

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL

REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO NA  
FABRICAÇÃO DE TIJOLO CERÂMICO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BRUNA BARBOSA MATUTI

MANAUS-AM

2019

BRUNA BARBOSA MATUTI

REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO NA  
FABRICAÇÃO DE TIJOLO CERÂMICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, área de concentração Materiais e Componentes de Construção.

Orientador: Prof(o). Dr(o). Genilson Pereira Santana

MANAUS-AM

2019

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M445r Matuti, Bruna Barbosa  
Reutilização de Resíduos de Construção e Demolição na  
Fabricação de Tijolo Cerâmico / Bruna Barbosa Matuti. 2019  
71 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Genilson Pereira Santana  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. incorporação. 2. resíduos de construção civil e demolição. 3.  
tijolo cerâmico. 4. cerâmica. I. Santana, Genilson Pereira II.  
Universidade Federal do Amazonas III. Título

BRUNA BARBOSA MATUTI

REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO NA  
FABRICAÇÃO DE TIJOLO CERÂMICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, área de concentração Materiais e Componentes de Construção.

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Prof(o). Dr(o). Erasmo Sergio Ferreira Pessoa Junior – UEA

Prof(o). Dr(o). Joab Souza dos Santos – IFAM

Prof(o). Dr(o). Genilson Pereira Santana  
Orientador

MANAUS-AM

2019

## DEDICATÓRIA

À minha mãe, Jocilene Barbosa Matuti, por ser  
meu maior exemplo de vida.

Ao meu esposo Eduardo Alves Mafra, por  
sempre estar do meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus, por renovar minhas forças todos os dias e por estar sempre comigo.

À minha mãe Jocilene Barbosa Matuti e aos meus avós Benjamim e Maria Matuti, sempre presentes em minha vida e me apoiando nessa trajetória.

Ao meu esposo Eduardo Alves Mafra, por sempre estar do meu lado em todos os momentos da minha vida.

À minha família pelo carinho, compreensão e apoio, em especial as minhas tias Rosangela Matute e Jocicleide Matuti.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia civil da Faculdade de tecnologia da UFAM, pelo ensino e aprendizagem nesta trajetória.

Agradeço ao meu orientador, Prof.º Dr.º Genilson Pereira Santana, pelo acolhimento, bem como pela paciência e pelo compartilhamento de conhecimentos, que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos Laboratório de Ensaio Físico-Químicos (LEM) da Universidade Federal do Amazonas; Laboratório de Síntese e Caracterização de Nano Materiais – RLCN – Instituto Federal do Amazonas e o Laboratório de Pavimentação (LPAV) da Universidade Federal do Amazonas; Laboratório de Mecânica dos Solos do Centro Universitário do Norte (UNINORTE).

À FAPEAM, pela concessão da bolsa de mestrado que permitiu o aporte financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

Muito obrigada a todos!

“Fé não faz as coisas serem fáceis, mas as tornam totalmente possíveis, creia”. (Romanos 5:8)

## RESUMO

As perdas ocasionadas pelo desperdício dos materiais durante a construção de uma edificação são as grandes responsáveis pela geração de resíduos da construção civil e demolição - RCD no canteiro de obras. A reciclagem é uma alternativa para diminuir o impacto ambiental desses resíduos, o aproveitamento dos resíduos dos materiais dentro do próprio canteiro ou fora em empresas especializadas, faz com que os materiais que seriam descartados com um determinado custo financeiro e ambiental retornem em forma de materiais novos e sejam reinseridos na construção, melhorando até na qualidade do material, durabilidade e resistência. A prática é vantajosa em vários aspectos: reduz as chances de deposição em locais clandestinos e contribui para aliviar a pressão sobre aterros de inertes, cada vez mais saturados. Os produtos cerâmicos obtidos com argilas naturais são muito variados, apresentando tons avermelhados, principalmente após queima. O desenvolvimento das cidades brasileiras aumenta o consumo de materiais de construção civil, conseqüentemente gerando grande quantidade de resíduos de construção e demolição (RCD). Na caracterização delas, foram abordados aspectos físico-químicos com o intuito de análise da consistência de misturas argila e resíduo, as amostras foram caracterizadas por meio da granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, Espectrometria de Fluorescência de raios X – FRX, Difração de raios X – DRX. A característica da argila, destaca-se a granulometria muito fina, diversidade química e estrutural (argila - Si (Silício) com 57,8% e no RCD - Si (Silício) com 52,5%), dispersão fácil em água, elevada plasticidade e boa homogeneidade, dessa forma, para o preparo de uma massa cerâmica é recomendado incorporar um material menos plástico, para melhorar o rendimento da produção e a trabalhabilidade com a matéria prima. O RCD é constituído principalmente de quartzo, ou seja, material não plástico, um material predominantemente arenoso, facilitando a incorporação do resíduo na massa cerâmica. Neste trabalho foi realizado a incorporação de RCD na massa cerâmica para produzir tijolos cerâmicos, visando propor uma opção de reutilização deste resíduo e economia da matéria prima argilosa. A metodologia experimental utilizada baseia-se no aproveitamento do RCD como material não plástico, com composição pré-estabelecida de 0 a 90% de RCD. O RCD foi triturado e misturado com a argila e água (8%). A mistura foi prensada em uma prensa hidráulica manual e seco por 24 horas em estufa a 110 °C, sendo queimada a 950°C. Observou-se que todos os corpos de prova obtiveram valores dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas. Para resistência mecânica com composição com 10% de RCD apresentaram resistência à tração superior a 4 Mpa, sendo considerados a melhor composição. Os resultados mostram que é possível utilizar o RCD para produzir material cerâmico, proporcionando uma boa alternativa de reaproveitamento e economia de recursos naturais.

**Palavras-chave:** incorporação, resíduos de construção civil e demolição, tijolo cerâmico.



## ABSTRACT

The losses caused by the waste of materials during the construction of a building are the main responsible for the generation of construction and demolition waste - RCD at the construction site. Recycling is an alternative to reduce the environmental impact of such waste, the use of waste materials within the site or outside specialized companies, makes materials that would be discarded with a certain financial and environmental cost return in the form of new materials and reinserted in the construction, improving even in the quality of the material, durability and resistance. The practice is advantageous in several ways: it reduces the chances of deposition in clandestine locations and helps to relieve pressure on increasingly saturated landfills. The ceramic products obtained with natural clays are very varied, showing reddish tones, mainly after burning. The development of Brazilian cities increases the consumption of building materials, consequently generating a large amount of construction and demolition waste (RCD). In the characterization of these, physical-chemical aspects were approached in order to analyze the consistency of clay and residue mixtures, the samples were characterized by granulometry, liquidity limit, plasticity limit, X-ray Fluorescence Spectrometry - FRX, Diffraction of X-rays - DRX. The characteristics of the clay are very fine granulometry, chemical and structural diversity (clay - Si (Silicon) with 57.8% and RCD - Si (Silicon) with 52.5%), easy dispersion in water, high plasticity and good homogeneity, so, for the preparation of a ceramic mass is recommended to incorporate a less plastic material, to improve the yield of the production and the workability with the raw material. The RCD consists mainly of quartz, that is, non-plastic material, a predominantly sandy material, facilitating the incorporation of the residue in the ceramic mass. In this work the incorporation of RCD in the ceramic mass was carried out to produce ceramic bricks, aiming to propose an option to reuse this residue and to economize the clay raw material. The experimental methodology used is based on the use of RCD as a non-plastic material, with a pre-established composition of 0 to 90% RCD. The RCD was crushed and mixed with clay and water (8%). The blend was pressed in a manual hydraulic press and dried for 24 hours in an oven at 110 ° C, being burned at 950 ° C. It was observed that all the specimens obtained values within the limits established by the technical norms. For mechanical resistance with 10% RCD composition, tensile strength was higher than 4 MPa, being considered the best composition. The results show that it is possible to use RCD to produce ceramic material, providing a good alternative for reuse and saving of natural resources.

**Key words:** incorporation, construction and demolition waste, ceramic brick.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização e classificação de resíduos.....	23
Figura 2 – Triângulo Textural.....	41
Figura 3 – Influência das frações (areia, silte e argila) em algumas propriedades e comportamento do solo.....	41
Figura 4 – Resultado de FRX – Elementos – Argila e RCD.....	43
Figura 5 – Resultado do DRX da Argila e do RCD.....	46
Figura 6 – Resultado do DRX da Mistura de Argila e RCD com 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90%.....	47
Figura 7 - Corpos de Prova prensado antes da queima com 8% de água.....	53
Figura 8 - Prensa Hidráulica.....	53
Figura 9 - Material pronto para a queima a 950°C na Mufla.....	54
Figura 10 - Prensa de Compressão e Tração.....	54
Figura 11 - Tensão de Ruptura – Média (MPa) – Queima 950°C.....	56
Figura 12 - Massa Específica da Peça Sólida (Resultado em g/cm <sup>3</sup> ).....	56
Figura 13 - Absorção de Água (Resultado em %).....	57
Figura 14 - Porosidade Aparente (Resultado em %).....	57
Figura 15 - Percentagem da perda de Fogo a 950 °C.....	58

## **LISTA DE GRAFICOS**

Gráfico 1 – Perdas média de alguns materiais de construção civil em canteiros brasileiros.....	19
Gráfico 2 – Resíduos por classe – Manaus.....	20
Gráfico 3 – Composição da Fonte Geradora do RCD no Brasil.....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Palavras-chaves com trabalhos encontrados nas respectivas bases de dados...	18
Tabela 2 – Composição dos resíduos sólidos da construção civil.....	24
Tabela 3 – Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil (t dia-1) nos anos de 2015 e 2016.....	26
Tabela 4 – Produção de Agregados – Classificação.....	27
Tabela 5 - Reciclagem dos Resíduos.....	27
Tabela 6 – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Relacionadas a Resíduos.....	31
Tabela 7 – Umidade Higroscópica e Massa Específica da Argila e do RCD.....	40
Tabela 8 – Análise Granulométrica da Argila e do RCD.....	40

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DRX - Difração de Raios X

EST - Estrutural

FRX - Espectrometria de Fluorescência de Raios X

MPa - Mega Pascal

NBR - Norma Brasileira de Regulamentação

PGRCC - Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

VED – Vedação

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1 – Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>14</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
<b>3. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - RCD NO         BRASIL.....</b>	<b>17</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO RCD.....	20
3.2. REUTILIZAÇÃO DO RCD.....	23
3.3. IMPACTO E GESTÃO DO RCD.....	28
<b>4. CONCLUSÕES PARCIAIS.....</b>	<b>31</b>
<b>Capítulo 2 – Compatibilidade do resíduo de construção civil e demolição na produção de tijolo cerâmico.....</b>	<b>32</b>
<b>5. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>6. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>8. CONCLUSÕES PARCIAIS.....</b>	<b>46</b>
<b>Capítulo 3 – Compatibilidade do resíduo de construção civil e demolição na produção de tijolo cerâmico.....</b>	<b>48</b>
<b>9. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>10. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
<b>11. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>53</b>
<b>12. CONCLUSÕES PARCIAIS.....</b>	<b>58</b>
<b>Capítulo 4 – Considerações Finais.....</b>	<b>59</b>
<b>13. CONCLUSÃO FINAL.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é conhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social no Brasil. Por outro lado, comporta-se como grande geradora de resíduos, o que causa impacto ambiental. Por isso, existe um grande desafio em conciliar a atividade produtiva e lucrativa da construção com o desenvolvimento sustentável consciente.

Resíduos de construção estão se tornando um sério problema ambiental em muitas grandes cidades no mundo, a construção e demolição compõem 10 a 30% dos resíduos recebidos em muitos aterros sanitários em todo o mundo, a indústria da construção gera muito resíduos de construção que causam impactos sobre o meio ambiente e preocupação pública (BEGUM, SIWAR, PEREIRA E JAAFAR, 2006). O RCD no Brasil, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008, 61,2% das prestadoras dos serviços de manejo dos resíduos sólidos eram entidades vinculadas à administração direta do poder público, 34,5%, empresas privadas sob o regime de concessão pública ou terceirização e 4,3%, entidades organizadas sob a forma de autarquias, empresas públicas, sociedades de economia mista e consórcios (IBGE, 2010). Os municípios brasileiros coletaram cerca de 45,1 milhões de toneladas de RCD em 2016, o que configura uma diminuição de 0,08% em relação a 2015 (ABRELPE, 2016). Os resíduos sempre existirão e as políticas hoje existentes são voltadas quase que exclusivamente para a disposição controlada desses resíduos. Essa disposição deve ser feita em aterros o que tem significado alto custo em função de sua localização e distância em relação aos grandes centros. Além disso, a normalização desses aterros tem recebido aperfeiçoamento constante, visando controlar o risco de acidentes, o que tem elevado o preço desses serviços (SILVA, 2007). A reutilização do entulho também representa vantagens econômicas para a administração pública municipal, tais como: redução dos custos com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d'água e encostas, aumento da vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a necessidade de áreas para implantação de novos aterros, diminuição nos custos de operação dos aterros sanitários, pela diminuição do entulho, diminuição nos custos de pavimentação, infraestrutura urbana e construção de habitações

populares, geração de emprego e renda e criação de novas oportunidades de negócios (CARNEIRO, 2001).

Os benefícios gerados com a correta reciclagem em depósito dos resíduos da construção civil são iminentes, a construção civil utiliza muito de matéria prima na produção de seus materiais, o primeiro benefício está em menor uso de matéria prima por conta do reuso que torna os novos materiais suficientemente capazes de substituir qualquer um novo material, independente da finalidade, o bloco cerâmico reciclado pode ser usado novamente no levantamento de alvenarias sem qualquer problema (NASCIMENTO, 2015). As principais vantagens da reciclagem são, os altos preços para deposição de resíduos em aterros, tornam a reciclagem mais atrativa do ponto de vista financeiro para os geradores de resíduos, a reciclagem reduz o volume de extração de matérias-primas, minimizando os impactos gerados pela extração, a produção de materiais reciclados, redução da poluição, a incorporação de resíduos permite a produção de materiais de melhor qualidade, a reciclagem promove a redução de aterros e, conseqüentemente, a contaminação ambiental, problemas de saneamento público e custos sociais no gerenciamento de resíduos (ZORZETO, 2017). As vantagens da reciclagem do RCD são: Economia por dispensarem a compra de materiais novos, economia pela redução dos custos de remoção dos resíduos, ganho ambiental, economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais, pelo RCD, diminuição da poluição gerada pelo RCD e de suas conseqüências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos e preservação das reservas naturais de matéria-prima (INSTITUTO CENTRO DE CAPACITAÇÃO E APOIO AO EMPREENDEDOR, 2015).

Analisando o tijolo cerâmico, é visto como matéria prima mais abundante no País, por ser um produto mais barato é mais procurado pelas construtoras para reduzir custo das obras, suas diversas peças oferecem liberdade nas plantas dos ambientes, atendendo todo o tipo de construção. Os tijolos ou blocos cerâmicos são componentes básicos, bastante conhecidos e utilizados no processo de execução de alvenaria na construção civil, seja ela alvenaria de vedação, aquela que é executada para suportar seu próprio peso e pequenas cargas de ocupação como (pias, armários e lavatórios), ou estrutural, essa dimensionada com blocos altamente resistentes e que irão suportar as cargas da edificação (CAMPOS JÚNIOR, 2016). Os materiais básicos usados na sua fabricação são argila e água, que após manipulação básica, restrita a limpeza, ou seja, retirada de materiais orgânicos e outros componentes inconvenientes, são



homogeneizados com água e passados na “maromba”, equipamento extrusivo e de prensagem para dar forma transversal e consistência e ainda o corte para definir o comprimento do produto. Em seguida são colocados a secar, ao ar livre, em prateleiras rústicas sob coberturas, próximos aos fornos para aproveitar o calor. Conduzidos ao forno para a queima, que se dá em 3 etapas: a 1ª é o aquecimento dura de 8 a 13 horas e chega 650°C; na 2ª a temperatura atinge a 1200°C, é a fase das reações que conferem as propriedades do tijolo e se mantém por alguns dias, para uniformizar a temperatura alta no forno; e em 3º o resfriamento gradativo, de 24 a 36 horas, conforme as olarias (COSTA, 2017).

Este artigo tem como principal objetivo, mostrar como o RCD pode ser reutilizado em materiais da construção civil, para o estudo, será utilizado o bloco cerâmico, agregando em sua fabricação, de modo que seja possível avaliar sua resistência e qualidade, mostrando suas vantagens e desvantagens do processo e seu impacto no meio ambiente.

## **2. METODOLOGIA**

A síntese do artigo foi desenvolvida através de levantamentos de informações científicas e expostas na forma de revisão de literária, porém como critério de inclusão foi usado na língua portuguesa e inglesa. As fontes bibliográficas utilizadas nessa revisão foram obtidas da base de dado Google Acadêmico, Periódicos Capes e Scielo, correspondendo ao período de 2000-2018.

As palavras chaves usadas foram: Resíduo de Construção e Demolição, “Resíduo de Construção e Demolição”, Waste from Construction and Demolition, “Waste from Construction and Demolition,”, Bloco Cerâmico, “Bloco Cerâmico”, Ceramic Block, “Ceramic Block”, Reutilização de resíduo de construção, “Reutilização de resíduo de construção”, Reuse of construction waste, “Reuse of construction waste”, conforme a Tabela 1. O levantamento bibliográfico, foi realizado buscando estudos publicados sobre a resíduos da construção civil, chamados de RCD e blocos cerâmicos. Sendo assim, como objetivo principal estudar a influência da adição do RCD nas propriedades tecnológicas e microestruturais de cerâmica vermelha utilizada para fabricação de blocos.

Como critério de exclusão utilizou-se frequência de mesmos trabalhos em determinadas bases de dados, publicações em congressos, artigos, teses. O critério de

inclusão foi adicionado as seguintes palavras RCD, reutilização e bloco cerâmico para selecionar artigos específicos além das palavras já utilizadas anteriormente.

Tabela 1 – Palavras-chaves com trabalhos encontrados nas respectivas bases de dados.

<b>Palavra-chave</b>	<b>Google Acadêmico</b>	<b>Periódicos capes</b>	<b>Scielo</b>
Resíduo de Construção e Demolição	15.200	280	3
“Resíduo de Construção e Demolição”	867	5	3
Waste from Construction and Demolition	89.400	10.304	4
“Waste from Construction and Demolition”	449	13	4
Bloco Cerâmico	15.500	280	2
“Bloco Cerâmico”	2.270	170	2
Ceramic Block	2.140.000	38.494	4
“Ceramic Block”	7.550	774	4
Reutilização de resíduo de construção	15.500	700	-
“Reutilização de resíduo de construção”	-	-	-
Reuse of construction waste	305.000	18.037	4
“Reuse of construction waste”	276	9	4

### **3. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - RCD NO BRASIL**

No Brasil, país com dimensões continentais, este resíduo é conhecido como entulho, calça ou metralha. Numa linguagem mais técnica, o Resíduo da Construção e Demolição (RCD) é todo resíduo gerado no processo construtivo, de reforma, escavação ou demolição, é o conjunto de fragmentos ou restos de tijolo, concreto, argamassa, aço, madeira, etc., provenientes do desperdício na construção, reforma e/ou demolição de estruturas, como prédios, residências e pontes (ABRECON, 2018). A indústria da

construção, é um setor produtivo que possui considerável papel na economia do Brasil. Atualmente a maior consumidora de recursos naturais da sociedade, absorvendo de 20 a 50% desses recursos explorados no mundo (JOHN, 2001). No Brasil, existe um crescimento na participação dos RCD nas cidades brasileiras, diversas pesquisas realizadas mostram que o RCD já representa, 50% dos resíduos produzidos nas cidades brasileiras (CABRAL, 2007).

No mundo, a construção civil é responsável por entre 15 e 50 % do consumo dos recursos naturais extraídos. No Brasil, em volta das grandes cidades, areia e agregados naturais começam a ficar escassos, inclusive graças ao crescente controle ambiental da extração das matérias-primas. A construção civil consome cerca de 2/3 da madeira natural extraída, algumas matérias-primas tradicionais da construção civil, como cobre e zinco, têm reservas mapeadas escassas (INSTITUTO CENTRO DE CAPACITAÇÃO E APOIO AO EMPREENDEDOR, 2015). De acordo com o Gráfico 1, 56% de perda de material dentro dos canteiros de obra brasileiros é de cimento, após temos a areia com 44% de perda, blocos e tijolos com 13% e aço e concreto com 9%.

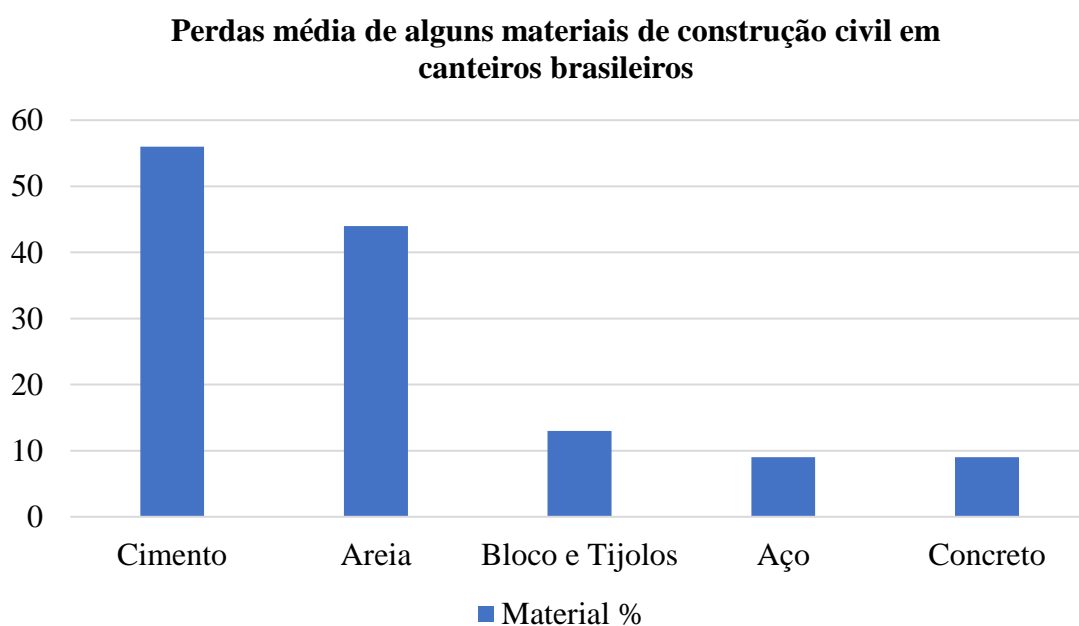


Gráfico 1 – Perdas média de alguns materiais de construção civil em canteiros brasileiros. Fonte: Instituto Centro de Capacitação e Apoio ao Empreendedor, 2015.

O RCD está presente em todo tipo de obra, a construção civil não é destaque somente como indústria de grande impacto na economia, também é a responsável por produzir 50% dos resíduos do país (SIENGE, 2017). No Brasil, estima-se que 61% do

total de resíduos gerados sejam representados pelos RCD e 28% pelos resíduos domiciliares (CORRÊA, BUTTLER E RAMALHO, 2009). O entulho, é gerado muitas vezes por deficiências nas atividades e processos da construção civil, por meio de falhas na execução de serviços e projetos, má qualidade dos materiais empregados, perdas e mal armazenamento, das reformas ou reconstrução (FROTA E MELO, 2014). Para minimizar o impacto gerado, a resolução no 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, classifica os diferentes tipos de resíduos gerados em obras de construção e determina possíveis destinos para cada um deles.

O RCD, são aqueles que podem ser reutilizados ou reciclados na própria obra como agregados, tais como: materiais cerâmicos, tijolos, azulejos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa, concreto e solos resultantes de obras de terraplanagem. Se não forem aproveitados na própria obra, esses resíduos devem ser encaminhados para usinas de reciclagem ou aterros de resíduos da construção civil e armazenados de modo a permitir sua reutilização ou reciclagem futura (EQUIPE DE OBRA, 2011). Dos resíduos das empresas pesquisadas em Manaus 50% são de classe A. Isso significa que as empresas deveriam ter uma melhor gestão dos resíduos em seus canteiros de obras, pois os resíduos de classe A estão ligados diretamente aos desperdícios nas execuções das obras, conforme mostra o Gráfico 2 (FROTA E MELO, 2014).

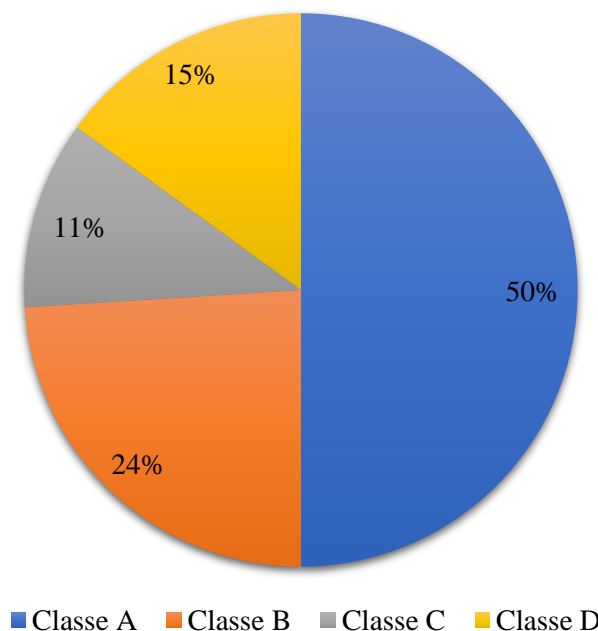


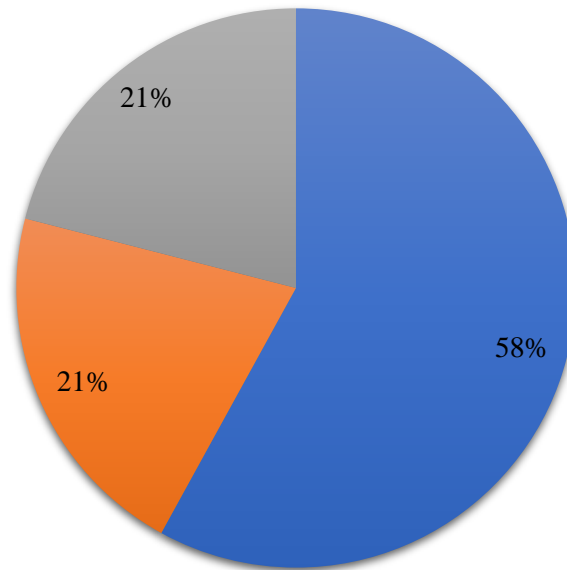
Gráfico 2 – Resíduos por classe - Manaus. Fonte: Frota e Melo, 2014.

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO RCD

Os resíduos apresentam uma vasta diversidade e complexidade, sendo que suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com a fonte ou atividade geradora, os resíduos são classificados (ABNT NBR 10004:2004).

O resíduo se apresenta na forma sólida, com características físicas variáveis, que dependem do seu processo gerador, podendo apresentar-se tanto em dimensões e geometrias já conhecidas dos materiais de construção, como em formatos e dimensões irregulares. É fundamental ressaltar ainda, a importância de classificar ou conhecer a fonte geradora desse entulho (construção, reforma, demolição ou desastres naturais) e ainda, o porte da obra sem deixar de mencionar a tipologia da construção (SILVA, 2014). A composição do RCD, é variável em função da região geográfica, da época do ano, do tipo de obra, dentre outros fatores. No Brasil, estima-se que, em média, 65% do material descartado é de origem mineral, 13% são madeira, 8% são plásticos e 14% são outros materiais. As construtoras são responsáveis pela geração de 20 a 25% desse entulho, sendo que o restante provém de reformas e de obras de autoconstrução (TECHNE, 2001).

A composição química está vinculada à composição de cada um de seus constituintes e é basicamente composto por: concretos, argamassas, pedras, cerâmica, cerâmica esmaltada, solos, areia e argila, que podem ser facilmente separados dos outros materiais por peneiramento, asfalto, metais ferrosos, madeiras, passíveis de reciclagem, embora esse processo nem sempre apresente vantagens que possam ser suportadas pelo atual estágio de desenvolvimento tecnológico. De acordo com o Gráfico 3, mostra que a maior porcentagem de RCD está vinculado a reformas ampliações demolições que são feitas no Brasil de 58% mais da metade do RCD do Brasil (CARNEIRO, 2001). As propriedades físico-químicas resíduos dependem das propriedades da matéria-prima, origem mineralógica, processo operacional e sua eficiência, sendo assim, é evidente a partir das características desses resíduos, gerados a partir de diferentes processos, que eles têm bons potenciais de reciclagem e utilização nos países em vários componentes de construção de valor agregado (PAPPU, SAXENA E ASOLEKAR, 2007).



- Reformas Ampliações e Demolições
- Edificações Novas
- Residências Novas (Acima de 300m²)

Gráfico 3 – Composição da Fonte Geradora do RCD no Brasil. Fonte: SILVA. M. B. DE. L.E. 2014.

De acordo com a Figura 1, a classificação de resíduos sólidos envolve primeiramente a identificação do processo de onde o mesmo foi gerido ou de sua origem, mostrando suas características, cujo pode ter impacto à saúde e ao meio ambiente. A identificação da sua origem dos resíduos, é uma parte importante para sua classificação, essa análise dos resíduos será avaliada na caracterização que deve ser estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem (ABNT NBR 10004:2004).

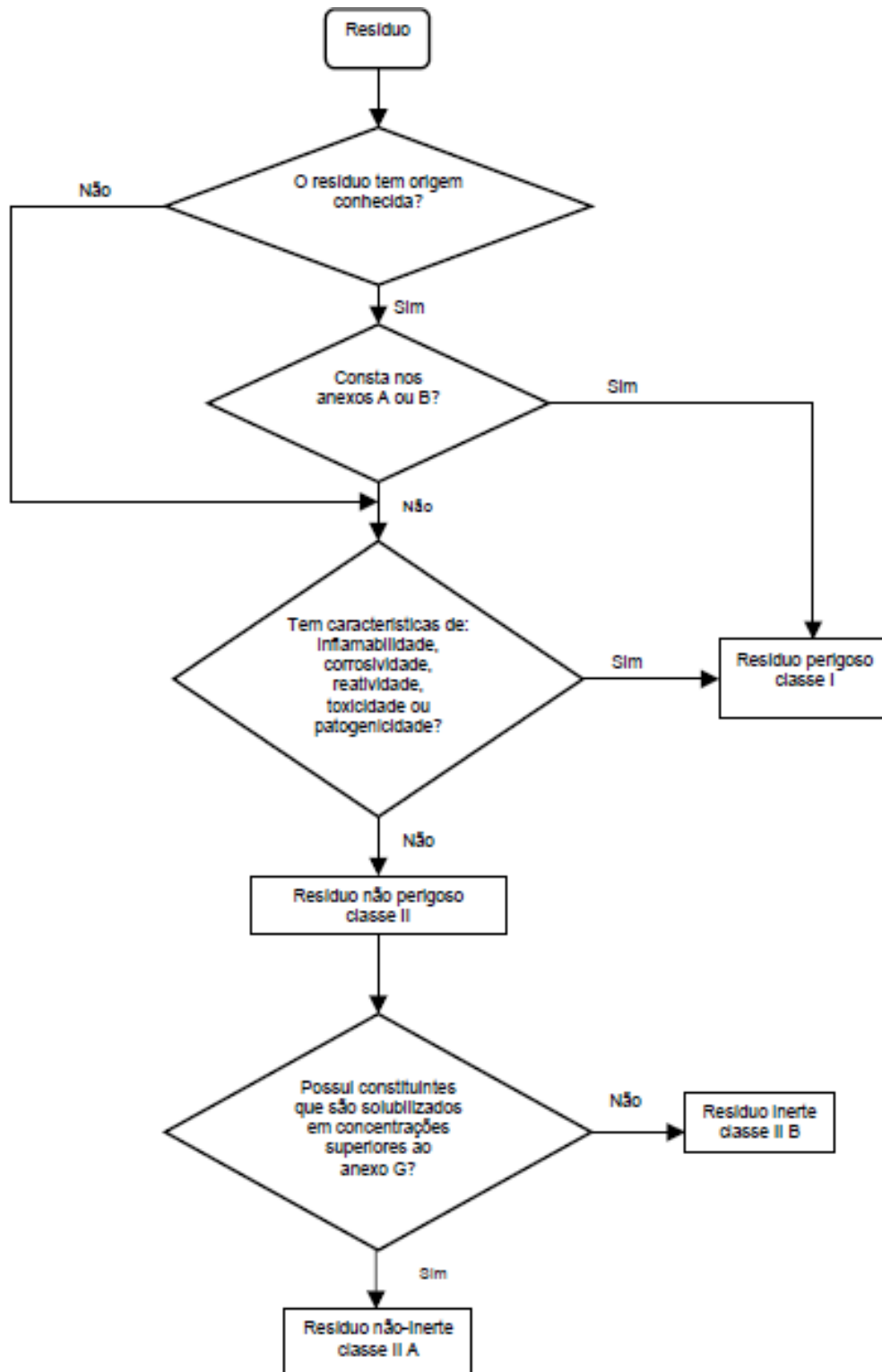


Figura 1 - Caracterização e classificação de resíduos. Fonte: ABNT NBR 10004:2004.

De acordo com SIEGE (2017), a composição dos resíduos sólidos da construção civil é classificada conforme resolução do CONAMA 307 Art. 3º, na prática os resíduos da construção resumem-se a materiais cerâmicos, argamassa e seus componentes, que representam em média 90% de todos os resíduos gerados em obras, conforme a Figura 2.

Tabela 2 – Composição dos resíduos sólidos da construção civil.

<b>Classe</b>	<b>Descrição do resíduo</b>	<b>Exemplo</b>
A	Materiais que podem ser reciclados ou reutilizados como agregado em obras de infraestrutura, edificações e canteiro de obras.	Tijolos, telhas e revestimentos cerâmicos; blocos e tubos de concreto e argamassa.
B	Materiais que podem ser reciclados e ganhar outras destinações.	Vidro, gesso, madeira, plástico, papelão e outros.
C	Itens para o qual não existe ou não é viável aplicação econômica para recuperação ou reciclagem.	Estopas, lixas, panos e pincéis desde que não tenham contato com substância que o classifique como D.
D	Aqueles compostos ou em contato de materiais/substâncias nocivos à saúde.	Solvente e tintas; telhas e materiais de amianto; entulho de reformas em clínicas e instalações industriais que possam estar contaminados.

Fonte: SIENGE. Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil. 2017.

### 3.2. REUTILIZAÇÃO DO RCD

Os resíduos de construções e demolições representam de 40 a 70% de todos os rejeitos sólidos nas cidades brasileiras de médio e grande porte. A produção anual gira em torno dos 84 milhões de m<sup>3</sup> e menos da metade dessa quantidade (cerca de 46%) é reciclada (NIERO, 2016). As fontes geradoras de RCD são permanentes, pois, sempre existirão obras sendo executadas, dando lugar a reformas e demolições. O uso das edificações contribui em maior ou menor escala para impactar o meio ambiente, pois, consomem energia elétrica para iluminação, condicionamento de ar, aquecimento interno,



acionamento de motores etc., e grande quantidade de água para diversas finalidades (MENEZES, 2011).

As causas da geração, podem se destacar algumas causas de geração desses resíduos, sendo: reforma de construções existentes, demolição de construções existentes, superprodução, perdas de processamento, construções defeituosas que demandam a demolição e reconstrução, uso de materiais com vida útil reduzida, como estruturas de concreto pré moldadas, falta de qualidade dos serviços ou bens da construção que podem gerar perdas materiais, urbanização desordenada que gera construção falhas que demandam adaptações e reformas, o aumento do poder aquisitivo da população que facilita o desenvolvimento da construção civil e os desastres naturais ou provocados pelo homem (SIENGE, 2017).

O RCD é gerado principalmente na fase de vedações e acabamento, esse fato é, em grande parte, devido a deficiências no planejamento da execução destas etapas. Na tentativa de minimizar a distância entre projeto e execução, foram desenvolvidos métodos de racionalização construtiva (LACÔRTE, 2013). A geração do resíduo, é bem significativa, podendo representar mais da metade dos resíduos sólidos urbanos. Estima-se que a geração se situa em torno de 450 kg hab.<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, variando naturalmente de cidade a cidade e com a oscilação da economia (CASTRO, 2012).

Em linhas gerais, os RCD são gerados em três etapas distintas: durante a construção, a manutenção e a demolição. A indústria da construção civil destaca-se como uma grande geradora de resíduos, e, a quantidade destes é diretamente proporcional ao grau de desenvolvimento de uma cidade, resultado da maior atividade econômica e dos hábitos de consumo decorrentes, espaços para trabalho, moradia e lazer (SILVA, 2014). De acordo como mostra a Tabela 2, entre 2015 e 2016 teve uma redução de 2% do RCD que é coletado no Brasil, significando que em alguns municípios brasileiros as coletas não estão sendo feitas de maneira adequada, assim impactando no aumento da quantidade de RCD. Os estados que tiveram influenciaram nessa redução foram Norte, Centro-Oeste e Sudeste.

Tabela 3 – Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil (t dia<sup>-1</sup>) nos anos de 2015 e 2016.

<b>Região</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Brasil	123.721	123.619
Norte	4.736	4.720
Nordeste	24.310	24.387
Centro-Oeste	13.916	13.813
Sudeste	64.097	63.981
Sul	16.662	16.718

Fonte: ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2016.

Quando observados os Resíduos de Construção e Demolição, nota-se que a reciclagem está muito abaixo do esperado, países como a Holanda reciclam cerca de 90% desses resíduos, o Brasil recicla apenas 21%. No país existem 310 usinas de reciclagem, dentre as quais apenas 74% operam plenamente, ou seja, o potencial de crescimento da reciclagem de RCD é muito grande, mas ainda falta incentivo do governo, conhecimento do mercado e resíduos de qualidade (ZORZETO, 2017).

Os três principais tipos de materiais derivados da maioria do RCD são, concreto triturado, alvenaria triturada e resíduos mistos de demolição. Após esmagamento e beneficiamento em reciclagem, os agregados resultantes podem ser atribuídos a uma a quatro tipos, agregados de concreto reciclado, agregado de alvenaria reciclado, agregados reciclados mistos, agregados reciclados de construção e demolição (SILVA,2014). O processo de reciclagem, para a obtenção de agregados, basicamente envolve a seleção dos materiais recicláveis e a trituração em equipamentos apropriados. Os resíduos encontrados predominantemente que são recicláveis para a produção de agregados, pertencem a três grupos, conforme a Tabela 3 (ABRECON, 2018). Alguns materiais são reusados para o mesmo propósito, por exemplo: madeiras de escoramento, portas, janelas, telhas, etc. Outros materiais são reusados para propósitos diferentes, por exemplo: embalagens, tijolos quebrados, cerâmica etc. A Tabela 4, mostra as formas de reciclagem dos RCD.

Tabela 4 – Produção de Agregados – Classificação.

<b>Grupo I</b>	<b>Grupo II</b>	<b>Grupo III</b>
Materiais compostos de cimento, cal, areia e brita: concretos, argamassa, blocos de concreto.	Materiais cerâmicos: telhas, manilhas, tijolos, azulejos.	Materiais não-recicláveis: solo, gesso, metal, madeira, papel, plástico, matéria orgânica, vidro e isopor. Desses materiais, alguns são passíveis de serem selecionados e encaminhados para outros usos. Assim, embalagens de papel e papelão, madeira e mesmo vidro e metal podem ser recolhidos para reutilização ou reciclagem.

Fonte: ABRECON. 2018.

Tabela 5 - Reciclagem dos Resíduos

<b>Madeira</b>	Produção de chapas de madeira aglomerada ou, em casos mais raros, usada na alimentação de fornos.
<b>Materiais Cerâmicos</b>	Os materiais são britados e reaproveitados como agregado.
<b>Materiais Cimentícios</b>	Os materiais são britados e reaproveitados como agregado.
<b>Metais</b>	Encaminhados como sucata para depósitos de ferro-velho ou siderúrgicas.
<b>Plásticos</b>	Após processar o material, podem recolocá-lo no mercado, inclusive em outras utilizações, como embalagens.
<b>Outros</b>	Gesso, tecidos, papéis: podem ser processados nas indústrias especializadas em cada tipo de material.

Fonte: Instituto Centro de Capacitação e Apoio ao Empreendedor, 2015.

Atualmente a área dos materiais cerâmicos tem sido amplamente estudada a fim de obtenção de novos materiais a partir de matérias-primas alternativas, os resultados com o resíduo do vidro, indicaram que este tipo de resíduo tem potencial para o uso em cerâmica vermelha, devido ao seu caráter inerte e seu poder como material fundente. (CALDAS, 2012). O estudo da influência da adição do resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades tecnológicas da cerâmica vermelha. Utilizando assim, o resíduo de cinza como matéria-prima alternativa para substituição parcial da argila. Foram estudadas cinco formulações com 0, 5, 10, 15 e 20 % em peso de resíduo misturado com argila cauliníticas. A temperatura estudada foi de 1000°C e as propriedades analisadas foram retração linear, absorção de água, massa específica aparente, porosidade aparente e resistência à compressão. Os resultados deste trabalho mostraram que o resíduo pode ser utilizado como matéria-prima alternativa, pois influencia positivamente na resistência mecânica em incorporações de até 10% (FARIA, 2012).

Utilizando o RCD na incorporação de tijolo cerâmico, temos os ensaios de resistência à compressão, concluiu-se que na temperatura de 900 °C, que é próxima da temperatura atingida nos fornos à lenha utilizados para produção de tijolos, todas as composições apresentam resistência à compressão superior a 4 MPa, ou seja, tijolo maciço, além disso, a composição com 40% de RCD apresenta esta resistência (> 4 MPa) para todas as temperaturas de queima, sendo desta forma a composição mais indicada para a produção de tijolos maciços. Os resultados indicam que é possível a utilização do RCD com esta argila para a produção de tijolos cerâmicos, obtendo-se um material cerâmico com boas propriedades físicas. Os corpos de provas com 40% de RCD e temperatura de queima de 900 °C apresentaram excelentes propriedades podendo ser considerados a composição e temperatura ideais. A reutilização do RCD, diminui o consumo de argila, e o impacto ambiental devido ao imenso volume de RCD descartado inadequadamente (GASPARETO, 2017). Ao utilizar resíduos como matéria-prima em substituição aos materiais tradicionais, é necessário que esse insumo apresente padrões compatíveis com a sua utilização, nos casos em que o material reciclado e o natural têm o mesmo custo, o diferencial será a qualidade do produto, de forma a garantir que o produto é ambientalmente correto (CARNEIRO, 2001).

### 3.3.IMPACTO E GESTÃO DO RCD

As aplicações em relação a redução de impactos ambientais estão aumentando nos dias de hoje, sendo assim, edifícios que causam menos efeitos ambientais gerando ou reduzindo seus resíduos. Os resíduos ocorrem conforme o ciclo de vida dos edifícios, durante as fases de construção e demolição, que acaba se tornando sérios problemas ambientais em muitos países (ESIN E COSGUN, 2006). Os materiais de construção são muito significativos em, porque 90% do tempo de um indivíduo é em edifícios ou infraestruturas, contudo, a construção é responsável porque leva 50% das matérias primas da natureza, consome 40% da energia total e cria 50% do total de resíduos (OIKONOMOU, 2005). Há impactos, desde a fabricação do cimento e o transporte de materiais até a formação de um lago por uma barragem ou alteração de uma área por terraplanagem. Esses reflexos são de cunho ambiental, social e até mesmo econômico. A obra, localizada em um espaço urbano, já um tanto alterado, à primeira vista não parece causar danos significativos, porém pode-se perceber, e prever, danos como a impermeabilização de boa parte do terreno, o impacto visual causado pela obra, poeira e barulho causados, geração de resíduos da construção, entre muitos outros que poderiam ser citados. Quando não há gestão, é também um dos grandes vilões do ambiente urbano. O entulho acumulado é vetor de doenças como a dengue, febre amarela e chamicui de insetos e roedores (SILVA, 2013). Os impactos ambientais são causados pela má gestão do RCD, são devido à não gestão correta dos resíduos, a falta de políticas impacta na destinação dos resíduos (FROTA E MELO, 2014).

Os resíduos de construção e demolição são classificados por exceção na ABNT NBR 10004 como inertes. O problema da quantidade de entulho gerada está na sua forma de depósito, em muitas vezes não são destinados a locais corretos, podendo ser causador de diversos problemas sociais e ambientais, os resíduos são aceitos por proprietários de imóveis que os empregam como aterro, normalmente sem maiores preocupações com o controle técnico do processo. Esta prática pode levar a problemas futuros nas construções erguidas nestas áreas (NASCIMENTO, 2015). Os custos com a gestão dos resíduos, são elevados e crescentes, entretanto, 78% dos municípios brasileiros destinam menos de 5% dos recursos do seu orçamento para a gestão dos RSU (BRASIL, 2002).

Grande parte dos problemas causados pela ineficiente gestão dos RCD, é motivada pela falta de uma infraestrutura básica que crie condições mínimas para a gestão dos RCD. O município de Manaus, possui sistema de transporte razoável, porém não

possui um local adequado de disposição final e, além disso, muitos geradores desconhecem ou ignoram a atual legislação. Esta situação ocorre enquanto todo território brasileiro (FROTA E MELO, 2014). Às definições oficiais, o decreto 307 do CONAMA e a Lei 12.305/2010 – PNRS são as principais referências, além destas, existem as recomendações técnicas, que orientam os profissionais, as principais delas, se tratando de RCD (NACIMENTO, 2015).

Desde 2002, está em vigor a Resolução nº307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que obriga os municípios a darem um correto destino aos RCD, impedindo-os de os descartarem em locais não licenciados, além de obrigar que o RCD do tipo A, formado basicamente por restos de concreto, argamassa, cerâmica vermelha e rochas, sejam reciclados e aproveitados como agregados ou depositados em locais previamente licenciados, para uma reciclagem futura (OLIVEIRA, SALES, OLIVEIRA E CABRAL, 2011). A construção civil é grande geradora do resíduo que é impossível deixar o destino dos resíduos gerados por ela a encargo dos responsáveis por cada obra, sendo assim, existem normas e leis para regulamentar os resíduos que sobram diariamente. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, tem participação através da NBR 15112, NBR 15113 e NBR 15114 relacionadas as diretrizes para projeto, implantação e operação implantação e operação de áreas de manejo, nas NBRs 15115 e 15116 sobre o uso de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil, conforme mostra a Tabela 6 (SIENGE, 2017).

Tabela 6 – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Relacionadas a Resíduos.

NBR 15112	Áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos
NBR 15113	Aterros para resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes
NBR 15114	Área de reciclagem para resíduos sólidos da Construção civil
NBR 15115	Procedimentos para que agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil sejam utilizados na execução de camadas de pavimentação
NBR 15116	Requisitos para que agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil sejam utilizados na execução de camadas de pavimentação

Fonte: SIENGE. Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil. 2017.

Ao iniciar a obra é necessário apresentar o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) do empreendimento para o órgão fiscalizador, a fiscalização é realizada ao término da obra, irá comparar a quantidade estimada com a realizada de resíduos através de documentos da sua empresa e da empresa contratada para coleta, no canteiro de obras cria-se um processo de segregação dos resíduos para reciclagem ou descarte correto, esse processo ajuda na organização e limpeza dentro da obra (SIENGE, 2017). Uma gestão de resíduos, é necessária para identificar as causas dos resíduos de construção, é de grande importância estruturar maneiras de minimizá-lo como a solução para o desperdício, deve ser obrigatório o plano de gestão de resíduos, além de estratégias de redução, questões econômicas na construção (TAM, 2006).

Os resíduos de concreto formam a maior fonte de resíduos sólidos de construção, o que contribui para cerca de 50% do total de resíduos de construção, a reciclagem dos resíduos é a melhor opção para reduzir as quantidades de resíduos geradas pelo setor da construção civil, influenciando no custo e na produção de novos materiais para a nova produção de materiais, sendo assim, a reciclagem de resíduos para nova produção de

materiais, é um método econômico que também ajuda a proteger o meio ambiente e alcança a construção sustentável (TAM, 2008).

#### **4. CONCLUSÕES PARCIAIS**

De acordo com os dados mostrados foram notados déficits no reaproveitamento do resíduo, a gestão correta de RCD tanto protege a saúde pública e abre caminho para a fabricação de novos materiais para o setor da construção civil, quanto as porcentagens de resíduo gerado no Brasil, não há um consenso na literatura.

As empresas são capazes de fazer o manejo correto do resíduo com a implementação de um sistema de gestão eficaz que é baseada em programas específicos e treinamentos. A reciclagem de RCD como agregado para ser misturado no material é a alternativa mais difundida e aceita no meio técnico por possuir estudos mais consolidados. Os resíduos de construção, apresentam grande potencial para sua reutilização, gerando novos materiais ou agregados, também sendo aplicando na composição de materiais já existentes para melhorar sua qualidade, durabilidade ou resistência. A reutilização feita conforme as normas, gera grande benefício ao meio ambiente, diminuindo a quantidade de resíduos que seriam descartados de maneira incorreta que iriam para na natureza ou até mesmo na zona urbana.

O aproveitamento dos resíduos da construção civil é viável e contribui para o futuro sustentável do mundo, aproveitar os resíduos na própria obra reduz gastos na compra de novos insumos, reduz o m<sup>3</sup> de resíduos e contribui para a produção de insumos mais baratos. A sustentabilidade, tão almejada pela sociedade atual, certamente só será atingida se a construção civil, umas das principais, consumidora de matéria-prima e geradora de resíduos, tornar-se sustentável, a correta gestão dos seus resíduos já é um importante passo para a realização disto.



## **Capítulo 2 – Compatibilidade do resíduo de construção civil e demolição na produção de tijolo cerâmico**

---

### **5. INTRODUÇÃO**

Os produtos industriais que utilizam argila como matéria-prima são inúmeros; por exemplo, cerâmica artística, agentes ligantes, cosméticos, materiais isolantes térmicos, lamas para perfuração, dentre outros. Dentre as aplicações da argila, o segmento de revestimentos cerâmicos é um dos mais importantes (SOUZA et al., 2005). Esse segmento faz parte com outras indústrias (cerâmica vermelha, sanitários, indústria cimenteira e vidreira) do conjunto de cadeias produtivas do Complexo da Construção Civil (CABRAL et al., 2014). Todavia, o alto consumo de recursos naturais faz com que a indústria da Construção Civil necessite alcançar o equilíbrio entre produtividade e atendimento dos objetivos globais de desenvolvimento sustentável (MEDEIROS et al., 2018). Dados estatísticos mostram que a cadeia produtiva da Construção Civil consome entre 20 e 50% dos recursos naturais de todo o planeta (HOLANDA; SILVA, 2011). Sendo os grandes produtores da indústria cerâmica Brasil, Espanha, Itália e China, com quase toda produção é consumida nesses países (REINALDO FILHO; BEZERRA, 2010). Somente no setor de cerâmica vermelha, branca e revestimentos brasileiros faturaram cerca de US\$ 5 bilhões anuais (MOTTA; ZANARDO; JUNIOR, 2001).

Dentre as argilas, a produção de materiais cerâmicos brasileiros destacam-se as misturas de argilas compostas pelo argilomineral caulinita com presença marcante de gibsita (VIEIRA et al., 2004). No caso do Estado do Amazonas, os minerais argilosos caulínicos mais usados pela indústria ceramista local são encontrados em aluviões recentes e planícies de inundação (GUYOT et al., 2007, DE FÁTIMA ROSSETTI; MANN DE TOLEDO; GÓES, 2005, HORBE; HORBE; SUGUIO, 2004). Basicamente, as argilas são pouco plásticas, oriundas de depósitos residuais formados de alteração de rochas da Formação Alter do Chão e argilas levemente arenosas, oriundas de Latossolos. Essas argilas são empregadas na indústria da cerâmica vermelha, além de serem utilizadas na construção de aterros, preparo de argamassas e produção de cimento Portland.

Além de consumir os recursos naturais, a Construção Civil é responsável pela geração de grandes quantidades de RCD. Esse tipo de resíduo tornou-se um problema

mundial, cuja estimativa mostra que dos 41% do resíduo urbano, cerca de 70% é RCD (AMADEI et al., 2011). A maior fração do RCD é de materiais inertes, variando entre 40% e 85% do volume total (MÁLIA; BRITO, 2011). Os RCD constituem uma mistura de materiais, formadas por cerâmicas, papel, metais (ferro, alumínio, cobre etc.), vidro, plástico entre outros. Esses materiais, desde que não estejam contaminados, possuem valor econômico no mercado de reciclagem, ou mesmo podem ser reaproveitados pela própria indústria da Construção Civil (BARROS; JORGE, 2008). O RCD serve como matéria prima para agregados de ótima qualidade, podendo ser utilizado para confecção de tijolos, blocos pré-moldados, meio-fio, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base, pavimentos entre outros (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

No Brasil a reciclagem de RCD tem dois momentos: 1º. Antes da publicação da resolução do CONAMA 307, em que apenas 16 usinas de reciclagem funcionavam até 2002 e 2º. Após a resolução que em 2018 já somam 47 usinas em funcionamento. Sendo que, as usinas estão divididas em 42% são públicas e o restante privadas (MIRANDA; ANGULO; CARELI, 2009). Em termos gerais, cada material desprezado durante uma obra pode contribuir como matéria prima alternativas na própria Construção Civil. Essa afirmação como base a composição química dos materiais usados na Construção Civil, a grande maioria desses resíduos, bem como das matérias-primas naturais (plástico, fluxante ou inerte) contêm, como componentes principais, sílica  $\text{SiO}_2$ , alumina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e cal  $\text{CaO}$ . Todos contêm quantidades menores de outros componentes, que serão afetam a cor do produto queimado ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), mas não deve desempenhar um papel tão importante durante o processamento de cerâmica no ar a baixas temperaturas. Em todos eles os outros componentes menores ( $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ) irá atuar como fluxos e pode ter um efeito forte durante a sinterização (BIANCHINI et al., 2005).

Apesar de terem composições químicas que podem ser similares antes do reaproveitamento do RCD é necessário avaliar sua adequação. A partir do resultado estabelecer ser o RCD a melhor estratégia de reaproveitamento. O RCD poderá ser usado diretamente como matéria-prima ou aditivo. Dentre os pré-requisitos necessário para o reaproveitamento do RCD está uma caracterização completa da composição química e mineralógica, tamanho de partículas, entre outros (SEGADÃES, 2005).

Considerando a importância da caracterização da argila e do RCD, o objetivo deste trabalho é avaliar a compatibilidade do RCD com a argila, na composição dos blocos ou tijolos cerâmicos.

## **6. MATERIAIS E MÉTODOS**

A amostra usada neste trabalho é formada por uma mistura homogênea de argilas gibbsíticas e goethíticas, oriundas pela oscilação do lençol freático e pelo trabalho de transporte do rio Negro foi gentilmente cedida por uma olaria situada na Estrada de Negro, Iranduba – Amazonas. Essa olaria tem utilizado essa mistura em seu processo produtivo para ter uma melhor consistência dos tijolos (ABREU et al., 2012). A amostra foi classificada por ser inorgânica com alta plasticidade; ou seja, ela possui alta compressibilidade com limite de liquidez de 59,1% e limite de plasticidade de 56,25%. O RCD foi doado de uma construtora de pequeno porte situada na cidade de Manaus – Amazonas, proveniente de uma demolição feita em edifício unifamiliar, que por motivos de reformas teve que ser demolido para a construção de uma nova área. O RCD utilizado foi retirado apenas dessa obra para facilitar a coleta no mês de dezembro de 2017. As amostras de argila e RCD foram secas e destorroadas, passadas em peneira #200 (0,074 mm). Sendo então submetidas a análise granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade, FRX e DRX.

O ensaio de granulometria foi realizado conforme a ABNT NBR 6457/2016 e ABNT NBR 7181/2016. O limite de liquidez, foi realizado conforme a ABNT NBR 6459/2016 e o limite de plasticidade ABNT NBR 7180/2016. O FRX da Argila e do RCD foram realizadas em equipamento da marca PANalytical, modelo EPSILON 3-XL, com tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA e gás hélio com pressão de 10 kgf cm<sup>-2</sup>, que quantifica os elementos de F a U, o DRX foi analisado em amostra finamente triturada, homogeneizada em equipamento da marca BRUKER, modelo D2 – PHASER.

## **7. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As massas cerâmicas utilizadas pela indústria cerâmica, em geral, são compostas de uma mistura de materiais não plásticos e material argiloso, uma vez que não poderiam ser constituídas somente de argilas plásticas, o preparo de uma massa cerâmica exige o conhecimento dos materiais que a compõem, para se desenvolver uma mistura dos componentes nas proporções exatas, que permita a obtenção de um produto cerâmico com propriedades adequadas ao seu uso (PRACIDELLI E MELCHIADES, 1997).

A fabricação da cerâmica vermelha se inicia no processo de moldagem do barro mole, contendo argila, seu endurecimento e posterior aquecimento ou secagem ao solo, tem componentes essenciais o feldspato, a sílica e a argila e, suas proporções dependem do resultado final que se deseja, sendo assim é necessário o conhecimento de suas matérias primas, pois contribuem diretamente para a melhora das propriedades do produto, possibilitando flexibilidade, redução de custos de produção e aumento no valor agregado do produto, a caracterização adequada de argilas para aplicação em cerâmica vermelha é reflexo na produtividade e qualidade dos produtos, cujas etapas de produção são a extração da matéria prima, a preparação da matéria prima e da massa, a moldagem, que é a formação das peças, a secagem, garantindo a uniformidade entre as peças, o cozimento e o resfriamento (CERAMICA SALEMA, 2016).

A argila é um material natural, terroso, de granulometria fina, e suscetível à moldagem por apresentar consistência plástica em presença de certa quantidade de água, pode apresentar características como composições química e mineralógica, cor e plasticidade diferentes em função do processo de formação e de fatores de alteração durante sua consolidação, as características química e mineralógica se inter-relacionam e influenciam as propriedades cerâmicas, produtos finais da indústria (REIS, 2014).

A realização dos ensaios de caracterização de argilas e composição de massa traz diversos benefícios para a cerâmica, sendo a otimização de seus processos produtivos evitando o retrabalho de mão de obra, reduzindo o consumo de energia e desgaste de peças e equipamentos no processo de produção, melhorando a qualidade e a conformidade de seu produto cerâmico (CS CARIMBOS, 2015).

Os métodos tradicionais de caracterização de RCD, baseiam-se em determinar a composição do resíduo, visualmente, em termos da proporção de concreto, argamassa e materiais cerâmicos, sendo que tal avaliação não permite separar, adequadamente, concreto e argamassa, porque é difícil avaliar o teor presente de pasta de cimento ou, até mesmo, a porosidade da mesma (ANGULO, 2005).

A composição química do RCD pode ser um dos parâmetros decisivos na avaliação da possibilidade de utilização do material reciclado em aplicações diversas, várias pesquisas demonstram que o teor de pasta de cimento aderida, que pode ser estimada a partir da composição química, está associado à porosidade dos agregados reciclados, os resíduos de construção e demolição se apresentam na forma sólida, dependendo do seu processo gerador, podem variar suas características físicas, tendo dimensões e geometrias semelhantes ao dos materiais de construção convencionais (areia

e brita) ou até possuindo em sua composição, grãos com formatos e dimensões irregulares (MORAND, 2016).

Os resíduos de construção são constituídos de uma ampla variedade de produtos, que podem ser classificados em solos, materiais cerâmicos (rochas naturais, concreto, argamassas a base de cimento e cal, resíduos de cerâmica vermelha, como tijolos e telhas, cerâmica branca, especialmente a de revestimento, cimento-amianto, gesso, vidro), materiais metálicos e materiais orgânicos (madeira natural ou industrializada, plásticos diversos, materiais betuminosos, tintas e adesivos, papel de embalagem, restos de vegetais e outros produtos de limpeza de terrenos), a proporção entre estas fases é muito variável e depende da origem (JOHN, 2000).

A utilização do RCD como agregado pode trazer um benefício ambiental duplo, estudos já realizados, mostraram que o primeiro passo para o desenvolvimento de ações visando ao gerenciamento eficaz do RCD é a realização de um diagnóstico local, identificando aspectos referentes a esses resíduos tais como origem, taxa de geração, agentes envolvidos na geração e coleta, destinação final, composição entre outros, que servem de base para o dimensionamento de ações para o atendimento da resolução vigente (BRASILEIRO, 2015). É fundamental um estudo das características físico-químicas e as propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados, a compreensão do processo que leva a geração do resíduo fornece informações imprescindíveis à concepção de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado, sendo assim importante investigar a variabilidade das fontes de fornecimento de matérias-primas, é possível operar com matérias-primas bastantes variáveis mantendo sob controle as características do produto principal variando, no entanto, a composição dos resíduos (ÂNGULO, 2001).

A massa específica obtida nos ensaios referentes a argila é caracterizada por mostrar que um valor 0,1% menor do RCD para a argila natural (Tabela 7). Segundo Neville (1997), a massa específica dos agregados para serem usados na reciclagem devem ter valores entre  $2,6 \text{ g/cm}^3$  e  $2,7 \text{ g/cm}^3$ . Por se tratar de RCD, o valor de massa específica é consequência do tipo de material com que compõem esse passivo ambiental. Por outro lado, a umidade higroscópica foi muito superior na argila do que no RCD.

Esses resultados também foram reportados na literatura cuja explicação é atribuída ao fato à porosidade diferente do RCD e do material natural. Além disso, observa-se uma considerável variabilidade de porosidade do RCD devido aos valores reduzidos de massa específica.

Agora o fato de agregados apresentarem massa específica com valores menores que materiais naturais, como argilas, podem ser usados de maneira satisfatória na confecção de artefatos reciclados de concreto. Usar materiais com massa específica menor, possibilita a produção de peças com propriedade físicas e química da ordem ou mesmo melhores àquelas peças feitas materiais naturais (SOUZA; ASSIS; SOUTO, 2014). Outra característica bastante relevante seria a esbeltes de peças com seções bastante reduzidas, no qual pode significar uma considerável redução econômica do empreendimento (CABRAL, 2007).

Ao comparar os resultados mostrado na Tabela 7, motiva o emprego do RCD estudado como material reciclado o que evitaria o acúmulo de resíduos sólido, que necessite ser removido ou transportado para aterros sanitário e/ou de resíduos sólidos. Deve ser mencionada que essa operação aumenta o custo da obra devido ao gasto de combustível para o transporte. Segundo (SOUZA; ASSIS; SOUTO, 2014), o acúmulo de RCD também tem provocado alterações na arquitetura da paisagem ao modificar a morfologia da superfície ou topografia das áreas de destinação do material demolido. Esses autores também afirmam que o uso de agregados reciclados permite diminuir a quantidade de emissões contaminantes ao meio ambiente (HANSEN, 1986).

Muito embora, (TOPÇU, 1997) citar a faixa de valores para a massa específica do agregado miúdo reciclado apresentada pela Sociedade de Construtores Prediais do Japão B.C.S.J. (1977) como recomendada o valor entre  $1.970 \text{ kg/m}^3$  e  $2.140 \text{ kg/m}^3$ , os valores encontrados neste trabalho tem como característica ter uma diferença de 3,8% do RCD para a argila usada para produzir tijolos para a construção civil na região de Manaus.

Para a maioria dos solos a massa específica oscila de  $2,65$  a  $2,85 \text{ g/cm}^3$ , diminui para solos que contêm elevado teor de matéria orgânica e cresce para solos ricos em óxidos de ferro, portanto o seu conhecimento é importante como complemento na caracterização de solos (ALEXRANDRE, 2000).

As informações encontradas na finalização do ensaio de granulometria são que na amostra de argila em que pode ser afirmado que 47% na amostra é composta por argila e na amostra do RCD, podemos observar algumas diferenças entre as amostras 1 e 2, porém a média 47% do material em análise é composto por areia média, porém o segundo componente que aparece em grande proporção nas amostras são de silte com 42% nas amostras de argila e para o resíduo tirando a média das duas amostras temos 17% de silte, conforme mostra a Tabela 8. A quantidade de areia apresentada na amostra do resíduo, é significativa o que pode alterar os resultados das propriedades do material, em especial

os relacionados à resistência, sendo assim, comporta-se como um material não plástico com fração areia de 47%.

Numa argila, quanto maior a fração argila, maior será o conteúdo de argilominerais, conseqüentemente, maior será sua plasticidade (CAPITANEO, 2003). É importante ressaltar que os teores de materiais plásticos e não plásticos estão relacionados diretamente com a plasticidade, podendo influenciar nos fatores tecnológicos como conformação, retração de secagem, resistência mecânica e ainda no comportamento de queima das peças. Os solos finos, em particular as argilas, são moldáveis quando umedecidos ao trabalhar com as argilas, é possível identificar que existe uma quantidade de água ideal para moldagem. De acordo com o Triângulo Textural (Figura 2), podemos observar que o material foi classificado como argilo siltosa. Sendo assim, podemos classificar a argila como um material com teor de matéria orgânica do solo (Figura 3).

Uma massa cerâmica por não poder ser constituída apenas por argila, em virtude de dificuldade que surgiriam no processamento, é formulada contendo materiais não plásticos, o que acarreta uma “mistura” de granulometrias, sendo a fração mais “fina” associada à argila e as demais (“mais grosseira”) relacionadas aos materiais friáveis (MACEDO, 2008).

Na fabricação da cerâmica vermelha, procura-se determinar a mínima quantidade de água necessária para permitir uma moldagem adequada, uma vez que teores excessivos de água poderão gerar elevadas contrações durante as etapas de secagem e queima (resultando em deformações e fissuras) e um aumento da porosidade da cerâmica, com conseqüente perda de resistência mecânica e aumento de permeabilidade a água (COSTA, 2017). No que diz respeito a aspectos granulométricos o conteúdo de argila predomina sobre silte e areia, apresentaram textura argilosa, argilo-arenosa e argilo-siltos (RODRIGUES, 2015).

Os teores de materiais plásticos e não plásticos estão relacionados diretamente com a plasticidade, podendo influenciar nos fatores tecnológicos como conformação, retração de secagem, resistência mecânica e ainda no comportamento de queima das peças (CALDAS, 2012).

Tabela 7 – Umidade Higroscópica e Massa Específica da Argila e do RCD.

Resultados Encontrados na Granulometria da Argila e o RCD			
Material	Umidade Higroscópica – Amostra 1	Umidade Higroscópica – Amostra 2	Massa Específica dos Grãos
Argila	4,82%	5,06%	2,62 g/cm <sup>3</sup>
RCD	0,74%	-	2,52 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 8 – Análise Granulométrica da Argila e do RCD.

Material	% de Material Argila	% de Material RCD
20 < Pedregulho grosso < 60	0%	0%
6,0 < Pedregulho médio < 20,0	0%	0%
2,0 < Pedregulho fino < 6,0	1,4%	0%
0,60 < Areia grossa < 2,0	0,49%	16,94%
0,20 < Areia média < 0,6	1,02%	47,22%
0,06 < Areia fina < 0,20	6,63%	14,07%
0,002 < Silte < 0,06	42,96%	17,07%
Argila < 0,002	47,50%	5,15%

Fonte: Autor, 2018.



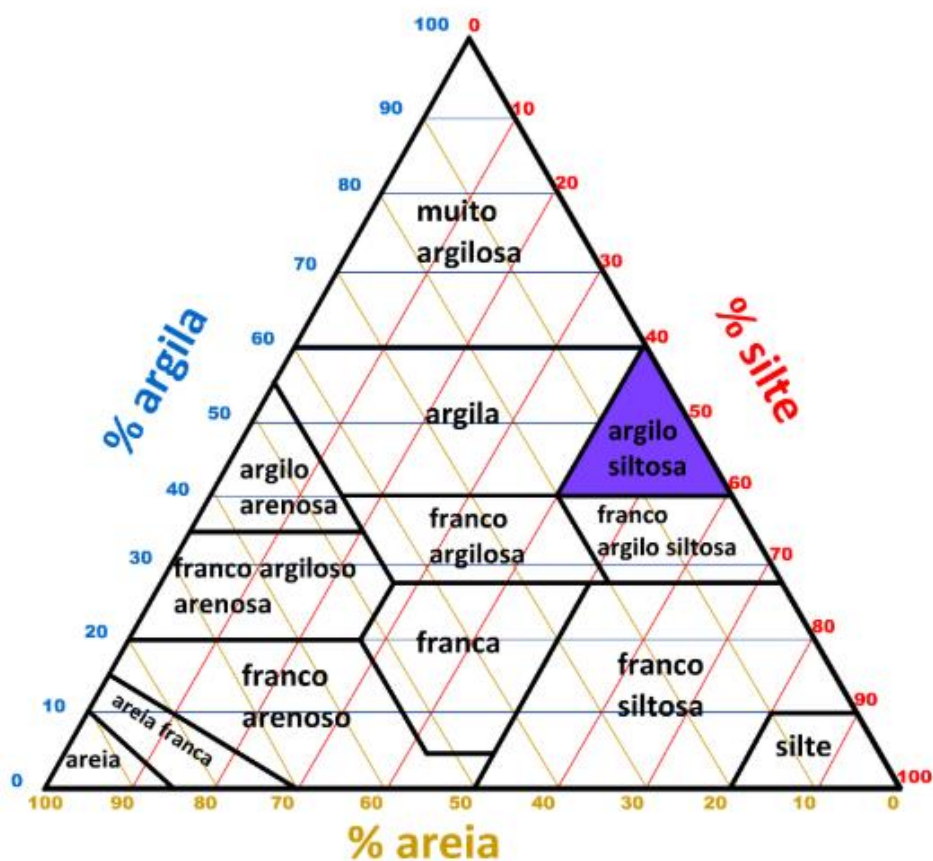


Figura 2 – Triângulo Textural. Fonte: QUOOS. 2019.

Propriedades/Comportamento do solo	Areia	Silte	Argila
Capacidade de retenção de água	Baixa	Média a Alta	Alta
Aeração	Boa	Média	Pobre
Taxa de drenagem	Alta	Lenta a Média	Muito Lenta
Teor de Matéria Orgânica do solo	Baixo	Médio a Alto	Alto a Médio
Decomposição de Matéria Orgânica	Rápido	Média	Lenta
Aquecimento na primavera	Rápida	Moderado	Lento
Susceptibilidade a compactação	Baixa	Média	Alta
Susceptibilidade a erosão eólica	Moderada	Alta	Baixa
Susceptibilidade a erosão hídrica	Baixa	Alta	Solo agregado - Baixa Solo não agregado-Alta
Potencial de expansão e contração	Muito Baixa	Baixo	Moderado a Muito Alto
Adequabilidade para construção de represas e aterros	Baixa	Baixa	Alta
Capacidade de cultivo após chuva	Boa	Média	Baixa
Potencial de lixiviação de poluentes	Alto	Médio	Baixo
Capacidade de armazenamento de nutrientes	Baixa	Média a Alta	Alta
Resistência à mudança de pH	Baixa	Média	Alta

Figura 3 – Influência das frações (areia, silte e argila) em algumas propriedades e comportamento do solo.

Fonte: Revista Agropecuária. 2019.

Os resultados da FRX da Argila e do Resíduo, tem como objetivo identificar a composição química. Sendo assim, conforme a Figura 4, podemos identificar que o componente químico em maior porcentagem da argila é o Si (Silício) com 57,8% e no RCD também é o Si (Silício) com 52,5%. O Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) e Dióxido de silício ( $SiO_2$ ), encontrados nas amostras de resíduos e argila, está associado principalmente à caulinita, minerais abundantes nesta região. Os dois elementos, tem maior concentração na amostra analisada da argila com 64% ( $SiO_2$ ) e 25% ( $Al_2O_3$ ), elementos estes característicos das massas para produção da cerâmica vermelha. Na amostra de RCD temos 65% ( $SiO_2$ ) e 10% ( $Al_2O_3$ ), que está associado aos diversos tipos silicatos, provenientes das partículas mistas de pasta de cimento endurecida e de agregados naturais, rochas naturais, cerâmica vermelha e branca.

Nas argilas, a sílica ( $SiO_2$ ) apresenta-se normalmente na forma de sílica livre (quartzo) ou presente nos minerais argilosos, já a alumina ( $Al_2O_3$ ) que é o segundo elemento mais abundante na composição das argilas encontra-se quase sempre formando parte da estrutura dos aluminossilicatos como a caulinita e minerais micáceos, que a alumina também pode estar presente na forma livre como gibsitita, o óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ), está presente como uma das impurezas mais frequentes associadas às argilas ou formando parte do cristal argiloso, este óxido é o responsável pela coloração avermelhada das argilas (CALDAS, 2012). A presença de gibsitita é um indicativo de que parte do  $Al_2O_3$ , não está ligado aos silicatos do argilomioneral, a presença de goetita justifica o alto teor de ferro na argila, evidencia que parte do ferro presente está na forma de hidróxido (CAPITANEO, 2003).

No RCD, a argamassa também tem alta concentração de areia (sílica), além do material cerâmico formado a partir das argilas. A maior concentração de ferro está associada a cor vermelha das argilas e material cerâmico (cerâmica vermelha), no RCD a maior concentração de cálcio está associada à presença da cal nas argamassas (GASPARETO, 2017).

O cálcio apresentou concentração média de quase 28%, na amostra de resíduo, está expressiva quantidade de cálcio é, provavelmente do cimento Portland e na cal hidratada utilizados na elaboração de concretos e argamassas, a presença de alumínio e ferro em baixas concentrações deve ter origem na argila utilizada também na fabricação do cimento Portland (LASSO, 2013).

A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é o principal óxido constituinte do RCD, sua origem está associada aos agregados naturais do concreto e da argamassa presentes no RCD, a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e o óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) são os outros óxidos mais representativos, a alumina está relacionada, à presença da cerâmica vermelha e do solo e, secundariamente, à presença de feldspatos e do cimento, o óxido de cálcio está associado ao aglomerante (pasta de cimento endurecida, cal, gesso, etc.) presente em componentes construtivos, já que os agregados originais não são de natureza calcária (ULSEN, 2010). Os óxidos alcalinos contribuem pouco na formação da fase líquida em função dos baixos teores apresentados em todas as argilas, a presença da caulinita nas argilas pode ser confirmada através dos baixos teores obtidos dos óxidos alcalinos e dos altos teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (SAVAZZINI-REIS, 2016).

O alto teor de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) está relacionado à presença de silicatos (caulinita e illita/mica) e, também, a sílica livre, o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) está em sua maior parte combinada formando silicatos e também na forma de hidróxido de alumínio (gibbsite) (MAIA, 2012).

A caracterização química deve incluir não apenas a composição química média, mas também a caracterização e quantificação de diferentes fases eventualmente presentes, considerando, compostos químicos, que mesmo em baixas concentrações apresentam riscos quando da produção, manipulação, utilização e deposição final, especialmente no caso de resíduos classificados como nocivos ao ambiente (JONH,1997).

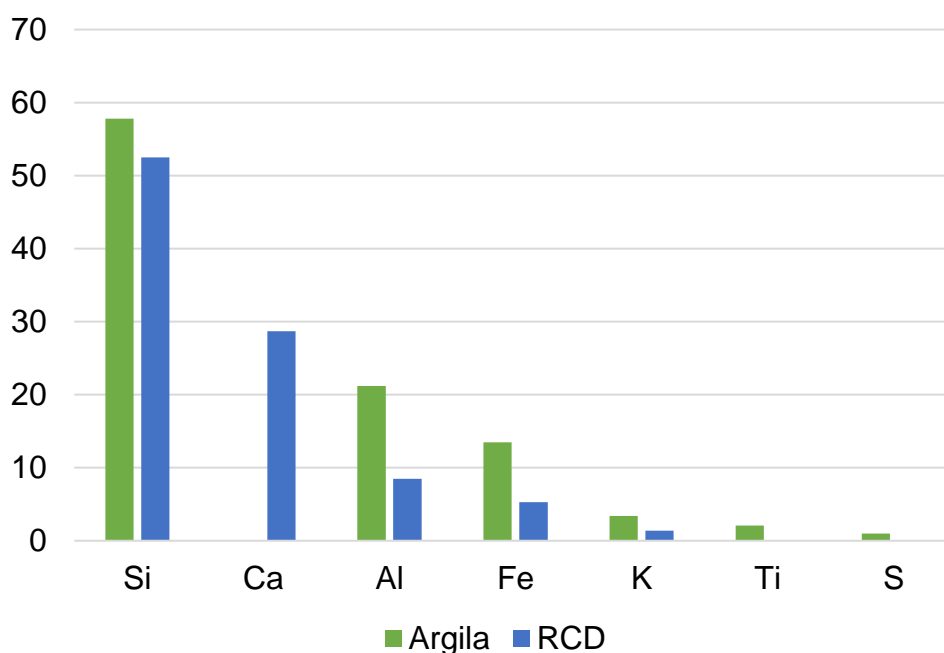


Figura 4 – Resultado de FRX – Elementos – Argila e RCD. Fonte: Autor, 2018.

A difração de raios X das frações argilas é bem conhecida, ela é usada para revelar as fases cristalinas existentes dentre as quais destacam-se os argilominerais como illita, caulim, além de quartzo e cristobalita (mineral a base de silício) (MARIANI, 2013). Os resultados de difração de raios X da Argila e do RCD são mostrados na Figura 5. As reflexões mostradas na difração de raios X para a argila é remarcada por ter uma maior intensidade de quartzo seguida de caulinita. A presença de reflexões de quartzo com alta intensidade já foi registrada na literatura para argilas da região de Iranduba (KOUMROUYAN; SANTANA, 2008).

A presença da caulinita observada na difração de raios X estão de acordo com o resultado da fluorescência de raios X. Outro estudo, revela que as argilas, extraídas para composição da massa cerâmica dos produtos de cerâmica vermelha, do polo oleiro dos municípios de Iranduba e Manacapuru, são constituídas basicamente por quartzo, caulinita, illita/muscovita, esmectita, feldspato e hematita, portanto, os resultados de DRX se assemelham com os dados de composição (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-CPRM, 2006).

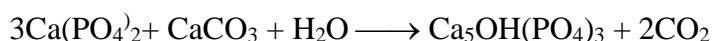
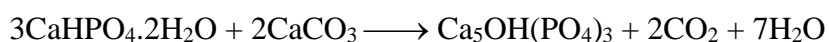
A presença de caulinita de baixa cristalinidade juntamente com montmorilonita confere a essas argilas elevadas plasticidade (GALESI, 2005). Particularmente para a caulinita, a composição química sugere que este argilomineral pode apresentar substituições isomórficas. Os valores de óxidos de ferro sugerem que esse elemento pode ser um dos substituintes isomórficos presentes na caulinita. De fato, as reflexões entre 15 e 25  $2\theta$ (grau) sugerem a presença de uma caulinita composta por camadas aperiódicas devido à presença de substituintes isomórfica. (COUCEIRO; SANTANA, 1999) já identificaram a presença de ferro como substituinte em caulinitas provenientes de solos da região de Manaus. Nota-se que apesar de ter sido detectada uma quantidade razoável de titânio nenhuma fase cristalina relativa à minerais desse mineral foi identificada. Por ser considerado um mineral acessório, é bastante comum ser ou não identificadas fases cristalinas de mineral de titânio. Por outro lado, (SILVA; LAGES; SANTANA, 2017) conseguiram identificar mineral de titânio em caulinita da região de Manaus.

As massas argilosas apresentam quartzo cristalino, provavelmente na forma de areia, devido ao quartzo influenciar o comportamento de plasticidade das massas argilosas (MAIA, 2012).

Apesar de conter quantidades de silício e alumínio, o difratograma de raios X do RCD mostra apenas como fase cristalina o quartzo (Figura 4). Ao comparar com a

composição química apresentada na Figura 4 pode ser afirmado que o alumínio, bem como, ferro e cálcio não formam uma fase cristalina. Esses elementos estão presentes na composição do RCD fazendo parte de materiais com estrutura cristalina amorfa. É interessante afirmar que o difratograma de raios X mostra uma consequência do processo de transformação química do cimento. Durante o processo de transformação química são formadas várias soluções sólidas envolvendo o alumínio, cálcio e ferro. Por causa desse fenômeno, o estudo de difração de raios X para identificar e quantificar fases cristalinas envolvendo os elementos alumínio, cálcio, ferro e próprio silício são mais apurados.

Fato que está além do objetivo deste trabalho. Só para se ter uma ideia (GUIRADO; GALÍ; CHINCHÓN, 2000) ao estudarem o processo de cura de um cimento comercial conseguiram identificar várias fases e soluções sólidas no concreto produzido:  $CA_{1-x}F_x, C_{12}A_7, C_2AS, \beta-C_2S, C_2A_{1-x}F_x, Ca_{20}Al_{32-2v}Mg_vSi_vO_{68}$  entre outras. Adicionalmente, deve ser mencionado a conversão da calcita durante o processo de cura do cimento que dependem dos materiais usados. Nesse processo ocorrem reações em que são formadas espécies amorfas hidroxiladas e/ou com tamanho médio de partículas muito baixo para serem detectadas pela difração de raios X. (MIRTCHI; LEMAÎTRE; MUNTING, 1990) mostrou ao estudar as reações de fosfato de cálcio em cimentos como ocorre as reações envolvidas, com destaque para:



Em termos gerais, tem-se nos materiais estudado que o quartzo é responsável pela propriedade de contração durante a secagem das peças cerâmicas e formadora de fase vítrea, enquanto ambos os elementos, indicam silicatos, que são argilominerais, e as micas e feldspatos, que são fundentes responsáveis por conferir resistência mecânica, quando sinterizados com temperaturas entre 950 e 1.000 °C.

A argila estudada neste contém teor de quartzo adequado, segundo Reis (2014) responsável por auxiliar a redução da retração linear. Além disso, a argila contém o teor de ferro necessário para a obtenção de uma coloração avermelhada e característica dos produtos de cerâmica estrutural (MORENO, 2016). Já o RCD é caracterizado por ter também alta concentração de areia (sílica), além do material cerâmico formado a partir das argilas. A maior concentração de ferro está associada a cor avermelhada das argilas e material cerâmico (cerâmica vermelha). No RCD muito provavelmente a alta concentração de cálcio pode estar associada à presença da cal nas argamassas, um

material com baixa cristalinidade e/ou formado por cristalitos de carbonatos oxihidratados de cálcio (GASPARETO, 2017).

O quartzo age como redutor de plasticidade, sendo possivelmente um dos motivos para se ter massas com limites de plasticidade adequados para cerâmica vermelha, sem a necessidade de adição de materiais friáveis, caso apresentem altos teores de argilominerais (fração argila), provavelmente teriam alta plasticidade e seriam inadequadas (ou comprometeria em muito) ao processamento por extrusão (MACEDO, 2008).

Incorporando o RCD na Argila, podemos analisar no ensaio de DRX que as porcentagens 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% de RCD, mostra que o pico de maior intensidade ainda é do Quartzo, após os material está misturando, sendo assim, a composição do material não teve alteração, conforme mostra a Figura 6.

A partir dos ensaios realizados para a caracterização dos materiais observou-se que a argila utilizada como a matéria prima para produção de tijolos cerâmicos tem alta concentração de argila e apresenta, alta plasticidade, sendo a caulinita é o principal argilomineral, com mica e compostos (óxidos e hidróxidos) de ferro e alumínio como minerais secundários (GASPARETO, 2017).

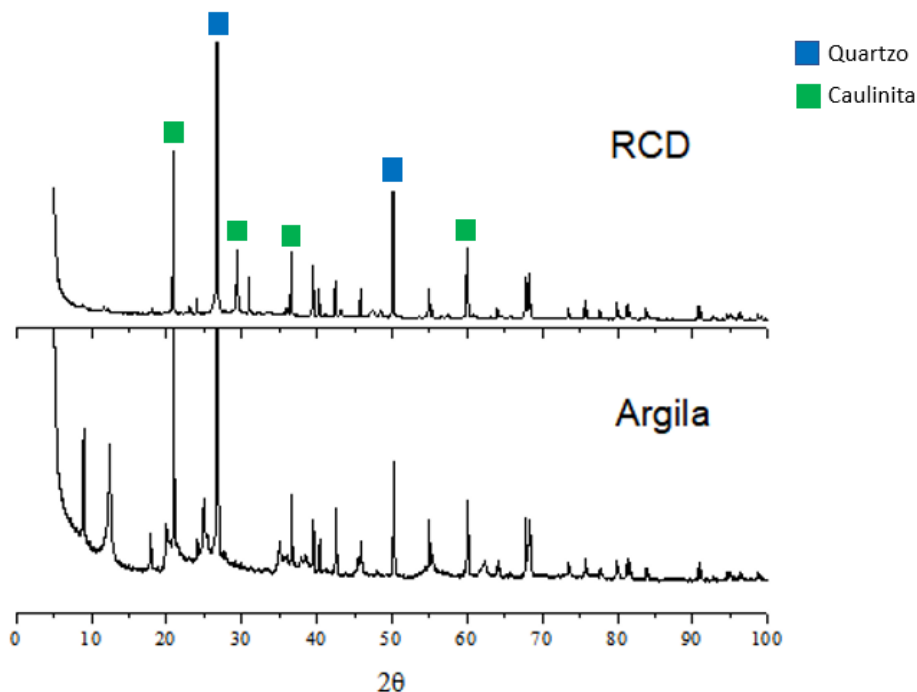


Figura 5 – Resultado do DRX da Argila e do RCD. Fonte: Autor, 2018.

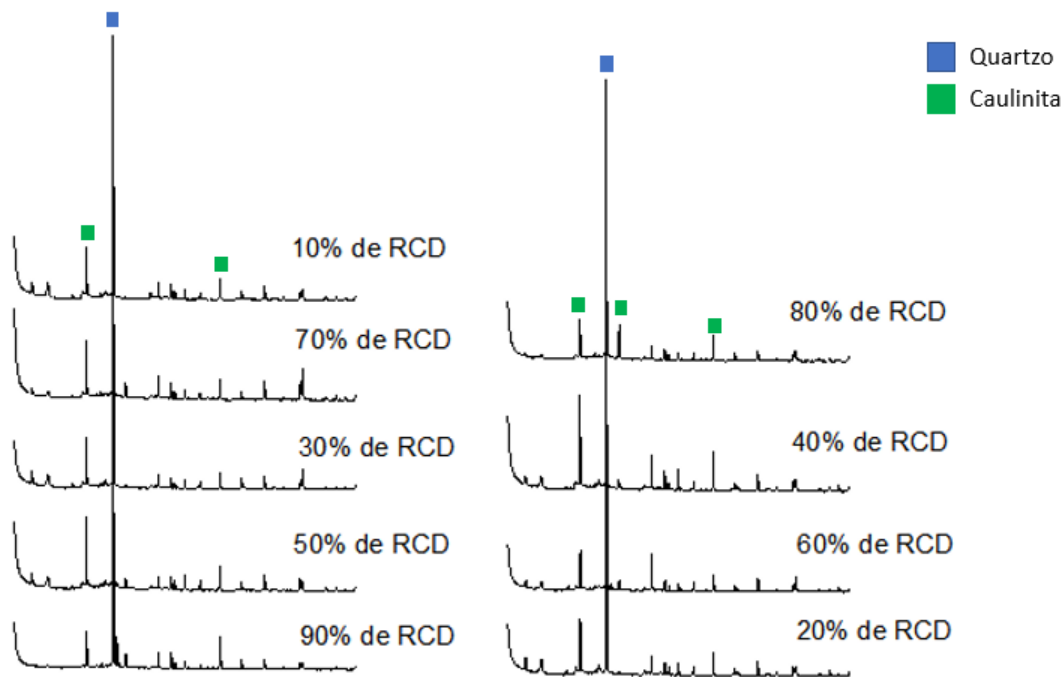


Figura 6 – Resultado do DRX da Mistura de Argila e RCD com 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90%. Fonte: Autor, 2019.

## 8. CONCLUSÕES PARCIAIS

De acordo com as características da argila, destaca-se a granulometria muito fina, diversidade química e estrutural, dispersão fácil em água, elevada plasticidade e boa homogeneidade, a gama de valores apresentados faz com que exista inúmeras variedades de argilas e inúmeras aplicações dentro setor da construção civil. As amostras de argila apresentaram um percentual elevado para a fração de argila, mostrando que se trata de um material com elevada plasticidade. Dessa forma, para o preparo de uma massa cerâmica é recomendado incorporar um material menos plástico, para melhorar o rendimento da produção e a trabalhabilidade com a matéria prima.

Pela aplicação das técnicas de difração de raios X, fluorescência de raios X, foi possível a determinação da composição mineralógica das argilas, em todas as amostras os minerais predominantes foram caulinita, quartzo. O RCD é constituído principalmente de quartzo, ou seja, material não plástico, um material predominantemente arenoso, com partículas finas não plásticas, porém as estruturas de ambos são similares, conforme mostra as análises, facilitando a incorporação do resíduo na massa cerâmica. A caracterização química da argila usada como matéria-prima demonstrou que o segundo

mineral predominante é a caulinita, sendo a argila considerada sílico aluminosa. A argila contém teor de quartzo adequado que auxilia na reduzida retração linear e contém o necessário teor de ferro para obtenção da cor avermelhada característica dos produtos de cerâmica estrutural.

A caracterização física e química da argila e do RCD, a matéria-prima foi considerada apropriada para a produção industrial de blocos ou tijolos cerâmicos, principalmente pela distribuição do tamanho das partículas, onde havia uma concentração adequada de silte e argila nas amostras de argila e de silte nas amostras do resíduo, sendo assim podendo ser feito a incorporação de RCD em matrizes cerâmicas apresenta elevado potencial, atuando no aumento significativo na resistência mecânica, durabilidade e qualidade do material. A reutilização deste resíduo, diminui o consumo de argila, e o impacto ambiental e social devido ao imenso volume de RCD descartado inadequadamente. Além disso, pode significar uma redução dos preços na construção civil, devido à utilização de matéria-prima mais barata e da redução do gasto com a destinação dos resíduos. Com o estudo pode-se concluir que a caracterização das argilas e

da mistura argilosa com o RCD, permite verificar se são adequadas para produção de cerâmica vermelha, bem como, a necessidade de adequações no processo produtivo para melhoria de qualidade dos produtos. Porém, a matéria-prima argilosa usada nas fábricas, na maioria dos casos é escolhida empiricamente, sem testes de caracterização e classificação de uso, dificultando a padronização e qualidade do produto. O RCD, pode ser reciclado e utilizado no próprio canteiro de obra, usando equipamentos para reciclagem não apenas reduz os custos, mas ajuda a preservar os recursos naturais e minimizar os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil, os agregados naturais são recursos finitos e esgotáveis, sendo assim, no futuro a substituição pela reciclagem deixará de ser algo opcional e passará a ser obrigatório.



# Capítulo 3 – Compatibilidade do resíduo de construção civil e demolição na produção de tijolo cerâmico

---

## 9. INTRODUÇÃO

A construção civil é um importante segmento da indústria brasileira, tida com um indicativo de crescimento econômico e social. Contudo, está também se constituindo em uma atividade geradora de impactos ambientais (PINTO; GONZÁLES, 2005). Os resíduos da construção civil, são os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis, são constituídos por restos de argamassa e concreto, materiais cerâmicos, metais, plásticos, madeiras, papéis e vidros. Os três primeiros, que normalmente são encontrados em maior volume, podem ser transformados em agregados para uso, por exemplo, em matrizes de solo-cimento, e a grande maioria dos outros resíduos pode ser separada do RCD e reciclada, as deposições irregulares e aterros clandestinos são comuns e provocam desperdício de materiais nobres e elevados dispêndios para as ações corretivas (GASPARETO, 2017). Atualmente, os Resíduos da Construção Civil e Demolição se tornaram um entrave para as empreiteiras, pois é de responsabilidade do gerador dar a destinação ambientalmente adequada (PORTAL RESÍDUO SÓLIDO, 2019).

Resolução CONAMA 307 Art. 3º: Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma: I – Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto, c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras; II – Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; III – Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; IV – Classe D – são resíduos perigosos

oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (CONAMA, 2002).

A construção civil tem uma importante participação nos impactos causados ao meio, é um setor que consome grande parte dos recursos naturais, transforma ambientes naturais em ambientes construídos modificando a paisagem e é um grande gerador de resíduos (SILVA, 2017). As empresas de construção civil geram grandes quantidades de resíduos, estas podem por meio do gerenciamento das etapas de construção, reduzir as perdas e minimizar a geração dos resíduos, que podem ser reutilizados e reciclados, deixando de ser um problema econômico, social e ambiental, em Manaus a classificação dos resíduos gerados houve a maior geração de resíduos classe A com 77 e 67%, depois os resíduos classes B como 20 e 30% e os menos gerados foram os resíduos classe D com 3%, os dados mostram que grande parte dos resíduos gerados podem ser reutilizados e reciclados (SILVA, 2017). Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, os resíduos da construção civil compõem cerca de 50 a 70% dos resíduos sólidos urbanos (IPEA, 2012).

Os tijolos podem ser constituídos de diferentes materiais, sendo mais utilizados a cerâmica ou o concreto, ele deve ter características com um padrão determinado para sua eficiência, como apresentar resistência à compressão adequada, durabilidade frente aos agentes agressivos, dimensões uniformes e resistir ao fogo. Os tijolos de cerâmica são fabricados utilizando, principalmente, argilas de várzea, com alta plasticidade, misturadas com argilas menos plásticas e são moldados com arestas vivas e retilíneas e queimados (sinterizados) utilizando fornos simples que utilizam principalmente à lenha como combustível (GASPARETO, 2017). O sistema, para a obtenção de um produto cerâmico estrutural, o tijolo, pode ser dividido em cinco grandes fases. A extração da matéria-prima, a preparação da matéria-prima, a conformação, o tratamento térmico e produto (MOTTA ; CABRAL JR; TANNO; ZANARDO, 2001). Mais de 50% dos produtos fabricados são cerâmicas vermelhas estruturais, que são os tijolos de construção e acabamentos, azulejos, pisos, tijolos para pavimentação, telhas, tubulações e ladrilhos. Os produtos cerâmicos variam conforme as matérias-primas utilizadas, o tipo de queima e o tipo de produto desejado. Além de serem confeccionadas em altas temperaturas para ocorrer a sintetização das propriedades (CALLISTER JR, 2013).

O resíduo sólido da construção civil e demolição, mostrou-se viável ao incorporar 30% a massa cerâmica, sem ocasionar grandes perdas de propriedades essenciais aos produtos cerâmicos (SANTOS, 2017). O setor cerâmico tem um grande potencial em incorporar os rejeitos sólidos, principalmente, adicionando-os a massa cerâmica, de maneira que não afete as propriedades dos produtos confeccionados (CRUZ, 2012). A incorporação na argila, ou misturas de argilas, de RCD, vem dando origem a tijolos, surge como uma das formas de reutilizar este resíduo (AZEVEDO, 2014). A incorporação de resíduos na matriz cerâmica permite que a indústria tenha uma economia de matéria prima argilosa, que haja uma obtenção de produtos bons para o meio ambiente e, possivelmente, uma redução do consumo de energia (LUCAS; BENATTI, 2008). Os objetivos principais deste trabalho é produzir um tijolo cerâmico com menor quantidade de matéria prima natural, encontrar uma utilização ou reutilização dos RCD.

## **10. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para avaliar o desempenho dos corpos de prova, com substituição parcial por RCD, foi desenvolvida uma metodologia experimental:

- Inicialmente fez-se uma redução da granulometria de todo o resíduo recolhido para que, o tamanho do RCD se aproximasse ao das partículas de argila.
- Efetuaram-se as misturas para a elaboração dos corpos de prova de ensaio, incorporando o RCD nas percentagens 0% de RCD (somente argila), 0% de Argila (somente RCD), 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90%. De acordo com a norma M – CIENTEC – C – 018/1995.
- Após a preparação das misturas realizou-se a queima dos corpos de prova a 950°C de acordo com a norma M – CIENTEC – C 027/1995.
- Efetuou-se um ensaio de resistência à flexão de 3 pontos com o equipamento Prensa de Compressão e Tração com a velocidade de deformação 1,27 mm/min, anel 100kgf - M – CIENTEC – C 027/1995.
- Ensaio de Determinação de Absorção de Água após Queima de acordo com a norma M – CIENTEC – C 022/1995.
- Ensaio de Determinação de Contração Linear de Secagem de acordo com a norma M – CIENTEC – C 021/1995.

- Ensaio de Determinação da Porosidade Aparente após Queima de acordo com a norma M – CIENTEC – C 023/1995.
- Ensaio de Determinação da Massa Especifica Aparente após Queima de acordo com a norma M – CIENTEC – C 0224/1995.
- Ensaio de Determinação da Contração Linear após Queima de acordo com a norma M – CIENTEC – C 026/1995.
- Ensaio de Determinação da Perda ao Fogo de acordo com a norma M – CIENTEC – C 028/1995.

Todos os corpos de prova tiveram uma massa total de 20 g, sem a adição de água. O RCD foi adicionado à argila, de acordo com as percentagens atrás referidas em relação à massa total de argila sem a adição de água. Após a homogeneização e a realização das misturas (argila e RCD), adicionou-se 8% de água para fazer uma massa pastosa, de acordo com a com a norma M – CIENTEC – C – 018/1995, conforme mostra a Figura 7.

A mistura de argila, RCD e água foi colocada numa forma, previamente untada com óleo para auxiliar no desenformar, prensado a uma carga de 200 kgf/m<sup>2</sup> sobre o material do molde, realizando 6 corpos de prova por dosagem, colocando em uma bandeja metálica deixando secar ao ar por 24 horas e após em estufa elétrica a 110°C por 24 horas, conforme Figura 8, podendo proceder a queima a 950 °C durante 3 horas nesta temperatura conforme a norma M – CIENTEC – C 027/1995, conforme Figura 9.

A tensão de ruptura à flexão de 3 pontos com o equipamento Prensa de Compressão e Tração com a velocidade de deformação 1,27 mm/min, anel 100 kgf, conforme a norma M – CIENTEC – C 027/1995, conforme a Figura 10. Após o ensaio de resistência, pesaram-se os fragmentos dos corpos de prova, realizou o Ensaio de Determinação de Absorção de Água após Queima de acordo com a norma M – CIENTEC – C 022/1995, Ensaio de Determinação da Porosidade Aparente após Queima de acordo com a norma M – CIENTEC – C 023/1995, Ensaio de Determinação da Massa Especifica Aparente após Queima de acordo com a norma M – CIENTEC – C 0224/1995.



Figura 7 - Corpos de Prova prensado antes da queima com 8% de água. Fonte: Autor, (2019).



Figura 8 - Prensa Hidráulica. Fonte: Autor, (2019).



Figura 9 - Material pronto para a queima a 950°C na Mufla. Fonte: Autor, (2019).



Figura 10 - Prensa de Compressão e Tração. Fonte: Autor, (2019).

## 11. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A resistência mecânica é uma propriedade fortemente dependente da temperatura de queima, em geral o aumento da temperatura de queima, aumenta a resistência; isto se deve à presença de uma estrutura mais densa, menor porosidade (ZANOTTO, E. D.; MIGLIORI, A. R, 1991). As peças cerâmicas queimadas a 850, 950 e 1050 °C superaram a resistência mínima desejada para fabricação de peças como, tijolos de alvenaria, tijolos furado e telhas. A incorporação do resíduo melhorou a resistência mecânica da argila. Isso ocorreu por causa da combinação de fatores como, redução da perda de massa durante a queima, atuação das partículas de compostos de ferro como inibidores de propagação de trinca ou grau de empacotamento a seco (VIEIRA et al., 2011).

Para temperaturas de queima até cerca de 950 °C observa-se a existência de uma microestrutura porosa mais favorável para fabricar tijolos e blocos cerâmicos. De acordo com a literatura esses produtos por natureza devem ser notadamente mais porosos, para que eles possam ser usados no processo construtivo de forma adequada, entretanto temperaturas de queima acima de 950 °C a microestrutura é suave e mais densa, favorecendo a produção de telhas e tubos (PINHEIRO; HOLANDA, 2000). Segundo a NBR 15270-1, à resistência à compressão, a norma classifica os tijolos maciços VED15, cujos valores mínimos devem ser de 1,5MPa, VED30 é 3,0MPa, VED40 é 4,0 MPa, EST60 é 6,0MPa, EST80 é 8,0 MPa, EST100 é 10,0MPa, EST120 é 12,0MPa, EST140 é 14,0MPa, sendo VED de vedação e EST de estrutural.

A Figura 11 mostra as médias dos resultados dos ensaios de tração, para cada composição dos corpos de prova produzidos na temperatura de 950 °C. No que diz respeito à composição dos corpos de prova, quanto maior a concentração de RCD menor a resistência do material. Nesse caso, os resultados mostram que a adição de 5, 10, 20 e 30% de RCD ocorre um aumento maior na resistência a tração do material, com os valores de 15 a 9 MPa. Já adicionando RCD acima de 40 a 90% observa-se baixa resistência, porém ainda dentro do que recomendado na norma 15270-1 de 1,5 a 4,0MPa para tijolos de vedação, classe VED15 a VED40.

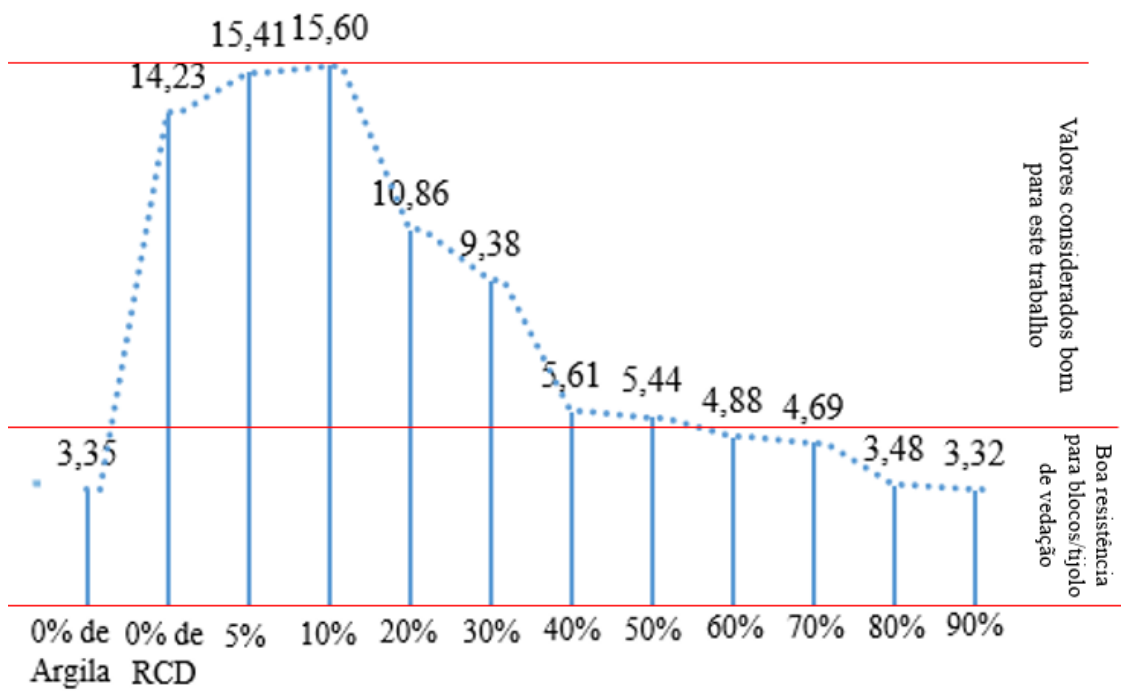


Figura 11 - Tensão de Ruptura – Média (MPa) – Queima 950°C. Fonte: Autor, (2019).

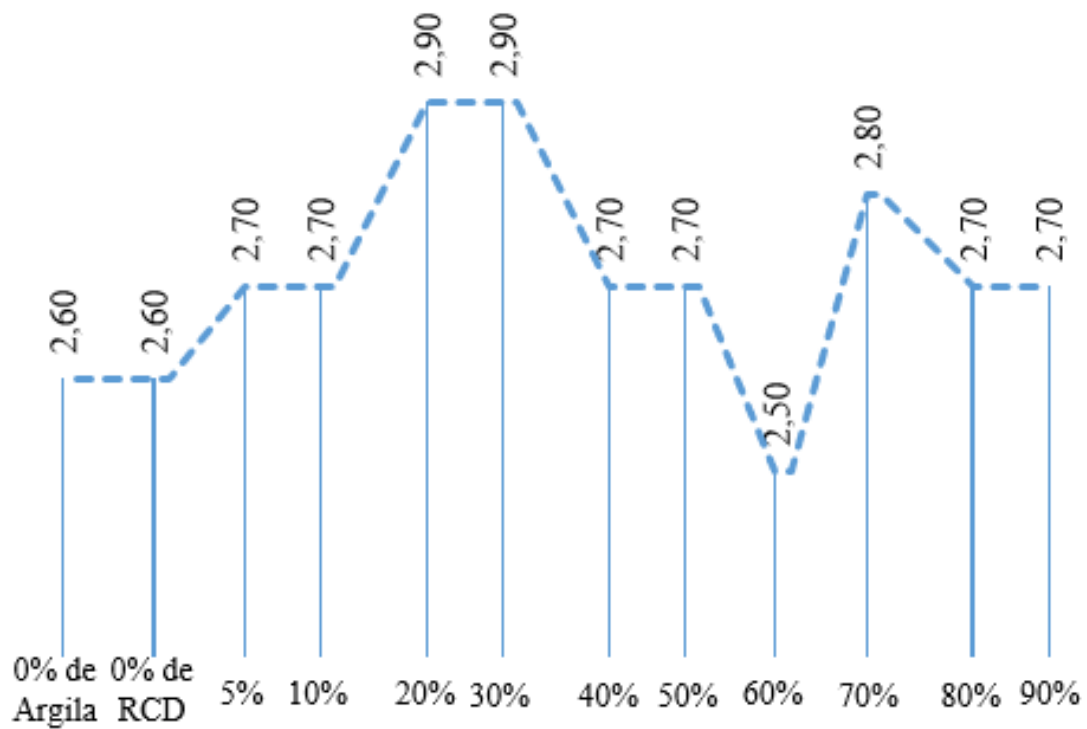


Figura 12 - Massa Específica da Peça Sólida (Resultado em g/cm³). Fonte: Autor, (2019).



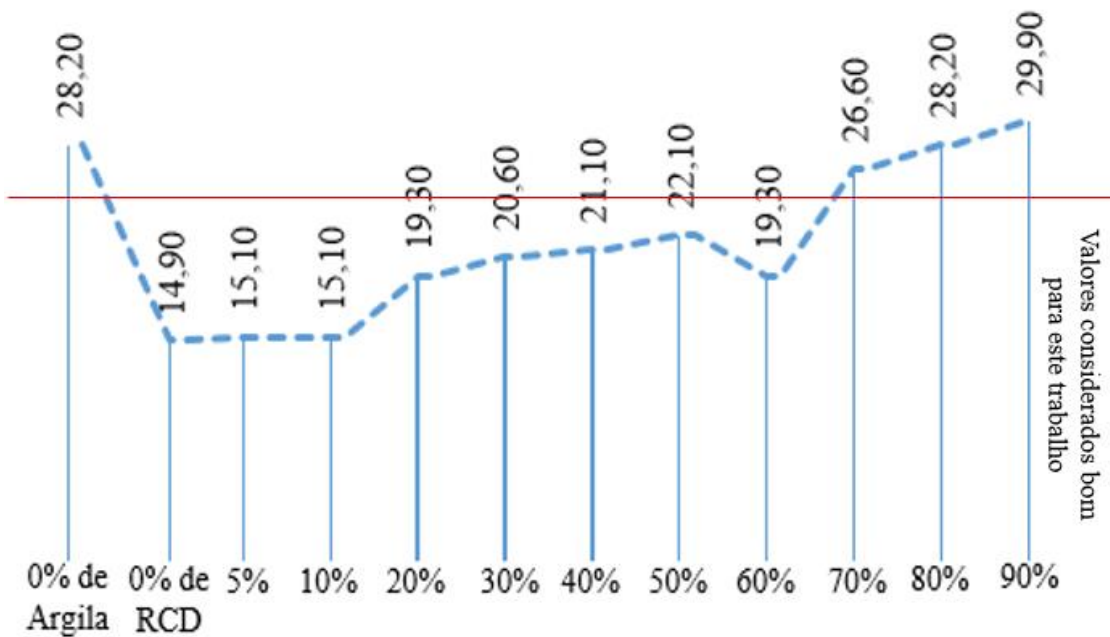


Figura 13 - Absorção de Água (Resultado em %). Fonte: Autor, (2019).

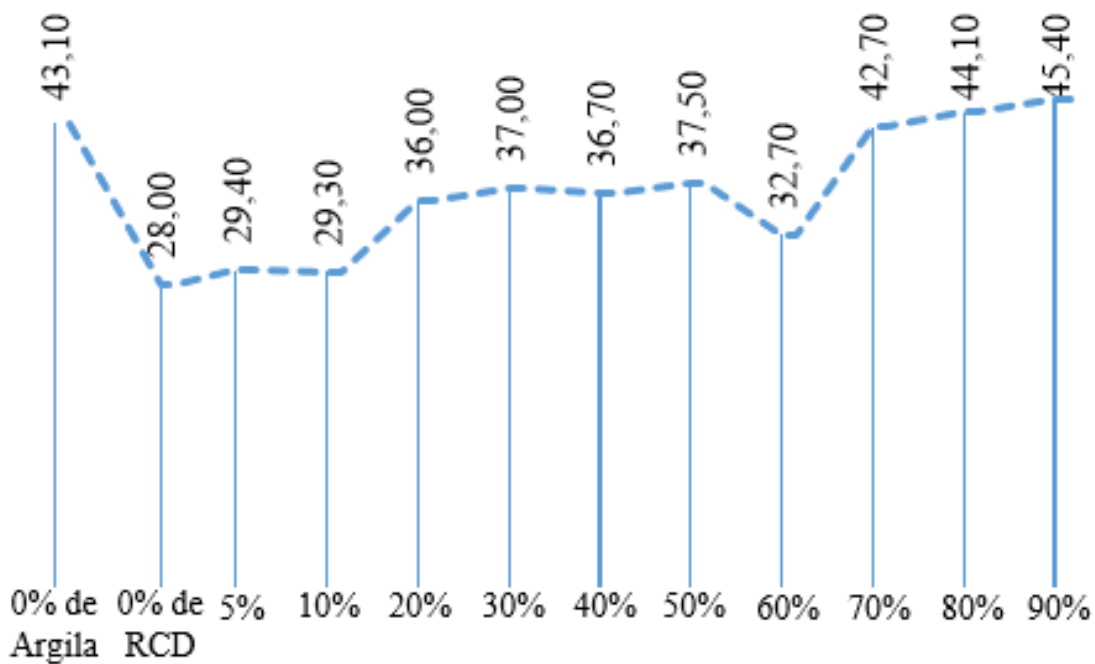


Figura 14 - Porosidade Aparente (Resultado em %). Fonte: Autor, (2019).

Os resultados mostram que a massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água estão correlacionados entre si (Figuras 12, 13 e 14). À medida que a temperatura de sinterização aumenta, a massa específica aparente aumenta e a porosidade aparente com absorção de água diminuem. Isso ocorre porque durante a sinterização a porosidade dos corpos de prova tende a diminuir, aumentando, assim, a densidade e diminuindo a absorção de água (GASPARETO, 2017).

A massa específica aparente está diretamente ligada à porosidade aparente e absorção de água das peças, sendo que quanto menores são esses valores, maior será os valores de massa específica aparente das peças queimadas. Quanto maior a densificação da matéria prima durante a queima, menos vazios existirão nas peças queimadas e maiores serão suas massas específicas (SANTIS, 2013).

A Figura 13 apresenta a absorção de água das massas cerâmicas queimadas a 950°C em função do teor de resíduo de construção civil incorporado. Nota-se que há um aumento do teor de RCD e redução da absorção de água à medida que as porcentagens de incorporação aumentam de 70, 80 e 90%. Por outro lado, as misturas de 0% de RCD a 60% estão de acordo com a NBR 15270-1 para Bloco ou Tijolo de Vedação e Estrutural que estabelece valores de absorção de água de 8 a 25% e 8 a 21% como recomendadas. Os valores abaixo de 25%, valor máximo de absorção de água para tijolos maciços e blocos de cerâmica vermelha (SANTIS, 2013). Entretanto, para teores maiores de incorporação a variação nos valores de absorção de água não foi significativa, uma vez que é possível associar a queda da resistência mecânica.

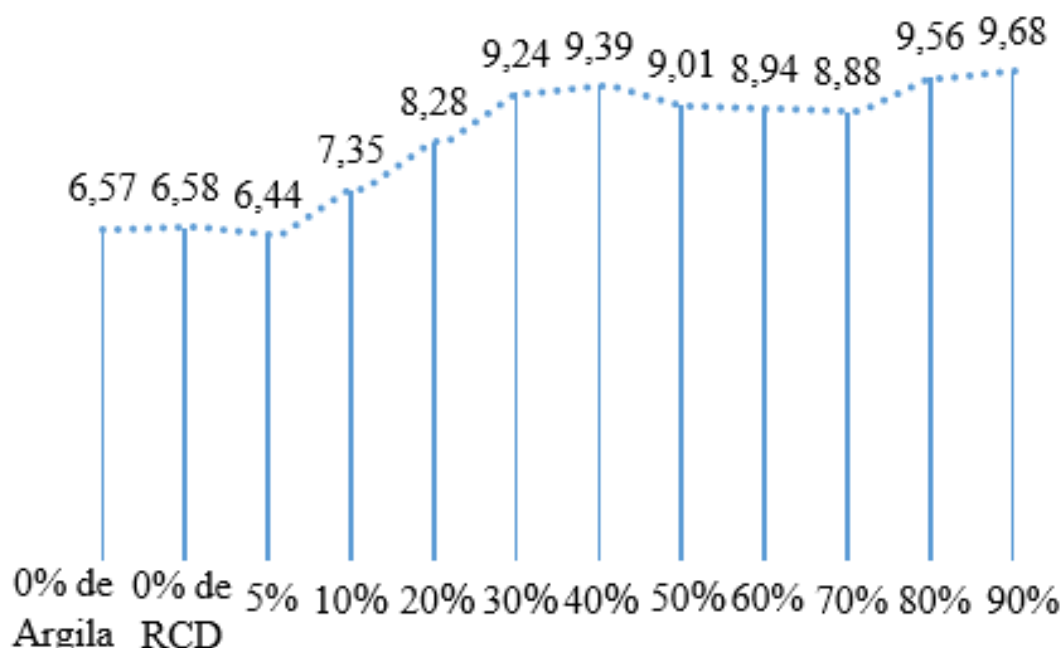


Figura 15 - Percentagem da perda de Fogo a 950 °C. Fonte: Autor, (2019).

Analisando a Figura 15, observa-se que quanto maior for a quantidade de RCD adicionada na formulação mais alta é a perda ao fogo. Essa afirmação é mais evidente para a incorporação a partir da formulação de 30% de RCD. Uma explicação para o aumento da porcentagem de perda ao fogo está relacionada a elevada presença de C

detectada na análise de fluorescência de raios – X (MENDONÇA, 2017). As formulações 30 a 90% apresentaram elevada perda ao fogo, devido a uma provável taxa elevada de matéria orgânica ou calcária (PASCHOAL, 2004). Na Figura 15 é possível notar que as formulações 0 a 20% tem uma baixa perda ao fogo. O que pode ser explicado pela presença de uma argila rica em quartzo e menos plástica (PASCHOAL, 2004). A retração linear de secagem que é uma propriedade importante para a determinação das dimensões do produto, bem como está relacionado ao grau de sinterização do material (MORETE; PARANHOS; HOLANDA, 2006), foi 3,3% para as formulações cerâmicas queimadas em 950 °C. Deve ser mencionado que o índice médio de retração linear de secagem está no intervalo recomendado de 3 a 8% para peças conformadas no estado plástico (por extrusão) (COLLATTO, 2008).

Os resultados indicam que é possível a utilização do RCD com esta argila para a produção de tijolos cerâmicos, obtendo-se um material cerâmico com boas propriedades físicas, principalmente para os corpos de provas com 10% de RCD e temperatura de queima de 950 °C. Essa incorporação mostrou ter excelentes propriedades, podendo ser considerada uma composição e temperatura ideal. Essa afirmação tem como base a composição mineralógica do RCD. De acordo com a literatura o RCD usado neste trabalho é constituído principalmente de quartzo, material não plástico, material arenoso, com partículas finas não plásticas (MATUTI, 2019).

## **12. CONCLUSÕES PARCIAIS**

Diante dos resultados expostos na presente pesquisa, conclui-se que o bloco/tijolo cerâmico produzido com o reaproveitamento de RCD, adicionando 10% de RCD apresenta esta resistência elevada, sendo desta forma a composição mais indicada para a produção de tijolos cerâmicos. A incorporação do resíduo em até 90% de RCD atuou no aumento significativo da resistência mecânica, embora, todas as formulações tenham alcançado a resistência mínima desejada para fabricação de peças conforme a norma. Conclui-se que, tecnicamente há um grande potencial para a reutilização de RCD na produção de blocos/tijolos cerâmicos, tornando-se sua utilização real para uma destinação de forma sustentável desses resíduos, podendo ser fabricado e comercializado em escala industrial.

### 13. CONCLUSÃO FINAL

Através resultados apresentados e discutidos, têm-se as seguintes afirmações:

- De acordo com os dados mostrados foram notados déficits no reaproveitamento do resíduo, a gestão correta de RCD tanto protege a saúde pública e abre caminho para a fabricação de novos materiais para o setor da construção civil, quanto as porcentagens de resíduo gerado no Brasil, não há um consenso na literatura.
- O aproveitamento dos resíduos da construção civil é viável e contribui para o futuro sustentável, aproveitar os resíduos reduz gastos na compra de novos insumos.
- As amostras de argila apresentaram um percentual elevado para a fração de argila, mostrando que se trata de um material com elevada plasticidade. Dessa forma, para o preparo de uma massa cerâmica é recomendado incorporar um material menos plástico, para melhorar o rendimento da produção e a trabalhabilidade com a matéria prima.
- Pela aplicação das técnicas de difração de raios X, fluorescência de raios X, foi possível a determinação da composição mineralógica das argilas, em todas as amostras os minerais predominantes foram caulinita, quartzo. O RCD é constituído principalmente de quartzo, ou seja, material não plástico, um material
- A argila contém teor de quartzo adequado que auxilia na reduzida retração linear e contém o necessário teor de ferro para obtenção da cor avermelhada característica dos produtos de cerâmica estrutural.
- A caracterização física e química da argila e do RCD, a matéria-prima foi considerada apropriada para a produção industrial de blocos ou tijolos cerâmicos, principalmente pela distribuição do tamanho das partículas, onde havia uma concentração adequada de silte e argila nas amostras de argila e de silte nas amostras do resíduo, sendo assim podendo ser feita a incorporação de RCD em matrizes cerâmicas apresenta elevado potencial, atuando no

aumento significativo na resistência mecânica, durabilidade e qualidade do material.

- Conclui-se que o bloco/tijolo cerâmico produzido com o reaproveitamento de RCD, adicionando 10% de RCD apresenta esta resistência elevada, sendo desta forma a composição mais indicada para a produção de tijolos cerâmicos.
- A incorporação do resíduo em até 90% de RCD atuou no aumento significativo da resistência mecânica, embora, todas as formulações tenham alcançado a resistência mínima desejada para fabricação de peças conforme a norma.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10004:2004 – Norma Brasileira. **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

ABNT NBR15270-1 de 11/2017. **Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos**. 2017.

ABRECON. **O que é entulho**. 2018. Disponível em: < <http://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/>>.

ABRELPE. **Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2015.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2016.

AMBIENTE-CONAMA. Resolução n° 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios, procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília-DF.

ABREU, N. R. P. et al. Uma Abordagem Geográfica Dos Aspectos Físicos E Dos Potenciais Econômicos Do Solo De Iranduba – AM. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 659–667, 2012.

ALEXANDRE, J. **Análise de Matérias-primas e Composições de Massa Utilizada em Cerâmicas Vermelhas**. Tese (Doutorado em Ciência de Engenharia), Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF, Campos dos Goytacazes-RJ. 2000.

AMADEI, D. I. B. et al. A Questão dos Resíduos de Construção Civil: Um Breve Estado da Arte. **Revista Nupem**, v. 3, p. 13, 2011.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ÂNGULO, S. C. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. São Paulo-SP. 2001.

AZEVEDO, E. **Incorporação de resíduos de construção e demolição em blocos**

**maciços de argila.** Artigo. Porto. 2014.

B. C. A. Pinheiro, J. N. F. Holanda. **Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha.** Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT-LAMAV, Grupo de Materiais Cerâmicos, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes, RJ.

B. C. Santis. **Caracterização de massas cerâmicas do estado de S. Paulo para produção de agregados leves para concreto.** Instituto de Arquitetura e Urbanismo de S. Carlos - USP, S. Carlos, SP. 2013.

BARROS, E.; JORGE, F. C. Gestão De Rcd - Resíduos De Construção E Demolição, Na Obra De Ampliação Do Aeroporto Francisco Sá Carneiro. **Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia**, v. 5, p. 62–74, 2008.

BIANCHINI, G. et al. Recycling of construction and demolition waste materials: A chemical-mineralogical appraisal. **Waste Management**, v. 25, n. 2 SPEC. ISS., p. 149–159, 2005.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 178–189, 2015.

BEGUM, R. A., SIWAR, C., PEREIRA, J. J., JAAFAR, A. H. **A benefit–cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: The case of Malaysia.** Institute for Environment and Development (LESTARI), Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi 43600, Selangor D.E., Malaysia, 2006.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000.** Rio de Janeiro, 2002.

CABRAL, A.E.B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 280p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, M. et al. **A Indústria de Cerâmica Vermelha e o Suprimento Mineral no Brasil: Desafios para o Aprimoramento da Competitividade.** *Cerâmica Industrial*, v. 17, n. 1, p. 36–42, 2014.

CALDAS, T. C. DA C. **Reciclagem de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. 2012.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharias de materiais: uma introdução.** Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CAPITANEO, J. L. **Formulação de Massas Cerâmicas para pisos Extrudados Semiporosos de Cor Clara Utilizando Fonolito e Argilas Cauliníticas.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro-RJ. 2003.

CERAMICA SALEMA. **A importância da argila para fabricação de cerâmica vermelha.** 2016. Disponível em: <<http://www.ceramicasalema.com.br/a-importancia-da-argila-para-fabricacao-de-ceramica-vermelha/>>. Acesso em: 30/05/2019.

CS CARIMBOS. **Realizar ensaios de caracterização de argila garante redução de custos e melhoria da qualidade.** 2015. Disponível em: <<https://www.cscarimbos.com.br/realizar-ensaios-caracterizacao-argila-garante-reducao-custos-melhoria-qualidade/>>. Acesso em: 30/05/2019.

COUCEIRO, P. R. DA C.; SANTANA, G. P. Caulinita em solo da Amazônia: Caracterização e Permutabilidade. **Acta Amazônica**, v. 29, n. 2, p. 267–275, 1999.

CAMPOS JÚNIOR, A. **Blocos Cerâmicos: Produção e Análise das Agressões Ambientais.** Campina Grande, PB. 2016.

CARNEIRO, A.P.; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção.** Projeto entulho bom. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312 p. 1ª edição. 2001.

CASTRO, C.X.DE. **Gestão de Resíduos na Construção Civil.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte. 2012.

CORRÊA, M. R. S., BUTTLER, A. M., RAMALHO, M. A. **Reciclagem de materiais de construção.** Artigo. PINI, TÉCNICA. 2009. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/152/artigo286651-1.aspx>>.



COSTA, A. G. B. **Utilização de resíduos cerâmicos da cidade de porto velho na produção de concretos**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas. Manaus, AM. 2017.

COLLATTO, D. **Utilização de resíduo proveniente da estação de tratamento de efluentes de indústria de papel como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.

CRUZ, F. J. R. **Utilização da cinza de aveloz de fornos cerâmicos para a produção de tijolos e telhas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2012.

DE FÁTIMA ROSSETTI, D.; MANN DE TOLEDO, P.; GÓES, A. M. **New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution**. Quaternary Research, v. 63, n. 1, p. 78–89, 2005.

ESIN, T., COSGUN, N. **A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey**. Department of Architecture, Faculty of Architecture, Gebze Institute of Technology, Kocaeli 41400, Turkey, 2006.

EQUIPE DE OBRA. **Blocos Cerâmicos**. 2011. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/37/blocos-ceramicos-220703-1.aspx>>.

FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. **Influência da adição de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha**. Simpósio matéria, RIO DE JANEIRO, RJ. 2012.

FROTA, C. A. DA., MELO, J. R. DE S. **A situação dos resíduos sólidos oriundos da construção civil vertical na cidade de Manaus**. Artigo. Fucapi. Manaus, 2014.

GASPARETO, M. G. T. **Utilização de Resíduo de Construção Civil e Demolição (RCD) como Material não Plástico para a Produção de Tijolos Cerâmicos**. Artigo. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Presidente Prudente, SP. 2017.

G. F. Morete, R. P. R. Paranhos, J. N. F. Holanda. **Avaliação de Algumas Propriedades Físico-Mecânicas de Corpos Cerâmicos Incorporados com Resíduo de Escória de**

**Soldagem.** Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV – CCT/UENF. Campos dos Goytacazes, RJ. 2006.

GALESI, D. F. **Caracterização das Principais Argilas Utilizadas em Engobes para Revestimentos Cerâmicos.** Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. 2005

GUIRADO, F.; GALÍ, S.; CHINCHÓN, S. Quantitative Rietveld analysis of aluminous cement clinker phases. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 7, p. 1023–1029, 2000.

GUYOT, J. L. et al. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. **Catena**, v. 71, n. 2, p. 340–356, out. 2007.

HOLANDA, R. M. DE; SILVA, B. B. DA. Cerâmica Vermelha – Desperdício na Construção Versus Recurso Natural Não Renovável: Estudo de Caso nos Municípios de Paudalho/PE e Recife/PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 4, p. 872–890, 2011.

HANSEN, T. C. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945-1985. **Materials and Structures**, v. 19, n. 3, p. 201–246, 1986.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K. Tropical Spodosols in northeastern Amazonas State, Brazil. **Geoderma**, v. 119, n. 1–2, p. 55–68, 2004.

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO CENTRO DE CAPACITAÇÃO E APOIO AO EMPREENDEDOR. **Reutilização e reciclagem de resíduos da construção civil.** Belo Horizonte, MG. 2015.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

JOHN, V.M. **Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção.** In: CARNEIRO, A.P et al. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção.** Salvador: EDUFBA; 312 p.; 2001; p.27-45.

JOHN, V.M. **Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para Resíduos. In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil.** São Paulo, 1996. Anais. São Paulo, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997.

LACÔRTE, P.M.R. **Aproveitamento de resíduos na construção civil.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte. 2013.

LEAL, U. **Sobras que valem uma obra.** TECHNE: Revista de Tecnologia da Construção, v. 10, n. 55, p. 10-14, 2001.

LUCAS, D., BENATTI, C. **Utilização de resíduos Industriais para a Produção de artefactos cimentícios e argilosos empregados na construção civil.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente. 2008.

M – CIENTEC – 018. **Preparação de Corpos-de-Prova por Prensagem a Seco.** 1995.

M – CIENTEC – 027. **Determinação da Tensão de Ruptura a Flexão após Queima.** Materiais Cerâmicos. 1995.

M – CIENTEC – 022. **Determinação de Absorção de Água após Queima.** Materiais Cerâmicos. 1995.

M – CIENTEC – 021. **Ensaio de Determinação de Contração Linear de Secagem.** 1995.

M – CIENTEC – 023. **Ensaio de Determinação da Porosidade Aparente após Queima.** 1995.

M – CIENTEC – 024. **Ensaio de Determinação da Massa Específica Aparente após Queima.** 1995.

M – CIENTEC – 026. **Ensaio de Determinação da Contração Linear após Queima.** 1995.

M – CIENTEC – 028. **Ensaio de Determinação da Perda ao Fogo.** 1995.

MAIA, F. DOS S. **Avaliação de massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do pólo cerâmico de campos dos goytacazes.** Dissertação. Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ. 2012.

MACEDO, R. S. **Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha**. Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Bodocongó, Campina Grande, PB. 2008.

MATUTI, B. B. **Compatibilidade do resíduo de construção civil e demolição na produção de tijolo cerâmico**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil. 2019.

MIRTCHI, A. A.; LEMAÎTRE, J.; MUNTING, E. Calcium phosphate cements: study of the  $\beta$ -tricalcium phosphate - dicalcium phosphate - calcite cements. **Biomaterials**, v. 11, n. 2, p. 83–88, 1990.

MÁLIA, M.; BRITO, J. DE. Construction and demolition waste indicators for new residential buildings. **Built Environment**, v. 11, n. 3, p. 117-130, 2011.

MARIANI, F.Q. **Caracterização Estrutural de Argilas Utilizando DRX com Luz Síncrotron, MEV, FTIR e TG-DTG-DTA**. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, Paraná. 2013.

MEDEIROS, C. R. et al. Resíduos da Construção Civil: cenário atual, planejamento e propostas para o município de Macaé-Brasil. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 225–243, 2018.

MENDONÇA, G. C. **Análise da perda ao fogo de corpos de prova cerâmicos Formulados com cinza leve proveniente da gaseificação do carvão Mineral pulverizado**. Universidade Federal do Pampa. 2017.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, É. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 57–71, 2009.

MORAND, F. G. **Estudo das principais aplicações de resíduos de obra como materiais de construção**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

MORENO, M. M. T. **Caracterização de argilas e composição de massas cerâmicas preparadas com base na análise de curvas de consistência de misturas argila-água**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 2016.

MENEZES, M. DE S. **Panorama dos Resíduos de Construção e Demolição**. Artigo. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; JUNIOR, M. C. **As matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos**. Cerâmica Industrial, v. 6, n. 2, p. 28–39, 2001.

NASCIMENTO, F. A. T. **Reutilização e reciclagem de resíduos sólidos gerados na construção civil**. Artigo. Ciências exatas e tecnológicas. Maceió, 2015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. versão atual. São Paulo: Pini, 1997.

NIERO, J. **Reciclagem de resíduos da construção civil economiza recursos naturais e reduz custos**. Fecomercio, SP. 2016. Disponível em: <<http://www.fecomercio.com.br/noticia/reciclagem-de-residuos-da-construcao-civil-economiza-recursos-naturais-e-reduz-custos>>.

OIKONOMOU, N. D. **Recycled concrete aggregates**. Artigo. **Cement & Concrete Composites**. Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki. Thessaloniki, Greece. 2005.

OLIVEIRA, M. E. D. DE, SALES, R. J. DE M., OLIVEIRA, L. A. S. DE., CABRAL, A. E. B. **Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Tecnóloga em Saneamento Ambiental. 2011.

PASCHOAL, J.A.A. **Estudos de parâmetros de qualidade para a cerâmica estrutural vermelha**. 2004. 188 p. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PAPPU, A., SAXENA, M., ASOLEKAR, S. R. **Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials**. Regional Research Laboratory (CSIR), Indian Institute of Technology, Bombay-400076, India. 2007.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Brasília: CEF, 2005.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. **Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha**. Revista Cerâmica Industrial, São Paulo, 1997.

PORTAL RESÍDUO SÓLIDO. **Classificação dos Resíduos da Construção Civil no Brasil**. 2015. Disponível em <<https://portalresiduossolidos.com/classificacao-dos-residuos-da-construcao-civil-no-brasil/>>. Acesso: 26 de março de 2019.

QUOOS. **Gerador de Triângulo Textural**. 2019. Disponível em: <<http://www.quoos.com.br/index.php/geografia/solos/4-triangulo-textural-solos-argila-areia-silte>>. Acesso em: 04/06/2019.

REINALDO FILHO, L. L.; BEZERRA, F. D. **Escritório técnico de estudos econômicos do Nordeste - Informe Setorial Cerâmica Vermelha**, 2010.

REIS, A. S. **Caracterização e avaliação das propriedades cerâmicas de argila utilizada em cerâmica estrutural**. IFES-Campus Colatina-ES. 2014.

REVISTA AGROPECUÁRIA. **Aplicação prática da análise textural no campo**. 2019. Disponível em: <<http://www.revistaagropecuaria.com.br/2011/09/22/aplicacao-pratica-da-analise-textural-no-campo/>>. Acesso em: 04/06/2019.

RODRIGUES, V. DE O. **Caracterização das Matérias Primas Empregadas na Fabricação de Produtos do Pólo Cêramico de Iranduba-AM**. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, AM, Brasil. 2015.

ROCHA FORTE. **Os ganhos da reciclagem do aço da construção civil**. 2017. Disponível em: <<http://www.rochafortesaneamento.com.br/noticias/os-ganhos-da-reciclagem-do-aco-da-construcao-civil/20171005-095014-s692>>.

SANTOS, R. R. DOS. **Incorporação de resíduos sólidos como alternativa para diminuir a quantidade de utilização da argila na confecção de produtos cerâmicos**. XXV Seminário de Iniciação Científica. Santa Rosa, RS. 2017.

SIENGE. **Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil**. 2017. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>>.

SILVA, F.F.DA. **Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a resolução Conama nº. 307/02 – Estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 2007

SILVA, M. B. DE. L.E. **Novos Materiais à Base de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Resíduos de Produção de Cal (RPC) para Uso na Construção Civil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2014.

SILVA, R.V. **Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production.** Artigo. Construction and Building Materials. Lisbon, Portugal. 2014.

SALES JR, J. C. C. **Avaliação da potencialidade de argilas de queima clara como matérias-primas para o desenvolvimento de novos produtos cerâmicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFRN/Natal, RN.2008.

SAVAZZINI-REIS, A. **Caracterização e propriedades cerâmicas de argilas usadas em Cerâmica vermelha no estado do Espírito Santo.** IFES-Campus Colatina-ES. 2016.

SEGADÃES, A. M. Use of phase diagrams to guide ceramic production from wastes. **Advances in Applied Ceramics**, v. 105, n. 1, p. 46–54, 2005.

SOUZA, G. P. et al. Mineralogical analysis of Brazilian ceramic sedimentary clays used in red ceramic ( Análise mineralógica de argilas sedimentares brasileiras. **Ceramica**, v. 51, p. 381–386, 2005.

SILVA, M. S. E.; LAGES, A. S.; SANTANA, G. P. Physical and chemical study of lattice kaolinites and their interaction with orthophosphate. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 3, p. 1391–1401, 2017.

SILVA, A. S. DA. **Gestão de resíduos sólidos na construção civil: Estudo de caso em duas empresas na Cidade de Manaus – AM.** Faculdade Salesiana Dom Bosco. Julho. 2017.

SOUZA, L. M. DE; ASSIS, C. D. DE; SOUTO, S. B. G. Agregado Reciclado: Um Novo Material Da Construção Civil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 273–278, 2014.

TAM, V. W. Y. **A review on the viable technology for construction waste recycling.** School of Engineering, Gold Coast Campus, Griffith University PMB50 Gold Coast Mail Centre, Qld 9726, Australia. 2006.

TAM, V. W. Y. **Economic comparison of concrete recycling: a case study approach.** Griffith School of Engineering, Griffith University. Australia, 2008.

TOPÇU, I. B. Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 12, p. 1817–1823, 1997.

ULSEN, C. **Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo**. Universidade de São Paulo. 2010.

VIEIRA, C. M. F. et al. Incorporation of granite waste in red ceramics. **Materials Science and Engineering A**, v. 373, n. 1–2, p. 115–121, 2004.

VIEIRA et al., (2011). **Reciclagem de material particulado de uma planta de sinterização de uma siderúrgica em cerâmica vermelha**. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 243-247.

ZANOTTO, E. D.; MIGLIORI, A. R. (1991). **Propriedades mecânicas de materiais cerâmicos: Uma introdução**. *Ceramica*, 37 (274) janeiro/fevereiro.

ZORZETO, G. **Resíduos de Construção e Demolição - Problemas e Soluções**. Concreta Consultoria. 2017. Disponível em: <<https://www.concretaconsultoria.com.br/single-post/2017/10/16/Res%C3%ADduos-de-Constru%C3%A7%C3%A3o-e-Demoli%C3%A7%C3%A3o---Problemas-e-Solu%C3%A7%C3%B5es>>.