cedeu o material para fins da pesquisa, a qual foi fundada em 27 de agosto de 2010, e localiza-se no município de São José de Mipibu-RN, foi criada com o intuito de arrecadar os resíduos de construção civil, segundo Portal do meio ambiente a empresa atende cerca de 100 construtoras e 70% de todo entulho é reciclado, parte desses materiais reciclados voltam para a área da própria construção civil, em forma de cascalho, brita e outros.

## **2.3 TIJOLOS**

Nesse tópico, vamos estabelecer o que são os tijolos, e os seus tipos mais comuns, assim como suas características e outros assuntos relacionados a eles.

O tijolo nada mais é que um pedaço de barro que pode ser cozido ou não. Para ser usado em alvenarias, o tijolo de ser leve, não muito grande, resistente e de fácil manejo. Conforme a NBR 7170 os tijolos podem ser classificados como comuns e especiais.

### **2.3.1 Tipos de tijolos**

Os tijolos comuns não recebem esse nome à toa. São chamados assim, pois são os mais usados no Brasil, e seu custo não é tão elevado, hoje em dia o seu preço está entre 1 e 5 reais. Eles são feitos apenas de material argiloso e podem conter o formato com furos ou maciço. Já os tijolos especiais são todos aqueles que possuem formatos e especificações diferentes, e que sigam as condições estabelecidas pela NBR 7170.

Abaixo segue uma classificação segundo a NBR 7170, referente aos tipos de tijolos e que eles são formados.

Tijolos de adobe: São feitos de terra e água com um adicional de materiais orgânicos, podem ser feitos de forma artesanal ou semi-industrial de moldagem e secagem. Pode ser classificado como tijolo ecológico pois não é feito através do cozimento, logo consome menos energia.

Tijolos Ecológicos: São feitos a partir de terra, água e cimento, de forma que tenham uma maior resistência, eles também podem não são produzidos por meio do seu cozimento. Eles dispensam o uso de argamassas para o seu assentamento, e não precisam ser quebrados para as instalações elétrica e hidráulica, eles podem ser montados juntamente com essas instalações.

Tijolo de Concreto: Feitos por meio do cimento, tem uma aparência simples, o mesmo não tem muita resistência, também não possuem uma estrutura, de forma que são usados em muros ou em vedações.

Tijolo de Vidro: Não possuem estruturas, por consequência só podem ser usados para fechamentos, das quais eles não impedem a passagem de luz.

### **2.3.2 Tijolo de concreto**

De acordo com a norma NBR 6136, os tijolos de concreto podem ser definidos das seguintes formas.

Bloco vazado: Trata-se de um componente da alvenaria, do qual seu componente líquido deve ser igual ou inferior a 75% da área bruta./

Blocos tipos canaletas: Trata-se de um componente da alvenaria, do qual pode ser vazado ou não, criados para racionalizar as vergas, e outros.

- Área bruta: É área perpendicular aos eixos dos furos, contando com as áreas vazias.
- Área líquida: Área perpendicular aos eixos dos furos, descontando as áreas dos vazios.
- Dimensões nominais: São as dimensões comerciais dos blocos, as quais são indicadas pelos fabricantes, múltiplas do módulo  $M=10$  cm e seus submódulos  $M/2$  e  $M/4$ .
- Dimensões reais: É aquela obtida por meio da do valor obtido com a dimensões nominais menos 1 cm, que correspondem a espessura média da junta de argamassa.
- De forma que seguindo a mesma NBR, é possível ver as seguintes classificações dos tijolos de concreto.
- Classe A: Tem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria



abaixo ou acima do solo.

- Classe B: Tem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do solo;
- Classe C: Tem função estrutural, para uso de elementos de alvenaria abaixo do solo;
- Classe D: Sem função estrutural, para uso de elementos acima do solo.

### **2.3.3 Piso de concreto intertravado**

Esses pisos são pequenos tijolos de concreto, de baixo custo, tendo uma boa qualidade, o qual é feito por indústrias através de processos mecânicos, o que lhes dá um alto desempenho mecânico.

O pavimento intertravado de concreto foi originado na Europa do pós-guerra e somente na década de 1960 foi introduzido no Brasil, onde até hoje é utilizado com grande sucesso. Além de apresentar inúmeras vantagens técnicas, possui um custo muito competitivo ou inferior quando comparado com outras alternativas como o pavimento flexível e rígido. (T&A, 2004, p.6).

Recebe o nome de intertravamento devido a sua capacidade de alta resistência, que faz com que a peça de tijolo trave e não transmita para as vizinhas os esforços externos que ela sofre.

Esses tijolos podem estar substituindo aos pavimentos asfálticos, e se comparados, sua facilidade de ser produzido industrialmente através de processos automáticos, faz com que esses tijolos tenham uma qualidade elevada e seja de um custo mais baixo, além disso eles ainda consomem menos energias no processo de fabricação.

Esses tijolos possuem uma grande facilidade para seu assentamento devido a não precisar de nenhum equipamento específico. O seu assentamento não precisa passar por nenhum processo térmico ou químico, como no caso dos asfaltos, outro fator positivo desses tijolos em relação a substituição dos pavimentos asfálticos são sua grande duração, mesmo estando estocado e mesmo sendo expostos a ações externas da natureza.

Segundo a T&A (2004), esses tijolos têm uma vida útil estimada em 25

anos, desde que eles possuam a resistência adequada, estejam colocados sobre uma base aprimorada e as peças bem assentadas.

A sua facilidade de assentamento permite que o piso seja liberado para tráfego logo após ficar pronto. E ele é um pavimento considerado permeável, pois ele permite a drenagem das águas pluviais.

Com o passar dos anos alguns pavimentos, como por exemplo o asfalto, vai perdendo suas características mecânicas, isso ocorre devido ao desgaste, já os tijolos de concreto que formam o piso intertravados, vão ganhando propriedades mecânicas com o passar do tempo, por serem feitos de concreto.

Podemos citar como exemplos de campos de aplicações desses tijolos: Portos, aeroportos, calçadas, residências, praças, parques, áreas, industriais, vias urbanas, estradas, terminais de cargas, oficinas, terminais de transportes coletivos, condomínios, entre outros.

Os materiais usados para a fabricação desses tijolos são:

- Cimento: o cimento usado vai variar de cada fabricante, atualmente o mais usado é cimento Portland, no Brasil existem diversos tipos, os quais variam de acordo com sua composição.
- Agregados miúdos e graúdos: o agregado miúdo trata-se de areias finas e naturais, areia média natural e pó de pedra. Já o agregado graúdo, trata-se de pedras britadas.
- Água: é preciso que a água esteja livre de impurezas, para evitar reações indesejáveis no concreto.
- Aditivos: os aditivos são usados para melhorar a velocidade da produção, e melhorando a qualidade do concreto.
- Pigmentação: a pigmentação são produtos adicionados ao concreto para melhorar a sua resistência aos raios solares as intempéries e a alcalinidade cimento.

## 2.4 TESTE QUI-QUADRADO PARA DUAS AMOSTRAS INDEPENDENTES

O teste de independência qui-quadrado é usado para descobrir se existe uma associação entre uma variável linha e a variável coluna de uma tabela de contingência os quais são obtidos à partir de dados de uma amostra, de modo que o mesmo é usado para saber o nível de significância de diferença entre os dois grupos independentes.

Há hipótese que está sendo testada é a de que dois grupos diferem com relação a algumas características, de modo que como relação a frequência relativa com que componentes do grupo venham a ter interação variável.

Segundo Castellan and Siegel (2006), para testar essa hipótese, é feita a contagem dos números de casos de cada grupo que caem nas varias categorias e fazemos a comparação a proporção de casos de cada um grupo nas varias categorias com a proporção de casos do outro grupo. Se as proporções forem iguais então não haverá interação, no entanto se as proporções diferem, existe uma interação.

Para utilização desse teste, foram feitos cálculos com a ajuda do excel, um programa computacional, que já contem as fórmulas exatas para cada cálculo, facilitando o acesso aos dados estatísticos precisos.

### 3. ANALISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO E DA RESISTÊNCIA DOS TIJOLOS

Nessa seção, discutiremos como foi elaborada a pesquisa como foram feitos os testes de resistência, de absorção de água e de compressão dos corpos de prova, e assim será possível mostrar o passo a passo do experimento, até a obtenção dos resultados, buscando comprovar com precisão se o produto obteve um bom resultado

#### 3.1 MATERIAIS E METÓDOS

Para iniciar o experimento, foi preciso ser feita uma pesquisa bibliográfica sobre a reutilização dos resíduos, para que assim fosse possível saber se eles não causariam algum mal a saúde no seu manuseamento, e assim saber se eles poderiam ser usados na substituição da areia. Também foi feito um estudo para a escolha de um tipo de tijolo para ser trabalhado, do qual foi escolhido o piso intertravado de concreto, o qual faz o uso de areia, cimento e água, na sua composição.

Depois de serem feitos os devidos estudos, o passo seguinte foi buscar o material, a areia, água, o cimento e o resíduos de construção civil. O resíduo foi cedido pela empresa conhecida como “Grupo Duarte”, e coletado na sua usina de reciclagem situada no município de São José de Mipibu/RN. O material coletado já veio tratado, sem as impurezas, e é constituído de areia, pó de cerâmicas, pó de cimento, pó de gesso, e pó de tijolo.

A empresa recebe o entulho cheio de impurezas que são materiais orgânicos, poliméricos, celuloses, gessos, metais, e o material propriamente da construção civil como: areia, cimento, tijolos, concreto, cerâmica como mostrado na Figura 2, então logo depois, o mesmo é passado por um processo de triagem (Figura 3), que é realizado manualmente. Logo após o material separado, e apenas o material próprio da construção civil é levado para o britador (Figura 4), primeiramente o britador faz a separação granulométrica através do alimentador vibratório que servem para fazer uma pré-classificação de partículas finas. O vibrador de mandíbula utilizado para fazer a vibração das moléculas enquanto elas passam pelos funis, as peneiras vibratórias usadas para fazer a separação do produto, as transportadoras de correias que servem para transportar os resíduos, e os eletroímãs são usados para fazer a limpeza metálica, ou seja, fazer a retirada de todo material metálico que possa conter nos resíduos.

**Figura 2:** Entulho recebido pela empresa, antes de ser tratado.



**Fonte:** Autor.

**Figura 3:** Triagem realizada manualmente.



**Fonte:** Autor.

**Figura 4:** Máquina de tratamento de resíduos.



**Fonte:** Autor.

O material que foi cedido pela empresa Duarte foi o resíduo com gramatura de 4 mm, depois dele passar por todo processo de limpeza, como mostrado na Figura 5. O material recebido foi peneirado antes do uso para tirar o excesso de pedras (Figura 6).

**Figura 5:** Resíduo de construção civil, cedido pela empresa Duarte.



**Fonte:** Autor.

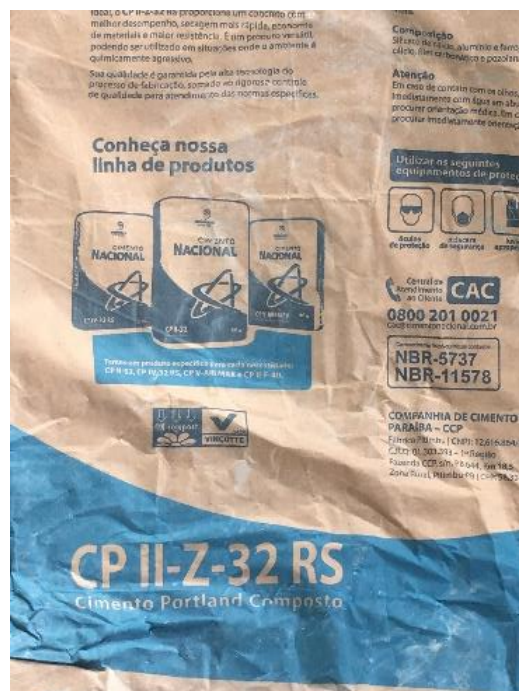
**Figura 6:** Retirada do excesso presente no Resíduo.



Fonte: Autor.

Um material também utilizado na produção dos tijolos foi o Cimento Portland CP-II-Z-32 (Figura 7), que segundo a NBR 11578/1991, é feito por meio da mistura do clínquer Portland com o sulfato de cálcio, materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e materiais carbonáticos.

**Figura 7:** Cimento Portland CP-II-Z-32



Fonte: Autor.

Outro material usado para a produção do tijolo convencional juntamente com o cimento, foi a areia de rio de gramatura de 2 mm, adquirida de forma comercial.

Os tijolos foram produzidos em um mesmo molde como está representado na figura 8, o mesmo possui a largura de 100,96 mm, o seu comprimento é de 201 mm, e tem como espessura 61 mm. Essas medidas foram adotadas segundo a norma da NBR 9781/2013 que diz que um tijolo de concreto deve ser uma peça de forma retangular e que a sua dimensão mínima seja 97 mm x 197 mm x 60 mm (largura x comprimento x espessura).

**Figura 8:** Molde para confecção dos tijolos.



**Fonte:** Autor

Foram produzidos tijolos de dois tipos, os quais foram nomeados de amostras A, para o Grupo A, de tijolos convencionais, isto é, com areia, cimento e água e o Grupo R, com resíduo, cimento e água, para ambos grupos foram realizadas 6 repetições, os tijolos convencionais foram produzidos para serem utilizados como grupo controle para poder ser comparado com os tijolos do segundo grupo (tipo R), pois, através dos tijolos comerciais não teríamos dados precisos sobre sua produção e assim poderia ser introduzido vício na pesquisa.

Para a produção do grupo A, fizemos a utilização do traço 3:2:1 (areia, cimento, água), foram utilizados 1930 g areia (Figura 9), 500 g de cimento (Figura 10) e por fim 320 ml de água (Figura 11), fizemos as medições numa balança eletrônica digital de até 40 kg, cortamos três garrafas que serviram como vasilhas para a pesagem,



lembrando que foram pesadas individualmente e sem o material dentro, para que assim fosse desconsiderado os seus devidos pesos

**Figura 9:** Areia convencional.



**Fonte:** Autor.

Para a melhor utilização da areia fizemos a utilização de uma peneira retangular 50 x 80 cm, para a retirada das pedras existentes, a sua porosidade foi medida por meio da medição dos seus furos de forma aleatoriamente (Tabela 1), para que assim fosse feita uma média e obtivéssemos a sua porosidade.

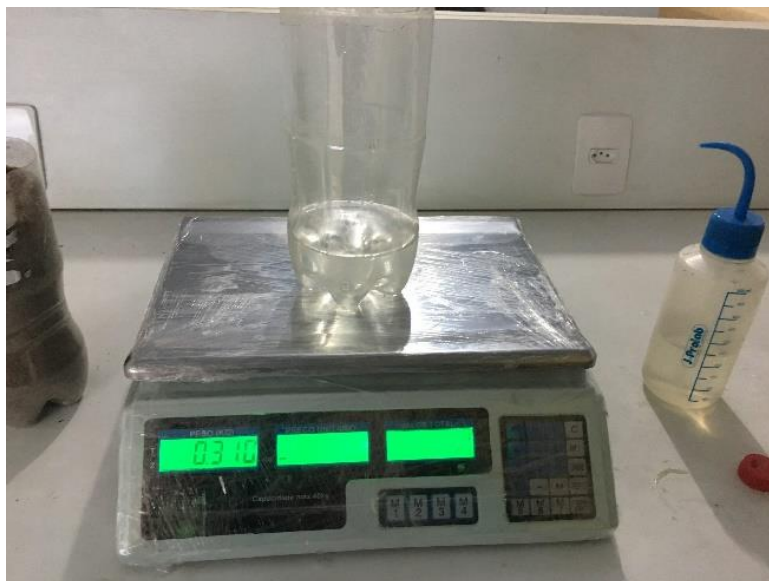
**Tabela 1:** Área de porosidade da peneira.

Medidas	Área (mm)
1	9,99
2	8,29
3	9,12
4	9,67
5	7,73
6	8,29
7	9,92
8	9,12
9	9,30
10	10,05
11	7,62
12	7,29
13	9,12
14	8,64
15	9,06
16	7,56
17	7,08
18	11,42
19	6,81
20	6,40
<b>Média</b>	<b>8,62</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,25</b>

Fonte: Autor.

**Figura 10:** Cimento Portland CP-II-Z-32 sendo pesado.

Fonte: Autor.

**Figura 11:** Água.

**Fonte:** Autor.

Já para o grupo R, o traço adotado foi o mesmo utilizado pelo convencional 3:2:1 (resíduos, cimento e água) foram usados 1910 g de resíduos, 500 g de cimento e 440 ml de água obtendo a massa final de 2850 g. Assim como para os tijolos convencionais (grupo A), os produzidos com o agregado (grupo R) também foram pesados na mesma balança eletrônica digital.

Os tijolos do Grupo R teve maior quantidade de água na sua fabricação por ter o resíduo em menor quantidade de água em relação a areia, de tal forma para dá a “liga” foi necessário o acréscimo de água, uma vez que a área e resíduo não foram mensurados sua massa seca antes do preparo das amostras.

Devido ao fato da areia comum ser de gramatura 2 mm e os resíduos de construção civil terem a sua gramatura de 4 mm, é notória uma diferença entre as concentrações para os grupos A e R.

Para ambos os tipos de tijolos, após realizada a mistura (figura 12), as mesmas foram colocadas com calma no molde (figura 8) que foi vedado com silicone para não haver vazamento da mistura, e em seguida os conteúdos foram sendo assentadas por batidas feitas por um martelo de borracha de face plana, as batidas também serviam para a tirar o excesso de água e de ar, evitando a formação de espaços.

**Figura 12:** Mistura feita manualmente.

Fonte: Autor.

Após terem sido confeccionadas as amostras, foi obtido o índice de forma (IF) Tabela 2, o qual é obtido pela relação entre o comprimento e a espessura do tijolo, seguindo as exigências da NBR 9781/2013 que diz que o IF para uma peça de concreto para uso em vias com tráfego de veículos ou de áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4.

**Tabela 2:** Índice de forma (IF).

AMOSTRAS	Tijolo normal	Tijolo com resíduo de construção
1	3,25	3,13
2	3,20	3,13
3	3,18	3,14
4	3,18	3,12
5	3,15	3,15
6	3,12	3,11
<b>Media</b>	<b>3,18</b>	<b>3,13</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>

Fonte: Autor.

Os resultados mostrados na tabela acima, possuem um intervalo de confiança (IC) de 95% ( $3,18 \pm 0,05$ ) para o Grupo A ( Tijolo convencional), e o IC de 95% (3,13

$\pm 0,05$ ) para o Grupo R (Tijolo de Resíduos de construção civil). Na comparação entre os grupos foram consideradas duas hipóteses, a  $H_0$ , conhecida como a hipótese de nulidade, ou seja, não há diferença significativa entre os grupos quanto ao IF, e a hipótese alternativa  $H_1$  que é a hipótese alternativa, isto é, a existência de diferença significativa entre os grupos. Todos os testes comparativos entre os grupos de momento em diante foi utilizado o teste estatístico não paramétrico Qui-quadrado ao nível de significância de 5%.

Na comparação do IF na Tabela 1 foi obtido  $p \leq 1,000$  ( $p$  corresponde a probabilidade de rejeitar  $H_0$ ), significa dizer que não há evidências suficientes para rejeitar  $H_0$ , isto é, a diferença do IF não é significativa entre os Grupos, que é esperado, pois foi utilizado o mesmo molde para ambos os Grupos. De acordo com a ABNT NBR 9781/2013, O IF obtido nas amostras atende a necessidade para uso em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento, pois, o IF foi inferior a 4.

As amostras foram submetidas ao tempo de cura onde o Grupo A, teve em média 46 dias de cura e o Grupo R, 45 dias (Tabela 3). Comparando o tempo de cura entre os Grupos, foi encontrado  $p \leq 0,9919$  o que pode ser concluído que a diferença média de um dia no tempo de cura entre os Grupos, não é significativa.

**Tabela 3:**Tempo de cura das amostras.

<b>AMOSTRAS</b>	<b>Grupo A</b>	<b>Grupo R</b>
<b>1</b>	49	46
<b>2</b>	48	46
<b>3</b>	47	45
<b>4</b>	47	45
<b>5</b>	43	44
<b>6</b>	43	44
<b>Media</b>	<b>46</b>	<b>45</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

**Fonte:** Autor.

O primeiro teste que os grupos foram submetidos foi o de absorção de água, para a realização dele foi preciso seguir a NBR 9781/2013 a qual as amostras foram submergidas á uma temperatura de  $(26 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , durante 24 h.

**Figura 13:** Corpo de provas submersos a água.



**Fonte:** Autor.

Os tijolos saturados foram retirados da água e pesados individualmente duas vezes ao dia para a pesagem sempre secando a sua superfície (figura 14), logo após os corpos de provas saturados foram colocados na estufa com temperatura de 110 °C (figura 15) durante 24 horas.

**Figura 14:** Secagem da superfície dos corpos de prova.



**Fonte:** Autor.

**Figura 15:** Corpos de provas na estufa para o procedimento de secagem.



**Fonte:** Autor.

Após a secagem foi realizada mais uma pesagem dos corpos de prova para obter a massa do corpo de prova seco. Para a obtenção do resultado da absorção de água foram realizados cálculos seguindo a NBR 9781/2013, e utilizando a seguinte equação:

$$A = \frac{m2 - m1}{m1} \times 100$$

Onde:

- A – é a absorção de cada corpo de prova, a qual é expressa em porcentagem (%);
- m1 – é a massa do corpo de prova no seu estado seco, expressa em gramas (g);
- m2 – é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g);

Tivemos os seguintes valores após a pesagem dos tijolos do grupo A:

**Tabela 4:** Massas obtidas pelo grupo A (g).

<b>AMOSTRAS</b>	<b>Massa Seca</b>	<b>Depois de Submergir</b>
1	2304,00	2560,00
2	2356,00	2614,00
3	2346,00	2584,00
4	2374,00	2592,00
5	2392,00	2648,00
6	2390,00	2666,00
<b>Media</b>	<b>2360,33</b>	<b>2610,67</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>30,19</b>	<b>36,73</b>

**Fonte:** Autor.

Na tabela 4, temos os valores obtidos na pesagem dos tijolos convencionais, uma vez que nomeamos as amostras de “A” e logo na primeira coluna podemos ver a quantidade de repetições que foram feitas dos corpos de prova. Já para os que foram produzidos com os resíduos de construção civil, tivemos os seguintes valores:

**Tabela 5:** Massa obtida pelo grupo R (g).

<b>AMOSTRAS</b>	<b>Massa seca</b>	<b>Depois de submergir</b>
1	2106,00	2446,00
2	2100,00	2396,00
3	2110,00	2448,00
4	2098,00	2418,00
5	2092,00	2424,00
6	2130,00	2452,00
<b>Media</b>	<b>2106,00</b>	<b>2430,67</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>12,17</b>	<b>19,99</b>

**Fonte:** Autor.

De acordo com a tabela 5 podemos ver os valores obtidos na pesagem dos corpos de prova produzidos com resíduo, os quais foram nomeados de “R”, e assim como na tabela 1, a primeira coluna mostra os números de repetições que foram feitas.



Depois de feita a análise dos dados, ambas as amostras foram encaminhadas para o teste Resistência à compressão. O mesmo foi realizado no dia 15 de junho de 2018, no laboratório de materiais e construção do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), no Campus Central que fica localizado em Natal/RN.

Após ser atingindo o tempo de cura, os corpos de prova passaram por um processo de capeamento (Figura 16) a fim de nivelar toda a superfície, para que a carga seja distribuída por igual durante todo o corpo de prova. O capeamento foi feito com argamassa de cimento e saturação em água no período de 24 horas. Feito isso as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão obedecendo às prescrições da NBR 9781/2013.

**Figura 16:** Corpos de provas capeados.



**Fonte:** Autor.

Os corpos de prova foram comprimidos por meio da utilização de uma prensa hidráulica elétrica com capacidade de 100 t, também foi utilizado duas placas auxiliares circulares com um diâmetro de  $85 \pm 0,5$  mm e a espessura mínima de 20 mm.

**Figura 17:** Prensa hidráulica elétrica.



**Fonte:** Autor.

A figura 17 mostra o momento que um dos 12 corpos de prova passavam pelo processo de compressão, até chegar ao seu rompimento, o qual se dá quando a carga máxima de ruptura foi atingida.

**Figura 18:** Corpos de provas convencionais rompidos.



**Fonte:** Autor.

A imagem acima mostra os corpos de provas da amostra A, que são os tijolos convencionais, no seu momento de rompimento. As amostras do tipo R, que são os

tijolos produzidos por meio da utilização de resíduos da construção civil, são mostradas a seguir (Figura 19) no seu momento de rompimento.

**Figura 19:** Corpos de prova de resíduos rompidos.



**Fonte:** Autor.

### 3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dessa pesquisa estão relacionados a capacidade de absorção de água e a resistência a compressão dos corpos de prova que foram confeccionados. Analisando a absorção de água temos que:

**Tabela 6:** Resultado do teste de absorção (%).

AMOSTRAS	Grupo A	Grupo R
1	7,11	10,78
2	6,43	10,31
3	6,25	11,07
4	6,23	10,92
5	7,21	11,09
6	7,41	10,95
<b>Media</b>	<b>6,77</b>	<b>10,85</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,48</b>	<b>0,26</b>

**Fonte:** Autor.

A tabela 6, mostra os resultados obtidos pelo teste de absorção de água, o qual é obtido pela diferença entre a massa seca e a massa saturada dos corpos de prova em água à temperatura de 26,5 °C, por 24 horas. Na seção anterior foi mostrado como se deu a realização de todo o processo determinado para a absorção de água seguindo as exigências da NBR 9781/2013.

Segundo a mesma diz que a amostra deve apresentar a absorção de água com o valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor maior ou igual a 7%. Isso implica na não adequação dos Grupos a NBR 9781/2013, pois, a média do Grupo A é de 6,77% e o Grupo R de 10,85%.

Os resultados mostrados na tabela acima possuem um intervalo de confiança (IC) de 95% ( $6,15 \pm 0,62$ ) para o Grupo A (Tijolo convencional), e o IC de 95% ( $10,23 \pm 0,62$ ) para Grupo R (Tijolo de Resíduos de construção civil).

A Não adequação da absorção da água nos Grupos pode ser atribuída ao processo de fabricação, pois, como não foi aplicada uma carga sobre os corpos de prova no momento da fabricação, ou seja, não foi feita a utilização de uma prensa, os espaços entre os agregados foram preenchidos com água e para mensurar a massa seca dos corpos de provas foram colocados na estufa ocorrendo a evaporação da água ficando os espaços entre os agregados vazios, e ao ser submetidos a saturação esses espaços foram ocupados com água, daí no teste de absorção o resultado não foi adequado a norma.

Os resultados do Teste de Resistência à Compressão (Tabela 8) não foram satisfatórios a NBR 9781/2013 (Tabela 7).

**Tabela 7:** Resistência característica à compressão.

Solicitação	Resistência característica à compressão ( $f_{pk}$ ) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	$\geq 35$
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50$

**Fonte:** ABNT, NBR 9781 (2013, p.6)

Visto que as amostras foram ensaiadas com idade superior a 28 dias, elas devem apresentar a sua resistência característica à compressão (f<sub>pk</sub>) equivalente a 80% do f<sub>pk</sub> especificado na NBR 9781/2013

**Tabela 8:** Teste de Resistência à compressão (Mpa).

<b>AMOSTRAS</b>	<b>Grupo A</b>	<b>Grupo R</b>
<b>1</b>	12,40	5,90
<b>2</b>	9,60	10,30
<b>3</b>	11,00	8,90
<b>4</b>	12,90	8,60
<b>5</b>	7,20	6,90
<b>6</b>	10,40	7,50
<b>Media</b>	<b>10,58</b>	<b>8,18</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,88</b>	<b>1,22</b>

**Fonte:** Autor.

Na tabela 8, separamos os valores obtidos, por cada amostra, durante o Teste de Resistência à Compressão, fazendo uma comparação entre os Grupos por meio do teste estatístico qui-quadrado, temos que não há diferença significativa ao nível de 5% entre ambos, o que implica dizer que as amostras produzidas com os resíduos de construção civil e o convencional são equivalentes. No entanto, se for tomado como referência NBR 9781/2013 os tijolos produzidos não se aplicam a sua utilização para o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos de linha (Tabela 7) por ter apresentado no Teste de Resistência à compressão uma média de 10,58 Mpa no Grupo A e 8,18 para o Grupo R. Este resultado é atribuído, assim como no teste de absorção, à sua fabricação, uma vez que como não houve a utilização de uma prensa os corpos de prova não foram submetidos a uma determinada carga, a qual faria os espaços vazios serem preenchidos. Porém, foi observado que segundo a NBR 7170, os tijolos cerâmicos de alvenaria devem ter no mínimo uma resistência entre 1,5 Mpa e 4,0 Mpa, o que implica dizer que os corpos de prova produzidos podem ser utilizados em substituição aos tijolos de alvenaria.

#### 4. CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi produzir tijolos de concreto intertravados por meio da utilização de resíduos da construção civil, para fins de fazer uma comparação com os tijolos convencionais como grupo controle e assim poder comparar por meio de teste estatístico ao nível de significância 5% há existência de diferença significativa entre os grupos. Comparação essa feita por meio do auxílio do Excel, um programa computacional muito utilizado para cálculos estatísticos.

Uma vez que, todos os corpos de provas, tanto os do Grupo A, tijolos convencionais, quanto os do Grupo R, produzidas com resíduos, não atingiram os valores esperados nos testes de absorção de água e de resistência à compressão, pois, a sua taxa de absorção foi superior a 6% e a sua taxa de resistência foi inferior a 35 Mpa, segundo a NBR 9781/2013, os corpos de prova não poderão ser utilizados na construção de vias para tráfegos de veículos leves. Isso se deu devido a sua fabricação, em razão de não ter sido feito o processo de prensagem, onde os espaços vazios foram preenchidos com água em vez de agregados.

No entanto, com a obtenção de todos os resultados nas comparações feitas entre ambos os grupos A e R, por meio de testes estatísticos não paramétricos ao nível de significância de 5%, conclui-se que ambos os grupos são equivalentes, o que implica dizer que os resíduos da construção civil podem ser utilizados para produção de tijolos intertravados, porém, pelo método adotado na fabricação dos corpos de prova poderão substituir os tijolos cerâmicos para alvenaria, pois, pela NBR 7170 os tijolos intertravados fabricados apresentam resultados superiores aos de alvenaria onde a resistência à compressão mínima para tijolos de alvenaria é de 1,5 Mpa enquanto que os Grupos A e R foram respectivamente médias 10,58 e 8,18 Mpa. No entanto, quanto a absorção de água os tijolos cerâmicos para a alvenaria não deve conter menos de 8% e mais de 22% de absorção de água, enquanto nos resultados da pesquisa obtemos média de absorção no Grupo A de 6,77% e o Grupo R 10,85%, isto é, somente os tijolos intertravados em que foi utilizado como agregado o resíduo da construção podem substituir os tijolos cerâmicos para alvenaria. Além de agregar valor ao resíduo da construção civil, uma outra contribuição da pesquisa é que pode proporcionar relevante efeito benéfico ao meio ambiente, a diminuição da retirada de área em rios bem como o barro utilizado em tijolos cerâmicos.

Contudo, fica para trabalhos futuros relacionados ao tema da pesquisa as seguintes sugestões: 1) correção do modo de fabricação, ou seja, serem produzidos os tijolos com a utilização da prensa, para que assim possa haver a correção do preenchimento dos espaços vazios entre os agregados; e 2) reutilização do gesso para fins de serem usados na construção civil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associações de Normas Brasileiras Técnicas. NBR 10004- **RESÍDUOS SÓLIDOS – CLASSIFICAÇÃO**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT – Associações de Normas Brasileiras Técnicas. NBR 11578- **Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT – Associações de Normas Brasileiras Técnicas. NBR 7170 - **TIJOLO MACIÇO PARA ALVENARIA**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ABNT – Associações de Normas Brasileiras Técnicas. NBR 9781 - **PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABRECON. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **BRASILEIRO PRODUZ POR ANO MEIA TONELADA DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**. Disponível em:< <http://www.abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil> > acesso em: 01 de junho de 2017.

ABRELPE. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **LANÇADO O PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS 2014 DA ABRELPE**. 30 de julho de 2015. Disponível em:<<http://abes-sp.org.br/noticias/19-noticias-abes/6908-lancado-o-panorama-dos-residuos-solidos-2014-da-abrelpe>> Acesso 01 de Junho, 2017.

AUGUSTA, Maria. **UM MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL: O TIJOLO DE SOLO-CIMENTO**. Universidade presbiteriana Mackenzie. 2005. São Paulo-SP.

BRASIL, Ministério do meio ambiente, CONAMA. Conselho nacional do meio ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 307, DE 05 DE JULHO DE 2002. ESTABELECE DIRETRIZES, CRITÉRIOS, PROCEDIMENTOS PARA A GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 05 de julho de 2002. Brasília-DF.



BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.** Sd. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos> > acesso em 19 de setembro de 2017.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.** Sd. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos> > acesso em 19 de setembro de 2017.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **TIPOS DE RESÍDUOS.** 02 de agosto 2010. Disponível em: < <http://sinir.gov.br/web/guest/tipos-de-residuos> > acesso em 20 de setembro de 2017.

DICAS DE ARQUITETURA. **TIPOS DE TIJOLOS.** 25 de julho de 2015. Disponível em:< <http://dicasdearquitetura.com.br/tipos-de-tijolos/>>, acesso em 21 de maio de 2017.

FERNANDES, Carlos Alberto Hermann. **RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE GESSO DE CONSTRUÇÃO PARA USO EM REVESTIMENTOS, PLACAS DE FORRO E MOLDURAS DE ACABAMENTO.** Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/168295> >. Acesso em: 20 de maio de 2017.

GRUPO DUARTE. **SEGREGAR, RECICLAR E REUTILIZAR:** Transformando resíduos da construção civil em matéria prima sustentável. Edição 1. Panfleto informativo. Sd.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO (PNSB)** de 2011. Disponível em:< <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

LUCAS, Denis; BENATTI, Claudia. **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DE ARTEFATOS CIMENTÍCIOS E ARGILOSOS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Disponível em: < <http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/download/850/663>.> Acesso em 18 de agosto de 2016.

MASSUDA, Vanessa Sayuri. **RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC): Proposta de Instrumentos para adequação do Ciclo Produtivo de Geração dos RCC e o Incentivo Fiscal para o Uso de Agregados Reciclados em Curitiba**. 2011. Disponível em: < <http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/39206/R%20-%20E%20-%20VANESSA%20SAYURI%20MASSUDA.pdf?sequence=2> >. Acesso em 20 de setembro de 2017.

MASTER AMBIENTAL. **PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Sd. Disponível em: <<https://www.masterambiental.com.br/consultoria-ambiental/gerenciamento-de-residuos/plano-de-gerenciamento-de-residuos-da-construcao-civil>> Acesso em 15 de setembro 2017.

MODLER, Maria Eduarda; RIBEIRO, Roberto Carlos. **A VIABILIDADE CONSTRUTIVA DAS CONSTRUÇÕES EM TERRA**. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/SEPE-UFFS/article/view/4094>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

PINTO, T. P. **METODOLOGIA PARA A GESTÃO DIFERENCIADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO URBANA**. 1999. 200p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo

PINTO, T. P.; GONZÁLEZ, J.L.R. **MANEJO E GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. MANUAL DE ORIENTAÇÃO: COMO IMPLEMENTAR UM SISTEMA DE MANEJO E GESTÃO NOS MUNICÍPIOS**. V.01. Brasília: Caixa, 2005.

PRS. Portal resíduos sólidos. **RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 03 de janeiro de 2014. Disponível em: < <http://www.portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-residuos-solidos-da-construcao-civil> > Acesso em: 19 de setembro de 2017.

SEBRAE. **O QUE SÃO RESÍDUOS (E O QUE FAZER COM ELES)**. 05 de julho de 2017. Disponível em: < [http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-sao-residuos-e-o-que-fazer-com-eles\\_ca5a438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD?origem=segmento&codSegmento=13](http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-sao-residuos-e-o-que-fazer-com-eles_ca5a438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD?origem=segmento&codSegmento=13) > Acesso em: 18 de setembro de 2017.

SIEGEL. S; CASTELLAN. N. J. **ESTATÍSTICA NÃO-PARAMÉTRICA PARA CIÊNCIAS DO COMPORTAMENTO**. V.02. Brasil, 2006. 448 p.

T & A. Blocos e Pisos. **Manual técnico de piso intertravado de concreto**. Fortaleza. 2004. 46 p. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. **ESTABELECE DIRETRIZES, CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS PARA A GESTÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Brasil, 2002. 3 p