



UNIVERSIDADE WUTIVI
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITECTURA E PLANEAMENTO FÍSICO
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

Tema:

**PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
PARA A PRODUÇÃO DE BETÃO
ESTUDO DE CASO: BAIRRO DE TSALALA (2021-2022)**

Trabalho submetido em cumprimento dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em
Engenharia Civil

Candidato: Gerson Sérgio Mavie

Supervisor: Doutor Jeremias Abel Palalane

Boane, Novembro de 2023

UNIVERSIDADE WUTIVI
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITECTURA E PLANEAMENTO FÍSICO

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
PARA A PRODUÇÃO DE BETÃO
ESTUDO DE CASO: BAIRRO DE TSALALA (2021-2022)

Trabalho submetido em cumprimento dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em
Engenharia Civil

Candidato: Gerson Sérgio Mavie

Supervisor: Doutor Jeremias Abel Palalane

Boane, Novembro de 2023



Universidade Wutivi

Faculdade de Engenharia, Arquitectura e Planeamento Físico

Curso de Licenciatura em Engenharia Civil

Declaração

*Declaro por minha honra que esta monografia, no presente momento, submeto a UNIVERSIDADE WUTIVI, em cumprimento dos requisitos para obtenção de grau de Licenciatura em **Engenharia Civil**, nunca foi apresentada para obtenção de qualquer outro grau académico e que constitui o resultado da minha investigação pessoal, tendo indicado no texto e na bibliografia as fontes que utilizei*

O Autor

O Supervisor

Gerson Sérgio Mavie

Doutor Jeremias Abel Palalane

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a minha Mãe (Clara Fernando) e ao meu pai (Sérgio Américo Mavie) por tudo o que fizeram para que esse sonho se tornasse realidade. Agradecer pelo apoio e companhia em todos os momentos principalmente nos momentos de fraqueza.

AGRADECIMENTOS

Passados anos e anos de estudo, chegar a esta etapa no percurso académico é algo muito importante para mim e deste modo agradeço a todos que tudo fizeram para tornar esse sonho realidade.

Primeiro agradecer a Deus pela saúde, segurança que me proporcionou durante todos os momentos da vida.

Agradecer a minha família pelo calor, conforto, pelos cuidados e em especial agradecer aos meus pais (Clara Fernando e Sérgio Américo Mavie) pelo encorajamento e apoio incondicional principalmente nas noites frias e mal dormidas que fizeram parte desta caminhada.

Deixar também o meu profundo agradecimento ao meu supervisor Doutor Jeremias Abel Palalane cuja expertise, paciência e orientações foram fundamentais durante todo o processo. Sua dedicação em me ajudar a desenvolver este trabalho, incentivar meu crescimento académico foi essencial para o sucesso desta pesquisa.

Agradecer também a toda equipe do laboratório de engenharias da universidade Wutivi, pela paciência, sabedoria, ensinamentos e incentivo nos trabalhos por mim realizados naquele local pois sem eles essa pesquisa não seria possível.

Agradecer aos meus colegas da turma de engenharia civil 2015, em especial ao Larsio pedrosa, Hermenegildo Macamo, Filipe Gabriel, Messias Langa pelo apoio durante esta jornada, estivemos juntos durante estes anos dando pequenos passos rumo a um objectivo em comum.

E por fim agradecer aos meus amigos, em especial ao Alberto Uate e Hélio Chissaque pelas observações e apoio moral em todos os momentos durante esta caminhada.

MUITO OBRIGADO A TODOS

RESUMO

A presente monografia com o tema “*Aproveitamento de Resíduos de Construção e Demolição para a produção de betão: Estudo de caso: do Bairro de Tsalala (2021-2022)*”, teve como objectivo apresentar estratégias que visam o aproveitamento de resíduos de construção e demolição para a utilização como agregado graúdo na produção de betão com vista a reduzir o índice de extracção de recursos naturais e o índice de descarte de resíduos reduzindo assim a poluição ambiental. A metodologia usada na pesquisa foi qualitativa e quantitativa na sua abordagem, explorativa quanto ao objectivo, aplicada quanto a natureza, com intuito de trazer a melhor solução para o problema. E quanto aos procedimentos a metodologia usada foi bibliográfica, estudo de caso e experimental. Foi feita uma visita ao bairro Tsalala, onde observou-se a situação do bairro, recolheu-se amostras de RCD para ensaios laboratoriais. Os resíduos recolhidos são compostos por restos de betão e foram encontrados em estaleiros de produção de abobadilhas e vigotas, obras diversas e nas ruas. Com esse material foi feita a britagem manual de resíduos de betão na universidade Wutivi para transformar em agregado reciclado, que sua posterior análise mostrou que maior parte dos RCD são resíduos possíveis de serem reciclados. as análises no laboratório da universidade mostraram também que o agregado reciclado possui distribuição granulométrica apropriada para ser usado como agregado para betão. Concluiu-se ainda que este agregado também absorve mais água que o agregado normal, e com o teste de compressão concluiu-se que o betão possui a resistência mínima recomendada para ser usado na construção civil. No final da pesquisa propôs-se 2 estratégias que são: o aproveitamento de RCD em pequenas obras para uso não estrutural e a produção em massa para uso em elementos estruturais que deve ser feita com nível de rigorosidade mais elevada e em pontos de reciclagem especializados com britadores mecânicos. Estas estratégias baseiam-se na implementação de políticas para o armazenamento, transporte, transformação de RCD em agregado e produção de betão reciclado.

Palavras chaves: Resíduos de construção e demolição, agregado reciclado, betão reciclado

ABSTRACT

The topic of the present study is *"The use of Construction and Demolition Waste for concrete production: the case of Tsalala neighborhood (2021-2022)"*. The aims of the research are to present strategies for the utilization of construction and demolition waste as coarse aggregate in concrete production, with the objective of reducing the extraction of natural resources and waste disposal, thus mitigating environmental pollution. The research methodology employed is qualitative and quantitative in its approach, exploratory in its objective, and applied in its nature, aiming to find the best solution to the problem. The research methodology encompasses literature review, case study, and experimental procedures. A visit to the Tsalala neighborhood was conducted to observe the situation and collect samples of concrete waste for laboratory tests. The collected waste consists of concrete remnants and was found at the production sites of slabs and beams, various construction sites and on the streets. With this material, a manual crushing of concrete waste was carried out at Wutivi University to transform it into recycled aggregate, and subsequent analysis showed that most of the construction and demolition waste can be recycled. Laboratory analyses at the university also showed that the recycled aggregate has an appropriate particle size distribution to be used as concrete aggregate. In addition, it was concluded that recycled aggregates also absorb more water than normal aggregates. And compressive strength tests showed that concrete meets the minimum recommended strength for use in the construction industry. At the end of the research, two strategies were proposed, which are: the utilization of construction and demolition waste in small scale projects for non-structural purposes and mass production for use in structural elements. The latter should be carried out with a higher level of precision and at specialized recycling points equipped with mechanical crushers. These strategies are focusing on the implementation of policies for storage, transportation, transformation of construction and demolition waste into aggregate, and the production of recycled concrete.

Keywords: Construction and demolition waste, recycled aggregate, recycled concrete.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE GRÁFICOS	ix
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	ix
SIGLAS E ABREVIATURAS.....	x
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Problematização.....	13
1.2. Hipóteses	14
1.3. Justificativa.....	15
1.4. Objectivos.....	16
1.4.2. Objectivos específicos.....	16
1.5. Delimitação da área de estudo	16
1.6. Estrutura do trabalho	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. Agregados	18
2.1.1. Forma e Textura	19
2.1.2. Distribuição granulométrica	19
2.1.3. Absorção de água/ umidade superficial	20
2.2. Cimento Portland	21
2.3. Betão	21
2.3.1. Substâncias nocivas.....	21
2.4. Resíduos de construção e demolição	22
2.5. Britagem do resíduo de construção e demolição	24
2.6. Betão com agregados reciclados.....	24
2.7. Construção sustentável	26
2.8. Política 3R na sustentabilidade.....	27
2.9. Experiências de alguns países no aproveitamento dos RCD e as soluções adoptadas	28
2.9.1. Estados Unidos da América	28
2.9.2. Japão.....	29
2.9.3. Portugal	29
2.9.4. Brasil	30
3. METODOLOGIA	31

3.1.	Quanto ao Objectivo.....	31
3.2.	Quanto a abordagem.....	32
3.3.	Quanto a Natureza	32
3.4.	Quanto aos procedimentos técnicos	33
3.4.1.	Pesquisa bibliográfica	33
3.4.2.	Estudo de caso	33
3.4.3.	Pesquisa experimental	34
3.4.4.	Pesquisa de Campo.....	34
3.5.	Técnicas de colecta de dados.....	34
3.5.1.	Observação	34
3.5.2.	Entrevista.....	35
3.6.	Processos técnicos metodológicos/ Etapas da pesquisa	35
3.6.1.	Visita a área de estudo.....	35
3.6.2.	Levantamento bibliográfico	35
3.6.3.	Levantamento da amostra.....	35
3.6.4.	Ensaio Laboratoriais	37
➤	Análise granulométrica.....	37
➤	Ensaio de absorção de água do agregado	39
➤	Ensaio de abaixamento do cone de Abrams (<i>slump test</i>)	41
➤	Ensaio de mecânico de compressão do betão	42
3.6.5.	Processamento e interpretação de dados	44
3.6.6.	Copilação de relatórios	44
4.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
4.1.	Caracterização dos resíduos de construção e demolição (RCD).	45
4.1.1.	Britagem do resíduo	46
4.1.2.	Granulometria do agregado	47
4.1.3.	Curva Granulométrica	47
4.2.	Absorção do agregado	48
4.3.	Resistência mecânica do betão	49
4.3.1.	Ensaio de Compressão do betão.....	50
4.4.	Propostas de aproveitamento de resíduos de construção e demolição para a produção de betão	51
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	53
5.1.	Recomendações	54
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
	APÊNDICES E ANEXOS	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Desenho da curva granulométrica dos agregados ensaiados.	47
Gráfico 2: Gráfico da percentagem de absorção de água dos agregados ensaiados.	48
Gráfico 3: Gráfico da evolução da resistência do betão com o tempo.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resíduo de construção e demolição depositados na via publica do Bairro Tsalala.	14
Figura 2: Localização geográfica do Bairro Tsalala	17
Figura 3: Agregado graúdo (brita) e agregado miúdo (areia)	19
Figura 4: Resíduo de construção e demolição (RCD).	22
Figura 5: Ciclo de vida dos agregados para a produção de betão	25
Figura 6: Estaleiro de produção de abobadilhas e vigotas.	36
Figura 7: RCD antes e depois de britado manualmente.....	37
Figura 8: Agregado reciclado lavado, o agitador mecânico e os peneiros usados para o ensaio.....	39
Figura 9: Agregado reciclado submerso no tanque e o cesto metálico para a pesagem da amostra.	40
Figura 10: Ensaio de abaixamento do cone de Abrams (Slump test)	42
Figura 11: Produção de betão, enchimento dos cubos e submersão no tanque coma água.	43
Figura 12: RCD abandonado na via publica.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados do ensaio de granulometria.....	47
Tabela 2: Quantidades de materiais usados na produção de betão traço (1:2:3)	49
Tabela 3: Evolução do betão até atingir 100% de resistência.	50

SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTM – American Society for Testing and Materials

CC – Coeficiente de Curvatura

CDW – Construction and Demolition Waste Landfills

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

EPA – Environmental Protection Agency

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

MPa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

NP – Norma Portuguesa

NM – Norma Moçambicana

RCD – Resíduos de construção e demolição

SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos

S1 – Série 1

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

USGS – United States Geological Survey

°C – Graus Centígrados

1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa tem como tema “proposta de aproveitamento de resíduos de construção e demolição para a produção de betão, estudo de caso: bairro de Tsalala (2021-2022)” e visa discutir a problemática relacionada com as estratégias que podem ser aplicáveis para o aproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) para a utilização como agregado com características físicas e mecânicas adequadas para fabricar o betão a ser usado em novas construções.

Os RCD surgem através do descarte de material nas actividades de construção e demolição, estas actividades formam a base da construção civil (Carneiro et al, 2001). Durante a pesquisa constatou-se que não se pode falar do betão sem se falar da construção civil, pois, como defendido por (Carneiro et al, 2001), o betão surge a partir da evolução dos métodos primitivos que surgiram com a construção civil.

“A construção civil é uma actividade muito antiga, surgiu com início da humanidade pela necessidade do ser humano abrigar-se das acções da natureza decorrentes das variações climáticas, bem como proteger-se contra animais perigosos. Os seres humanos que antes viviam em cavernas começaram a procurar abrigar-se de forma mais confortável e segura explorando os materiais existentes na natureza de modo a construir moradias mais sofisticadas” (Lourenço, 2000). Acrescenta o mesmo autor que estes materiais eram usados da forma como se encontravam na natureza, materiais como madeira, pedra e barro.

Segundo Verçosa (2000), até a época dos grandes descobrimentos, a técnica de construir resumia-se em modelar os materiais encontrados de forma bruta na natureza: a pedra, a madeira e o barro, e em menor escala metais e fibras vegetais. E, Lourenço (2000), defende que com o passar do tempo a curiosidade e também a necessidade de construir edificações mais resistentes e de boa aparência levou ao homem a transformar a matéria-prima encontrada na natureza em materiais mais consistentes.

A construção civil que surgiu com início da humanidade, conforme defendido por Lourenço (2000), “seguiu um processo evolutivo acompanhando as tecnologias construtivas em vigor em cada época como é o caso das construções com pedra, que marcaram o período neolítico, as construções com madeira na idade do bronze, mas o material que acabou por dominar a indústria da construção civil pela sua versatilidade no uso, adaptabilidade as variações climáticas e também possibilidade de criar as mais variadas formas geométricas conforme a necessidade é o betão”.

Neste contexto Ribeiro (2011), destaca que foi a partir do século IV A.C., em Roma, que o betão começou a popularizar-se como um grande material para a construção e hoje ele já é usado em quase todo o mundo das mais variadas formas, regulamentações, mas sempre com o intuito de aproveitar o máximo a sua alta capacidade de absorver os esforços de compressão, garantindo segurança e comodidade na construção de edificações. Ainda, Ribeiro (2011) defende que com a sua popularidade

em relação aos demais materiais o betão passou a ser usado juntamente com o aço dando a origem a mais usada combinação de materiais na construção civil, o betão armado. Este autor afirma ainda que essa combinação fez com que o betão passasse a ser ainda mais usado.

Ainda no mesmo contexto, Kaefer (1998) defende que o betão foi usado na construção dos muros de uma cidade romana no século IV A.C. situada a 64 km de Roma e no século II A.C. Este novo material começou a ser usado em edificações em Roma. A afirmação anterior sustenta a ideia defendida por Ribeiro (2011), segundo a qual o betão já vinha sendo usado antes do século IV A.C. Kaefer (1998) também defende que no século II a construção civil já extraía agregado para betão e também produzia resíduos de construção, mas devido ao desconhecimento das suas capacidades o betão não era muito aderido.

É evidente que toda a construção gera resíduos (Carminho, 2012). Deste modo, pode-se perceber que pelo facto de o betão ser usado a bastante tempo houve não só uma diminuição de recursos naturais resultante da sua produção, mas também uma grande produção de resíduos na construção de novas infra-estruturas bem como na demolição das existentes, o que levou a adopção de novos métodos construtivos nos últimos séculos que se baseiam no betão produzido a partir de resíduos de construção e demolição (Coutinho, 1999). Este betão é uma alternativa que visa o aproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) na sua produção, diminuindo a taxa de descarte dos RCD na natureza e reduzindo o índice de extracção de agregado natural para a produção de betão em novas construções (Carminho, 2012).

Para a produção do betão é necessária segundo Coutinho (1999) a mistura de água, agregado e um ligante hidráulico. Assim sendo o componente que aparece com a maior percentagem na composição do betão é o agregado, pois, ocupa 70 – 80% do volume do betão (Ferreira et al, 2009). Sendo o agregado um inerte obtido na natureza pode-se perceber que devido a sua produção e uso no betão, grandes quantidades de agregado são retiradas da natureza. E, a Comissão Mundial do meio ambiente, no seu relatório de Brundland de 1987, sobre o meio ambiente e desenvolvimento afirmou que “o desenvolvimento é sustentável quando satisfaz às necessidades actuais sem hipotecar a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias”, chamando assim a atenção para todas as indústrias, inclusive a construção civil, no sentido desenvolver novas técnicas que diminuíssem o consumo de recursos naturais para a produção de betão.

Neste contexto, com a presente pesquisa pretende-se apresentar estratégias para o aproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) para a utilização como agregado na produção de betão através de recolha de amostras, pesquisa e teste de métodos de transformação desse material em agregado reciclado para posterior produção de betão que será analisado em laboratório afim de compreender as suas características físicas e mecânicas de modo a perceber até que ponto esse

material pode ser usado na construção civil. Aproximando assim a indústria da construção civil no caminho do desenvolvimento sustentável.

1.1. Problematização

A necessidade de abrigar-se para não sofrer as acções da natureza como os ventos intensos, chuvas, bem como para o conforto próprio levou ao Homem a construir moradias, uma vez que a habitação tem um profundo impacto na saúde humana, pois, é estimado que se passem 80% a 90% do dia em meio ambiente construído (Pasternak, 2016). Assim sendo, “riscos em relação à saúde nesse ambiente são de extrema relevância” (Miranda 2014). Ainda nesse ponto Miranda (2014), defende que o Homem vem usando materiais obtidos na natureza para fazer ou melhorar as suas edificações e o material mais usado para a construção de estruturas resistentes é o betão.

“A área de construção civil é responsável pelo consumo de 50% dos recursos naturais, 40% dos recursos energéticos para a consequente produção de 50% de resíduos no mundo. No mundo para cada ser humano são produzidos 500 quilos de resíduos o que equivale a 3,5 milhões de toneladas por ano” (Coelho e Brito, 2010). Esses dados fazem da construção civil segundo Coelho e Brito (2010) a indústria mais poluente do planeta. Neste diapasão, o aproveitamento desses resíduos visa criar novas formas de obtenção do betão.

Em Moçambique, particularmente nas cidades de Maputo e Matola, nos últimos anos, têm se verificado um grande aumento das construções de novos edifícios para habitação e prestação de serviços (Mabue et al, 2019). Entretanto, segundo os censos 2007 e 2017, observou-se que o índice de construção de habitações com paredes de bloco de cimento e pavimento de cimento na cidade da Matola subiu em 62,1% passando de 117.603 casas para as 190.635 casas (INE estatísticas distritais 2008) e (INE estatísticas distritais 2018). Um aumento impulsionado pelo aumento da população que era em 2007 de 671.556 pessoas para as 1.032.197 em 2017, o que corresponde a uma subida de 53,7 % (INE, 2019).

Na cidade de Maputo cerca de 50t de RCD são produzidos por dia (BR N° 38 III série, 2009). E devido a dificuldades de obtenção de dados e a pouca disponibilidade de bibliografias que abordem o aproveitamento de resíduos sólidos, não foi possível obter a dados estatísticos actualizados sobre a quantidade de resíduos descartados e a taxa de descarte na área em estudo. Porém estima-se que a quantidade de RCD produzida na cidade da Matola não deve estar muito longe da quantidade produzida em cidade de Maputo (Mabui et al 2019).

Com o aumento da população e desenvolvimento tecnológico, mais casas estão a ser construídas, assim sendo mais resíduos de construção e demolição estão a ser produzidos. Deste modo, existe a necessidade de se criar alternativas para aproveitar este material e uma das formas seria transformar

os RCD em agregados para a produção de betão para que os resíduos não sejam depositados na natureza como forma aparentemente barata encontrada pelos construtores para se desfazerem do material.



Figura 1: Resíduo de construção e demolição depositados na via publica do Bairro Tsalala.

Fonte: Autor (2022)

Pode-se observar na imagem acima, grandes quantidades de RCD depositadas nas vias públicas, visto que os construtores, moradores tem usado estas vias como depósito de RCD, algo que acontece principalmente nas vias mais próximas ao rio (afluente do rio Matola) lugar de difícil controlo por parte da população. Este cenário afecta a mobilidade das pessoas e automóveis que usam essas vias e também influencia na drenagem das águas pluviais, criando charcos e poças.

Com a problematização acima coloca-se a seguinte pergunta de pesquisa:

Como aproveitar os resíduos de construção e demolição (RCD) para a utilização como agregado graúdo para a produção de betão no bairro de Tsalala?

1.2. Hipóteses

Para responder à pergunta de pesquisa foram colocadas as seguintes hipóteses:

- Hipótese 1: Aproveitamento dos RCD através da sua britagem e separação dos materiais desnecessários como forma de transformar em agregado graúdo para a utilização na produção de betão para uso geral;
- Hipótese 2: Aproveitamento dos RCD através da sua britagem e separação dos materiais desnecessários como forma de transformar em agregado graúdo para a utilização na produção de betão não estrutural;
- Hipótese 3: Impossibilidade de aproveitamento dos RCD através da sua britagem como forma de transformar em agregado graúdo para a utilização na produção de betão devido a dificuldade de separar os materiais desnecessários que tem influencia negativa no betão.

1.3. Justificativa

Segundo Carneiro et al (2001), o resíduo gerado durante a construção e ao final da vida útil das estruturas e infra-estruturas na construção civil são depositados em aterros, caracterizando um modo linear de produção. Assim sendo, a preocupação com a sustentabilidade na engenharia civil nos últimos anos tornou-se um factor a considerar na construção de qualquer infra-estrutura. O que, por conseguinte, impulsionou o aprofundamento deste tema, uma vez que, existe a necessidade de reduzir a taxa de abandono dos RCD na natureza, transformando os resíduos em agregado através da sua britagem proporcionando assim, aos profissionais da construção civil uma alternativa para aplicar os resíduos que são inevitáveis de produzir em novas obras, reduzindo assim o seu descarte.

Até ao momento, os resíduos ou são usados como aterro ou são depositados na natureza de forma insustentável (Miranda, 2014). Ainda no mesmo contexto Miranda (2014), defende que o aproveitamento dos resíduos por parte dos construtores e profissionais da engenharia de construção civil minimizaria o seu impacto no ambiente não comprometendo as necessidades das gerações futuras, isto é, dar a oportunidade às gerações futuras de fazerem o uso desses materiais tão preciosos uma vez que todos os recursos naturais são limitados. Esta posição é partilhada por Coelho e Brito (2010), uma vez que segundo estes autores os recursos naturais são considerados pela UNESCO como base de vida da sociedade, pois é fonte de Saúde, alimento, trabalho, conforto e até mesmo de diversão.

Para ter uma ideia do impacto social da extracção dos recursos naturais, numa cidade como São Paulo (Brasil) a areia natural já é transportada de distâncias superiores a 100 km, implicando enorme consumo de energia e geração de poluição (Carneiro et al., 2001). A gestão de RCD em Moçambique, particularmente em Tsalala é algo relativamente novo e pouco funcional, considerado um problema ambiental e social, e desta forma constitui um desafio ao país e administração municipal (Langa, 2014). Assim sendo, a implementação de estratégias que visam preservar o meio ambiente e reduzir o índice de extracção de recursos naturais tendem a proteger a sociedade dos riscos que advém do consumo descontrolado de recursos naturais garantindo que a sociedade actual e a futura possam usufruir desses recursos (Pinto e Henriques, 2015). Por outro lado, há uma necessidade de proceder com a pesquisa tendo como base as normas e legislações sobre as especificações técnicas necessárias para aplicabilidade do material, pois, a sustentabilidade só é bem-vinda quando salvaguarda a segurança da sociedade actual, defende a Câmara dos Deputados em Seminário Construções Sustentáveis (2010).

Outro factor que influenciou na escolha do tema é a necessidade de aproveitar os resíduos descartados reduzindo assim os riscos de charcos e poças de água que contribuem negativamente através da proliferação de doenças. E através do desenvolvimento de estratégias de armazenamento, manuseio, transporte e aproveitamento de resíduos como agregado para betão pode-se criar também alternativas

para a cobertura das casas, produção de pilares, vigas e outras formas de uso de betão. Bem como a geração de novas oportunidades de negócio e emprego para a comunidade.

1.4.Objectivos

Para a concretização desta pesquisa foram definidos objectivos gerais e específicos.

1.4.1. O objectivo geral da pesquisa é:

Apresentar estratégias que visam o aproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) para a utilização como agregado graúdo na produção de betão no bairro de Tsalala.

1.4.2. Objectivos específicos

- Caracterizar os resíduos de construção e demolição (RCD) na perspectiva de uso como agregado graúdo;
- Analisar as experiências dos outros países no aproveitamento de RCD e as soluções adoptadas;
- Propor o aproveitamento do agregado proveniente dos RCD na produção de betão;
- Analisar as características mecânicas do betão produzido a partir de amostras recolhidas de agregado proveniente dos resíduos de construção e demolição da área em estudo:

1.5. Delimitação da área de estudo

Tsalala é um bairro que localiza-se no posto administrativo da Machava, no Município da Matola, província de Maputo. É delimitado a norte pelo bairro de Txumene, a sul pelo bairro de Cikwama e Liberdade, a este pelo bairro de Bunhica, Matola Socimol e oeste pelo bairro de Malhampsene (Correio da Matola, 2013). É tido como o maior bairro da Matola em termos de extensão e densidade populacional. Está dividido em nove células e conta com um posto de Saúde e um posto policial (Correio da Matola, 2013).

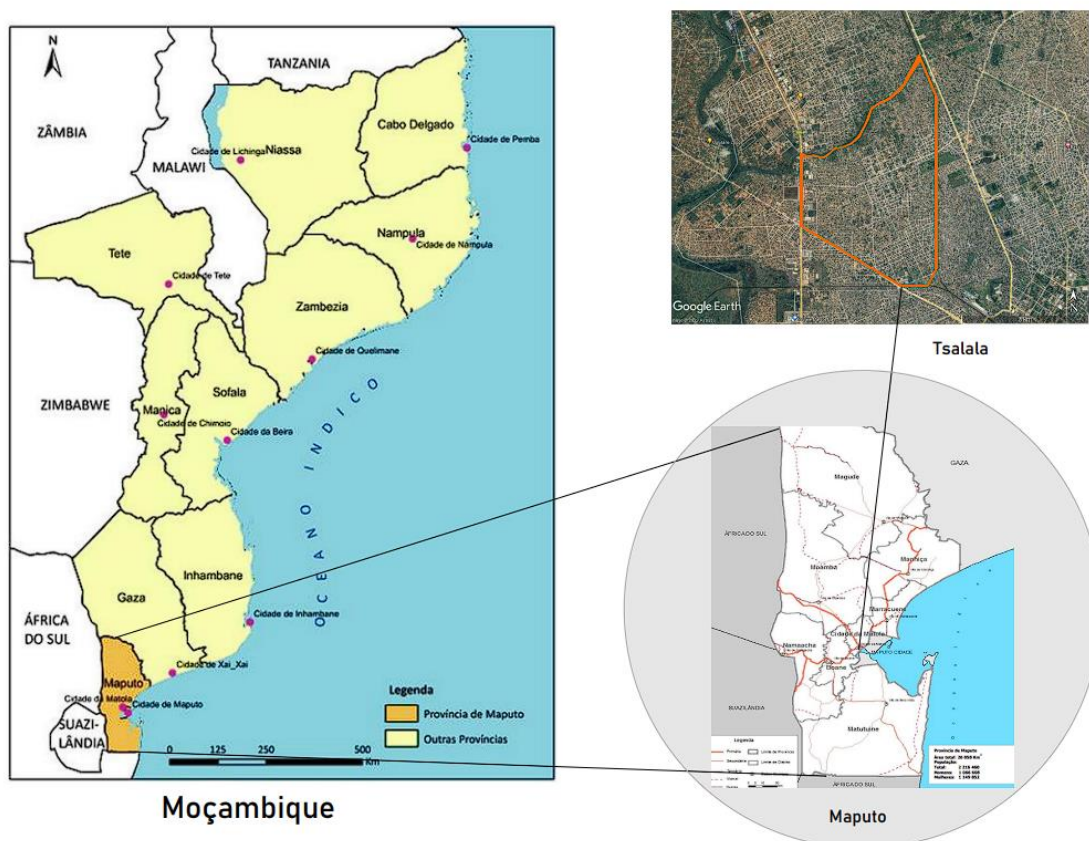


Figura 2: Localização geográfica do Bairro Tsalala
Fonte: Goole earth (2022)

1.6.Estrutura do trabalho

O presente trabalho de pesquisa esta dividido em 5 capítulos:

O primeiro capítulo é a presente **Introdução**, que faz a apresentação do tema, introdução ao conteúdo da pesquisa, a problematização, Hipóteses, Justificativa, a apresentação dos Objectivos da pesquisa, e delimitação espacial do estudo. O segundo capítulo que faz a **Revisão da Literatura**, discute as opiniões de diferentes autores de pesquisas científicas anteriores sobre os termos, conceitos e conteúdos abordados durante esta pesquisa. O terceiro capítulo é a **Metodologia**, que descreve todos os métodos e processos usados durante a pesquisa, colecta e análise de dados presentes neste trabalho. O quarto capítulo que faz **Análise e discussão dos resultados**, são apresentados e analisados todos os dados colhidos durante o processo de pesquisa e os resultados obtidos, incluído também a proposta de aproveitamento dos RCD como agregado na produção de betão. Finalmente, o quinto capítulo que apresenta as **Conclusões do estudo**, neste capítulo faz-se o resumo dos resultados da pesquisa, mantendo o foco no assunto principal do trabalho. Contem também comentários acerca do tema e sugestões para próximas pesquisas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Um das partes importantes deste trabalho é a procura de técnicas eficazes para a transformação do RCD em agregado reciclado. Para este efeito, neste capítulo serão abordados primeiramente os conceitos de agregado e betão de modo a compreendermos como esses materiais são e as características que estes materiais devem ter para a produção de um bom betão. A seguir será discutido o termo resíduos de construção e demolição (RCD), com foco na sua produção, armazenamento e destino final. Serão também abordados os pontos de vista de outros autores sobre o betão produzido com agregados provenientes dos resíduos de construção e demolição. Serão discutidos também alguns cuidados a ter na recolha do resíduo, nos possíveis processos de transformação em agregado reciclado e na produção de betão reciclado. Será também abordada a construção sustentável com o foco na implementação da política 3R da sustentabilidade que visam reduzir os impactos ambientais gerados pela construção civil.

2.1. Agregados

De acordo com Bauer (2008), o agregado é um material particulado, não coeso, de actividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos, que entra na composição das argamassas e betões, contribuindo para o aumento da resistência mecânica e redução de custo na obra em que for utilizado. Por outro lado, a norma Moçambicana NM NP ENV 206 (2009) define agregado como sendo material constituído por substâncias naturais ou artificiais, britadas ou não, com partículas de tamanho e forma adequados para o fabrico de argamassas, blocos, betão etc. este autor defende ainda que os agregados podem ser de origem natural (areias, britas naturais) ou artificiais (argila e xisto) produzidos de forma industrial.

Ainda neste ponto a norma NBR NM 248 ABNT (2003) explica que os agregados são usualmente classificados quanto a sua origem como naturais, quando encontrados na natureza prontos para o uso. Como britados, se provenientes de processos de britagem de rochas; como artificiais, quando oriundos de processos industriais; e como reciclados, quando são provenientes do aproveitamento de resíduos industriais ou de resíduos da construção civil. Quanto ao tamanho dos grãos os agregados podem ser classificados como: agregados miúdos, aqueles que possuem grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de abertura de malha de 0.075 mm e agregados graúdos, cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira de abertura de malha de 4,75 mm, em ensaios realizados de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).



Figura 3: Agregado graúdo (brita) e agregado miúdo (areia)

Fonte: Autor (2022)

2.1.1. Forma e Textura

A forma e a textura dos grãos do agregado influenciam na trabalhabilidade no betão fresco. Misturas com agregados que possuem grãos arredondados e lisos necessitam de uma quantidade menor de cimento e água para atingirem uma determinada consistência (Gouveia e Fernandes Jr., 2001).

Para Coutinho (1988), a forma e textura das partículas do agregado afecta o comportamento do betão pois tem influência na trabalhabilidade, no ângulo de atrito interno, etc, isto é, nas propriedades que dependem da quantidade de água de amassadura.

Neste contexto Mehta e Monteiro (2008) explica que uma textura mais áspera no agregado favorece a formação de uma forte ligação física entre a pasta de cimento e a superfície do agregado, colaborando com a resistência do betão, principalmente nas primeiras idades, enquanto ainda não há o desenvolvimento de uma forte aderência química

De acordo com Gouveia e Fernandes Jr. (2001), agregados miúdos muito grossos produzem betões ásperos e não trabalháveis, enquanto que agregados miúdos muito finos aumentam o consumo de água e são antieconómicos. Assim sendo uma distribuição granulométrica equilibrada produz misturas para betão mais trabalháveis e económicas.

De uma maneira geral considera-se que as partículas de elevada esfericidade mas angulosas são as mais desejáveis em termos de fabrico de betão e as partículas mais indesejáveis são simultaneamente lamelares e alongadas (Concrete Petrography, 1998).

2.1.2. Distribuição granulométrica

A granulometria de um solo é a subdivisão de diferentes classes e tamanhos, determinando suas dimensões e percentagem, estabelecendo a grandeza das partículas (Nascimento et al, 2020). Ainda neste ponto Nascimento et al (2020), explica que este método é usado para a realização da análise do solo.

Na mesma linha de pensamento Gouveia e Fernandes Jr., (2001), defende que análise da composição granulométrica, mostra como ocorre a distribuição da dimensão dos grãos que constitui os agregados, usualmente expressa através de percentagem acumulada retida, nas peneiras da série normal ou intermediária (Gouveia e Fernandes Jr., 2001).

Para Dias (2004), A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras (presumivelmente representativas dos sedimentos) e no tratamento estatístico dessa informação.

A distribuição granulométrica do agregado tem uma grande influência sobre as propriedades do betão, particularmente no que se refere a compactidade e a trabalhabilidade (maior ou menor facilidade com que o betão é amassado, transportado, colocado, compactado e acabado e a menor ou maior facilidade de segregação durante essas operações). Se a granulometria é contínua (partículas distribuídas uniformemente por todas as dimensões da mais pequena à maior) e se as partículas têm uma forma adequada é possível obter-se betão muito compacto e resistente (Lea, 1998).

Analizando as afirmações anteriores pode-se perceber que é muito importante conhecer a distribuição granulométrica do agregado a usar principalmente porque pode afectar a resistência e trabalhabilidade do betão, isso tanto para o betão convencional, bem como para o betão produzido a partir de RCD. A preparação das amostras para o ensaio está de acordo com as normas NM 594 (2015) e NP EN 933-1 e NP EN 933-2.

2.1.3. Absorção de água/ umidade superficial

De acordo com DNER-ME 195/97 absorção de água é o aumento da massa do agregado, devido ao preenchimento dos seus poros por água, expresso como percentagem de sua massa seca.

Para o CDT (2014), absorção é o aumento na massa de agregado devido à água nos poros do material, mas não incluindo água aderente à superfície externa das partículas, ela é expressa como uma percentagem da massa seca. CDT (2014) explica também que o agregado é considerado seco quando for mantido a uma temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por tempo suficiente para remover toda a água combinada até massa constante. Por outro lado Sbrighi Neto (2005), define a capacidade de absorção de um agregado como sendo a quantidade de água necessária para levá-lo do estado seco em estufa para a condição saturado com superfície seca.

Assim sendo o conhecimento dessa variável possibilita aos profissionais calcular a quantidade de água óptima necessária para a mistura de betão de modo a garantir uma boa trabalhabilidade e resistência (Sbrighi Neto, 2005).

2.2. Cimento Portland

O cimento Portland é um Ligante hidráulico produzido pela moagem do clínquer; material resultante da calcinação de uma mistura de calcário e argila, sendo constituído essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos, com adição de uma ou mais formas de sulfato de cálcio (Gouveia e Fernandes Jr., 2001).

Para Neville (1982) o nome cimento Portland é usado até hoje para designar um cimento obtido pela mistura apropriada de materiais calcários e argilosos, ou outros materiais contendo sílica, alumina e óxidos de ferro, aquecendo tudo a uma temperatura necessária para a clínquerização e moendo-se o clínquer resultante.

O cimento é um material inorgânico de baixa granulometria que, quando misturado com água, forma uma pasta. Por sua vez esta endurece em virtude das reacções e processos de hidratação e mantém sua resistência e estabilidade (Castro, 2021).

Os autores Neville (1982) e Gouveia e Fernandes Jr., (2001), abordando o conceito Cimento Portland, o relacionam ao material resultante da moagem do clínquer e Castro (2021) explica que o cimento endurece quando misturado com água em virtude dos processos de hidratação.

2.3. Betão

O betão é um material constituído pela mistura, devidamente proporcionada, de agregados (brita e areia), com um ligante hidráulico, água e eventualmente adjuvantes (Coutinho, 1999). Coutinho (1999) também explica que o ligante reage com a água endurecendo-o e a mistura adquire coesão e resistência que lhe permite servir como material de construção. Este mesmo conceito é definido por Helene (1986) como sendo um material duro, condensado, para construção conseguido com a mistura de cimento, areia, pedra britada e água. Helene (1986) ainda complementou que o betão de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da actualidade.

Ainda na mesma definição Miranda, R. J. N. (2014) afirmou que concreto é um material de construção constituído de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e eventualmente aditivos químicos e adições. Este autor ainda explica que os aditivos são empregues com a finalidade de melhorar, modificar, salientar ou inibir determinadas reacções, propriedades e características do concreto, no estado fresco e endurecidos.

2.3.1. Substâncias nocivas

Segundo Bauer (2008), substâncias nocivas no betão são Partículas de origem orgânica ou mineral, que podem dar origem a reacções químicas expansivas com o cimento. No mesmo ponto Bauer (2008)

explica que estas Partículas com dimensões iguais ou inferiores às do cimento, interferem na estrutura do material hidratado, enfraquecendo-o.

De modo a serem usados na produção de betão, os agregados devem ser isentos de substâncias nocivas ou estas estarem dentro de limites máximos especificados em normas. Temos como exemplo os materiais pulverulentos: constituídos por partículas com dimensão inferior a 75 µm, incluindo materiais solúveis em água, aumentam a necessidade de consumo de água para uma determinada consistência e provocam fissuração no betão (Gouveia e Fernandes Jr., 2001).

Ainda Gouveia e Fernandes Jr. (2001) citando a norma NBR 7211 (ABNT, 2005), referiu que os materiais pulverulentos quando forem exclusivamente provenientes da britagem de rocha, e seus grãos não interferirem nas propriedades do betão, os limites percentuais máximos aceitáveis em relação à massa do agregado miúdo são de 12% para betões comuns.

Pode-se perceber que as substâncias nocivas são partículas indesejadas no betão devido ao consumo de água (absorção de água) e também pelas reacções que podem ocorrer quando hidratadas junto com o ligante hidráulico (cimento).

2.4. Resíduos de construção e demolição

A Resolução CONAMA (2002), define que os resíduos da construção e demolição (RCD) são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, assim como, dos resíduos resultantes do preparo e da escavação de terrenos. São exemplos de resíduos: tijolos, blocos cerâmicos, betão em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação eléctrica, etc.

Já EPA (2016) define RCD como sendo restos de concretos, madeiras, gessos, asfaltos, metais, vidros, plásticos, tijolos, solos e vegetações, resultantes das inúmeras fontes geradoras de resíduos sólidos na área da construção civil, podendo se destacar as catástrofes naturais ou artificiais e a baixa qualificação da mão de obra.



Figura 4: Resíduo de construção e demolição (RCD).

Fonte: Autor (2021)

Para se ter uma ideia os RCD representam, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos no mundo (Pinto, 1999; John, 2000), o que demonstra que a indústria da construção civil é responsável pela produção da metade dos resíduos existentes no mundo.

De modo geral a geração de resíduos de construção e demolição é superior a 3 bilhões de toneladas em todo o mundo (Akhtar e Sarmah, 2018). Segundo John e Agopyan (2001) estima-se que a massa de resíduos gerada internacionalmente varia entre 130 a 3.000 Kg/hab/ano da massa total de resíduos sólidos urbanos. Tal variação depende do controle da produção implementado em cada canteiro de obra explica (Agopyan, 2001).

Por uma questão de padronização houve a necessidade de categorizar os RCDs em grupos de modo a facilitar o seu tratamento e destino final. Assim sendo a resolução Conama (2002) classificou os RCDs da seguinte forma:

- **Classe A** – São os resíduos que podem ser reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, de edificações, componentes cerâmicos como (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e betão de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em betão (blocos, tubos, lancis , etc.) produzidas no canteiro de obras;
- **Classe B** – São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, isopor e gesso;
- **Classe C** – São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação tais como: lixas, massa corrida, massa de vidro, etc.;
- **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 objectos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

De acordo com a classificação acima, este trabalho de pesquisa tem como foco propor o aproveitamento dos resíduos da classe A, na produção de betão, ou seja, inserir este material no processo de produção de betão.

2.5. Britagem do resíduo de construção e demolição

A britagem do resíduo é o processo pelo qual o resíduo de construção é transformado em material com granulometria menor para uso futuros, essa britagem é feita através da trituração do resíduo por processos manuais ou mecânicos (Cunha 2007).

Ainda na definição o Evangelista et. al (2010), sugere que esse processo nada mais é que a trituração dos resíduos da classe A, transformando-os em agregados por processos manuais ou mecânicos, visto que os resíduos das outras classes podem apresentar materiais contaminantes em quantidades elevadas (30-50%).

Com base na literatura apresentada, pode se afirmar que para uma britagem dos resíduos os profissionais da construção civil devem ter cuidado de separar os depósitos de resíduos de construção e demolição ainda no canteiro de obras, pois quanto menor for a variação dos materiais melhor será a sua classificação quanto a distribuição granulométrica do material já transformado em agregado. Esta é uma chamada de atenção ao método de armazenamento dos materiais e dos resíduos tanto no processo de construção bem como demolições. Assim sendo os materiais e resíduos devem ser separados por tipo em todas as fases do processo de construção, bem como no processo de demolição.

2.6. Betão com agregados reciclados

O betão com agregados reciclados é aquele produzido com resíduos britados, em substituição parcial ou total aos agregados convencionais (Ângulo e Figueiredo, 2011). Já Molina, (2019) defende que que o betão reciclado é um material sustentável que aproveita materiais que seriam descartados para produzir betão a ser usado na construção civil. Analisando a aplicabilidade do betão reciclado Miranda (2014), defende que este material sustentável pode ser uma das principais contribuições que o sector da construção pode ter para a conservação e manutenção do meio ambiente. Isto passa pela introdução, nos processos de produção, de agregados procedentes de resíduos ou escombros de construção que tinham como destino final o aterro. Em outras palavras, alargar o ciclo de vida destes materiais o que supõe, uma poupança em espaços licenciados para aterro como também uma diminuição da extracção de recursos naturais. Ver a seguir a figura 1.

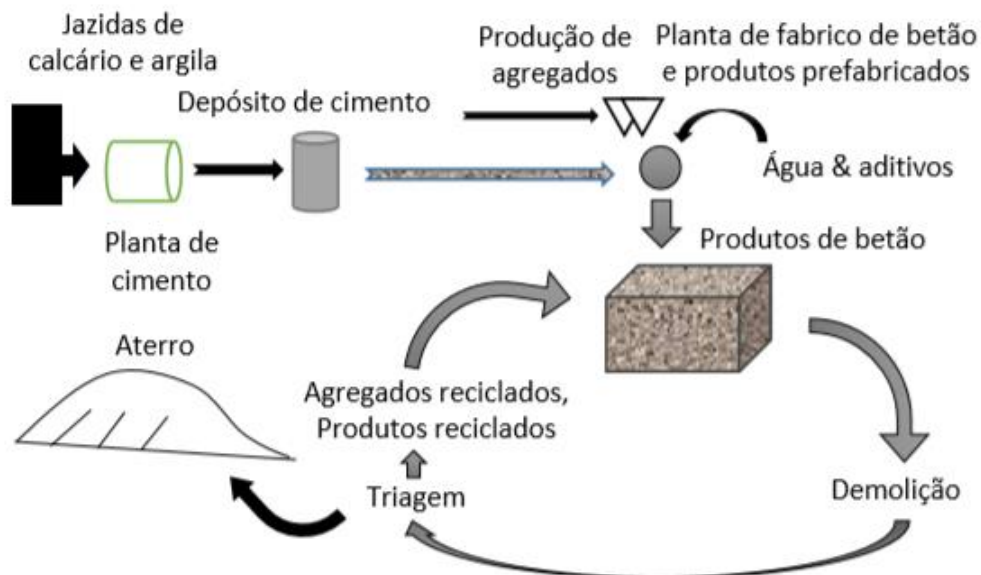


Figura 5: Ciclo de vida dos agregados para a produção de betão

Fonte: Miranda, 2014.

Analisando a figura 1, pode-se observar que o destino dos resíduos de betão é o aterro, ou seja, quando o produto de betão chega ao fim da sua vida útil este é demolido e depositado em aterros. O aproveitamento visa retardar a chegada desse material ao aterro, com a triagem (transformação em agregado reciclado) e sua posterior aplicação na produção do produto de betão. E assim o ciclo continua até o material perder as propriedades necessárias para ser usado como produto de betão.

Uma vez que a composição dos RCD varia de região para região conforme a sua localização, dependendo dos métodos construtivos utilizados e também da matéria prima presente em cada região, Jadovski, (2008) defende que a utilização de normas, legislações em vigor em regiões fora da área em estudo só podem ser aplicadas quando se confirmarem a similaridade nesses aspectos (mesma matéria prima, métodos construtivos similares). A mesma ideia é defendida por Pinto (1999) ao explicar que os RCD podem conter impurezas de origem diversas, impurezas estas que estão presentes somente em certas regiões. Assim sendo, corremos o risco de usar agregados reciclados contaminados que podem afectar a qualidade das construções, bem como saúde e segurança de todos que farão o uso do produto final dessas construções. Nesta mesma linha de pensamento, Gonçalves e Brito (2008), afirmam que o maior condicionante na produção do betão reciclado é a sua vasta composição de materiais nos seus resíduos. Assim sendo, a utilização de resíduos apesar de ser uma alternativa muito viável, cuidados são necessários para a separação dos materiais necessários dos desnecessários.

Autores como Levy (1997) e Miranda (2000), acreditam que a avaliação do risco ambiental é a maior preocupação quando a reciclagem é feita por equipamentos mecanizados, devido a emissão de vários tipos de gases para o meio ambiente. Sendo assim preocupado com a sustentabilidade na indústria da construção civil Kilbert (1994) propôs os seguintes princípios para minimizar os impactos negativos:

1. **Minimizar o consumo de recursos:** gastar mais tempo na fase de planeamento e projectos para otimizar a utilização de materiais e minimizar a produção de resíduos;
2. **Maximizar a reutilização de recursos:** reutilizar componentes que ainda possam desempenhar a função para a qual foram produzidos, ou mesmo serem utilizados em outra função.
3. **Usar recursos renováveis e recicláveis:** optar por materiais recicláveis ou cujas fontes de matéria-prima sejam renováveis;
4. **Proteger o meio-ambiente:** evitar o uso de materiais cuja extracção de matéria-prima cause danos ambientais;
5. **Criar um ambiente saudável e não tóxico:** evitar utilização de materiais que podem causar danos tanto ao meio ambiente quanto aos usuários;
6. **Buscar a qualidade na criação do ambiente construído:** projectar utilizando técnicas que permitam uma construção mais económica, menos poluente e que impacte menos agressivamente no meio-ambiente.

Pode-se observar que o foco nos princípios 1 e 2 propostos por Kilbert (1994) é evitar a produção de resíduo o máximo possível, nesse sentido um bom projecto e planeamento pode evitar muitas perdas e também evitar a produção de resíduos decorrentes de erros, alterações, restos de matérias, etc., e nos princípios 3, 4, 5 e 6 o foco está virado na gestão dos resíduos que são inevitáveis de produzir. Promovendo o uso de materiais que os seus restos possam ser reutilizados para outras construções ou para outros fins.

2.7. Construção sustentável

O termo “sustentabilidade” é ainda recente. Foi em 1987 que foi lançada a primeira definição de “desenvolvimento sustentável” pelo relatório de Brundtland: “desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente, 1987).

Ainda na definição de construção sustentável IDHEIA (2003), defende que construção sustentável é um sistema construtivo que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender as necessidades de edificação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações actuais e futuras.

É com a preocupação com a sustentabilidade que Foster (2003), em análise do consumo de energias dos edifícios, descobriu que os edifícios consomem metade da energia utilizada em países desenvolvidos. Apesar dos profissionais da construção civil não serem capazes de salvar o planeta, eles podem fazer uma grande diferença projectando edificações que equilibrem os gastos com os recursos, aplicando os materiais que prejudiquem menos o meio ambiente, explicou Foster (2003) na

conclusão da sua pesquisa. Outrossim, Nunes (2015), enfatiza que para além da orientação, geometria do edifício e vegetação, os materiais correctos e as técnicas construtivas contribuem de forma significativa na construção sustentável, pois reduzem o desperdício de materiais e o dano ao meio ambiente. Ficou assim claro que o desenvolvimento sustentável completo não podia existir sem a construção sustentável, ou seja, “qualquer sociedade que procure atingir um desenvolvimento mais sustentável precisa necessariamente passar pelo estabelecimento de políticas ambientais específicas para a construção civil” (John; Silva; Agopyan, 2001).

Na escolha de materiais para a construção temos que ter em conta os seguintes aspectos: não tóxicos, recicláveis, de maior durabilidade, que permitam taxas de reutilização e de recuperação de resíduos elevadas, que provenham de fontes renováveis (Pinto e Henriques, 2015). Só assim, podemos contribuir para uma construção mais sustentável.

Neste contexto, o uso de RCD como material de construção visa contribuir na preservação dos recursos naturais, reduzindo as quantidades de agregado obtido a partir da britagem da rocha e também contribui para redução da poluição ambiental causada pelo resíduo não utilizado.

2.8. Política 3R na sustentabilidade

“A política dos 3 R’s consiste num conjunto de medidas que foram adoptadas na Conferência da Terra realizada no Rio de Janeiro em 1992, e também no 5º Programa Europeu para o Ambiente e Desenvolvimento de 1993. Esta política aplica-se e é válida para todo o tipo de resíduos, efluentes sólidos, líquidos e gasosos” (Oliveira e Filho, 2018).

A política dos 3R’s não só é uma boa prática em termos de gestão de resíduos e protecção ao meio ambiente, mas também é uma boa alternativa para a redução de custos de construção (Nakagawa, 2015).

De acordo com Pereira (2009), citando Silva et al (2011), a política dos 3R’s é um conjunto de 3 medidas de acção: reduzir, reutilizar e reciclar.

Reduzir é o primeiro e mais importante passo e consiste na redução dos resíduos antes de serem produzidos (Silva et al, 2011);

Na perspectiva Moussinho (2003) esta medida visa a reduzir o máximo possível a produção de resíduos durante a construção, tornando-se por esse motivo a medida mais importante. pois quando bem aplicada reduz a necessidade de recorrer as outras 2 medidas. Tudo passa pelo planeamento detalhado de todas as fases da construção, de todas as técnicas e a escolha minuciosa dos materiais a serem usados reduzindo o desperdício para posterior redução de RCD produzido.

Reutilizar é utilizar o mesmo objecto para mesmas funções ou funções diferentes, evitando o descarte desnecessário (Pinto e Henriques 2015).

Pereira (2009) defendem ainda que esta medida tem como propósito organizar e usar todos os materiais previamente aplicados em novas funções da obra. Neste contexto, materiais como pregos usados no processo de demarcação podem ser reutilizados na fase de cofragens para prender as tabuas ao invés de adquirir novos. Os restos de arame das cofragens podem ser usados para fazer a amarração das vigas, pilares e lajes, etc.

Reciclar é transformar os resíduos em materiais uteis. Os cidadãos têm no processo de reciclar um papel fundamental, pois podem separar os diversos tipos de resíduos permitindo a transformação de produtos inúteis em novos materiais ou matéria prima (Tirone e Nunes, 2008).

De acordo com a mesma fonte, a reciclagem é a alternativa quando os dois métodos anteriores não forem mais viáveis, ela sem dúvida reduz o impacto que o meio ambiente pode sofrer com o consumo de matéria prima e a geração desordenada de resíduos. É nesta etapa que tudo se faz para retardar a chegada do RCD no aterro, pois deve-se usar as tecnologias existentes para fazer o uso desse resíduo, como é o caso da reciclagem de garrafas plásticas que nada mais é a incorporação desse material na produção de novas garrafas.

Na construção civil temos restos de pregos, arames, aço, telhas, blocos, betão e mais. Resíduos estes que podem ser usados para a produção de materiais reciclados que possam ser novamente usados.

2.9. Experiências de alguns países no aproveitamento dos RCD e as soluções adoptadas

Alguns países já têm vindo a implementar acções para o aproveitamento dos RCD e também para a gestão de RCD produzidos na perspectiva de reduzir o impacto que estes resíduos tem no meio ambiente.

2.9.1. Estados Unidos da América

Neste país as soluções de gestão e aproveitamento de RCD, vem sendo feito a nível de estados. Assim sendo temos diferentes abordagens para solucionar o problema comum. Apesar de existirem diferentes abordagens, vários estados partilham de métodos e soluções semelhantes para a gestão e aproveitamento de RCD (Environmental Protection Agency – EPA, 2020).

Um das soluções mais comuns é a criação de programas de reciclagem de RCD que incentivam a separação dos materiais durante a construção e demolição facilitando a colecta e processamento de RCD para uso futuro. São casos de Califórnia e Massachusetts, que também tem leis que exigem que no mínimo 65% de RCD seja aproveitado em novas construções (Environmental Protection Agency – EPA, 2020).

Outros métodos são, o uso de materiais de construção sustentável e a implementação de tecnologias de construção mais eficientes e limpas com programas como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) que incentivam o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis para a gestão e aproveitamento de RCD (Environmental Protection Agency – EPA, 2020).

2.9.2. Japão

Com o crescente nível de desenvolvimento e a necessidade de preservar os recursos naturais, o Japão é mais um país que tem enfrentado desafios na gestão e aproveitamento de RCD e uma das soluções adoptadas é a implementação de políticas de gestão de RCD, como a proibição de disposição de RCD em aterros sanitários, incentivos financeiros para a reciclagem de RCD e a criação de instalações de reciclagem de altas tecnologias que podem processar e transformar RCD em materiais que podem ser usados em novas construções (Ministério do Meio Ambiente do Japão, 2017).

No Japão já é possível usar RCD para produzir betão para funções estruturais e com o investimento tecnológico feito em vários pontos do país também é possível processar grandes quantidades e variedades de RCD de uma só vez, permitindo assim que haja disponibilidade de materiais reciclados para uso em novas construções (Ministério do Meio Ambiente do Japão, 2017).

2.9.3. Portugal

A legislação referente aos resíduos, em Portugal, deve-se à transposição de directivas europeias. Neste país estima-se que cerca de 19% dos resíduos produzidos são constituídos por RCD, cerca de 7.5 milhões de toneladas anualmente (Coelho e Brito, 2010). E nessa quantidade Chaves (2009) explica que somente 5-10% dos RCD são reutilizados ou reciclados, mostrando que o país ainda enfrenta grandes desafios na implementação de soluções para o aproveitamento de RCD.

Algumas das soluções passam pela implementação de políticas que obrigam o aproveitamento ou reciclagem de pelo menos 5% dos RCD em obra, lei aprovada em 29 de Janeiro de 2008 (APA, 2013). Outra iniciativa tomada é a implementação de projectos de âmbito nacional com vista ao aproveitamento de RCD como o caso do projecto REAGIR (Câmara Municipal de Montemor-o-Novo, 2006). Este projecto promovido pela Câmara Municipal de Montemor-o-Novo foi criado com o fim de definir e implementar soluções de recolha selectiva de RCD, implementação de normas de gestão em Montemor-o-Novo e a construção de uma unidade piloto de reciclagem de RCD REAGIR (Câmara Municipal de Montemor-o-Novo, 2006). Porém apesar dos esforços, o país ainda tem um longo caminho a trilhar para atingir a construção sustentável (Chaves, 2009).

2.9.4. Brasil

Este país também tem realizados avanços significativos no caminho do desenvolvimento sustentável da indústria da construção civil. E tem focado muito na implementação de RCD na produção de materiais para novas construções, como o caso de produção de argamassas e betões a partir de agregados reciclados obtidos de restos de blocos, betões, agregados (Miranda, et al, 2008).

O Brasil também tem produzido blocos e telhas a partir de restos de telhas, blocos, tijolos e tijoleiras. Tudo isso impulsionado pela implementação de políticas que visam a promover pesquisas, desenvolvimento de tecnologias de construção que possibilitem aproveitar esses materiais (Careli, 2009).

Apesar do desenvolvimento este país ainda enfrenta grandes desafios para ampliar a reciclagem de RCD pois ainda conta com poucos centros adequadamente preparados para o aproveitamento de RCD (MMA. 2010).

Em resumo os 4 países mencionados têm adoptado soluções semelhantes para a gestão de RCD, como a criação de políticas e regulamentação rigorosa, o desenvolvimento de tecnologias construtivas sustentáveis e o máximo aproveitamento de RCD em novas construções. No entanto, o Japão é um dos países líderes em termos de aproveitamento de RCD, e o Brasil ainda tem enfrentando grandes desafios na ampliação dos centros de processamento e aproveitamento de RCD. Esses avanços mostram que todos os países têm realizado grandes esforços para o desenvolvimento sustentável e uma construção civil livre de poluição.

Em Moçambique, tanto quanto é do conhecimento geral, não há registo de uma legislação ou norma sobre a gestão de RCD, como acontece com os resíduos sólidos urbanos. Este factor faz com que a gestão de RCD seja feita de maneira dispersa. (Langa, 2014).

3. METODOLOGIA

Este capítulo é muito importante pois descreve como o processo de pesquisa foi conduzido. Assim sendo Para Marconi e Lakatos (2003, p83), “método é o conjunto das actividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objectivo – conhecimentos validos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista”.

Deste modo, Gerhardt e Silveira (2009) defendem que Método (*do grego methodos; methodos significa, literalmente, “caminho para chegar a um fim”*) é, portanto, o caminho em direcção a um objectivo. Os mesmos autores defendem que metodologia é o estudo do método, ou seja, é o corpo de regras e procedimentos estabelecidos para realizar uma pesquisa científica que deriva de ciência, a qual compreende o conjunto de conhecimentos precisos e metodicamente ordenados em relação a determinado domínio do saber. Assim, pode-se concluir que todos os processos, técnicas ordenadas usadas neste trabalho de pesquisa fazem parte da metodologia e que influenciam directamente nos resultados da pesquisa. Por isso uma especial atenção deve ser dada a metodologia.

Nestes termos, quanto ao método a pesquisa é indutiva, pois este método considera que o conhecimento é fundamentado na experiência, não levando em conta princípios pré-estabelecidos. No raciocínio indutivo a generalização deriva de observações de casos da realidade concreta. As constatações particulares levam à elaboração de generalizações (Marconi & Lakatos, 2003). Serão analisadas amostras de resíduos recolhidas de forma aleatória de modo a inferir a características dos resíduos no geral.

3.1. Quanto ao Objectivo

Quanto ao objectivo a pesquisa é explorativa, pois segundo Gil (2007) visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vista a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão. portanto uma análise das amostras de RCD recolhidas ajudou a perceber a sua composição afim de encontrar formas sustentáveis de destino dos mesmos. Foram também criadas hipóteses sobre como aproveitar os RCD e foram feitas pesquisas de novas formas de aplicação deste material de modo a contribuir com a diminuição do impacto ambiental resultante da extracção de recursos naturais para uso como agregado.

3.2. Quanto a abordagem

A pesquisa quanto a abordagem é qualitativa e quantitativa pois, parte de dados qualitativos para o apuramento de dados sobre os resíduos de construção e demolição (RCD), e na componente quantitativa foi feita a produção de betão com agregado reciclado para fim de testes e com base em dados numéricos obtidos nos ensaios, conclusões foram tiradas a respeito desse material.

Segundo Goldenberg, (1997, p. 34) afirma que na abordagem qualitativa os pesquisadores buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos, pois os dados analisados são não-métricos (suscitados e de interacção) e se valem de diferentes abordagens. Para (Deslauriers, 1991, p. 58) "na pesquisa qualitativa, o desenvolvimento da pesquisa é imprevisível, pois o conhecimento do pesquisador é parcial e limitado. O objectivo da amostra é de produzir informações aprofundadas e ilustrativas: seja ela pequena ou grande, o que importa é que ela seja capaz de produzir novas informações".

Por outro lado, Fonseca (2002, p.20) enfatizou que na pesquisa quantitativa os resultados podem ser quantificados. Adicionalmente, acrescentou que neste tipo de pesquisa, como as amostras são geralmente maiores e, por conseguinte, representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. Fonseca (2002) defendeu também que a pesquisa quantitativa se centra na objectividade, pois influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. Esta pesquisa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenómeno, as relações entre variáveis, etc. Corroborando com esta linha de pensamento, Polit, Becker e Hungler (2004, p. 201) argumentaram que a pesquisa quantitativa, com suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana.

Apesar das vantagens que a pesquisa quantitativa tem na construção de teorias, Fonseca (2002) defende que a utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente. Por esta razão, a presente pesquisa usou uma metodologia mista de ponto de vista de abordagem, sendo quantitativa e qualitativa de modo a aproveitar os pontos fortes de cada.

3.3. Quanto a Natureza

Quanto a natureza a pesquisa é aplicada, pois é realizada com o intuito de “resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas” (Appolinário, p. 146, 2011). Ainda neste ponto Appolinário (p. 146, 2011) acrescenta que muitas vezes, nessa modalidade de pesquisa, os problemas emergem do contexto profissional e podem afectar o dia-a-dia de uma determinada região. Por outro lado, Gerhardt

e Silveira (2009), defende que a pesquisa aplicada objectiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.

Na mesma linha de pensamento, a pesquisa visa gerar conhecimentos sobre o aproveitamento de RCD de modo a consciencializar aos profissionais de construção civil a optar em usar os RCD como agregado na produção de betão, assim os resíduos não serão atirados a natureza prejudicando o meio ambiente e também esta atitude contribuirá na diminuição da procura de agregados para novas construções.

3.4. Quanto aos procedimentos técnicos

Quanto aos procedimentos técnicos a pesquisa é bibliográfica, estudo de caso e experimental.

3.4.1. Pesquisa bibliográfica

Segundo Gill (2007), a pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos periódicos e actualmente com material disponibilizado na Internet. Foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre os RCD e sobre as experiências que outros países tiveram na implementação dos RCD na produção de betão bem como as estratégias usadas para a transformação de resíduo de construção e demolição em agregado para a produção de betão.

3.4.2. Estudo de caso

Um estudo de caso pode ser caracterizado como um estudo de uma entidade bem definida como um programa, uma instituição, um sistema educativo, uma pessoa, ou uma unidade social. Visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico (Fonseca, 2002, p. 33). Este autor ainda defende que no estudo de caso o pesquisador não pretende intervir sobre o objecto a ser estudado, mas revelá-lo tal como ele o percebe.

Ainda no mesmo ponto Yin (2009), explica que no estudo de caso a pesquisa ajuda a fazer uma observação directa e colectar dados em ambientes naturais, em comparação com o uso de dados derivados. Continuando Yin (2009), elucida que o estudo de caso é melhor aplicado quando a pesquisa aborda questões descritivas e explicativas para produzir um entendimento de primeira mão sobre pessoas e eventos. É nesta ordem de ideias que o estudo de caso no bairro de Tsalala com vista conhecer e analisar a proveniência dos RCD, a sua composição e as suas características visa trazer um conhecimento que ajude a pesquisa a propor uma forma de aproveitar os RCD para produzir betão.

3.4.3. Pesquisa experimental

Gil (2007) defende que na pesquisa experimental o pesquisador estabelece um objecto de estudo, selecciona as variáveis que podem influenciá-lo, define mecanismos e formas de controle e de observação dos efeitos causados pelas variáveis seleccionadas sobre o objecto pesquisado, com o objectivo de testar uma relação de causa e efeito de certo fenómeno. Da mesma forma Dennis e Valacich (2001), defendem que a principal vantagem do estudo experimental é a precisão e controlo, seu objectivo é testar e expandir a teoria. Dennis e Valacich (2001) ainda explicam que desenhando uma pesquisa experimental deve ser considerada a generalização dos resultados, mas o foco e precisão são as coisas mais importantes para obtermos resultados validos. Assim sendo foram recolhidas amostras de resíduos, transformadas em agregado, e produzido betão que foi testado em laboratório de forma controlada para perceber com auxílio de normas se o betão apresentasse as características físicas e mecânicas para ser usado em novas construções.

3.4.4. Pesquisa de Campo

A pesquisa de campo caracteriza-se pelas investigações em que, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, se realiza colecta de dados junto a pessoas, locais, com o recurso de diferentes tipos de pesquisa com o objectivo de familiarizar-se melhor com o problema e as variáveis que nela influenciam (Fonseca, 2002).

Foi feita uma visita ao bairro de Tsalala de modo a colecta de dados sobre a produção de RCD naquele bairro. E também foi feita a colecta de amostras para testes em laboratório.

3.5. Técnicas de colecta de dados

Consideradas como um conjunto de preceitos ou processos de que se serve uma ciência, são, também, a habilidade para usar esses preceitos ou normas, na obtenção de seus propósitos (Marconi e Lakatos 2003, p222). As técnicas de colecta de dados usadas nesta pesquisa são:

3.5.1. Observação

Segundo Marconi e Lakatos (2003, p. 222) utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste apenas em ver e ouvir, mas também em examinar fatos ou fenómenos que se deseja estudar. Pode ser: sistemática, assistemática, participante, não-participante, individual, em equipe, na vida real ou em laboratório.

Durante a pesquisa o pesquisador foi participante na colecta de dados, pois colocou-se do lado do objecto de estudo de modo a perceber as características dos RCD produzidos.

3.5.2. Entrevista

É uma conversa efectuada face a face, de maneira metódica, proporciona ao entrevistador, verbalmente, a informação necessária. Tipos: estruturada ou não-estruturada (Marconi e Lakatos 2003, p. 222). A entrevista foi feita de forma não-estruturada, ou seja, não seguiu um roteiro, mas estavam relacionados directamente com a produção de RCD na área de estudo e no impacto que este tem na vida quotidiana. Foram entrevistados alguns residentes que vivem próximo dos pontos onde os RCD estão dispostos nas vias publicas e também as pessoas que passavam por estes locais naquele momento.

3.6.Processos técnicos metodológicos/ Etapas da pesquisa

3.6.1. Visita a área de estudo

Conforme defendido por Fonseca (2002) na pesquisa de campo, houve necessidade de se fazer uma visita ao bairro de Tsalala onde foi possível observar tipo de casas que é geralmente construído neste bairro, o que ajudou a perceber o tipo de material de construção predominante, visitou-se também 3 estaleiros de venda de materiais de construção civil, fez se a recolha de amostras para testes laboratoriais e em conversa com os moradores foi possível perceber ate que ponto os resíduos depositados nas ruas afectam o dia-dia das pessoas naquele bairro.

3.6.2. Levantamento bibliográfico

Conforme defendido por Gill (2007), na pesquisa bibliográfica, onde a pesquisa é elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos periódicos e actualmente com material disponibilizado na Internet, foi feita uma pesquisa bibliográfica para compreender o processo de produção de RCD, o processos de transformação (britagem) de RCD, os equipamentos a serem usados, as medidas preventivas a serem tomadas no processo de trituração de entulho para a transformação em agregado, os ensaios laboratoriais a serem efectuados para compreender o comportamento do agregado graúdo reciclado e do betão produzido a partir de RCD reciclados.

3.6.3. Levantamento da amostra

Fonseca (2002) aponta que este tipo de pesquisa é utilizado em estudos exploratórios e descritivos, o levantamento pode ser de dois tipos: levantamento de uma amostra ou levantamento de uma população (também designado censo). Fonseca (2002) ainda neste ponto esclarece que entre as vantagens dos 2 levantamentos, temos o conhecimento directo da realidade, economia e rapidez, e obtenção de dados agrupados em tabelas que possibilitam uma riqueza na análise estatística.

Foi deste modo que foram visitados 3 estaleiros de venda de agregados e produção de abobadilhas e vigotas para uso em construções no bairro de Tsalala, onde destes, foram recolhidos restos de betão resultantes da produção de vigotas. Foram também recolhidas amostras de RCD em obras residências

no bairro e por fim recolhidas amostras nas ruas. Resíduos que foram depositados de modo a combater a erosão e acabaram por atrapalhar a circulação de pessoas, veículos e bens. Também em alguns pontos contribuiu para a criação de lixeiras indesejáveis.



Figura 6: Estaleiro de produção de abobadilhas e vigotas.

Fonte: Autor (2021)

O foco da pesquisa é a utilização do resíduo como agregado graúdo, assim sendo as amostras recolhidas foram maioritariamente de betão, uma vez que depois de transformadas era possível obter material graúdo (material que passa pela peneira com abertura de malha de 75 mm e é retido na 4.75 mm) E foram descartados para o estudo os resíduos de blocos, abobadilhas e outros materiais que quando britados o resultado era agregado miúdo (material que passa pela peneira com abertura de malha de 4,75mm).

Depois de obtidas as amostras de betão, elas foram transformadas de modo a ter a granulometria necessária para sua aplicabilidade e o método de transformação escolhido foi a britagem.

O processo de britagem ou trituração é a etapa principal do aproveitamento de RCD, podendo ser feita uma ou mais vezes dependendo da dimensão do agregado (Morand, 2016). Esta fase foi muito importante, pois foi feita a trituração dos RCD transformando-os em agregado reciclado. Esse processo ocorreu depois da separação dos materiais desnecessários do nosso material.

A britagem foi feita de forma manual atendendo e considerando as quantidades envolvidas. Foram britadas ao alto mais de 400 kg de betão de modo ao material ser suficiente para todos os testes. Em escalas maiores de britagem de RCD recomenda-se o uso de equipamento mecanizado de modo a economizar tempo e dinheiro (Silva, 2007).



Figura 7: RCD antes e depois de britado manualmente
Fonte: Autor (2021)

3.6.4. Ensaios Laboratoriais

Segundo Nogueira (2005) o ensaio laboratorial é um método de pesquisa que consiste em analisar um produto ou equipamento em sectores propriamente equipados através de testes afim de serem conhecidas as propriedades que estão a ser testadas. Portanto ensaios laboratoriais são imprescindíveis para conhecer a fundo as características e comportamentos do material que esta a ser estudado de modo a verificar a conformidade ou estabelecer normas de utilização desse material preservando a saúde, segurança e o meio ambiente (Nogueira, 2005).

Foram realizados ensaios laboratoriais das amostras recolhidas durante a visita ao bairro. Os ensaios realizados foram: *Análise granulométrica do agregado, ensaio de absorção de água do agregado, ensaio de abaixamento do cone de Abrams, ensaios mecânico de compressão do betão*. Em todos os ensaios foram usadas as normas correspondentes aceites em Moçambique. E todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia da Universidade Wutivi.

➤ Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação dos diâmetros das diversas partículas existentes no solo, ou seja, é a determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas percentagens de ocorrência. (Gouveia e Fernandes Jr., 2001). E entre os métodos conhecidos para esta análise, o peneiramento é o mais antigo e utilizado (Wills; Napier-Munn, 2006). Assim sendo será utilizado o método de peneiramento.

A análise granulométrica foi feita para todo o agregado usado durante os ensaios tendo como base os materiais e procedimentos requeridos nas normas NM NP EN 933-1 e NM NP EN 933-2:

- Agregado Miúdo grosso (areia grossa)
- Agregado graúdo natural (brita)
- Agregado graúdo reciclado misturado com agregado graúdo normal em proporções de 50/50;
- Agregado Graúdo reciclado.

i) Equipamentos e utensílios usados

- Estufa de secagem, capaz de manter 105° a 110° C;
- Almofariz e mão de borracha;
- Proveta graduada de 1000ml;
- Série de peneiros ASTM;
- Escova de aço e colher metálica;
- Balança para pesagens com limites de erro $\pm 0,01$ g;
- Balança para pesagens com limites de erro $\pm 0,1$ g;
- Tabuleiros ou bacias;
- Agitador de peneiros;
- Material a ser analisado;

ii) Procedimentos de execução do ensaio (norma NM NP EN 933-1 e NM NP EN 933-2)

- Inicialmente desfez-se os torrões através de esquartelamento do material com a ajuda do almofariz e a mão de borracha, isso só para o agregado miúdo (areia) e com a balança tarada pesou-se 3,0 kg da amostra para agregado graúdo e 300g para agregado miúdo a ser analisado;
- Lavou-se a amostra e deixou-se na estufa a secar a uma temperatura que varia de 105 a 110°;
- Após 24 h retirou-se o material da estufa, deixou-se arrefecer por alguns minutos, pesou-se novamente a amostra e anotou-se o peso;
- Colocou-se o material na série de peneiros e peneirou-se o agregado através de peneiros necessários da série acima referida, começando pelo da abertura correspondente a máxima dimensão do agregado de modo a separar nas fracções pretendidas.
- Peneirou-se o material com movimentos horizontais uniformes de rotação de forma a manter o material em movimento contínuo no fundo;
- Pode-se usar a peneiração mecânica, se necessário completada com a peneiração manual acima citada.
- Terminada a peneiração, pesou-se o material retido em cada peneiro fazendo o somatório para a execução do gráfico para determinar o tipo de agregado.



Figura 8: Agregado reciclado lavado, o agitador mecânico e os peneiros usados para o ensaio
Fonte: Autor (2021)

➤ Ensaio de absorção de água do agregado

A norma NP EN 1097-6 explica que absorção de água do agregado é o aumento de massa de uma amostra de agregado seco em estufa devido à penetração de água nos poros acessíveis.

O volume de água é determinado a partir da massa de água deslocada, pela redução da massa no método do cesto de rede metálica. Os equipamentos e procedimentos de ensaio foram executados conforme a norma NP EN 1097-6.

A execução deste ensaio é de fundamental importância pois ajuda-nos conhecer a quantidade de água necessária para a mistura de betão para ter a melhor trabalhabilidade (Sbrighi Neto 2005).

O ensaio de absorção foi realizado em 3 séries:

S1 – Agregado graúdo Natural (100%).

S2 – Agregado graúdo Natural (50%) + agregado graúdo reciclado (50%).

S3 – Agregado graúdo reciclado (100%).

i) Equipamentos e utensílios usados

- Estufa ventilada capaz de manter 105 – 110° C;
- Balança para pesagens com limites de erro $\pm 0,1$ g,
- Banho Maria, bacias;
- Termómetro;
- peneiros (série ASTM 4,75mm, 31.5mm);
- tabuleiros;
- cronómetro;
- Tanque impermeável;

- Material a ser analisado;
- Cesto de rede metálica;
- Pano absorvente seco;

ii) Procedimentos de execução do ensaio

- Lavou-se o provete de agregado no peneiro 31.5 mm e tudo o que foi retido foi descartado. pesou-se 3kg e colocou-se na estufa a 110° c por 24h;
- No dia seguinte retirou-se o provete da estufa, pesou-se, pesou-se também o cesto sem nada e de seguida colocou-se a amostra no cesto, pesou-se e mergulhou-se no tanque;
- Levantou-se o cesto cerca de 25mm acima da base e deixou-se cair 25 vezes e de seguida mergulhou-se no tanque para o teste de absorção onde o provete ficou por 24h;
- No terceiro dia pesou-se o cesto com o provete na água e também se registou a temperatura da água;
- Retirou-se a da água o cesto com o agregado, deixou-se escorrer a água.
- Retirou-se o agregado do cesto e colocou-se sobre um pano seco e logo de seguida colocou-se o cesto vazio dentro da água e pesou-se o cesto imerso;
- A seguir secou-se a superfície das partículas com o pano e pesou-se novamente o agregado;
- Anotou-se todos os pesos e procedeu-se com os cálculos.



Figura 9: Agregado reciclado submerso no tanque e o cesto metálico para a pesagem da amostra

Fonte: Autor (2021)

Depois de dos ensaios de agregado, procedeu-se a produção de betão que viria a ser testado posteriormente. A produção de betão foi feita em 3 séries diferentes de modo a perceber o comportamento do betão em situações com quantidades de agregado reciclado diferentes. O betão produzido e submetido aos ensaios é da classe B25 com o traço 1:2:3 (o betão mais comum para uso residencial). As 3 séries de betão produzidas são:

S1 – Cimento Portland 32.5, agregado miúdo Natural (areia), agregado graúdo Natural (100%).

S2 – Cimento Portland 32.5, agregado miúdo Natural (areia), agregado graúdo Natural (50%) + agregado graúdo reciclado (50%).

S3 – Cimento Portland 32.5, agregado miúdo Natural (areia), agregado graúdo reciclado (100%).

As séries foram produzidas de forma separada e os ensaios realizados também de forma separada. E de seguida foram realizados os seguintes ensaios:

➤ **Ensaio de abaixamento do cone de Abrams (*slump test*)**

Segundo a norma NM NP EN 1235-1 O ensaio de abaixamento do cone de Abrams é um ensaio de crucial importância feito no betão no seu estado fresco para o seu controlo de qualidade, com objectivo de determinar a consistência e fluidez do mesmo. As normas usadas durante o ensaio são: **NM NP EN 1235-1 e NM NP EN 1235-2**

i) Materiais e equipamentos usados

- Rasador;
- Pá;
- Cronometro;
- Colher;
- Funil;
- Fita métrica ou régua;
- Varão de compactação;
- Cone de Abrams e Base metálica.

ii) Procedimentos de execução do ensaio (norma NM NP EN 1235-1 e NM NP EN 1235-2)

- Após a preparação do betão tanto de forma manual ou mecânica foi retirada uma amostra representativa para a realização do ensaio;
- De seguida encheu-se o molde em 3 camadas apiloadas por 25 pancadas cada e a regularização na 3ª camada;
- Fez-se desmoldagem ou levantamento do cone no período de 5 a 10 s através de um movimento firme para cima sem transmitir movimentos laterais ao betão;
- De seguida colocou-se o molde de lado e mediu-se o abaixamento com uma fita métrica ou régua para verificar a diferença entre a altura do molde e o ponto mais alto da massa de betão que assentou.

NB: tomou-se o cuidado de executar toda a operação de enchimento até ao levantamento sem interrupção durante 150 s. informar também que o ensaio foi realizado para as 3 séries de betão produzidas.



Figura 10: Ensaio de abaixamento do cone de Abrams (*Slump test*)

Fonte: Autor (2021)

➤ Ensaio de mecânico de compressão do betão

A resistência à compressão é a característica mecânica mais importante do betão, pois nas estruturas a função deste material é essencialmente resistir às tensões de compressão enquanto as armaduras têm a função de resistir às tensões de tracção (Costa e Appleton, 2002)

Assim sendo o ensaio de compressão é geralmente usado em obras de construção civil como forma de controlar o nível de resistência do betão a ser empregue (Montemor e Costa, 2005).

Depois de produzido o betão, ainda no estado fresco foram preenchidos 9 cubos que foram rebentados conforme a norma NP EN 12390-1, NP EN 12390-2, NP EN 12390-3, NP EN 12390-4.

i) Equipamentos e utensílios usados

- Prensa hidráulica;
- Balança com margem de erro de 0.1 g;
- Colher metálica;
- Rasador;
- Molde cúbico de 150 mm de aresta;
- Varra de compactação;
- Cubos para imersão;
- Luvas;
- Tanque de imersão.

ii) **Procedimentos de execução do ensaio** (NP EN 12350-1, NP EN 12390-1, NP EN 12390-2, NP EN 12390-3, NP EN 12390-4)

O betão para o ensaio foi produzido no Laboratório de Engenharia da Universidade Wutivi. Logo depois do ensaio de abaixamento do cone:

- Limpou-se todos os aparelhos antes de os utilizar. Usando a colher, retirou-se o número requerido de amostras uniformemente distribuídas pelo monte de betão, bem como na superfície exposta.
- Encheu-se o primeiro molde em 3 camadas apiloadas por 25 pancadas com a regularização da 3ª camada com ajuda do rasador;
- Repetiu-se o processo anterior para os restantes 8 moldes, tendo em conta que os cubos iriam ser reventados em grupos de 3 para as idades de 3, 7 e 28 dias conforme a norma;
- foram colocados os cubos dentro dos moldes ao ar livre durante 24 h, e no dia seguinte desmoldados;
- De seguida os cubos fora dos moldes foram imersos em tanque com água a uma temperatura de 20º Celcius;
- 3 dias depois de imersos foi retirado e pesado um grupo de 3 cubos e depois procedeu-se o ensaio de compressão na prensa hidráulica. Foram registados os resultados em KN ou MPa que correspondem a resistência do material ensaiado;
- Repetiu-se o passo anterior para os 7 e 28 dias. De seguida foram analisados os resultados obtidos;

De lembrar que o ensaio foi realizado para as 3 séries de betão produzidas.



Figura 11: Produção de betão, enchimento dos cubos e submersão no tanque com água.

Fonte: Autor (2021)

3.6.5. Processamento e interpretação de dados

Todos os cálculos necessários e todos dados foram organizados em forma de tabelas e gráficos para a melhor compreensão. Com o auxílio das normas como: NP EN 12350-1, NP EN 12390-1, NP EN 12390-2, NP EN 12390-3, NP EN 12390-4, entre outras. Normas estas que estabelecem os limites para a aplicação dos materiais analisados, foi feita a categorização e proposta de aplicação na construção civil dos agregados reciclados de acordo com os resultados obtidos no laboratório.

3.6.6. Copilação de relatórios

E por fim foi elaborada esta monografia com base nos dados obtidos durante a pesquisa respeitando as etapas e regras de sua elaboração.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos todos os dados colhidos durante a pesquisa, direccionando a discussão no caminho de responder à pergunta de pesquisa. A discussão de dados será feita relacionando os dados com as hipóteses estabelecidas no início da pesquisa, com intuito de validar ou não as hipóteses. É neste capítulo que será feita também a conclusão da pesquisa e a apresentação de sugestões para mais pesquisas.

4.1. Caracterização dos resíduos de construção e demolição (RCD).

Depois da visita ao bairro, foi possível observar as características dos RCD que são comumente encontrados no bairro. A maior parte dos RCD observados nas ruas são da **classe A** (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, betão, etc.).



Figura 12: RCD abandonado na via publica.
Fonte: Autor (2022)

Os RCD da classe A são considerados óptimos para o reaproveitamento pois estes não possuem contaminantes na sua composição, factor crucial no processo de aproveitamento (CONAMA, 2002).

Porém, em certos pontos os RCD quando são abandonados, estes misturam-se com outros resíduos sólidos como: latas, plásticos, produtos de limpeza, etc. Esses resíduos segundo Bauer (2008), podem conter produtos quimicamente activos, que podem dar origem a reacções químicas expansivas com o cimento podendo influenciar negativamente na produção de betão.

Devido a esta mistura, há necessidade de prestar muita atenção no processo de separação destes materiais indesejados. E para evitar que tenhamos essa mistura futuramente deve-se armazenar ainda no canteiro de obras os resíduos separando-os em grupos baseados nos materiais que o compoñham. Um grupo só para betão, outro de telhas, outro de pregos, entre outros grupos. Esse processo que é defendido por Stenis (2005) explicando que a separação de resíduos na fonte geradora é considerada uma actividade que transforma o processo de produção da construção civil em um processo ambientalmente correcto.

4.1.1. Britagem do resíduo

A britagem do resíduo é o processo pelo qual o resíduo de construção é transformado em material com granulometria menor para uso futuros, essa britagem é feita através da trituração do resíduo por processos manuais ou mecânicos (Cunha 2007).

O processo de britagem ou trituração é a etapa principal do aproveitamento de RCD, podendo ser feita uma ou mais vezes dependendo da dimensão do agregado (Morand, 2016). Esta fase foi muito importante, pois foi feita a trituração dos RCD transformando-os em agregado reciclado. Esse processo ocorreu depois da separação dos materiais desnecessários do nosso material.

O processo de trituração pode ser Manual ou Mecanizado, defende Cunha (2007), ainda nesse diapasão Silva (2007) adverte que no caso de produção em larga escala aconselha-se o uso de equipamento mecanizado, como o caso de britador de impacto, mandíbula e Moinhos de martelo por serem mais rápidos e apresentarem um resultado mais uniforme.

Pôde-se observar durante britagem manual, que foi o método de britagem usado durante a pesquisa o quão lento ele é. assim sendo para pequenas quantidades de RCD produzidas em construções residências esse método pode ser muito viável, mas para grandes quantidades de RCD este método acaba por ser lento e por necessitar de força humana acaba também por ser muito cansativo. Assim sendo recomenda-se o uso de equipamento mecanizado, conforme defendido por Silva (2007). Depois da britagem foi tido como resultado não só agregado graúdo como pretendido, mas também pequenas quantidades de agregado miúdo reciclado que também pode ser incorporado no agregado normal se verificada a sua utilidade.

Durante a britagem o objectivo foi triturar o material de modo a obter uma granulometria inferior a 19mm e superior a 4.75mm. pois segundo ABNT (2003) norma NBR NM 248 os agregados que fazem parte deste intervalo são considerados graúdos e são adequados para a mistura de betão.

4.1.2. Granulometria do agregado

Depois de analisada a amostra no laboratório foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 1: Resultados do ensaio de granulometria

	amostra antes de ser lavada (g)	amostra depois de lavada (g)	Peneiros	25,0	19,0	13,2	9,5	6,7	4,75	2,36	1,18	0,6	0,425	0,3	0,15	0,075	Base
Agregado Graúdo Reciclado (100%)	3000	2962,4	Quantidade retida (g)		32,4	1464,1	840,7	471,2	55,7	26,6	10,8	9,0	6,6	7,7	30,1	7,6	0,0
			% retida	0,0	1,1	49,4	28,4	15,9	1,9	0,9	0,4	0,3	0,2	0,3	1,0	0,3	0,0
Agregado Graúdo Normal + agregado Graúdo Reciclado	3000	2959,08	Quantidade retida (g)	0,0	52,2	1083,0	1110,0	633,6	67,6	5,7	0,4	0,4	0,3	0,6	3,8	1,4	0,0
			% retida	0,00	1,76	36,60	37,51	21,41	2,28	0,19	0,01	0,01	0,01	0,02	0,13	0,05	0,00
Agregado Graúdo Normal (100)	3000	2965,2	Quantidade retida (g)	0,0	0,0	974,4	974,5	664,3	275,8	16,3	10,1	6,8	13,1	8,3	12,8	8,9	0,0
			% retida	0,0	0,0	32,9	32,9	22,4	9,3	0,6	0,3	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3	0,0
Agregado Miúdo	300	295,4	Quantidade retida (g)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,1	52,8	95,5	56,5	40,4	18,6	7,2	4,3
			% retida	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	17,8	32,3	19,1	13,7	6,3	2,4	1,5

Fonte: Autor (2022)

4.1.3. Curva Granulométrica

As 3 curvas granulométricas dos agregados graúdos possuem uma distribuição muito similar uma da outra, conforme mostrado pelas curvas granulométricas respectivas.

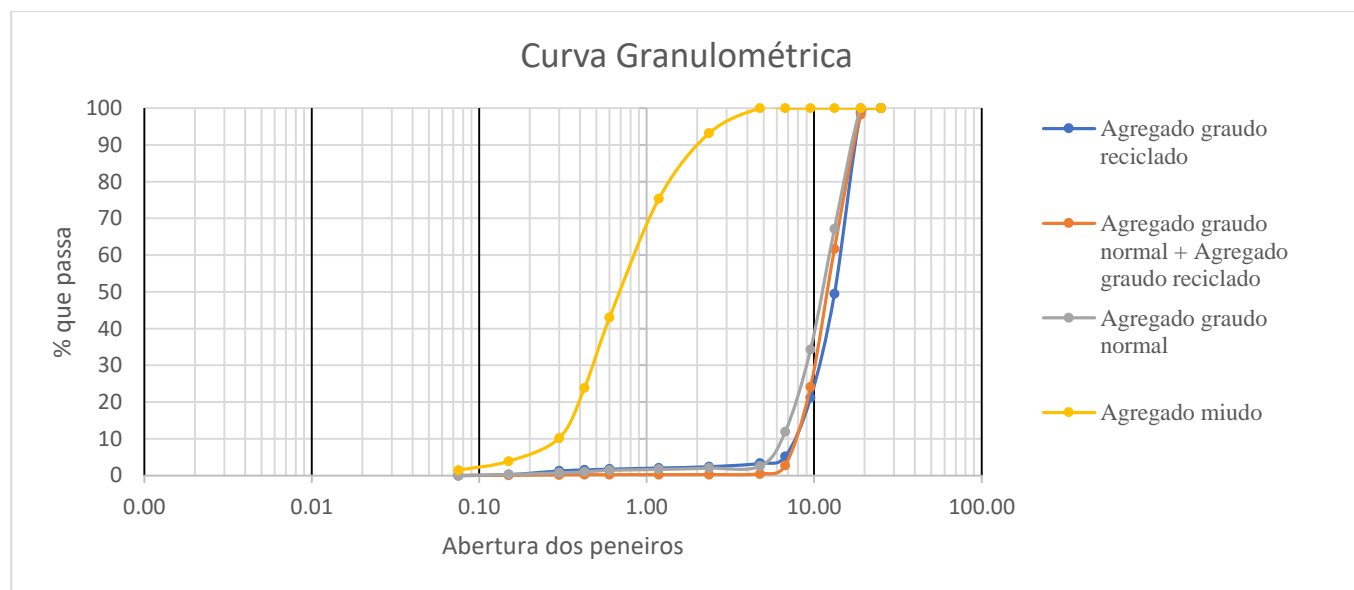


Gráfico 1: Desenho da curva granulométrica dos agregados ensaiados.

Fonte: Autor (2022)

Estes agregados tem a sua maior dimensão 19 mm que é a dimensão máxima aconselhável quando se trata de brita para produção de betão. Mais de 95% do agregado graúdo tem a dimensão entre 4.75 e 19mm o que significa que se trata da brita 0 e brita 1. Brita esta, que é comumente usada para produção de betão para lajes, vigas, pilares e outros usos residenciais. Os agregados graúdos segundo a classificação SUCS tem uma curva suave pois apresentam o CC esta no intervalo de $1 < CC < 3 \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$. Onde D corresponde a dimensão da peneira para determinada percentagem passada.

A curva granulométrica do agregado miúdo mostra que o solo é areia media segundo a casificação de acordo com o diâmetro pois 69,3% do material passa do peneiro 2,36 mm e fica retido no peneiro 0,43. este solo esta dentro dos parâmetros para ser usado na produção de argamassas e betões para vários fins. Segundo o SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos) a curva e suave pois o CC esta no intervalo de $1 < CC < 3 \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$. Os cálculos usados para traçar as curvas granulométricas estão demonstrados nos apêndices 1 e 2.

4.2.Absorção do agregado

Tendo o conhecimento deste parâmetro é possível prever e calcular a quantidade de água que será absorvida pelo agregado na mistura de betão.

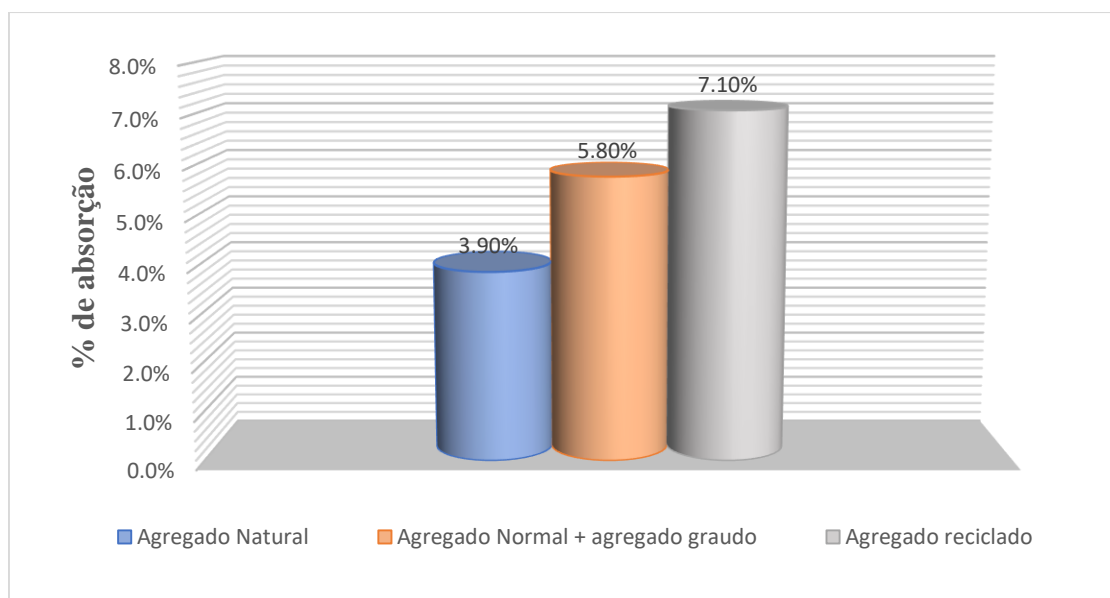


Gráfico 2: Gráfico da percentagem de absorção de água dos agregados ensaiados.
Fonte: Autor (2022)

O gráfico mostra que o agregado reciclado absorve mais água do que o agregado normal, isso se deve a camada de pasta de cimento aderido que está presente no agregado reciclado dando a este

agregado mais porosidade. Este agregado pode chegar a ter 3,2% a mais de água absorvida em comparação com o agregado natural.

A amostra que continha 50% de agregado natural + 50% de agregado reciclado o percentual de absorção esteve entre o agregado normal e o agregado reciclado com 1,9% de absorção a mais que o primeiro e 1,3% a menos que o segundo. Uma vez que esta amostra possui mais poros que o agregado natural e menos em relação ao agregado reciclado.

A capacidade de absorção de água do agregado é muito importante pois afecta a trabalhabilidade do betão, a resistência, e durabilidade. Quanto menor a capacidade de absorção de água do agregado, menor será a relação água e cimento o que contribui para uma melhor resistência do betão. Assim sendo o betão que será produzido com os agregados reciclados precisa ser dosado contando com o facto de que estes agregados absorveram 3,2% de água a mais que os agregados naturais. Portanto será necessário usar mais água no betão com agregado reciclado do que no betão de agregados naturais para poder garantir a mesma trabalhabilidade. Os cálculos usados para a montagem do gráfico estão apresentados no Apêndice 3.

4.3. Resistência mecânica do betão

para determinar a resistência do betão foram produzidas 3 séries de betão: S1, S2 e S3. Estas séries são todas da classe B25 (1;2;3) e o único componente que varia é o agregado graúdo (brita).

S1 – Cimento Portland 32,5, agregado miúdo Natural (areia), **agregado graúdo Natural (100%)**.

S2 – Cimento Portland 32,5, agregado miúdo Natural (areia), **agregado graúdo Natural (50%) + agregado graúdo reciclado (50%)**.

S3 – Cimento Portland 32,5, agregado miúdo Natural (areia), **agregado graúdo reciclado (100%)**.

A produção de betão foi feita com o auxílio dos resultados dos ensaios anteriores, respeitando as boas praticas de manuseamento dos materiais.

Tabela 2: Quantidades de materiais usados na produção de betão traço (1:2:3)

Série	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (L)	Abaixamento (mm)
S1	12,3	35,2	58,4	8,5	73
S2	12,3	35,2	58,4	8,9	66
S3	12,3	35,2	58,4	9,1	62

Fonte: Autor (2022)

Pode se observar na tabela anterior pelo valor do abaixamento que o betão da série **S1** é o mais fluido mesmo tendo a menor relação de água e cimento, ou seja menos quantidade de água para mesma quantidade de cimento. Isso se deve ao facto de o agregado reciclado absorver mais água do que o

agregado normal. Algo que também foi observado nos resultados do ensaio de absorção de água dos agregados. Assim sendo o cálculo da quantidade de água a ser usada na produção de betão já considerava um acréscimo de água de 3% no betão que tinha na sua composição o agregado reciclado.

De seguida procedeu-se ao enchimento dos cubos e a colocação dos mesmos no tanque para serem ensaiados aos 3, 7 e 28 dias.

4.3.1. Ensaio de Compressão do betão

Tabela 3: Evolução do betão até atingir 100% de resistência.

	Resistência (MPa)								
Series	3 dias		Resultado	7 dias		Resultado	28 dias		Resultado
S1 (Agregado Normal)	11,8	11,27	Positivo	17,5	17,73	Positivo	26,2	26,87	Positivo
	10,9			18,3			26,8		
	11,1			17,4			27,6		
S2 (Agregado Normal + Agregado Reciclado)	12,3	11,87	Positivo	17,3	17,70	Positivo	29,7	29,73	Positivo
	11,4			17,6			30,6		
	11,9			18,2			28,9		
S3 (Agregado Reciclado)	12,3	12,20	Positivo	19,3	19,30	Positivo	28,3	28,47	Positivo
	12,5			18,7			30,2		
	11,8			19,9			26,9		
Resistência Esperada	30%	7,5		60%	15		100%	25	

Fonte: Autor (2022)

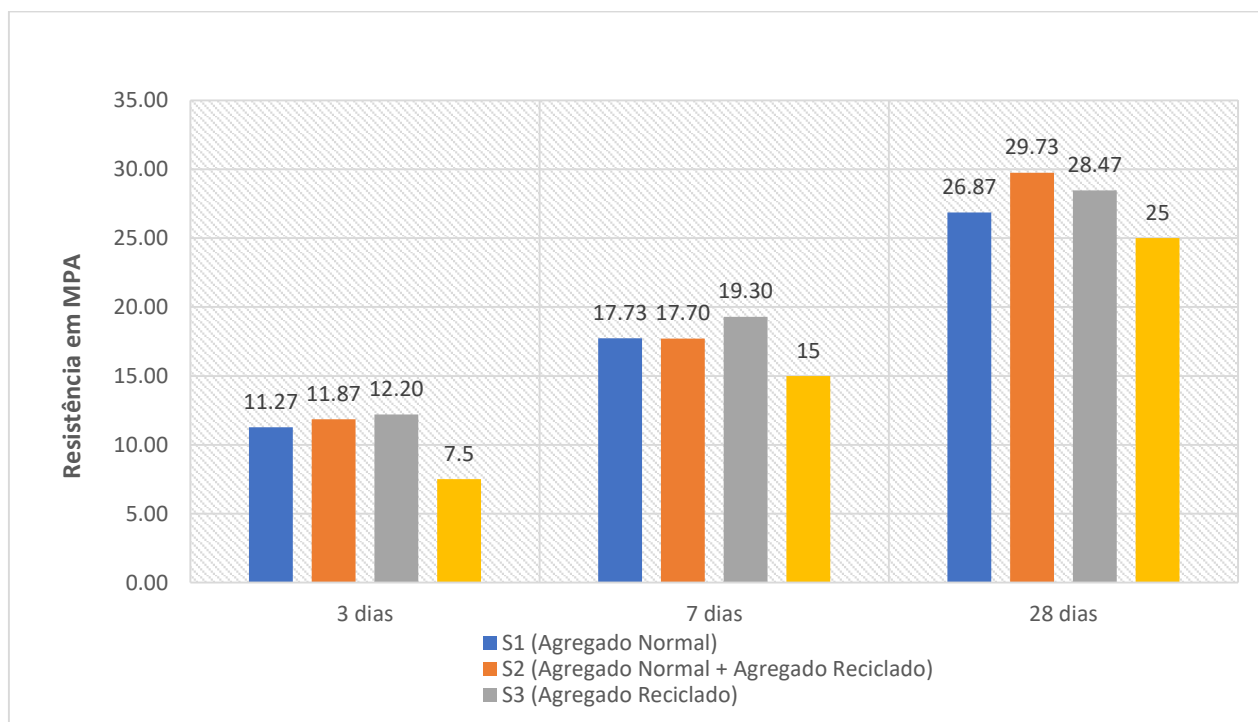


Gráfico 3: Gráfico da evolução da resistência do betão com o tempo.

Fonte: Autor (2022)

Os ensaios de compressão foram executados aos 3, 7 e 28 dias de idade do betão em análise, e foi verificado em cada cubo o rebentamento verdadeiro (valido).

O betão mais resistente aos 3 e 7 dias foi o betão produzido com os agregados reciclados e o betão mais resistente aos 28 dias foi o betão produzido com a mistura do agregado natural e do reciclado, conforme observado no gráfico anterior.

Importante referir que apesar de obtermos variações na resistência, todas as amostras de betão tiveram uma evolução dentro dos níveis normativos, ou seja tivemos resistências de betão superior a 7.5 MPa aos 3 dias, 15 MPa aos 7 dias e 25 MPa aos 28 dias. resistência esperada estabelecida pela norma.

Outro factor muito importante é o facto de não ser necessário criar tabelas novas de traços para a produção de betão com agregados reciclados pois foi possível atingir a resistência necessária usando o mesmo traço usado na produção de betão com agregado natural. Este factor facilita e muito a implementação de medidas para o uso desse material. De modo geral o betão produzido por RCD exactamente falando de resíduos de agregado e de betão quando isentos de contaminantes produzem um betão muito resistente.

4.4. Propostas de aproveitamento de resíduos de construção e demolição para a produção de betão

Depois de analisado o material, a sua produção e proveniência foi possível elaborar duas propostas que contêm medidas para o aproveitamento desse material.

4.4.1. Proposta 1: Aproveitamento em pequenas obras.

Para encorajar as empresas de construção a tratar os resíduos devidamente deve-se implementar políticas (leis) que visam a regular o armazenamento e uso de RCD no canteiro de obras. Políticas estas como:

- Todo o RCD armazenado no canteiro de obras deve estar devidamente separado de outros materiais, ou seja, não misturar os diferentes materiais que compõem os RCD (restos de betão num canto, restos de blocos noutra, assim sucessivamente);
- Deve-se assegurar o uso de materiais em novas construções que possibilitam o aproveitamento de no mínimo 20% dos seus resíduos;
- Toda a empresa deve manter uma ficha por obra que mostra o destino dos resíduos produzidos;
- Os aros das janelas, vidros, alumínio entre outros materiais devem ser retirados antes de proceder com qualquer demolição;
- Criação de programas de reciclagem de RCD que incentivam a separação dos materiais durante a construção e demolição facilitando a colecta e processamento de RCD para uso futuro.

Uma vez que o betão produzido a partir dos RCD (resíduos de agregado e betão) apresentam a resistência recomendada, a britagem do RCD pode ser feita no canteiro de obras de forma manual desde que os construtores tenham o peneiro número 19 e o 4.75 para assegurar a dimensão mínima e máxima do agregado a ser utilizado para betão. E por motivos de segurança essa aplicabilidade seja somente para elementos não estruturais: pisos, formas decorativas, abas de janelas, etc.

Para que o betão seja usado para fins estruturais recomenda-se a proposta 2.

4.4.2. Proposta 2 produção em massa e uso em elementos estruturais

Nesta situação tudo se começa pela criação de postos de reciclagem com possibilidade de processamento dos resíduos e britagem controlada usando britadores mecânicos. E para assegurar que o resíduo esteja em condições quando chegar ao ponto de processamento é necessário encorajar as empresas de construção a tratar os RCD devidamente ainda no canteiro de obras, portanto deve-se também implementar algumas políticas (leis) da proposta anterior. Políticas seguintes:

- Todo o RCD armazenado no canteiro de obras deve estar devidamente separado de outros materiais, ou seja, não misturar os diferentes materiais que compõem os RCD (restos de betão num canto, restos de blocos noutra, assim sucessivamente);
- Deve-se assegurar o uso de materiais em novas construções que possibilitam o aproveitamento de no mínimo 20% dos seus resíduos;
- Toda a empresa deve manter uma ficha por obra que mostra o destino dos resíduos produzidos;
- Os aros das janelas, vidros, alumínio entre outros materiais devem ser retirados antes de proceder com qualquer demolição;
- Criação de programas de reciclagem de RCD que incentivam a separação dos materiais durante a construção e demolição facilitando a colecta e processamento de RCD para uso futuro

Nesta situação já é possível aplicar o betão reciclado em elementos estruturais, mas para isso é necessário que haja um controle no que diz respeito a contaminantes, ou seja, testes devem ser realizados nos pontos de processamento no sentido de verificar se o agregado contém outros materiais que possa prejudicar o betão de alguma forma.

Depois de confirmada a isenção de contaminantes pode-se fornecer ao mercado o agregado para o uso em obras de construção civil retardando a chegada desse material ao aterro. Promovendo assim uma construção civil mais sustentável e amiga do meio ambiente.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento desta pesquisa que esteve centrada no aproveitamento de resíduos de construção e demolição na produção de betão visava discutir a problemática relacionada com o consumo desenfreado de recursos naturais e poluição do meio ambiente resultante do descarte dos RCD no processo de construção de habitações, infra-estruturas diversas, entre outros. E durante esse processo pode-se perceber que havia necessidade de procurar formas de aproveitar os RCD em novas construções, assim sendo o objectivo foi encontrar formas e estratégias para transformar os RCD em agregados reciclados para a produção de um betão de qualidade para uso em obras de construção, reduzindo assim a taxa de RCD descartado no meio ambiente e também a quantidade de recursos naturais extraídos para a produção de betão.

Depois da visita ao local, revisão bibliográfica e os experimentos laboratoriais concluiu-se que a britagem de resíduos de betão de forma manual ou mecanizada é o método de transformação mais eficaz até ao momento pois, é possível reduzir o material a dimensão recomendada (4,75-19mm) de forma que possa ser usado para produzir betão, tanto para fins estruturais como não. Verificando-se assim as hipóteses 1 e 2.

A pesquisa mostrou ainda que a maior diferença entre o agregado normal e reciclado é a pasta de cimento aderido que está presente no agregado reciclado, o que significa que o agregado reciclado absorve mais água que o agregado normal consequentemente o betão produzido por agregado reciclado necessita de mais água para atingir a mesma trabalhabilidade que o betão normal. Apesar disso o betão produzido por RCD através da britagem possui resistência adequada e recomendada pelas normas que regem a produção e aplicação desse material no país.

De acordo com os objectivos estabelecidos se concluiu também que os RCD no bairro de Tsalala são maioritariamente compostos de restos de bloco e betão que são os materiais comumente usados nas construções.

A pesquisa depois de analisar as experiências de 4 países no aproveitamento de RCD e fazer experimentos laboratoriais com o agregado reciclado propôs medidas que visam melhorar a gestão e manuseamento de RCD, transporte quando necessário, transformação através de britagem, produção de betão reciclado de qualidade e aplicação em obras da melhor forma possível de modo reduzir assim o impacto ambiental da corrente gestão de RCD sem acarretar risco à saúde e segurança da sociedade. A pesquisa, chama a atenção para não se esquecer de que cuidados precisam ser tomados para não usar RCD contaminados.

Assim sendo o aproveitamento de RCD não só é possível, mas também é um processo muito promissor na perspectiva de orientar a indústria da construção civil a trilhar os caminhos de uma construção civil mais sustentável.

5.1. Recomendações

A pesquisa deixou as seguintes recomendações:

5.1.1. Para futuras pesquisas

Recomenda-se que seja feito um estudo estatístico das quantidades de resíduos produzidos a nível da província de Maputo e do município da matola, e também uma caracterização detalhada da composição dos mesmos, de modo a serem conhecidas as quantidades.

Seria útil e elucidativo estudar os vários tipos de contaminantes que podem estar presentes no RCD e como eliminá-los.

Recomenda-se também analisar através de testes laboratoriais, a possibilidade de aproveitamento de resíduos de telhas, tijoleiras, entre outros materiais.

5.1.2. Para empreiteiros/engenheiros de construção civil.

Para os profissionais da construção civil recomenda-se que seja feito o armazenamento dos RCD no Cantério de obras de forma adequada para evitar contaminantes, separando-os de acordo com a sua composição. E também a destinação correcta dos mesmos.

Recomenda-se também que sejam procuradas formas de aproveitamento de cada tipo de RCD antes de decidir levar para o aterro como destino final. Consultando sempre as normas em vigor no país para aplicação de cada material.

5.1.3. Para os fazedores de política

Para os fazedores de políticas, recomenda-se a criação de programas de reciclagem de RCD que incentivam a separação dos materiais durante a construção e demolição facilitando a colecta e processamento de RCD para uso futuro.

Recomenda-se também a criação de programas de sensibilização, palestras, debates como forma de deixar a população e em especial os profissionais da construção civil cientes das melhores formas de armazenamento, separação, transporte e disposição de RCD de modo a reduzir o máximo possível a poluição do meio ambiente.

Finalmente, recomenda-se a implementação das políticas das propostas 1 e 2 com o intuito de regular a produção, armazenamento, transporte e aproveitamento de RCD em novas construções.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 6028. (2003). Informação e documentação, Rio de Janeiro.
- Agência de proteção ambiental americana – EPA. (2016). Sustainable Management of Construction and Demolition Materials.
- Akhtar, A. Sarmah, A. K. (2018), Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 186, p. 262-281.
- Ângulo, S. Figueiredo, A. Concreto: ciência e tecnologia. 2. ed. São Paulo. IBRACON, 2011.
- Apolinário, F. (2011). Dicionário de Metodologia Científica. 2. ed. São Paulo: Atlas, p 146.
- Bauer, L. A. F., (2008). Materiais de Construção, Rio de Janeiro: LTC.
- Botelho, M. J., (2010). Resíduos de Construção e Demolição, Verlag Dashofer Editora, Lisboa.
- Câmara dos Deputados em Seminário Construções Sustentáveis (2010). Construções Sustentáveis, Brasília.
- Careli, E. D.; Angulo, S. C. & Miranda, L. F. R. (2009). A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil, Porto alegre.
- Carminho, F. J. T. H. (2012). Resistência do betão à compressão em cubos vs cilindros, Lisboa.
- Carneiro, A. P.; Brum, I. A. S.; Cassa, J. C. S. Reciclagem de resíduos para a produção de materiais de construção, Salvador, EdUFBA, Caixa Económica Federal, 2001.
- Castro, V. G. (2021), Cimento Portland. In: Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro [online]. Mossoró: EdUFERSA.
- Centro de Desenvolvimento Tecnológico (2014). Massa específica e absorção de agregados graúdos, s/l, Arteris.
- Chaves, R.S. (2009). Avaliação da implementação do Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição. Dissertação de Mestrado em Gestão de Sistemas Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Coelho, A., Brito, J., (2010). Estimativa da geração de resíduos de construção e demolição, Relatório ICIST. DTC n.º 04/2010, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente, (1987). Relatório de Brundland – Nosso futuro comum, 2ª Edição.
- Conama, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 307. Brasília-DF, 2002.
- Conama, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 431. Brasília-DF, 2011.

Correio da Matola (2013). Uma viagem pelo bairro da Matola (on-line), disponível em <http://www.correiodamatola.co.mz/index.php/noticias/98-uma-viagem-pelo-bairro-municipal-de-tsalala>.

Costa, A., e Appleton, J. (2002). Estruturas de Betão I - Parte II: Materiais, Lisboa, Instituto Superior Técnico.

Coutinho, A. (1999), "Fabrico e propriedades do betão. Volume I", LNEC.

Cunha, R.E. (2007). Produção de areia manufacturada em usina piloto. In: SUFFIB – Seminário: O Uso da Fracção Fina da Britagem, IL., São Paulo.

Deslauriers, J. P. (1991). Recherche qualitative- Guide pratique. Montreal: McGraw – Hill.

DNER-ME 195/97. (1997). Agregados - determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo, Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

EPA – Environmental Protection Agency (2020). Advancing Sustainable Materials Management. USA.

Evangelista, P. P. A.; Costa, D. B.; Zanta, V. M. (2010). Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre.

Ferreira, D.D.M.; Noschang, C.R.T. e Ferreira, L. F. (2009). Gestão de resíduos da construção civil e de demolição: contribuições para a sustentabilidade ambiental.

Fonseca, J. J. S. (2002). Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, Apostila.

Foster, N. (2003). Architecture and Sustainability. Foster+Partners. Disponível em: “<http://www.fosterandpartners.com/media/546486/essay13.pdf>”. Acesso em 08/11/2021.

Gerhardt, T. E., Silveira, D. T., (2009) Metodos de pesquisa. Porto Alegre, UFRGS.

Gil, A. C. (2007). Como elaborar projectos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

Goldenberg, M. (1997). A arte de pesquisar. Rio de Janeiro: Record.

Gonçalves, P. & Brito, J. (2008). Utilização de agregados reciclados em betão. Análise comentada da regulamentação existente. Lisboa.

Gouveia, L. T. e J. L. Fernandes Jr, (2001). Avaliação de Agregados Utilizados em Obras Viárias no Estado de São Paulo através do Ensaio de Angularidade da Fracção Fina. XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET - Campinas, v. 1

Governo do Estado São Paulo, (2014). Gerenciamento de resíduos da construção civil, São Paulo, Secretaria do meio ambiente.

- Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica, IDHEIA, (2003). Um balanço de 20 anos de Desenvolvimento Sustentável, Brasil.
- Instituto Nacional de Estatística. (2008). Estatísticas do distrito, INE.
- Instituto Nacional de Estatística. (Novembro 2013). Estatísticas do distrito: Cidade da Matola, INE.
- Instituto Nacional de Estatística. (Abril 2019). IV Recenseamento Geral da população e Habitação 2017: Resultados Definitivos Moçambique, INE.
- Jadowski, I. (2008). Directrizes Técnicas e Económicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- John, V. M. (2000). Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento, São Paulo, Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. p. 102.
- John, V. M.; Silva, V. G.; Agopyan, V. (2001). Agenda 21: uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro. In: II ANTAC / UFRGS, Canela-RS, pp.91-98.
- Kaefer, L. F. (1998). A evolução do concreto, São Paulo.
- Kilbert, C. (1994). Establishing principles and a model for sustainable construction. In: CIB TG 16 sustainable construction, Tampa, Florida.
- Langa, J., (2014) Gestão de Resíduos Sólidos em Moçambique, Responsabilidade de Quem? Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, Vol. 02, n. 10, p. 92-105.
- Lea, F.M. (1998) The Chemistry of Cement and Concrete. In: Hewlett, P.C., Ed., 4th Edition, Edward Arnold, Londres.
- Levy, S.M. (1997). Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, p. 147.
- Lourenço, J. M. (2000). Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século xxi, s/ed.
- Marconi, M. A., Lakatos, E. M. (2003). Fundamentos da metodologia científica. São Paulo: Atlas.
- Mehta K. P.; Monteiro Paulo J. M. (2008). Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo. IBRACON.
- Ministério do Meio Ambiente (2010) Área de manejo de Resíduos da construção e demolição.
- Miranda, L. F. R. (2000). Estudo de factores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado. São Paulo, Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São

Paulo, p. 172.

Miranda, R. J. N. (2014). Betão com Agregados Reciclados: Estado da arte e análise à gestão e utilização na região autónoma da Madeira, Madeira.

MMA- Ministério do Meio Ambiente Japão (2017). Relatório de gestão de resíduos de construção.

Molina, M. C. G. (2019). Desenvolvimento sustentável: do conceito de desenvolvimento aos indicadores de sustentabilidade. Revista Metropolitana de Governança Corporativa (ISSN 2447-8024), 4(1), 75–93.

Montemor, M. F. e Costa, A. (2005) - Materiais de Construção Guia de Utilização. Architectura e Vida. Engenharia e Vida.

Morand F G. (2016). Resíduos de obra como materiais de construção, Rio de Janeiro.

Mousinho, P. G. (2003.). Meio Ambiente no século 21. Rio de Janeiro.

Nakagawa, M., (2015). 3Rs para Pequenas e Medias Empresas.

Nascimento BE, Neto F das C, Caiana C, et al. (2020). análise granulométrica de uma amostra de solo de uma instituição de ensino superior (IES) em Juazeiro Do Norte, Ceará, Brasil [Internet].

Neville, A. M. (1982). Propriedades do concreto. 1 ed. São Paulo: Pini, p 738.

NM NP EN 1097-6. (2010). Ensaaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água, Maputo, Instituto Nacional de Normalização e qualidade.

NM NP EN 12350-1. (2002). Ensaaios de betão fresco parte 1: Amostragem, Maputo, Instituto Nacional de Normalização e qualidade.

NM NP EN 12350-2. (2002). Ensaaios de betão fresco parte 1: Ensaio de abaixamento, Maputo, Instituto Nacional de Normalização e qualidade.

NP EN 933-1 (2000). Ensaio de determinação das características geométricas dos agregados parte 1: Análise granulométrica – Método de peneiração, Instituto português da Qualidade.

NP EN 933-2, (2000). Ensaio de determinação das características geométricas dos agregados parte 2: determinação da distribuição granulométrica, peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas, Instituto português da Qualidade.

NP EN 12390-1. (2003). Betão endurecido parte 1: Forma, dimensões para o ensaio de provetes e moldes, Instituto português da Qualidade.

NP EN 12390-2. (2003). Betão endurecido parte 2: Execução e cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica, Instituto português da Qualidade.

- NP EN 12390-3. (2003). Betão endurecido parte 3: Resistência a compressão de provetes, Instituto português da Qualidade.
- NP EN 12390-4. (2003). Betão endurecido parte 4: Resistência a compressão – Características das máquinas de ensaio, Instituto Nacional de Normalização e qualidade.
- NM NP EN 206: 2009. Betão, especificação, desempenho, produção e conformidade, Maputo, Instituto Nacional de Normalização e qualidade.
- Nogueira, J. B. (2005). Mecânica dos solos – ensaios de laboratório, São Carlos, EESC-USP.
- Nunes, J T. (2015). Análise das barreiras à implementação dos telhados verdes na cidade de São Paulo. Especialização em Gestão Ambiental Internacional, Pós-graduação em Gestão Ambiental, Sector de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.
- Oliveira, R. N.; Filho R. A. O. (2018). Aplicação dos 3r's da sustentabilidade e seus benefícios ambientais e económicos. Revista Científica Semana Académica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000134.
- Pasternak, S. (2016). Habitação e saúde. Estudos Avançados, v. 30, n 86.
- Pereira, J. V. I. (2009). Sustentabilidade: diferentes perspectivas, um objectivo comum. Economia Global e Gestão, v. 14, n. 1, p. 115-126, Lisboa.
- Pinto, M. e Henriques, P. (2015). Arquitectura Sustentável – Análise de processos, técnicas e Materiais. Lisboa: CONPAT.
- Pinto, T. P. (1999). Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, p. 189.
- Polit, D. F., Beck, C. T., Hungler, B. P. (2004). Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização. Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre: Artmed.
- Ribeiro J. (2011). A Historia do concreto, Rio de Janeiro.
- Sbrighi neto, C. (2005). Agregados para concreto. In: ISAIA, G.C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON. V.1.
- Silva, A. F. F. (2007). Gerenciamento de resíduos de construção civil de acordo com a CONAMA 307/2002: Estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte, Belo horizonte.
- Stenis, J. (2005). Construction waste management based on industrial management models: Swedish case study. Waste Manage and Research, Sweden Vol 23.
- Tirone, L. e Nunes, K. (2008). Construção Sustentável soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã. 2ª Edição, Sintra: Tirone Nunes, SA.

Valacich, J. (2001). Conducting Experimental Research in Information Systems. Communications of the Association for Information Systems, Vol 7, Article 5.

Verçosa (2000). Evolução dos materiais de construção, São Paulo.

Wills, B.A. and Napier-Munn, T. (2006) Wills' Mineral Processing Technology. 7th Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Yin, R. K. (2009). Case study research: Design and methods (4th Ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

APÊNDICES E ANEXOS

Apêndice 1

Tabela 4: Resultados dos ensaios de granulometria agregado graúdo reciclado

Agregado Graúdo Reciclado	Peneiros	Massa retida	Percentual de solo retido	Percentagem retida acumulada	% Passada
	25.00		0.00	0.00	100.00
	19.00	32.39	1.09	1.09	98.91
	13.20	1464.09	49.42	50.52	49.48
	9.50	840.65	28.38	78.89	21.11
	6.70	471.18	15.91	94.80	5.20
	4.75	55.70	1.88	96.68	3.32
	2.36	26.60	0.90	97.58	2.42
	1.18	10.80	0.36	97.94	2.06
	0.60	9.00	0.30	98.24	1.76
	0.43	6.60	0.22	98.47	1.53
	0.30	7.70	0.26	98.73	1.27
	0.15	30.10	1.02	99.74	0.26
	0.075	7.60	0.26	100.00	0.00
	Base	0.00	0.00	100.00	0.00
	TOTAL	2962.40	100.00		

Fonte: Autor (2022)

Tabela 5: Resultados dos ensaios de granulometria agregado graúdo normal + agregado graúdo reciclado

Agregado Graúdo Normal + agregado Graúdo Reciclado	Peneiros	Massa retida	Percentual de solo retido	Percentagem retida acumulada	% Passada
	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	19.00	52.20	1.76	1.76	98.24
	13.20	1083.00	36.60	38.36	61.64
	9.50	1110.00	37.51	75.87	24.13
	6.70	633.60	21.41	97.29	2.71
	4.75	67.60	2.28	99.57	0.43
	2.36	5.70	0.19	99.76	0.24
	1.18	0.42	0.01	99.78	0.22
	0.60	0.41	0.01	99.79	0.21
	0.43	0.32	0.01	99.80	0.20
	0.30	0.63	0.02	99.82	0.18
	0.15	3.80	0.13	99.95	0.05
	0.075	1.40	0.05	100.00	0.00
	Base	0.00	0.00	100.00	0.00
	TOTAL	2959.08	100.00		

Fonte: Autor (2022)

Apêndice 2

Tabela 6: Resultados dos ensaios de granulometria agregado graúdo normal (100%)

Agregado Graúdo Normal (100%)	Peneiros	Massa retida	Percentual de solo retido	percentagem retida acumulada	% Passada
	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	13.20	974.43	32.86	32.86	67.14
	9.50	974.46	32.86	65.73	34.27
	6.70	664.27	22.40	88.13	11.87
	4.75	275.83	9.30	97.43	2.57
	2.36	16.31	0.55	97.98	2.02
	1.18	10.08	0.34	98.32	1.68
	0.60	6.82	0.23	98.55	1.45
	0.43	13.05	0.44	98.99	1.01
	0.30	8.30	0.28	99.27	0.73
	0.15	12.75	0.43	99.70	0.30
	0.075	8.90	0.30	100.00	0.00
	Base	0.00	0.00	100.00	0.00
	TOTAL	2965.20	100.00		

Fonte: Autor (2022)

Tabela 7: Resultados dos ensaios de granulometria agregado graúdo normal + agregado graúdo reciclado

Agregado Miúdo Grosso	Peneiros	Massa retida	Percentual de solo retido	Percentagem retida acumulada	% Passada
	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	13.20	0.00	0.00	0.00	100.00
	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
	6.70	0.00	0.00	0.00	100.00
	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
	2.36	20.10	6.80	6.80	93.20
	1.18	52.80	17.87	24.68	75.32
	0.60	95.50	32.33	57.01	42.99
	0.43	56.50	19.13	76.13	23.87
	0.30	40.40	13.68	89.81	10.19
	0.15	18.60	6.30	96.11	3.89
	0.075	7.20	2.44	98.54	1.46
	Base	4.30	1.46	100.00	0.00
	TOTAL	295.40	100.00		

Fonte: Autor (2022)

Apêndice 3

Tabela 8: Resultados dos ensaios de Absorção

	peso no ar da amostra saturada com a superfície seca (g)	peso na água da amostra saturada(g)	peso no ar da amostra seca na estufa (g)	temperatura da água (°c)	Absorção (%)
Agregado Graúdo Normal (100)	5214.7	2983.2	4922.6	24	3.9
Agregado Graúdo Normal + agregado Graúdo Reciclado	5310.3	3010.3	4915.55	24	5.8
Agregado graúdo reciclado	5484.4	3039.7	4910.1	24	7.3

Fonte: Autor (2022)

Tabela 9: Resultados dos ensaios de compressão aos 3 dias do betão produzido por agregado normal (100%)

Compression Test Results				
Date Tested	26-11-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	08:33			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
Reference	S1	S1	S1	
Age	03	03	03	
Weight	7940	7940	7920	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	276.75	245.25	249.75	257.25
MPa	11.8	10.9	11.1	11.27

Fonte: Autor (2022)

Apêndice 4

Tabela 10: Resultados dos ensaios de compressão aos 7 dias do betão produzido por agregado normal (100%)

Compression Test Results				
Date Tested	30-11-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	09:45			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
Reference	S1	S1	S1	
Age	7	7	7	
Weight	7860	7840	7860	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	393.75	411.75	391.5	399.00
MPa	17.5	18.3	17.4	17.73

Fonte: Autor (2022)

Tabela 11: Resultados dos ensaios de compressão aos 28 dias do betão produzido por agregado normal (100%)

Compression Test Results				
Date Tested	21-12-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	09:02			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
Reference	S1	S1	S1	
Age	28	28	28	
Weight	7880	7860	7840	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	589.5	603	621	604.50
MPa	26.2	26.8	27.6	26.87

Fonte: Autor (2022)

Apêndice 5

Tabela 12: Resultados dos ensaios de compressão aos 3 dias do betão produzido por agregado normal (100%) + agregado reciclado (50%)

Compression Test Results				
Date Tested	26-11-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	08;49			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	<u>Sample 1</u>	<u>Sample 2</u>	<u>Sample 3</u>	<u>Average</u>
Reference	S2	S2	S2	
Age	03	03	03	
Weight	7840	7820	7820	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	276.75	256.5	267.75	267.00
MPa	12.3	11.4	11.9	11.87

Fonte: Autor (2022)

Tabela 13: Resultados dos ensaios de compressão aos 7 dias do betão produzido por agregado normal (100%) + agregado reciclado (50%)

Compression Test Results				
Date Tested	30-11-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	10;05			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	<u>Sample 1</u>	<u>Sample 2</u>	<u>Sample 3</u>	<u>Average</u>
Reference	S2	S2	S2	
Age	7	7	7	
Weight	7820	7840	7860	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	389.25	396	409.5	398.25
MPa	17.3	17.6	18.2	17.70

Fonte: Autor (2022)

Apêndice 6

Tabela 14: Resultados dos ensaios de compressão aos 28 dias do betão produzido por agregado normal (100%) + agregado reciclado (50%)

Compression Test Results				
Date Tested	21-12-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	09;20			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
Reference	S2	S2	S2	
Age	28	28	28	
Weight	7780	7780	7840	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	668.25	688.5	650.25	669.00
MPa	29.7	30.6	28.9	29.73

Fonte: Autor (2022)

Tabela 15: Resultados dos ensaios de compressão aos 3 dias do betão produzido por agregado reciclado (100%)

Compression Test Results				
Date Tested	03-12-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	11;29			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
Reference	S3	S3	S3	
Age	03	03	03	
Weight	7720	7740	7720	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	276.75	281.25	265.5	274.50
MPa	12.3	12.5	11.8	12.20

Fonte: Autor (2022)

Apêndice 7

Tabela 16: Resultados dos ensaios de compressão aos 7 dias do betão produzido por agregado reciclado (100%)

Compression Test Results				
Date Tested	07-12-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	10;15			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
Reference	S3	S3	S3	
Age	7	7	7	
Weight	7740	7780	7720	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	434.25	420.75	447.75	434.25
MPa	19.3	18.7	19.9	19.30

Fonte: Autor (2022)

Tabela 17: Resultados dos ensaios de compressão aos 28 dias do betão produzido por agregado reciclado (100%)

Compression Test Results				
Date Tested	28-12-21			
Report Name	Gerson Sergio Mavie			
Time	11;50			
Press No	20001314C			
Description	Ensaio de compressão de cubos			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Average
Reference	S3	S3	S3	
Age	28	28	28	
Weight	7860	7860	7820	
Type	150mm Cube	150mm Cube	150mm Cube	
Size1mm	150	150	150	
Size2 mm	150	150	150	
Area sq mm	22500	22500	22500	
kN	636.75	679.5	605.25	640.50
MPa	28.3	30.2	26.9	28.47

Fonte: Autor (2022)

Anexo 1



Figura 13: Processo de desmoldagem de cubos de betão 1 dia depois da sua produção.
Fonte: Autor (2022)



Figura 14: Processo de desmoldagem de cubos de betão com auxílio do compressor de ar 1 dia depois da sua produção.
Fonte: Autor (2022)



Figura 15: Amostras de RCD reciclado e agregado natural antes da pesagem.
Fonte: Autor (2022)

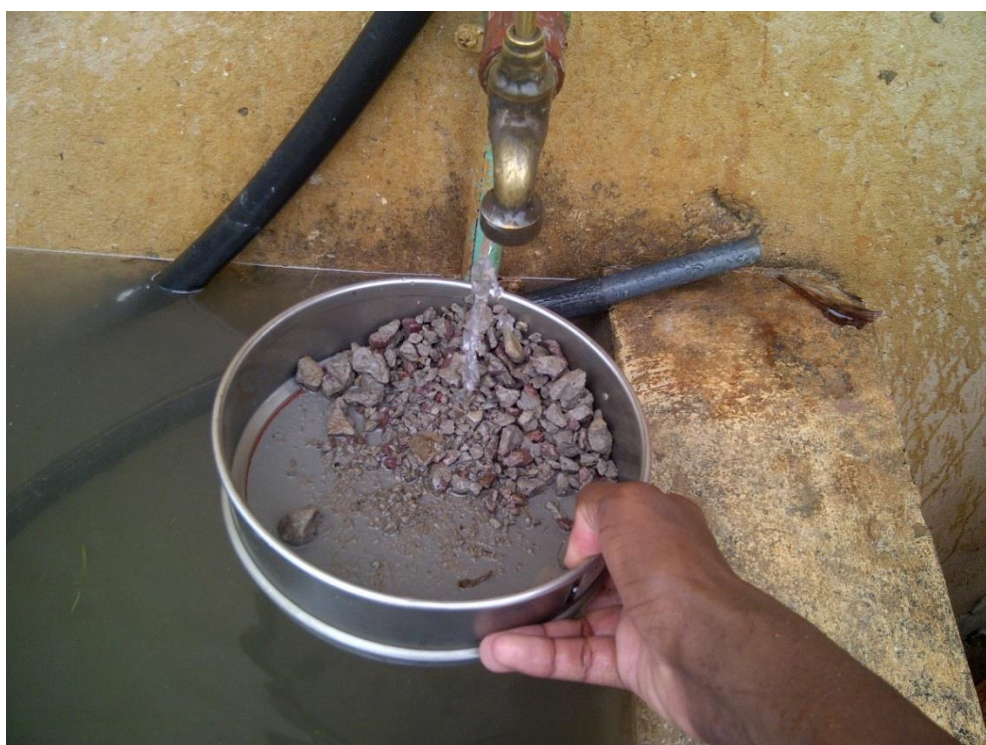


Figura 16: Lavagem da amostra de RCD reciclado para o ensaio de granulometria.
Fonte: Autor (2022)

Anexo 3



Figura 17: Pesagem da amostra saturada na água durante o ensaio de absorção do agregado reciclado
Fonte: Autor (2022)



Figura 18: Processo de realização do ensaio de abaixamento do cone
Fonte: Autor (2022)

