



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

Reciclagem de Resíduos Urbanos na Produção de Componente de Sistemas Construtivos

Mara Raquel Sousa Vilela

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia civil
(Ciclo de Estudo Integrado)

Orientador: Prof. Doutor Luiz Antonio Pereira Oliveira

Covilhã, outubro de 2014

Aos meus Pais, José e Lurdes.

Agradecimentos

A execução de uma dissertação, investigação por vezes solitária, reúne inúmeros colaboradores que diretamente ou indiretamente me ajudaram. A esses colaboradores agradeço de forma humilde e imotiva, pois sem esses contributos o caminho seria penoso.

Começo por agradecer profundamente o apoio, a confiança, a partilha do saber, a paciência e a sua disponibilidade ao Professor Doutor Luiz Oliveira, orientador da dissertação. Obrigada pela dedicação nesta jornada.

Aos meus pais, José e Lurdes. O muito obrigado por estes anos investirem no meu futuro, sempre confiando e depositando esperança nas alturas mais difíceis. Reconheço os vossos sacrifícios e a vós vos devo muito. Agradeço também o apoio, o carinho e pela demonstração do amor de pais em gestos e palavras, que fez de mim a mulher que sou hoje e espero vos ter orgulhado. Sem a vocês o caminho não seria risonho.

Aos meus irmãos, Anabela, Daniel e Ana Maria pela confiança, carinho e amizade. Aos respetivos conjugues, Nuno, Mónica e António pelo incentivo e coragem. Aos meus sobrinhos, Leonor, Inês, Lorena, André e Alessandro pelos sorrisos arrancados do meu rosto. A toda a restante família o meu obrigado pelo vosso apoio.

Aos meus amigos de longa data, Cristiana Fernandes, Vânia Castro, Sofia Gonçalves e Elvira Fernandes, agradeço a vossa amizade, compreensão e carinho que me ajudou muito na aquisição de confiança no meu trabalho e a coragem nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos de Universidade, Mafalda Lino, Fátima Bispo, Luís Dia, Vasco Pereira, João Fonseca, Marta Duarte, Tânia Leitão, Luís Cândido e Alexandra Carrilho, agradeço o apoio e carinho a colaboração que tiveram no presente trabalho. Amizade para uma vida.

A Adelaide Ajú, obrigada pelos momentos de desabafo e pela colaboração na realização da dissertação. Companheira de casa e de Universidade que guardo a amizade, o apoio e o carinho no coração.

Agradeço a Paula Barroca a amizade, o carinho, a dedicação, a preocupação assim como a contributo para presente trabalho. Sempre disponível para pequenas dúvidas e sempre disposta a ajudar. Do meu coração um obrigado sincero e humilde.

Ao Tiago Santos agradeço o companheirismo, a confiança, o apoio assim como a participação do desenvolvimento desta dissertação. O meu muito obrigado.

Ao Eng.º Albino Alves, técnico de laboratório e amigo agradeço a disponibilidade, a ajuda e amizade. Ao Sr. António Félix e ao Sr. Jorge Barros os meus sinceros agradecimentos pelo auxílio, amabilidade e a disponibilidade para a realização dos trabalhos laboratoriais.

Gostaria de expressar os meus agradecimentos à Universidade da Beira Interior por disponibilizar todos os equipamentos, materiais e espaço para a execução dos ensaios laboratoriais. A todos os Professores que tive a felicidade de cruzar na minha formação académica, pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço também ao Eng.º João Silva pela aprontada disponibilidade e pela colaboração da disponibilização de material, vindo da RESISTRELA, sem esse gesto não seria fácil a execução do trabalho presente.

Por fim mas não menos importante, o meu obrigado especial a quem nunca duvidou das minhas capacidades, a quem chorou e sorriu comigo, a quem me ajudou e compreendeu todos os meus estados de espírito, a quem me acompanha nos caminhos da vida de mão dada, ao Diogo Machado.

Resumo

Na Engenharia Civil existem várias preocupações em diferenciados ramos e a reciclagem não é exceção. O enquadramento da reciclagem na construção é cada vez mais importante. A reciclagem além de facilitar a diminuição de resíduos em aterros sanitários, permite ainda desenvolver novos materiais ou técnicas de construção melhorando assim, aspetos negativos que anteriormente poder-se-iam visionar na construção civil.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema construtivo, utilizando principalmente argamassa e garrafas de plástico, denominado PETBlock, para fins de habitação de interesse social.

Para este efeito as paredes são constituídas por módulos de garrafas PET preenchidas de areia e empilhadas para que o resultado final satisfaça as condições mínimas de segurança. Sem elementos estruturais, pilares e vigas, o levantamento conta com a utilização de tela hexagonal, argamassa, em apropriação do conceito de argamassa armada. Perante este processo poder-se-á obter uma construção economicamente viável e por fim e um aspeto desejado, a autoconstrução, não deixando de parte um dos aspetos mais importante de todos a reciclagem. Este tipo de construção possibilita a reciclagem de garrafas de plástico PET e consequentemente a diminuição do impacto ambiental.

Pode-se comprovar através de ensaios mecânicos realizados no módulo PET constituído da garrafa preenchida com areia e de prismas representando em pequena escala o sistema de paredes PETBlock que é possível atender capacidades de resistência requeridas as alvenarias portantes. Por fim conclui-se pela viabilidade do sistema proposto, sobretudo como um sistema construtivo alternativo que atende os recursos da autoconstrução, entre outros.

Palavras-chave

Sustentabilidade, resíduos sólidos urbanos, reciclagem, garrafa PET, autoconstrução

Abstract

In Civil Engineering there are several discussed issues and recycling, nowadays, is one of the most studied. The practice of recycling can facilitate the reduction of waste in landfills but also develop new materials or construction techniques transforming the environment negative aspects credited to the construction activities.

The present work aims to develop a constructive system, using mortar and plastic bottles, called PETBlock for purposes of social housing. For this purpose, the walls are made up of modules of PET bottles filled with sand and stacked so that the end result meets the minimum safety conditions.

Any structural elements as columns and beams were use, the wall are raise with the aid of the hexagonal screen and mortar, in appropriating the concept of reinforced mortar.

It was verified through mechanical tests carried out on PET module, composed of bottle filled with sand, and prisms samples representing a small-scale system PETBlock walls that can meet the required resistance capabilities bearing masonry. Finally we conclude by the feasibility of the proposed system, particularly as an alternative building system that meets the resources of self-construction.

Keywords

Sustainability, urban solid waste, recycling, PET bottle, self-construction

Índice

1. Introdução	
1.1. Enquadramento e apresentação	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização da dissertação	2
2. Reciclagem de Resíduos Urbanos	
2.1. Resíduos urbanos	5
2.2. Reciclagem	6
2.2.1. Reciclagem na construção civil	8
2.3. As embalagens de politereftalato de etileno PET	9
2.3.1. Características e propriedades do PET	9
2.3.2. Vantagens das embalagens PET	12
2.3.3. Reciclagem de embalagens PET	13
2.3.4. Exemplos de reaproveitamento do PET	14
2.4. Conclusão	17
3. Coordenação Modular	
3.1. Introdução	19
3.2. Princípios da Coordenação Modular	20
3.2.1. Sistema de referência	20
3.2.2. Projeto Modular	22
3.3. Finalidade da Coordenação Modular	24
3.4. Conclusão	25
4. Coordenação Modular aplicada ao Sistema PETBlock	
4.1. Introdução	27
4.2. Propostas de projeto modular de habitação em PET	27
4.3. Projeto modular de habitação em sistema PETBlock	29
4.4. Prisma	36
4.5. Vantagens e dificuldades	37
4.6. Conclusões	38
5. Procedimento experimental	
5.1. Introdução	39
5.2. Materiais utilizados	39
5.2.1. Garrafa PET	39
5.2.2. Areia	40
5.2.3. Argamassa	41
5.3. Determinação das características dos materiais e propriedades das argamassas	43
5.3.1. Análise granulométrica	43
5.3.2. Determinação da consistência de argamassa fresca	44
5.3.3. Determinação da resistência à tração por compressão diametral	45
5.3.4. Determinação da resistência à compressão das argamassas	47
5.3.5. Ensaio de corpo duro em parede do sistema PETBlock	47

5.3.6. Ensaio de corpo mole em parede do sistema PETBlock	49
6. Discussão de resultados	
6.1. Introdução	51
6.2. Resistência à compressão	51
6.2.1 Resistência à tração por compressão diametral do módulo PET	51
6.2.2. Ensaio aos provetes de argamassa	55
6.2.3. Ensaio dos prismas do sistema PETBlock	56
6.3. Ensaio ao corpo duro	58
6.4. Ensaio ao corpo mole	61
6.5. Estudo de prismas de alvenaria	63
7. Conclusão	67
7.1. Trabalhos futuros	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	
Anexo A. Ensaio de corpo mole	
Anexo A.1. Resultados obtidos	77
Anexo B. Peças em AutoCad	
Anexo B.1. Perspetiva 1	93
Anexo B.2. Perspetiva 2	95
Anexo B.3. Pormenor canto parede	97
Anexo B.4. Pormenor canto da janela	99
Anexo B.5. Pormenor de canto superior parede	101
Anexo B.6. Pormenor de canto inferior parede	103
Anexo B.7. Pormenor de canto 1º hipótese não adotada	105
Anexo B.8. Pormenor de canto interior 1º hipótese não adotada	107
Anexo B.9. Planta proposta	109

Lista de Figuras

2.1. Ciclo de Reciclagem	6
2.2. Ecopontos	6
2.3. Estrutura Química do PET	10
2.4. Calor específico em kJ/KG K	11
2.5. Calor em kJ/KG	11
2.6. Tereftalato de polietileno (PET) de fibras recicladas; Falha típica de uma argamassa depois de teste de compressão	14
2.7. Partículas de borracha: após o processo de trituração; durante a mistura do betão	15
2.8. Construção do bloco PET e ensaio a compressão	16
2.9. Disposição do PET	16
2.10. Colocação das colunas de garrafa plásticas e treliça de reforço	16
3.1. Sistema de referência	20
3.2. Sistema de referência; Ponto, Linha e planos	21
3.3. Quadriculado modular de referência	21
3.4. Sistema de referência de múltiplos módulos	22
3.5. Exemplos de quadriculados multimodulares	23
3.6. Múltiplos módulos	23
3.7. Submódulos	24
4.1. Dimensões do PET	28
4.2. Visualização geral da disposição do PET	29
4.3. Pormenor da disposição das garrafas PET, no modo “stacking bond”	29
4.4. Pormenor da espessura da parede vista de topo	30
4.5. Pormenor dos cantos da habitação	30
4.6. Pormenor dos cantos da habitação mais em detalhe	31
4.7. Curvatura e instabilidade, necessita de um suporte	31
4.8. Perceção da utilização de armadura entre o PET	32
4.9. Pormenor da nova disposição das garrafas PET	32
4.10. Pormenor dos cantos na nova disposição das garrafas PET.	33

4.11. Pormenor dos cantos na nova disposição das garrafas PET, vista de topo.	33
4.12. Disposição final das garrafas PET assim como posição da Tela	33
4.13. Pormenor da zona em contato com o chão sem a necessidade de suporte	34
4.14. Pormenor de fixação da tela hexagonal.	34
4.15. Iniciação de reboco, 1º Fase	35
4.16. Acabamento do reboco, 2º Fase	36
4.17. Procedimento de execução dos prismas	37
5.1. Garrafa PET com areia no interior	40
5.2. Curva granulométrica da areia natural 0/4	41
5.3. Curva granulométrica da areia natural 0/2	41
5.4. Misturadora e Máquina de compactação	43
5.5. Instrumento mecânico com os diferentes peneiros	44
5.6. Procedimento do ensaio de espalhamento	45
5.7. Exemplificação da colocação de componentes para o ensaio de resistência diametral (1- Barra de carregamento em aço; 2-Tiras de madeira reconstituída),	45
5.8. Equipamento necessário para elevar o PET	46
5.9. Demonstração da utilização da célula de carga e do datalogger	46
5.10. Prensa, "datalogger", ensaio com célula de carga e ensaio sem a célula de carga	47
5.11. Esfera maciça em aço de 1Kg	48
5.12. Preparação do saco para o ensaio de corpo mole assim como os defletómetros para a medição do deslocamento horizontal.	50
6.1. Deformação ao longo do carregamento, PET 1	52
6.2. Deformação ao longo do carregamento, PET 2	53
6.3. Deformação ao longo do carregamento, PET 3	53
6.4. Rotura típica de provetes de argamassa ou betão	54
6.5. Registo fotográfico da fissura após o ensaio de resistência diametral PET 1	54
6.6. Registo fotográfico da fissura após o ensaio de resistência diametral, PET 2 e 3	55
6.7. Provetes de argamassa após o ensaio de resistência à compressão	56
6.8. Fissuras ao longo e após o carregamento	57
6.9. Visualização da desintegração da argamassa no ensaio após 28 dias	58
6.10. Visualização do conteúdo no interior do prisma	58

6.11. Resultados - 1 e 2 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/2	59
6.12. Resultado - 3 e 4 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/2	59
6.13. Resultado - 5 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/2	59
6.14. Resultado - 1 e 2 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/4	59
6.15. Resultado - 3 e 4 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/4	60
6.16. Resultado - 5 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/4	60
6.17. Localização do embate da esfera - 1 e 2 - em ambas as faces	60
6.18. Localização do embate da esfera - 3, 4 e 5 - em ambas as faces	61
6.19. Deslocamento horizontal e deformação da parede	62

Anexos:

Anexo B.1. Perspetiva 1	93
Anexo B.2. Perspetiva 2	95
Anexo B.3. Pormenor canto parede	97
Anexo B.4. Pormenor canto da janela	99
Anexo B.5. Pormenor de canto superior parede	101
Anexo B.6. Pormenor de canto inferior parede	103
Anexo B.7. Pormenor de canto 1º hipótese não adotada	105
Anexo B.8. Pormenor de canto interior 1º hipótese não adotada	107
Anexo B.9. Planta proposta	109

Lista de Tabelas

2.1. Resistência física	10
2.2. Propriedades térmicas	10
2.3. Propriedades do PET	11
2.4. Permeabilidade do PET Biorientado	12
2.5. Resistência Mecânica	12
5.1. Granulometria de areia natural 0/4	40
5.2. Características da argamassa A5M	42
5.3. Características da argamassa A6M	42
5.4. Características da argamassa A7M	43
5.5. Características da argamassa A8M	43
5.6. Itens a considerar para o ensaio de corpo duro	48
5.7. Critérios de avaliação dos impactos ao ensaio de resistência a corpo duro	49
5.8. Itens a considerar para o ensaio de corpo mole	50
6.1. Valores obtidos pelo ensaio de resistência diametral do provete	51
6.2. Valores de resistência de tração	52
6.3. Resultado dos ensaios à compressão das argamassas após 7 e 28 dias (em MPa)	56
6.4. Resistência à compressão de prismas PETBlock (em MPa)	57
6.5. Resistência à compressão em relação a área bruta dos prismas de 2 blocos	63
6.6. Resistência à compressão em relação a área bruta dos prismas de 2 blocos.	64
6.7. Resistência à compressão do módulo PET	65
6.8. Resultados de fator de eficiência f_{pPETB}/f_{mPET}	65
<u>Anexos:</u>	
Anexo A.1.1.	77

Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BPM	Paredes Maciças
BPV	Paredes vazadas
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura
HR	Humidade relativa
MEG	Etilenoglicol
PTA	Ácido Tereftálico
PVC	Cloreto de polivinila
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SA	Sociedade anónima
SPV	Sociedade Ponto Verde
SIGRE	Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens
UBI	Universidade da Beira Interior.

Simbologia

fmPET	Fator de eficiência PET
fmPETB	Fator de eficiência PETBlock

1. Introdução

1.1. Enquadramento e apresentação

Em Portugal a construção ainda é bastante convencional e economicamente dispendiosa, requerendo mão-de-obra qualificada, com experiência para o manuseamento de máquinas e equipamento. A construção convencional resulta da combinação de elementos estruturais em betão armado, com paramentos de tijolo revestidos com argamassa. Apesar das inúmeras soluções existentes, esta continua a ser interpretada pela sociedade como o método mais seguro e eficaz, para o desenvolvimento das mais diversas estruturas. Tratando-se, especialmente, de uma construção de tijolos, argamassa, betão e aço, provoca ao cidadão um sentimento de que este se trata de um método mais seguro para as suas casas e para a sua família.

O presente trabalho vem precisamente desmitificar um pouco esta ideia, demonstrando que é possível erguer um espaço com requisitos de segurança e comodidade, sem que este seja realizado através de uma construção tradicional. É possível, com algum engenho, desenvolver outras formas de construção ou mesmo aperfeiçoar métodos construtivos existente, diminuindo o custo de obra.

Os últimos anos têm sido bastante penosos para muitos cidadãos, não só em Portugal mas em todo mundo em relação à economia familiar. Hoje em dia, ter uma simples habitação trata-se de um luxo. Segundo Gil (2012) a dificuldade do acesso a créditos tem vindo a aumentar o que implica que cada vez mais as famílias não consigam aceder a uma habitação minimamente digna. É assim necessário contornar este problema de forma a satisfazer as condições habitação/preço, recorrendo para isso a soluções inovadoras que permitam o manejo dos recursos disponíveis.

A construção é um dos principais geradores de resíduos, originando muitos desperdícios, o que implica um impacto ambiental negativo. Desta forma reciclar constitui uma palavra-chave no desenvolvimento do presente trabalho.

A ideia de desenvolver um sistema construtivo viável, reciclando materiais, permite satisfazer inúmeras questões relacionadas com o meio ambiente e com o cidadão. Denote-se que em Portugal os problemas ambientais têm sido, felizmente, um fator que preocupa os cidadãos. “Nos últimos anos, a eliminação de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido um dos mais importantes problemas ambientais para todas as regiões portuguesas.”, (Magrinho et al., 2006).

Perante estes dois problemas bastantes notórios, deu-se forma ao presente trabalho. Pequeno passo, com base nos conhecimentos de reciclagem e também exemplares já proposto e construídos em Portugal ou no Brasil, para desmitificar e dar uma outra solução para reciclar.

1.2. Objetivo

O objetivo de pesquisa do presente trabalho é o desenvolvimento de um sistema construtivo através de resíduos sólidos urbanos, que assegurem o desempenho estrutural de um edifício unifamiliar.

A principal razão da elaboração do presente estudo é demonstrar que é possível obter um edifício com condições dignas, a baixo custo, recorrendo para isso a mão-de-obra não qualificadas, contribuindo ainda para a redução dos resíduos sólidos urbanos existentes em aterros sanitários.

O desenvolvimento experimental é elaborado em laboratório (DECA - UBI) com o objetivo de avaliar o Desempenho de Segurança do edifício, para tal efeito ter-se-á em consideração as normas Brasileiras ABNT NBR 15575-2_2013.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação consistirá em 6 capítulos diferenciados, planificados da seguinte forma:

No capítulo 2 é realizada uma análise bibliográfica sobre a reciclagem de resíduos urbanos. Explora-se também a constituição do ciclo da reciclagem e a sua importância. Ocorrerá também uma abordagem da reciclagem na construção civil de uma forma concisa e breve. Neste capítulo serão demonstradas as características do principal material utilizado, o PET, assim como alguns exemplos, da sua aplicação na construção.

O capítulo 3 será constituído por uma compilação bibliográfica sobre a Coordenação Modular. Será feita uma breve revisão histórica, assim como uma demonstração dos principais objetivos e da sua finalidade.

O capítulo 4 reger-se-á pela demonstração da Coordenação Modular aplicada ao sistema PET Block. Pequena introdução da diferença de habitação/habitat e por fim uma explicação de todo o trabalho realizada, especificando cada escolha e cada detalhe do mesmo.

O capítulo 5 será baseado no procedimento experimental onde se relata todos os ensaios laboratoriais, assim como todos os cálculos e especificações do procedimento laboratorial.

No capítulo 6 serão apresentados todos os resultados obtidos no capítulo anterior juntamente com pequenas discussões sobre o mesmo.

Por fim, o capítulo 7 rege-se pelas conclusões finais de todo o processo desenvolvido ao longo da presente dissertação. Para melhoramento e seguimento do trabalho realizado serão propostos alguns itens passíveis de serem realizados em trabalhos futuros.

No final do trabalho encontram-se indicadas todas as referências bibliográficas e anexos utilizados no desenvolvimento do presente trabalho.

2. Reciclagem de resíduos urbanos

2.1. Resíduos urbanos

Os resíduos urbanos advêm da utilização de materiais de atividades domésticas e comerciais. Todas as substâncias ou objetos, que após utilizados se tornam indispensáveis ao ser Humano, podem ser denominados de forma simplificada por Lixo Urbano (Carvalho, 1997). Os resíduos urbanos podem ser assim considerados como um bem que foi consumido (John 2000).

Desde há duas décadas, que os resíduos sólidos urbanos (RSU) têm grande importância na nossa sociedade, devido ao aumento exponencial da sua produção (Magrinho et al, 2006). O resíduo sólido urbano (RSU) é considerado proporcional ao aumento da economia e da população, uma vez que este aumenta proporcionalmente ao consumo da matéria-prima (John, 2000). Segundo John (2000), o aumento significativo da população, constitui uma dificuldade ao controlo da quantidade de resíduos sólidos produzidos.

A caracterização do resíduo constitui assim uma tarefa essencial à sua identificação como produto reciclável. Só a adequada caracterização da composição química macroestrutural e do impacto ambiental do resíduo, permitirá delinear uma alternativa viável para a sua reciclagem e para uma adequada análise dos danos que este possa provocar na natureza (John 2000).

O morador urbano anseia em viver num lugar onde exista um ambiente saudável sem poluição, repleto ar e água pura, assim como de condições dignas para viver. Contudo, os costumes e hábitos negativos dos moradores contradizem este fato. Estes costumes, além de promoverem um impacto ambiental negativo no ecossistema urbano, contribuem ainda para um aumento significativo do consumo de bens e matérias-primas (Mucelin et al, 2007).

Segundo Curwell e Cooper (1998), os objetos são delineados, produzidos, utilizados e após o seu tempo de vida útil (equivalente ao tempo em que o bem é preciso ou desejável), depositados no meio ambiente.

Deste modo os bens que passam a ser resíduos sólidos são expostos ao ar, água ou aterros sanitários. Esta consequência final origina a um problema ambiental.

Estas práticas provocam “ (...) contaminações de corpos de água, assoreamento, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como cães, gatos, ratos, baratas, moscas, vermes, entre outros”, assim como aspetos negativos em termos de poluição visual, cheiro e contaminação (Mucelin et al, 2007)

Os resíduos urbanos quando não tratados convenientemente tornam-se prejudiciais ao meio ambiente, como referido anteriormente, pelo que é necessário combaterem este aspeto negativo de forma otimizada. A importância do conceito de reciclagem no cotidiano é assim imprescindível, pois permite uma redução do consumo de matérias-primas, preservando os recursos naturais, otimizando a utilização de um bem produzido com matérias recicladas (John, 2000).

Em Portugal, mesmo desconhecendo estudos abrangentes, é notável a cooperação para a existência de reciclagem de acordo com as identidades responsáveis, (Magrinho, Didelet e Semião, 2006).

A reciclagem não passa por ser a única solução para o problema em questão. Contudo trata-se de um ato que se todos contribuírem um pouco se torna numa solução mais visível.

2.2. Reciclagem

No final da década de 1980 gerou-se o incentivo à reciclagem, devido à constatação de que as matérias-primas não renováveis se tornariam num problema. Este problema refere-se essencialmente ao seu tempo de decomposição na natureza, (Nascimento 2009).

Considera-se sustentável algo cuja vida útil seja infinita. Este conceito apesar de ambíguo permite otimizar a redução da reciclagem de resíduos, com conseqüente diminuição da produção de materiais, através de matérias-primas (John 2000).

Reciclar trata assim a transformação das propriedades físicas dos materiais, de forma à obtenção de novos produtos, sem que seja necessário recorrer aos seus produtos de raiz. ^[1] De forma sucinta, a reciclagem consiste num processo que visa transformação de materiais usados, em novos, com o objetivo da reutilização. ^[2]

Ao longo dos anos, o desenvolvimento da tecnologia tem vindo a aperfeiçoar métodos de reciclagem. Atualmente é possível reciclar praticamente quase todo o tipo de produtos, podendo-se mesmo dar uma nova função, ao mesmo produto.

Dentro dos produtos recicláveis, destacam-se pela sua predominância e fácil manuseamento o vidro, o plástico, o cartão, as pilhas, entre outros menos comuns.

Em Portugal, a Sociedade Ponto Verde dispõe de um ciclo de reciclagem relativamente complexo que engloba não só a produção, mas também o próprio consumidor, como se pode ver na figura 2.1.



Figura 2.1. Ciclo de Reciclagem (Fonte: Sociedade Ponto Verde ^[3])

A reciclagem divide-se em 4 grupos principais, plásticos, papel, vidro e pilhas.

Cada grupo dispõe de uma cor diferente que permite a sua distinção enquanto material, permitindo também a sua fácil adequação ao respetivo ecoponto.

O contentor amarelo encontra-se assim associado a resíduos de plástico, metal e embalagens de cartão para bebidas. O contentor azul a embalagens de papel, cartão e revistas entre outros. O contentor verde a resíduos de vidro, e o contentor, vermelho, mais pequeno mas não o mais insignificante, a depósitos de pilhas.



Figura 2.2. Ecopontos

De acordo com John (2000) a reciclagem possibilita grandes vantagens sobre o ponto de vista da sustentabilidade. Atribuir a um resíduo sólido uma nova função possibilita o prolongamento de vida do resíduo/objeto, não desperdiçando as propriedades que ainda o reserva, viabilizando-se a diminuição da procura de recursos-naturais (John 2000).

O objetivo da reciclagem consiste na diminuição da procura de resíduos naturais, assim como de aterros sanitários existentes (Nascimento 2009).

Estes objetivos apesar de serem as maiores vantagens da reciclagem, não são os únicos. A reciclagem permite ainda, a redução do consumo de energia, da poluição e dos aterros, gerando empregos e aumentando a economia, e durabilidade dos materiais (John 2000).

Hoje em dia o incentivo à reciclagem é notório, de acordo com a Diretiva 2004/12/CE (comissão Europeia, 2004) que entrou em vigor para definir objetivos para a reciclagem de resíduos de embalagens para Portugal, em 2011. Estes objetivos consistem em recuperar 60% de resíduos de embalagens e de metais, 22,5% de materiais plásticos e 15% de madeira. Esta diretiva salienta que a “Recuperação e reciclagem de embalagens devem ser incrementadas para reduzir o seu impacto ambiental”. [4]

2.2.1. Reciclagem na Construção Civil

É inevitável não haver perdas em qualquer sector industrial. O sector da construção civil por norma é o maior consumidor de matérias-primas, produzindo uma grande percentagem de resíduos sólidos. Contudo é também um dos sectores que apresenta maiores vantagens como fonte recicladora.

A reciclagem de resíduos na construção Civil possibilita a origem de novos materiais alternativos e por vezes soluções inovadoras para situações específicas. Este efeito deve-se à grande diversidade de materiais e das suas características (John 2000).

Porém é necessário uma compreensão do resíduo em questão para que se possa desenvolver adequadamente um novo material. Este aspeto é essencial para um adequado conhecimento do comportamento físico e químico do novo material.

Neste sentido, John (2000) defende a necessidade de existir uma metodologia de desenvolvimento e avaliação para os materiais, resultante da introdução de compostos de resíduos na sua composição.

Por vezes estes materiais resultantes da reutilização de produtos da reciclagem são culpabilizados pelas principais patologias em edifícios. No entanto, pensa-se que estes comportamentos devem-se não aos materiais empregues na sua formulação, mas sim ao seu deficiente estudo e inadequada aplicação.

O desenvolvimento ou a introdução de resíduos resultantes da reciclagem nos materiais da construção civil constitui assim uma tarefa com elevado grau de complexidade (John 2000).

O referente grau de complexidade constitui também um dos grandes desafios, na medida do presente trabalho a utilização materiais provenientes da reciclagem pode corrigir as lacunas existentes, em termos de um estudo adequado.

No presente trabalho o material reciclado utilizado, será o PET, devido às várias características que possui, assim como à sua predominância no sector da reciclagem.

2.3. As embalagens de politereftalato de etileno PET

Em 1977 nos Estados Unidos da América fabricava-se pela primeira vez as garrafas PET para refrigerantes. A silaba PET deriva da sua origem, nomeadamente, da sua composição química à base de Ácido Tereftálico (PTA) e Etilenoglicol (MEG) (Mancini et al, 1998).

Após a sua implementação no mercado, as garrafas PET tornaram-se num dos principais materiais de embalagens, aumentando significativamente a procura desta matéria-prima.

(Nascimento 2009).

Atualmente as garrafas PET são utilizadas nas mais diversas áreas e funções, devido às suas características inigualáveis em termos de leveza e facilidade de manuseamento.

2.3.1. Características e propriedades do PET

Em 1930 o grupo de polímeros foi descoberto por W. H. Carothers, da Du Pont. Os polímeros provêm maioritariamente do petróleo, através de um processo de refinação. Esta é dividida em vários produtos, entre os quais a nafta que imposta a reações químicas ocorre o processo polimerização, ou seja, criação de polímeros (Nascimento 2009).

De origem grega, poli (muito) e meros (partes), são compostas por moléculas pequenas (monômeros) que se ligam pela reação de polimerização, formando macromoléculas. Os polímeros podem ser naturais ou sintéticos. Caseína (proteína do leite), latex natural e seda são exemplos de polímeros naturais. PVC, Nylon e acrílico fazem parte dos polímeros sintéticos (Nascimento 2009).

De acordo com Nascimento (2009), no que respeita a classe dos plásticos de polímeros, a sua constituição são de materiais de decomposição lenta, contudo é uma material totalmente reciclado.

Os polímeros são utilizados há mais de 40 anos, nas mais diversas indústrias, em atividades que vão desde têxteis, embalagens, filmes para fotografias, a componentes de automóveis (Nascimento 2009).

Segundo Nascimento (2009), “O PET pertence a um grupo de polímeros tridimensionais formado por uma estrutura que se expande em todas as direções, isto é, entre as cadeias adjacentes existem ligações através dos átomos ligando uns aos outros.”

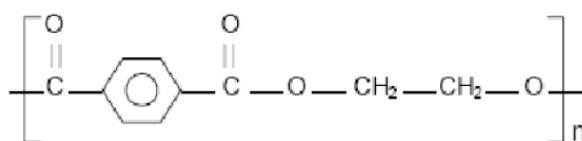


Figura 2.3. Estrutura Química do PET (Fonte: Nascimento 2009)

O Ácido Tereftálico é industrialmente extraído a partir de um xileno, sólido pouco solúvel em água, que sublima a 300°C. O Etilenoglicol por sua vez é extraído do petróleo. Produtos estes importantíssimos, uma vez que fazem parte da composição do PET (Selenis Portugal SA).

As características do PET permitem o seu contacto com bens alimentares sem que este altere as suas composições alimentares, uma vez que se trata de um material inerte e sem aditivos. Nas tabelas que se seguem demonstram-se algumas das principais características deste material (Selenis Portugal SA).

Tabela 2.1. Resistência física (Fonte: Selenis Portugal SA)

Propriedades	Valor	Método
Resistência à tração	51 MPa	ASTM D638
Módulo de Fluência à Flexão (Bend Creep Modulus)	2344,2 MPa	ASTM D690
Tensão à flexão	75,8 MPa	-

Tabela 2.2. Propriedades térmicas (Fonte: Selenis Portugal SA)

Propriedades	Valor	Método
Temperatura de Vitriificação	74°C	DTA
Temperatura de Cristalização	260°C	DTA
Condutividade Térmica	0.21 W/Km ^o K	ASTM C177
Calor específico	Ver figura 1	
Entalpia	Ver figura 2	

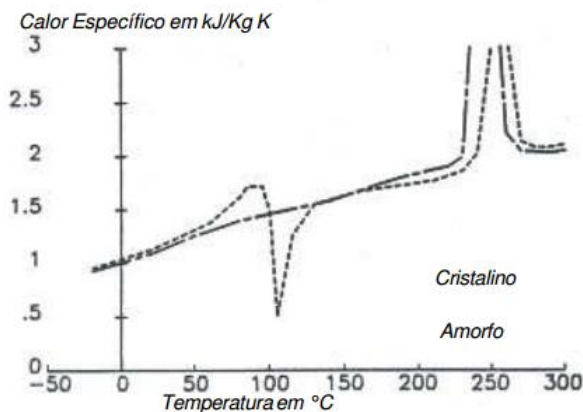


Figura 2.4. Calor específico em kJ/Kg K (Fonte: Selenis Portugal SA)

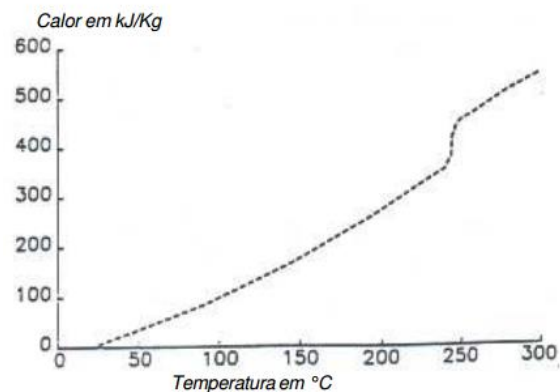


Figura 2.5. Calor em kJ/KG (Fonte: Selenis Portugal SA)

Tabela 2.3. Propriedades do PET (Fonte: Selenis Portugal SA)

Viscosidade Intrínseca	0.81±0.2 dl/g
Ponto e fusão	Cerca de 206°C
Acetaldeído	<1.5 ppm
Conteúdo de Grupo de Carboxilo	25-45 mval/Kg
Densidade	± 1.41 g/cm ³
Densidade em granel	± 0.9 Kg/dm ³

Nas tabelas em cima enunciadas, apresentam-se alguns conceitos que poderão ser menos claros, pelo que se segue uma breve descrição de alguns dos termos utilizados:

- **Viscosidade Intrínseca:** Método de caracterização do comprimento médio das moléculas do PET. A medição é feita em ácido dicloroacético a 25°C.
- **Acetaldeído:** Gás com o típico aroma frutado gerado a temperaturas acima de 21°C, em pequenas quantidades, durante a produção do PET e também durante a extrusão para a produção de pré-forma.
- **Grupo de Carboxilo:** A formação de grupos de carboxilo pode catalizar a degradação hidrolítica do tereftalo de polioetileno e altas temperaturas.

Tabela 2.4. Permeabilidade do PET Biorientado (Fonte: Selenis Portugal SA)

Gás	Unidade	Valor
Oxigénio a 23°C 100% HR	$\frac{cm^3 \cdot mm}{m^2 \cdot d \cdot bar}$	2
Azoto a 23°C 100% HR	$\frac{cm^3 \cdot mm}{m^2 \cdot d \cdot bar}$	9
Vapor de água	$\frac{cm^3 \cdot mm}{m^2 \cdot d}$	0.9
Dióxido de Carbono a 23°C 100% HR	$\frac{cm^3 \cdot mm}{m^2 \cdot d \cdot bar}$	5.1

Tabela 2.5. Resistência Mecânica

	Índices	Unid.
Resistência à Tração	20-30	MPa
Tensão de Rutura	25	MPa
Deformação	20-100	%

Na tabela 2.4 denota-se que o PET tem baixos valores no que respeita a permeabilidade aos gases, quando comparando com os outros materiais termoplásticos, sendo a permeabilidade ao Dióxido de Carbono e outros gases, fundamental para uma adequada embalagem. (Selenis Portugal SA)

2.3.2. Vantagens das embalagens PET

As embalagens PET possuem características muito próprias, que se traduzem numa grande vantagem para este produto. As garrafas PET são muito leves, possibilitando um fácil manuseamento do produto embalado, quando comparado com outros materiais. (Selenis Portugal SA)

Uma outra vantagem é a sua elevada resistência ao impacto, que permite um menor número de quebras durante o engarrafamento, transporte e armazenamento, assim como um maior conforto aos consumidores. (Selenis Portugal SA)

As embalagens PET possuem ainda uma característica muito própria, a biorientação que permite que estas sejam expostas a elevadas pressões e sejam inquebráveis aquando da sua utilização (Provenzano 2006)

O PET é assim considerado um produto bastante interessante do ponto de vista das suas capacidades, sendo versátil, leve e acima de tudo reciclável.

A escolha deste material baseou-se essencialmente na análise das suas potencialidades. Acima de tudo pretendia-se a escolha de um material predominante no nosso dia-a-dia, que fosse reciclável, modelável e tivesse características vantajosas do ponto de vista físico, mecânico e químico e sobretudo, um material de alto consumo gerando a disponibilidade para a sua reciclagem.

2.3.3. Reciclagem de embalagens PET

A 1 de Outubro de 1997 foi licenciada a Sociedade Ponto Verde (SPV) pelos Ministros de Economia e do Ambiente. A SPV trata-se de uma entidade privada sem fins lucrativos que visa a promoção de recolha, retoma e reciclagem de resíduos, de acordo com o Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens (SIGRE).

A SIGRE por sua vez consiste, num circuito fechado que tem como objetivo a recolha, triagem e reciclagem de resíduos sólidos urbanos, de modo combater o aumento de depósito de resíduos em aterros sanitários (Soares 2010).

Numa primeira fase é efetuada a colheita em cada região de resíduos geralmente mistos. Posteriormente existe uma triagem dos resíduos de embalagens colhidas, de forma a separar os diversos materiais. Por fim são enviadas para a Sociedade Ponto Verde (SPV), que por sua vez as reencaminha para a reciclagem conforme o objetivo final pretendido (Magrinho et al., 2006).

Após este processo de recolha começa a segunda fase, o processo de reciclagem mecânico, de acordo com Spinacé e dePaoli (2005) referido por Soares (2010), e que consiste nos seguintes passos:

- Separação;
- Trituração ou moagem;
- Lavagem;
- Secagem;
- Extrusão e granulação (opcional).

Após os seguintes passos, o resíduo tratado segue para produção de um novo objeto, que poderá ser o mesmo ou não.

2.3.4. Exemplos de reaproveitamento do PET

Existem inúmeras soluções de aplicação do PET. Muitas destas soluções visam o seu aproveitamento noutras áreas como a construção civil ou a indústria têxtil. Este aproveitamento deve no entanto, atender sempre aos requisitos mínimos da nova função, tentando-se sempre igualar a qualidade do novo produto, ao produto confeccionado através da matéria-prima.

Uma das soluções mais utilizadas tem-se baseado na extração das fibras do PET ou até mesmo da plena utilização das embalagens de PET.

No sector têxtil são maioritariamente utilizados as fibras deste produto, para confeção de malhas, tapetes, carpetes, etc.. pois estas fibras utilizadas em simultaneidade com o algodão conseguem proporcionar uma malha de boa qualidade, através da empregabilidade deste material proveniente da reciclagem (Millian et al., 2010).

No sector da Construção Civil existem várias soluções do reaproveitamento do PET. A aplicação das fibras em betão simples e em argamassa tem também constituído uma das grandes apostas dos investigadores.

No caso de utilização de fibras provenientes do PET em argamassa tem como objetivo reforçar a argamassa. Segundo Oliveira e Castro- Gomes (2011), a introdução destas fibras na argamassa permite um melhoramento da resistência à flexão das argamassas, o que consequentemente melhora a resistência da mesma. Desta forma permite a reciclagem do PET sem que este seja sujeito a alterações químicas, basta só cortes laterais do PET pelo processo mecânico.



Figura 2.6. Tereftalato de polietileno (PET) de fibras recicladas; Falha típica de uma argamassa depois de teste de compressão (Fonte: Oliveira e Castro- Gomes 2011)

Segundo Foti (2011) as fibras no betão simples permitem grande influência na pós-fissuração, verificando-se uma significativa influência deste material na resistência mecânica (impacto) do betão. As fibras extraídas das embalagens do PET são também ainda utilizadas para substituição de fibras de aço. Alguns autores têm estudado o uso destas, nas misturas de betão para a reparação de estruturas, submetidas a altas erosões subaquáticas. A adição de fibras pode satisfazer e solucionar estruturas fadigas neste caso as que estão demasiadamente expostas a

ações mais gravosas (Pacheco-torgal et al., 2012). O reforço de estruturas de betão com fibras PET permite ainda melhorar a resistência térmica, a compressão e a tração, assim como a ductilidade do betão (Fraternali et al., 2011).



Figura 2.7. Partículas de borracha: após o processo de trituração; durante a mistura do betão (Fonte: (Fraternali et al., 2011)).

Um outro exemplo de reutilização deste material é a sua utilização em resina poliéster insaturado. As embalagens PET são sujeitas a um processo para produzirem resina para produção de um aglutinante de forma a obter polímero de argamassa (PM) e polímero de betão (PC). Poderão ainda ser utilizados como adição de aglomerados na argamassa ou no betão, reduzindo a percentagem de materiais não reciclados, sem que a qualidade dos mesmos seja posta em causa (Mahde et al., 2013).

Vários autores desenvolveram ainda um tijolo de forma a utilizarem as garrafas PET. A conclusão foi a produção de tijolos plásticos. De acordo com os resultados experimentais poderá concluir-se que este tipo de tijolo é uma alternativa ao tijolo convencional, dado que este possui características interessantes, nomeadamente, resistência ao impacto e às ações do tempo, leveza, é reutilizável e permite uma redução significativa dos custos envolvidos (Junior et al., 2010).

O bloco PET é mais um dos exemplos do emprego de reciclagem na construção civil. O bloco PET consiste num Bloco de betão, em que no seu interior é colocado uma garrafa PET vazia e lacrada com a rolha. Segundo os autores esta solução permite uma redução de custos até 60% e um melhoramento do isolamento térmico-acústico. A colocação da garrafa PET permite substituir o uso de brita, tornando este num bloco de alvenaria ecológico. (Ferreira et al., 2007)



Figura 2.8. Construção do bloco PET e ensaio a compressão (Fonte: Ferreira et al., 2007)

Um outro estudo é um dos trabalhos desenvolvidos pela autora Provenzano (2006). Este estudo consiste em desenvolver um sistema pré-fabricado utilizando as embalagens de PET, através da construção de painéis, cujo interior é constituído por embalagens PET vazias, envolvidas por armaduras e argamassa de revestimento. Após a realização dos ensaios a autora conclui que o seu trabalho constitui uma alternativa viável à substituição de materiais tradicionais de vedação. Denota-se ainda a possibilidade de reduzir desperdícios e ociosidades, incentivando a “(...)sustentabilidade da edição ”.

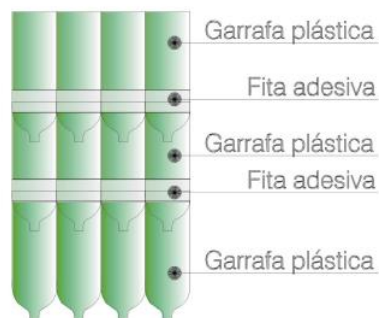


Figura 2.9. Disposição do PET (Fonte: Provenzano 2006)



Figura 2.10. Colocação das colunas de garrafa plásticas e treliça de reforço (Fonte: Provenzano, 2006)

Os exemplos anteriores são alguns exemplos que se podem encontrar na reciclagem do PET. Existem muitos outros estudos no entanto todos eles visam o mesmo objetivo, minimizar o impacto ambiental, reduzindo a procura de matéria-prima e encontrar novas soluções de materiais que sejam plausíveis, a baixo custo.

Estes exemplos são referentes mais à Construção civil e ao Setor têxtil, mas não são só estes os setores que têm tentado reutilizar as embalagens PET.

2.4. Conclusão

“O ser Humano precisa estimular a percepção e se compreender como um constituinte da Natureza e não como um ser à parte.” (Mucelin et al., 2007)

Percebe-se que o ato de reciclar melhora as condições ambientais em que estamos inseridos e promove hábitos saudáveis.

A demonstração das vantagens da reciclagem, mais propriamente do PET, manifesta a versatilidade da aplicação deste material nos mais diversos setores.

Denota-se que as diferentes soluções demonstradas anteriormente têm o mesmo objetivo, as mesmas considerações, os mesmos conceitos e preocupações, mas para funcionalidades e diretrizes de execução diferentes.

Ao enquadrar todos os projetos desenvolvidos com garrafas PET, desde a construção, à indústria têxtil, conclui-se a versatilidade deste resíduo e da sua aplicação.

As características do PET são assim adequadas para aplicação nas mais diferentes e inúmeras indústrias, tornando-se mesmo viável a sua aplicação na indústria da construção civil.

Desta forma o desenvolvimento do presente trabalho tem como principal preocupação desenvolver uma nova alternativa de reciclagem das embalagens PET. Nesta alternativa procura-se reduzir ao máximo qualquer energia de transformação do produto original com atenção a facilidade de manipulação do objeto reciclado como componente de um sistema construtivo que se enquadre na ótica de baixo custo. Contudo nunca será demais desenvolver novas ideias ou formas de reciclagem do PET. Existiram inúmeras formas de reciclar ainda por desenvolver e por desenvolver.

3. Coordenação Modular

3.1. Introdução

“A coordenação modular pode ser compreendida como um sistema dimensional de referência que se baseia em medidas de um módulo pré-determinado, que compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas, como o uso de componentes em projeto e obra. Configura-se como um instrumento importante para alcançar níveis de racionalização e normalização pretendidos, sendo tal característica de particular relevância para Habitação Social.” (Santos et al., 2007)

Não é de hoje que a aplicação da Coordenação Modular se tem vindo a falar. Os nossos antepassados já recorriam a este método de sistema construtivo. Um desses exemplos são os gregos, alimentados pela beleza estética e pela sua harmonia, utilizavam como módulo o diâmetro das colunas. A partir dessa dimensão base, construíam não só o pilar, como todas as envolventes do mesmo, tais como, fuste, capitel, base, espaçamento entre as colunas e entre as colunas das esquinas do edifício grego (Baldauf et al., 2007).

No caso dos romanos utilizavam o reticulado modular para o projeto de planeamento de cidades e para edifícios, baseado no módulo *passus romanus* que consistia em múltiplos dos pés. O povo romano era bastante prático por essa razão, utilizavam o mesmo módulo para vários tipos de materiais de construção, tais como, cerâmicos tijolos, colunas e ladrilhos, mas também para utensílios domésticos. (Baldauf et al., 2007)

Aproximadamente no século XVIII, o módulo ganha de novo impacto, devido às mudanças que a Revolução Industrial proporcionou tanto a nível económico, como social. É neste período, entre 1850 e 1851, com a construção do palácio de Cristal, que surge pela primeira vez a aplicação da Coordenação Modular, através de um planeamento rigoroso do método de produção, do tempo de construção e dos custos da obra foi possível a sua construção. Denote-se que se trata de uma construção com elementos de pré-fabricados montados e produzidos no próprio lugar. O módulo utilizado, neste caso foi o vidro em grandes dimensões, 8 pés, que consiste num módulo com cerca de 240 cm. Os múltiplos do módulo, 24 - 48 - 72 pés consiste em 720 - 1440 - 2160 cm, respetivamente, determinaram a localização de todos os elementos de construção (Marques, 2011).

3.2. Princípios da coordenação modular

A coordenação modular consiste num sistema de projeto, em que se utiliza como referência uma única medida ou elemento padrão, designado por módulo.

Desta forma o módulo escolhido deve tornar-se o elemento chave para a coordenação do projeto, sendo que todas as medidas projetadas serão sempre um múltiplo da medida ou do elemento padrão (M). O que significa que a utilização do módulo origina planos de referência tridimensionais, para que o módulo se repita originando assim múltiplos de M . ($2M, 3M, \dots, nM$), como se vê na Figura 3.6.

Como se pode observar a utilização do módulo origina planos de referência tridimensionais, para que o módulo se repita originando assim múltiplos de M ($2M, 3M, \dots, nM$) (Amorim, et al., 2010).

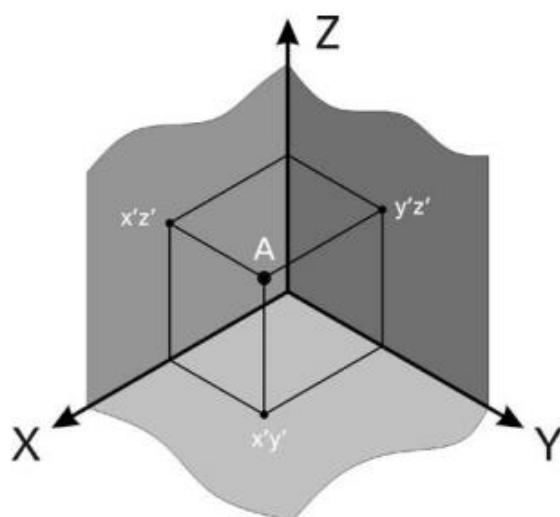


Figura 3.1. Sistema de referência (Fonte: Baldauf, et al., 2007)

3.2.1. Sistema de referência

De acordo com Baldauf (2007) o sistema de referência é formado por pontos, linhas e planos. A leitura tridimensional permite uma visualização 3D do projeto, a localização, posição e medida do projeto é nos apresentados próximo da realidade do final da construção. Denota-se que o sistema referencial é constituído por três planos ortogonais paralelos entre si, que nos permite posicionar no espaço cada ponto projetado no plano.

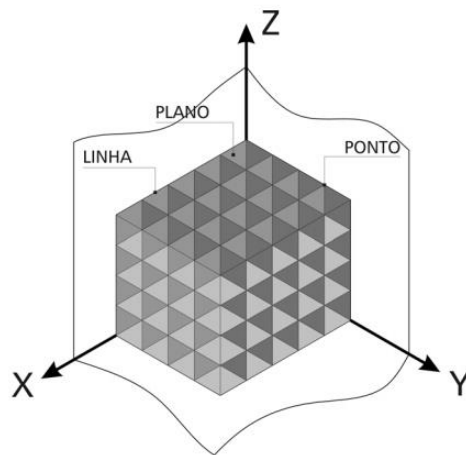


Figura 3.2. Sistema de referência; Ponto, Linha e planos (Fonte: Baldauf et al., 2007)

A utilização deste tipo de sistema são definidas permite definir duas malhas de duas e três dimensões, reticulado modular espacial de referência e quadriculado modular de referências, respetivamente.

O sistema reticulado modular espacial consiste na interseção de linhas paralelas aos planos com uma distância igual ao módulo estipulado. (Marques. 2011)

Na Figura 3.3 demonstra um sistema quadriculado modular de referência, que tem como objetivo transformar a representação tridimensional do projeto em representação dimensional. (Marques, 2011).

Este tipo de sistema de referência é de fácil compreensão, pois deste modo é nos permitido uma visualização detalhada do projeto. Vejamos, sendo um módulo uma dimensão ou elemento base com determinadas dimensões, neste caso exemplificativo, o pequeno cubo (que se encontra pintado) será o nosso módulo. Observando a Figura 3.3, o módulo (exemplificativo) é rebatido nos planos consoante a disposição de visualização que desejamos, ou seja, o lado do módulo paralelo a cada plano respectivo é transposto nos mesmos.

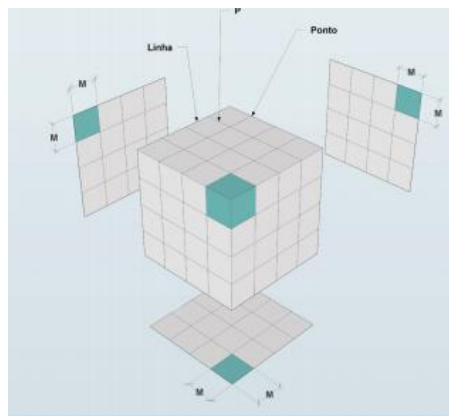


Figura 3.3. Quadriculado modular de referência (Fonte: Amorim et al., 2010).

Desta forma, ao colocarmos vários módulos, múltiplos de módulos, na posição de acordo com o projeto em estudo obtemos a projeção tridimensional do projeto.

De acordo com a Figura 3.4 perante o exemplo anteriormente dado, a colocação e a remoção de múltiplos módulos, origina o edifício final.

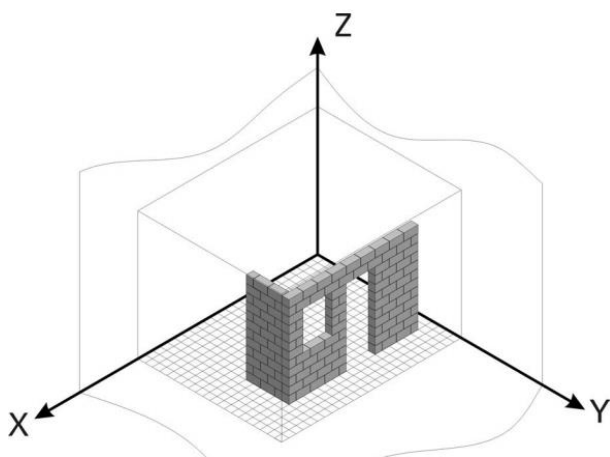


Figura 3.4. Sistema de referência de múltiplos módulos (Fonte: Baldauf et al., 2007)

3.2.2. Projeto Modular

De acordo com Marques (2011) referido por Zechmeister (2005), do sistema de referência referido anteriormente, conclui-se que as peças compostas pelo projeto serão desenvolvidas através de um quadriculado, que permite coordenar a posição e dimensão dos elementos de todo o projeto. Deste modo, para além do módulo base/padrão é indispensável a utilização de multimódulos e submódulos.

- Quadriculado multimodular de referência

Segundo Marques (2011), o quadriculado multimodular de referência, constitui um quadriculado de dimensões de número certo de acordo com as dimensões do módulo base.

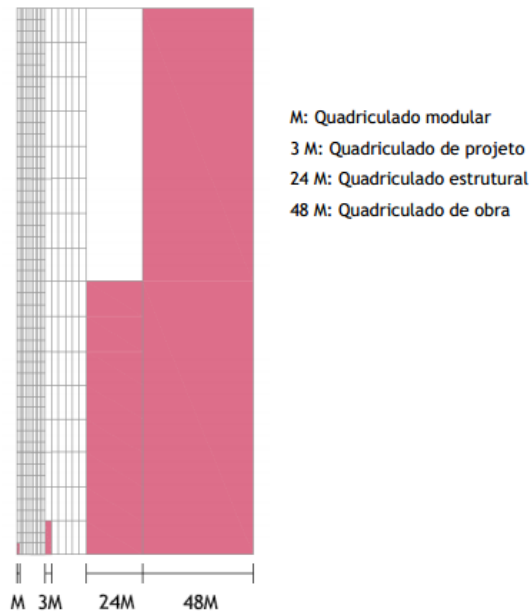


Figura 3.5. Exemplos de quadriculados multimodulares (Fonte; Marques, 2011)

▪ Multimódulo

Referente ao número de vezes que o módulo padrão é repetido ao longo do projeto em estudo, $n \times M$. O principal objetivo é a diminuição de medidas ao longo do projeto na coordenação modular.

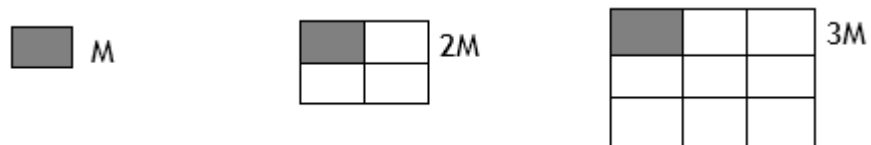


Figura 3.6. Múltiplos módulos

▪ Submódulo

Por vezes, em casos de remate ou em cantos dos edifícios é necessário utilizar uma dimensão inferior à do módulo base. Nesses casos utiliza-se os submódulos que constituem uma medida fracionária, $n \times M/4$.

Contudo, segundo Baldauf et al. (2007) o submódulo não pode ser utilizado como módulo base para não ser utilizado em demasia. Assim, existirá um maior

controlo sobre desperdício o que resulta em contensão de custos e deste modo o submódulo só será utilizado se for estritamente necessário e vantajoso.



Figura 3.7. Submódulos (Fonte: Marques 2011)

3.3. Finalidade da coordenação modular

A conceção de uma dimensão padrão define a coordenação modular e permite a racionalização na construção de edifícios. A racionalização obriga a um estudo prévio e um projeto de produção com ajuda do sistema de referência como anteriormente discutido. Deste modo existirá uma redução de custo sem que a qualidade do edifício seja posta em causa, pois, com este sistema construtivo é possível coordenar o elemento padrão, M, de modo a reduzir o desperdício dos materiais, assim como as quebras dos mesmos. A produtividade também é otimizada, ou seja, feito todo o estudo, no ato da construção torna-se mais fácil a sua produção, o que diminuiu consequentemente o tempo de obra, que sua vez diminui custos adicionais. (Barboza et al., 2011)

Segundo Marques (2011), a coordenação modular estabelece uma ligação entre fabricantes, arquitetos e construtores devido à racionalização e normalização deste método, referindo como como principais vantagens os seguintes aspetos:

- Facilitação do projeto, desde do papel ao terreno;
- Otimização das dimensões;
- Padronização dos detalhes e precisão dimensional;
- Racionalização e simplificação na execução da obra devido a facilidade de montagem.

A norma Brasileira referida por Amorim et al., (2010), salienta ainda como vantagens, a redução da variedade e simplificação da coordenação de dimensões, simplificação de marcação do canteiro, redução de cortes e ajustes nos materiais, aumento da intercambialidade de componentes na construção ou em reforços ao longo da vida útil do edifício.

3.4. Conclusão

Após tais demonstrações é impossível deixar de parte a importância da Coordenação Modular no que respeita a redução de custos e aumento de produtividade. Pelo que a racionalização e compatibilização serão amplamente estudados no decurso do presente projeto.

Apesar de ser um método limitado às dimensões do módulo, as dimensões do módulo não implicam a limitação de construção, com alguma criatividade e empenho superam-se os pequenos desafios que este sistema possa criar em prol dos seus benefícios.

Espera-se que deste modo perceber o processo de modulação do espaço construído à partir de um componente módulo ou modular e conseqüentemente poder aplicar esses conceitos no caso das garrafas PET, que pretende-se estudar à seguir.

4. Coordenação Modular Aplicada ao Sistema PET Block

4.1. Introdução

O desejo de desenvolver um sistema construtivo que permita preservar o meio ambiente, é um dos principais pontos de referência da presente dissertação, pelo que a introdução de um material reciclado no desenvolvimento do sistema construtivo, é crucial para que se atinga o objetivo principal, a reciclagem.

Devido a todas as características enunciadas anteriormente, adotou-se a utilização de embalagem de PET recicláveis, no desenvolvimento do presente projeto.

O referido projeto de uma forma sucinta, consiste na criação de uma parede modelo, de um edifício habitacional. Para o desenvolvimento do elemento construtivo que se pretende analisar, empilharam-se embalagens de PET, para posteriormente revestir através de argamassa armada, (como substituição à convencional parede em tijolo, composta por elementos estruturais) de forma a dotar o paramento de resistência suficiente.

A estrutura acabou por não se tornar numa estrutura leve, mas sim numa estrutura com elevada espessura, que permitirá alcançar melhores desempenhos em termos de resistência ao choque, entre outras.

A ideia do método construtivo denominado sistema PETBlock é desenvolvido tendo em conta os conceitos da Coordenação Modular. A justificação da utilização deste método passa pelo seu potencial de racionalização construtiva. Neste projeto as garrafas PET formam o módulo escolhido.

4.2. Propostas de projeto modular de habitações em PET

No sistema de Coordenação Modular da presente dissertação, o módulo escolhido foi as embalagens PET, no entanto, tendo em conta que o presente módulo é um objeto, desconsidera-se aqui a existência de submódulos do mesmo.

Tendo em consideração a presente dificuldade, realça-se a importância de desenvolver um projeto construtivo, de forma utilizar unicamente as dimensões do objeto módulo escolhido. As dimensões do módulo utilizado são as que se apresentam na Figura 4.1.

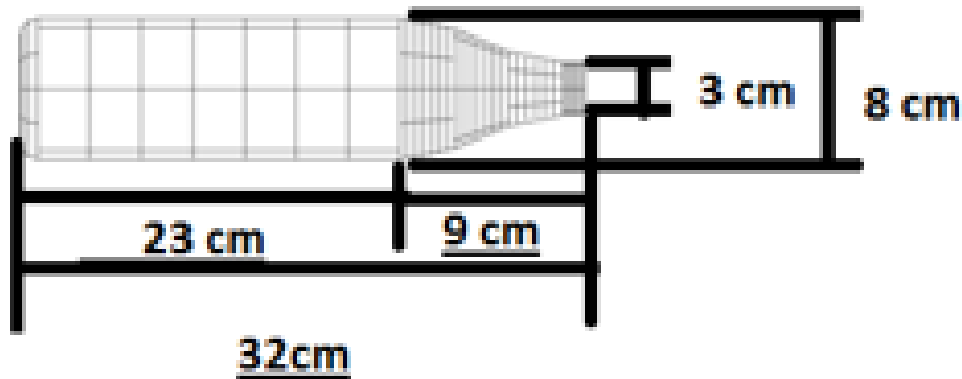


Figura 4.1. Dimensões do PET

Após a escolha do módulo, realizou-se um estudo prévio da disposição do PET, para o projeto habitacional. As embalagens PET podem ser dispostas nas mais diversas direções, no entanto era importante descobrir qual a disposição que melhor se enquadrava com o desenvolvimento da presente dissertação. A escolha da sua posição na estrutura foi pensada com base em questões relacionadas com a construção, com os limites de segurança e conseqüentemente com a distribuição de esforços na estrutura. Denote-se que todos os exemplos apresentados poderão ser soluções bastante viáveis, desta forma a escolha terá de ser plausível e de forma a responder a questões tais como:

- Será viável?
- Obedece aos critérios de Segurança?
- É necessário espessura considerável nas paredes?
- A sua execução vai de acordo ao sistema adotado?

A colocação deste tipo de perguntas é fundamental na escolha das diversas opções, assim como na sua planificação. É certo que determinados pormenores só serão detetados ao longo da construção, mas com alguma destreza serão resolvidos.

Independentemente da disposição do módulo, a planta da casa modelo ou protótipo é formada por 4 divisões, entre as quais 2 quartos, 1 WC e um salão que integra sala de estar, de jantar e cozinha. Uma casa unifamiliar de dimensões razoáveis para eventualmente constituir padrões mínimos para uma habitação social.

4.3. Projeto modular de habitações em sistema PETBlock

Para a execução do trabalho proposto, foi adotado a seguinte disposição do módulo.

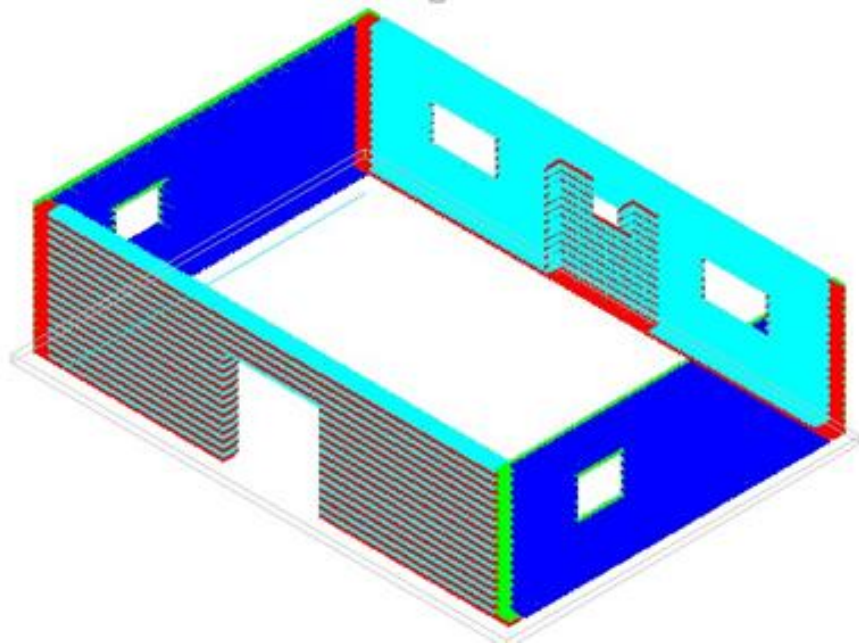


Figura 4.2. Visualização geral da disposição do PET

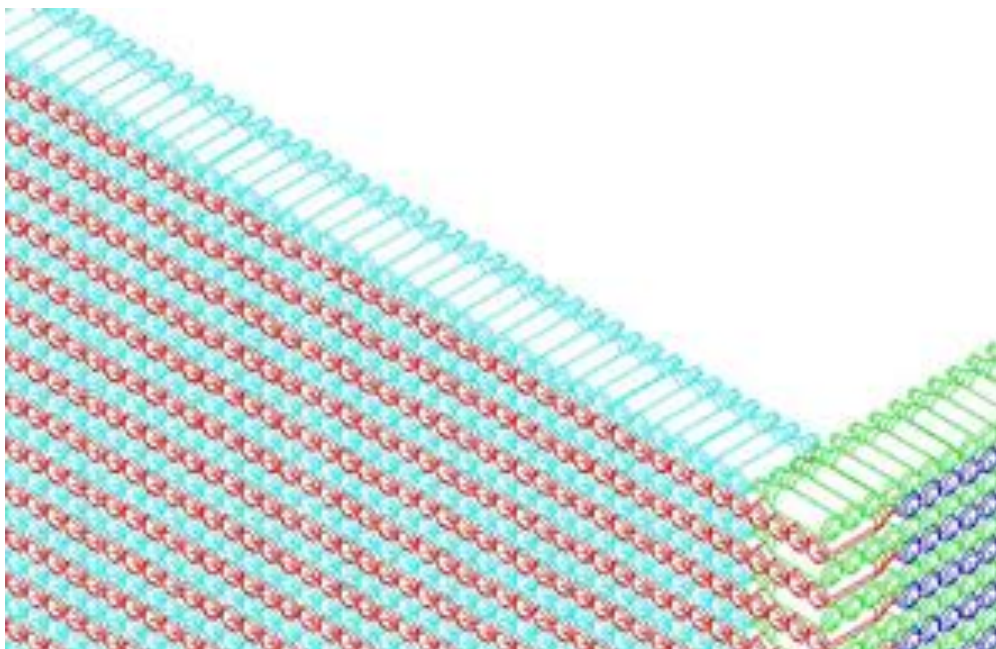


Figura 4.3. Pormenor da disposição das garrafas PET, no modo "stacking bond"

A principal razão para a escolha desta solução advém da estabilidade da estrutura. A estrutura desenvolvida consiste num paramento rígido, sem elementos estruturais, pelo foi fundamental dotá-lo da maior estabilidade possível. A adoção do módulo na horizontal, permite criar uma

maior “aderência” entre o pavimento e a parede, estabelecendo uma maior superfície de contacto e uma melhor distribuição de esforços.

Importava também criar uma parede que não fosse demasiado esbelta, para que a superfície de contacto fosse mais ampla, e existisse uma transmissão de esforços adequada desde a cobertura até à fundação. A parede foi assim pensada através de embalagens PET, dispostas horizontalmente perfazendo uma parede com uma espessura de 43 cm, que garantisse resistência às solicitações impostas.



Figura 4.4. Pormenor da espessura da parede vista de topo

Tendo em conta as questões impostas do subcapítulo 4.2 e os pormenores referidos anteriormente, a opção adotada era a mais aconselhada. Contudo não se descarta nenhuma das hipóteses apresentadas, salientando-se que será possível realizar um estudo com qualquer uma das outras opções.

Uma outra particularidade do presente estudo, consiste na forma dos cantos da estrutura. O encontro das duas paredes deve ser realizado de forma entrelaçada para que exista continuidade na distribuição de esforços. Este pormenor construtivo possibilita que a estrutura tenha uma maior estabilidade e que estas zonas possuam um comportamento melhorado.

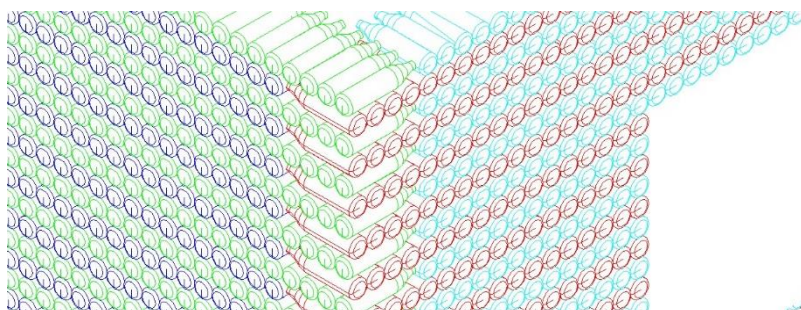


Figura 4.5. Pormenor dos cantos da habitação

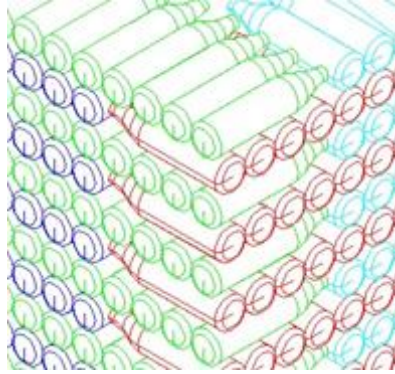


Figura 4.6. Pormenor dos cantos da habitação mais em detalhe

Denota-se pelas imagens demonstradas que o gargalo da garrafa PET se encontra direcionado para o interior, este efeito deve-se ao facto de criar um espaço para a colocação de tubagens necessárias para a comodidade da habitação.

Ao longo dos trabalhos laboratoriais verificou-se no entanto, que não seria possível a disposição das garrafas como indicado anteriormente (stacking bond). Esta situação pode ser observada na Figura 4.7, onde se verifica que as garrafas, quando viradas na mesma direção, provocam uma inclinação e curvatura, que se acentua com o aumento das dimensões parede, e que traz instabilidade a todo o empilhamento das garrafas. Como se demonstra na Figura 4.8, ainda se tentou inserir armadura entre as diversas filas, no entanto nem esta solução reverteu a instabilidade da estrutura, pelo que teve de se recorrer a outro modelo de disposição estrutural.



Figura 4.7. Curvatura e instabilidade, necessita de um suporte



Figura 4.8. Percepção da utilização de armadura entre o PET

Para contrariar estes efeitos optou-se por intercalar as garrafas em sentidos diferentes, assim como por sobrepor as garrafas de uma forma semelhante ao também praticado nas paredes de alvenaria ou seja no modo “running bond”. Deste modo a estabilidade entre o peso das garrafas encontra-se uniformemente distribuído, não permitindo uma inclinação desfavorável do paramento. Verificou-se que sobrepor o PET, literalmente em linha reta contribuía para que estas deslizassem, com o aumento do peso próprio da parede, criando um efeito de “faca”, o que não era vantajoso para a segurança da parede. Com esta nova solução o peso próprio é distribuído e compensado, pela disposição das garrafas, permitindo que estas tenham o devido equilíbrio devido à uniformidade da parede. Segue-se várias imagens da disposição final do PET em desenho de AutoCad, Figura 4.9, 4.10 e 4.11. Verificam-se nestas figuras que as garrafas dispostas num aparelhamento desfasado apresentam à cada fiada o sentido alternado das extremidades das garrafas

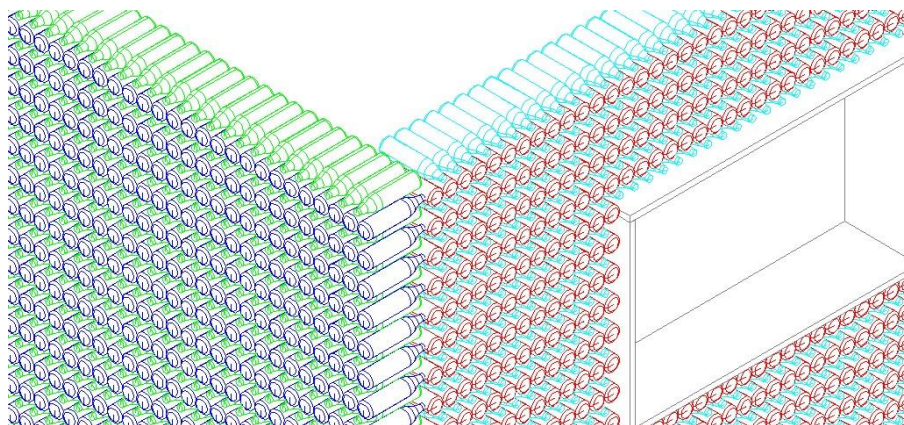


Figura 4.9. Pormenor da nova disposição das garrafas PET

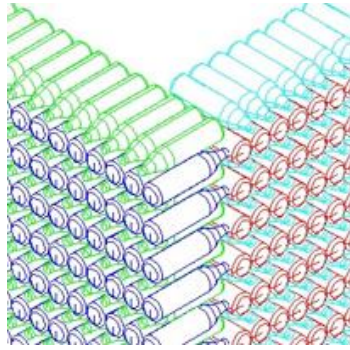


Figura 4.10. Pormenor dos cantos na nova disposição das garrafas PET.

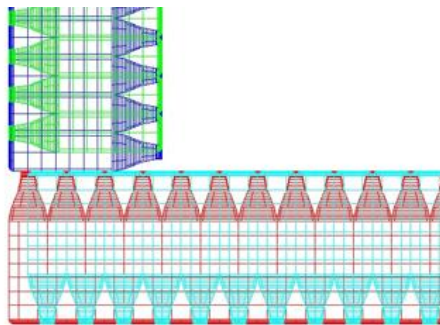


Figura 4.11. Pormenor dos cantos na nova disposição das garrafas PET, vista de topo.

Sendo a garrafa PET um elemento de face lisa, pouco rugosa, foi necessário implementar um outro elemento que unisse e ajuda-se na aplicação da argamassa. Para esse efeito recorre-se ao uso de tela hexagonal ou de “galinheiro”, como é popularmente conhecido.



Figura 4.12. Disposição final das garrafas PET assim como posição da Tela



Figura 4.13. Pormenor da zona em contato com o chão sem a necessidade de suporte



Figura 4.14. Pormenor de fixação da tela hexagonal.

Para a execução da parede foi necessário revestir cada face com argamassa, por fases. Inicialmente deu-se um esboço de argamassa proporcionando uma camada aderente, deixando repousar durante algumas horas e por fim, aplicou-se uma camada mais fina de modo a ter um acabamento perfeito. A argamassa colocada tem como traço 1:2, em uma das faces tinha na sua composição areia 0/2 e em outra face tinha na sua composição areia 0/4.

Neste trabalho foi utilizado uma argamassa quase convencional de revestimento mas, existem inúmeras possibilidades de traços de argamassa, assim como diferentes argamassas que proporcionam resultados satisfatórios. Um dos exemplos é a argamassa de terra com fibras vegetais. Segundo Eires et al., (2014) este tipo de argamassa propõe um controle de humidade relativa do ar, é extremamente económico pois visa utilizar matérias locais e proporciona a nível estético, cores e texturas interessantes e apelativas. Uma outra proposta seria a utilização de argamassas com agregados leves. Segundo Barroca (2013), este tipo de argamassa proporciona uma boa execução a nível reológico, físico e mecânico, na possibilidade de reduzir agregados naturais por agregados mais leve e por vezes reciclados.

Um outro tipo de argamassa que, poderia funcionar bem neste sistema, seria argamassa com fibras provenientes do PET. Segundo o estudo realizado por Oliveira et al. (2011), este tipo de argamassa traduz grandes benefícios e valores satisfatórios em termos de flexão que conseqüentemente satisfaz valores no que respeita à resistência. Para além de utilizar as garrafas PET nos sistemas construtivos, utilizava-se também para reforçar a argamassa para o revestimento. Alternativas que, acompanhado por um estudo aprofundado poderão ser alternativas viáveis e capazes de corresponderem aos mesmos critérios ou até outros aspetos interessantes.

Este processo foi aplicado em cada uma das faces da parede, tendo cada etapa demorado em média, cerca de 24 horas. Denote-se que para o levantamento da mesma necessitou-se de suportes laterais de modo a garantir que a parede ficasse apumada e com as dimensões desejadas. O respetivo suporte é temporário pelo que deverá ser de fácil desmontagem.

No que diz respeito às aberturas tais como, janelas e portas, foi pensada a sua planificação em estruturas de madeira pré-fabricadas, com dimensões específicas para cada caso. Sendo que neste caso deverão ter dimensões proporcionais ao objeto módulo.



Figura 4.15. Iniciação de reboco, 1º Fase



Figura 4.16. Acabamento do reboco, 2º Fase

4.4. Prismas

Os materiais anteriormente descritos tem como objetivo não só a realização da parede em si, mas também a execução de prismas correspondentes a uma pequena amostra da parede.

Os prismas serão sujeitos ao ensaio de compressão simulando, a uma escala mais reduzida, os efeitos que ocorreriam na parede, uma vez que não foi possível realizar o presente ensaio a uma escala real.

O procedimento que foi executado nos prismas corresponde assim a um ensaio exatamente igual àquele que deveria ser realizado na parede, mas a uma escala menor, executada de igual forma, por fases, de modo a garantir que a argamassa se mantivesse no lugar desejado. Este procedimento de simulação é o utilizado no controle de resistência à compressão de paredes de alvenaria (Tauli e Racca, 1981)

Neste caso foram executados 6 prismas em que, três dos prismas são revestidos por argamassa A5/6M e os outros três pela argamassa A7/8M. Pormenor a ser descrito no capítulo seguinte, contudo, a única diferença na argamassa o uso de areia, A5/6M corresponde a utilização de areia 0/2 e A7/8M utilização de areia 0/4, para melhor compreensão designou-se os prismas por PA e PB respetivamente.



Figura 4.17. Procedimento de execução dos prismas

4.5. Vantagens e dificuldades

A maior vantagem que se destacou, para a escolha das várias disposição do objeto-módulo, foi na obtenção de uma espessura de parede considerável.

Cria-se assim, uma maior área de contacto que, por sua vez, dota a estrutura de uma maior estabilidade, ou seja, gera-se um aumento de inércia, que conseqüentemente corresponde a uma maior capacidade estrutural. Não se tratando de uma parede esbelta existe um menor risco de esta se deformar com facilidade.

Tratando-se de um edifício habitacional com paredes estruturais, cria-se deste modo, uma parede mais resistente e mais robusta aos impactos ambientais naturais, assim como os impactos por uso. A espessura das paredes, de acordo com a pesquisa bibliográfica, poder-se-á ainda implicar uma maior capacidade de isolamento térmico (Provenzano, 2006).

Uma outra vantagem é o facto de não ser necessário utilização de cofragens para o levantamento das paredes, o que implica uma redução significativa do tempo de construção. Somente são alguns suportes para suportar lateralmente as garrafas durante o levantamento da parede.

A maior dificuldade poderá se verificar na execução de trabalhos. Tratando-se de um trabalho pioneiro, não existe uma linha de conduta para a realização dos trabalhos em obra, pelo que

poderão surgir algumas dúvidas que terão de ser averiguadas. O planeamento antecipado para este trabalho é fundamental, contudo haverá possivelmente aspetos que não foram tomados em conta, que por razões de tempo não puderam ser devidamente tratados neste estudo, e se tornarão num acréscimo de dificuldade na sua execução.

4.6. Conclusões

A escolha da execução do presente módulo resulta da resolução de pequenas questões e pormenores a ter em conta para atingir os objetivos desejados.

Deste modo o método construtivo, Coordenação Modular, é o mais indicado para o planeamento dos trabalhos no levantamento do edifício proposto. Este método obriga a uma preparação pormenorizado de todas as etapas, tendo sempre em conta e em comando as dimensões do objeto-módulo, a garrafa PET.

Para comprovar o que foi descrito anteriormente é necessário realizar alguns ensaios de carácter laboratorial. Tratando-se de um trabalho pioneiro ter-se-á em conta somente as recomendações encontradas em alguns documentos de vários autores referenciados neste trabalho, assim como normas tais como a ABNT NBR 15575-2:2013 que caracteriza ensaio de resistência a corpo duro e a corpo mole; EN 1015-11:1999 que designa-se por ensaio de resistência mecânica à flexão e compressão, a EN 12390-6:2000 que consiste no ensaio na determinação da resistência à tração por compressão diametral, a EN 1015-3:1999 que especifica o ensaio de espalhamento e por fim a NP EN 933-1:2000 que caracteriza o ensaio de obtenção da curva granulométrica. A utilização destas referências permite garantir os requisitos mínimos de segurança da estrutura.

5. Procedimento experimental

5.1. Introdução

A realização de trabalhos laboratoriais visa analisar o desempenho dos componentes e da parede do sistema PETBlock, deste modo, foi realizado um estudo experimental nos Laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade da Beira Interior.

O estudo verifica o desempenho dos materiais e componentes do sistema PETBlock, viabilizando assim a sua aplicação como sistema construtivo do ponto da segurança estrutural sobretudo às cargas de compressão.

5.2. Materiais utilizados

A introdução de resíduos sólidos urbanos na construção torna-se mais evidente, e para tal, adaptar novos conceitos é bastante importante.

Tratando-se de um material concebido não para fim construtivo, torna-se um material complexo, que requer o conhecimento de suas características, como também da viabilidade da sua aplicação na construção.

5.2.1. Garrafas PET

Este resíduo existente em grande escala foi fornecido pela empresa RESISTRELA, e possui as seguintes dimensões: 8cm de diâmetro, 32cm de altura e 1,5L de volume. Preferencialmente utilizou-se garrafas PET, de consumo de água.

Denota-se ao longo dos trabalhos realizados, que foi sempre utilizado o mesmo tipo de PET, de forma a existir uniformidade entre materiais.



Figura 5.1. Garrafa PET com areia no interior

5.2.2. Areia

A areia utilizada é correntemente designada por areia 0/2 e trata-se de uma areia natural amarelada, de origem fluvial.

Para efeito de enchimento das garrafas PET não é necessário nenhum tipo de areia específica. No entanto a escolhida acabou por ser a mesma anteriormente referida pela sua disponibilidade no Laboratório.

Para reboco foi utilizada a areia natural de 0/4 amarelada e a areia 0/2 proveniente do Tejo.

Tabela 5.1. Granulometria de areia natural 0/4

Abertura de malha [mm]	Percentagem de passados	
	Areia 0/2	Areia 0/4
8,000	99,93	99,91
4,000	97,57	95,91
2,000	90,72	60,04
1,000	63,18	25,06
0,500	13,24	9,17
0,250	0,66	2,39
0,125	0,05	0,62
0,063	0,01	0,19
Resíduo	0,00	0,00
Módulo de Finura	3,346	4,069

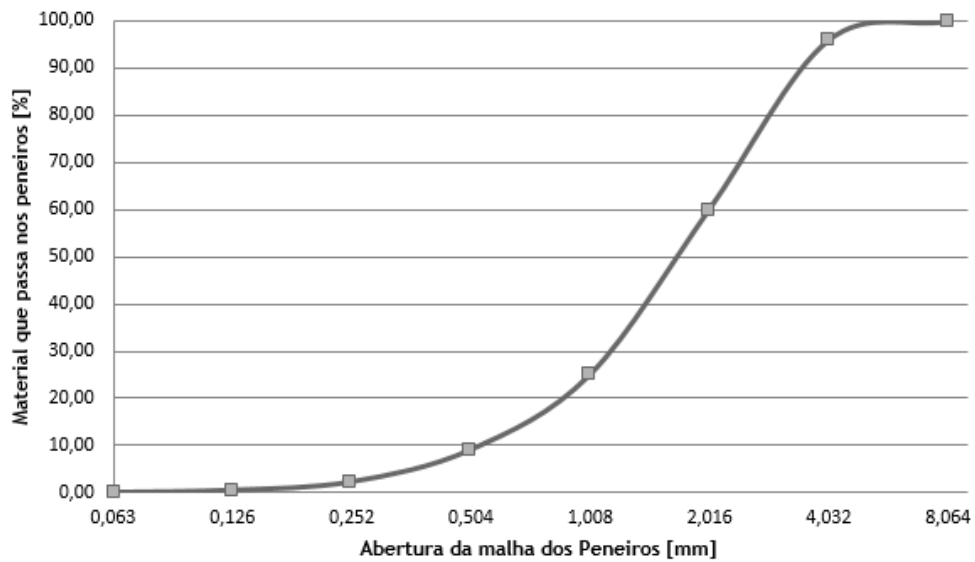


Figura 5.2. Curva granulométrica da areia natural 0/4

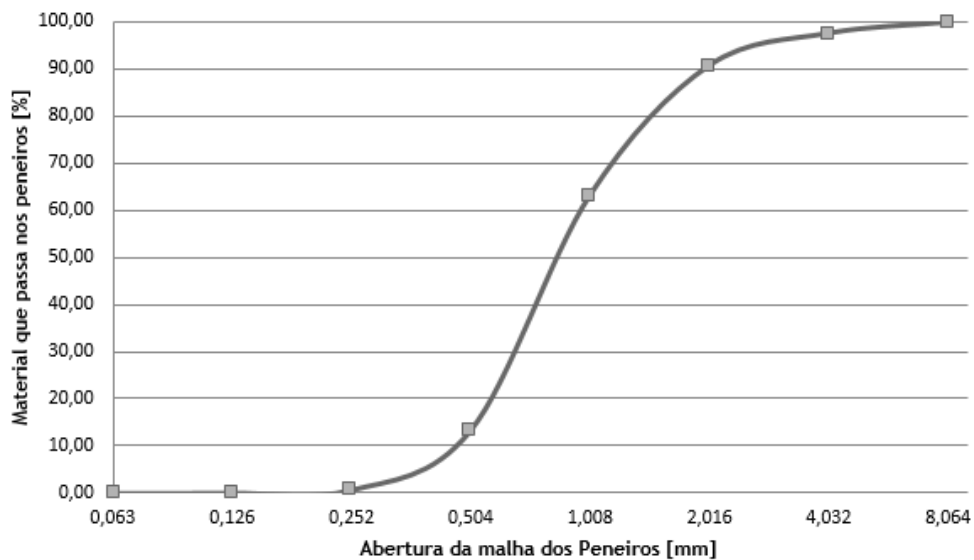


Figura 5.3. Curva granulométrica da areia natural 0/2

5.2.3. Argamassa

Considerando o princípio da argamassa armada, utilizou-se uma argamassa de cimento e areia no traço 1:2, com uma relação de água/cimento de 0,4.

Foram realizadas duas argamassas com cimento Portland CEM I 32,5R e dois tipos de areia: areia 0/2 e areia 0/4. A areia 0/2 constitui uma argamassa fina de acabamento ou reboco e a areia 0/4 constituiu uma argamassa grossa ou emboço.

Em relação à água da amassadura não existiu nenhuma preocupação, tendo sido utilizado água potável da rede pública de abastecimento.

O procedimento de amassadura foi realizado através da colocação de todos os elementos secos no tambor da misturadora, Figura 5.4, sendo todos os elementos previamente pesados numa balança devidamente calibrada. Após a colocação de todos os materiais, misturaram-se os elementos secos durante trinta segundos à velocidade normal. Em seguida introduziu-se 100% da água prevista continuando assim, com a amassadura por mais seis minutos a velocidade normal.

Para obtenção dos provetes de argamassa colocou-se a mistura em moldes retangulares com 4 cm de espessura e 17,5cm de comprimento previamente untados com óleo. Para a sua compactação recorreu-se a uma máquina de compactação que efetuou 60 pancadas automaticamente em 60 segundos, Figura 5.4.

Até ao momento do ensaio dos provetes, estes foram reservados num local a temperatura e humidade constante, em estufa, dentro de água potável com um pouco de cal para manter o pH do cimento que é 12, ou seja, alcalino.

As Tabelas 5.2 a 5.5 apresentam as características das argamassas e o valor médio no ensaio de espalhamento realizado segundo a norma EN 1015-3:1999, pelos resultados verifica-se que a quantidade de água utilizada foi a suficiente para assegurar a consistência desejada ou seja plástica para efeito da moldagem dos corpos de prova.

Tabela 5.2. Características da argamassa A5M

A5M		Espalhamento
Areia	1.5 Kg	
Cimento	0.75Kg	170 mm
Água	0.3Kg	

Tabela 5.3. Características da argamassa A6M

A6M		Espalhamento
Areia	1.5 Kg	
Cimento	0.75Kg	177,5 mm
Água	0.3Kg	

Tabela 5.4. Características da argamassa A7M

A7M		Espalhamento
Areia	1.5 Kg	
Cimento	0.75Kg	170 mm
Água	0.3Kg	

Tabela 5.5. Características da argamassa A8M

A8M		Espalhamento
Areia	1.5 Kg	
Cimento	0.75Kg	177,5 mm
Água	0.3Kg	



Figura 5.4. Misturadora e Máquina de compactação

5.3. Determinação das características dos materiais e propriedades das argamassas

5.3.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada conforme a norma Portuguesa NP EN 933-1:2000.

Inicialmente os agregados foram colocados numa estufa ventilada a uma temperatura de aproximadamente 100°C, até que a massa da amostra fosse constante.

Em seguida fez-se a peneiração da amostra retirada da estufa. Os peneiros foram colocados por ordem decrescente de aberturas, sendo a malha dos peneiros a seguinte: 0,063 mm; 0,125 mm; 0,5 mm; 1 mm; 2 mm; 4 mm e 8 mm. Este processo é concebido por meio mecânico para que os peneiros sofram oscilações e vibrações.

Por fim obtêm-se o valor da massa retida em cada peneiro, com a ajuda de uma balança calibrada e define-se a curva granulométrica correspondente a cada agregado. Salienta-se que o referido processo foi realizado duas vezes para cada tipo de agregado.



Figura 5.5. Instrumento mecânico com os diferentes peneiros

5.3.2. Determinação da consistência da argamassa fresca

De acordo com a norma EN 1015-3:1999 a consistência das argamassas deve ser determinada através do ensaio de espalhamento, logo após a sua concepção.

O ensaio de espalhamento consiste na colocação de argamassa, em duas fases, num molde tronco cónico, colocado no centro da mesa de espalhamento, sendo que cada uma das fases deverá de se compactar no mínimo com 10 golpes. De seguida tira-se o excesso da argamassa pelo limiar do molde e retira-se o molde cuidadosamente. Após todo este processo inicia-se o processo de espalhamento através da ação de 15 pancadas, em períodos constantes por cada segundo.

Deste processo de ensaio resulta o diâmetro de espalhamento, indicador da trabalhabilidade da argamassa, sendo o seu valor obtido através da sua medição em direções perpendiculares.



Figura 5.6. Procedimento do ensaio de espalhamento

5.3.3. Determinação da resistência à tração por compressão diametral

Este ensaio foi selecionado para avaliar a resistência do objeto-módulo na sua forma final de uso ou seja a garrafa PET preenchida de areia, que denominamos módulo PET. Deste modo, avalia-se a capacidade resistente do módulo PET sob efeito de compressão diametral simulando os esforços locais que podem existir num aparelhamento de empilhamento ou “stacking bond”. O procedimento deste ensaio é conforme a norma EN 12390-6:200 que consiste na aplicação de uma força de compressão aplicada sob uma região estreita ao longo do seu comprimento, como demonstra a Figura 5.7.

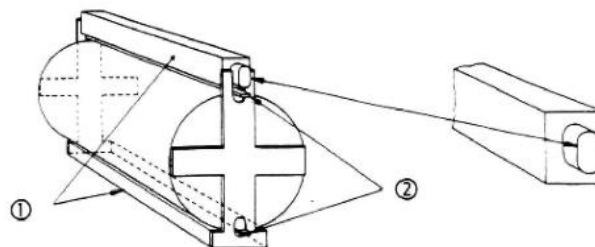


Figura 5.7. Exemplificação da colocação de componentes para o ensaio de resistência diametral (1- Barra de carregamento em aço; 2- Tiras de madeira reconstituída), (Fonte: European Committee of Standardization EN 12390-6)

Tratando-se de um PET contendo no seu interior areia em estado seco, aproximadamente $2,6 \pm 4$ Kg, existe necessidade de adaptar o ensaio, ao material em estudo, uma vez que o ensaio se encontra adaptado a elementos betão ou argamassa em estado endurecido.

A Figura 5.8 a 5.9, mostra a forma utilizada para elevar o módulo PET, até à posição de ensaio, de modo que fosse possível utilizar o dispositivo de ensaio existente no Laboratório. Para além disso, salienta-se a necessidade de recorrer uma célula de carga de 5kN e de um datalogger, para obtenção das deformações durante o carregamento que se preveem ser muito acentuadas tendo em vista se tratar de um componente não rígido.

No presente ensaio, a taxa de carregamento aplicada é de 48kN/min o que implica que por segundo é imposto ao módulo PET, uma carga de 1kN. Com a realização deste ensaio obtêm-se a rotura por tração. Para a realização do presente ensaio foram inseridos defletómetros para medir com precisão a deformação do módulo PET, quando este é sujeito ao carregamento.



Figura 5.8. Equipamento necessário para elevar o PET

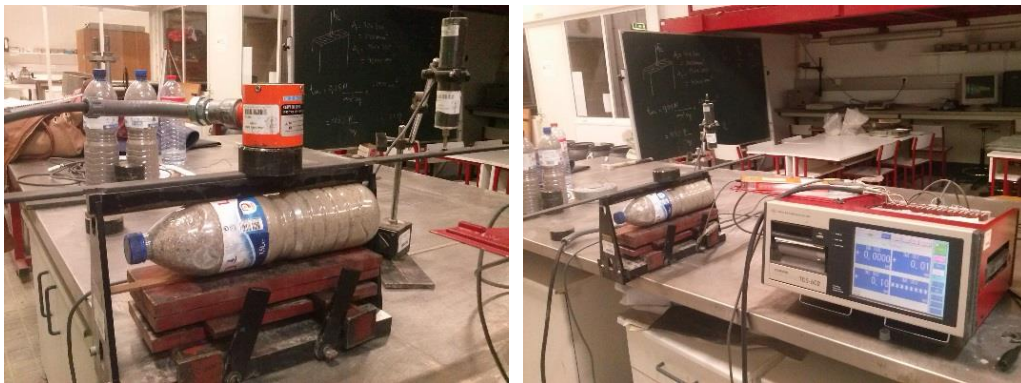


Figura 5.9. Demonstração da utilização da célula de carga e do datalogger

Para a obtenção da resistência de tração por compressão diametral, a Norma sugere a utilização da seguinte expressão 5.1:

$$f_{cd} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times D} \quad [\text{MPa}] \quad (5.1)$$

Onde:

F - Carga máxima [N]

L - Comprimento [mm]

D - Diâmetro [mm]

5.3.4. Determinação da resistência à compressão das argamassas

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a norma EN 1015-11:1999. O ensaio é realizado por uma prensa com controlo semiautomático da taxa de compressão.

O ensaio à compressão consiste em obter a resistência do provete à rotura, impondo, numa pequena área de 40 x 40 mm², uma carga de compressão. Inicialmente e, considerando que a prensa está calibrada e mais adequada para betões inicialmente optou-se pela utilização de um “datalogger” juntamente com uma célula de carga com capacidade de 5kN. Esta opção possibilita obter resultados de provetes com baixa capacidade de resistência. Ao longo do ensaio verificou-se que o valor dado pela prensa, pouco ou nada diferia do valor dado pelo “datalogger”, deste modo optou-se finalmente, pela leitura na prensa.

Para este ensaio, os provetes já endurecidos foram divididos a meio, em que todas as metades foram sujeitas a uma carga de compressão de igual modo.



Figura 5.10. Prensa, “datalogger”, ensaio com célula de carga e ensaio sem a célula de carga

5.3.5. Ensaio de corpo duro em parede do sistema PETBlock

A realização deste ensaio teve em consideração a norma ABNT NBR 15575-2:2013 O ensaio de corpo duro consiste em verificar o comportamento do protótipo, neste caso a parede, quando sujeito a impactos decorrentes do uso habitacional. Os respetivos impactos simulam um choque

localizado, como por exemplo, um muro ou pancada de um instrumento doméstico de pequenas dimensões.

O procedimento do ensaio de corpo duro, consiste em sujeitar a parede/provete a impactos de uma esfera maciça de aço de 0,5 Kg ou 1 Kg. A esfera terá de ter um movimento pendular. Desta forma a mesma é afastada da parede/provete de modo a que o seu centro de massa atinge a cota que proporcionará uma energia de impacto definido pela norma, como demonstra a Tabela 5.6. Este procedimento repete-se consecutivamente 10 vezes no mesmo local, que deverá ser previamente escolhido de forma estratégica.

Para o ensaio em questão, utilizou-se somente a esfera maciça de aço de 1 Kg, a uma cota de 1 metro, como se verifica na Figura 5.11.

Após a realização dos embates com a esfera é averiguado visualmente os danos provocados pelo impacto. Realiza-se um levantamento e registo de resíduos, dimensões do impacto, assim como da sua profundidade, de modo a alcançar as indicações referidas pela NBR 15575-2.

Denote-se que para obter bons resultados é necessário que a parede/provete não contenha fissuras de grandes dimensões ou problemas estruturais visíveis, é importante verificar que a mesma se encontra em boas condições.

Tabela 5.6. Itens a considerar para o ensaio de corpo duro

Massa da esfera maciça em aço [g]	1000
Altura de queda [cm]	100
Energia de impacto [J]	10 (Segurança)



Figura 5.11. Esfera maciça em aço de 1Kg

5.3.6. Ensaio de corpo mole em parede do sistema PETBlock

O ensaio de corpo mole foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 15575-2:2013. O mesmo ensaio tem como objetivo verificar o comportamento da parede/provete simulando um impacto de corpo mole, com dimensões superiores às da esfera de aço.

O seu procedimento é semelhante ao ensaio anteriormente descrito, é igualmente pendular, e sujeito a cotas desde o seu centro de massa até ao centro da parede. O levantamento do corpo mole a determinadas cotas, proporciona energias descritas pela norma.

Para a realização deste ensaio é necessário um saco de 350 mm e 900mm, diâmetro e altura respetivamente, dispondo no seu interior areia seca, oferecendo um peso total de 40 Kg.

Para a obtenção de resultados referentes ao deslocamento horizontal assim como à deformação da parede/provete, recorreu-se a defletómetros conectado ao “datalogger”. Os defletómetros captam a deformação horizontal do corpo de prova a cada impacto. A partir desses valores verifica-se se o objeto possui as competências definidas pela norma referida anteriormente (Tabela 5.7).

Denota-se que tal como no ensaio de corpo duro, também se deve assegurar que o prisma se encontre em ótimas condições, para garantir melhores resultados.

Tabela 5.7. Critérios de avaliação dos impactos ao ensaio de resistência a corpo duro

Energia de Impacto de corpo mole [J]	Critério de desempenho	Nível de desempenho		
		M	I	S
720	Não ocorrência de ruína			
	Não ocorrência de falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)			•
720	Não ocorrência de ruína			
	São admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	•	•	
480	Não ocorrência de ruína			
	Não ocorrência de falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)		•	•

480	Não ocorrência de ruína: são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	•		
360	Não ocorrência de ruína: são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	•		
240	Não ocorrência de falhas	•	•	•
180	Não ocorrência de falhas	•	•	•
120	Não ocorrência de falhas	•	•	•

Tabela 5.8: Itens a considerar para o ensaio de corpo mole

Massa do saco com areia seca [g]	40000						
Altura de queda [cm]	30	60	60	60	90	120	180
Energia de impacto [J]	120	240	240	240	360	480	720



Figura 5.12. Preparação do saco para o ensaio de corpo mole assim como os defletómetros para a medição do deslocamento horizontal.

6. Discussão de resultados

6.1. Introdução

O capítulo que se segue refere-se exclusivamente aos resultados dos ensaios laboratoriais, assim como à discussão dos valores obtidos, acompanhados com imagens e tabelas para melhor compreensão.

Os ensaios laboratoriais permitem verificar se todo o processo delineado é adequado e se vai de encontro com os resultados esperados. Dado que o trabalho desenvolvido é um projeto pioneiro, não será possível comparar os valores obtidos, com outros estudos realizados, devido à sua inexistência, deste modo tentar-se-á com base nas normas existentes, verificar a conformidade do presente projeto e estabelecer um critério, para eventuais trabalhos futuros sobre o assunto.

6.2. Resistência a compressão

6.2.1. Resistência à tração por compressão diametral do módulo PET

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado logo após a preparação do módulo PET e colocação de areia seca no interior da garrafa PET.

A aplicação do presente ensaio em provetes de argamassa ou betão resulta numa rotura ao meio do provete, devido à força de tração horizontal que é criada ao longo do carregamento. No caso do componente em estudo, verificou-se que a areia no interior da garrafa tende a movimentar-se, reajustando-se ao longo dos espaços vazios (entre grãos) ainda existentes no interior do módulo PET. Este processo permite assim levar o módulo PET até ao limite de elasticidade do material de que é composto.

Os resultados obtidos representam-se nas tabelas seguintes:

Tabela 6.1. Valores obtidos pelo ensaio de resistência à compressão diametral do provete

PET	Força [N]	Defletómetro 1 [mm]	Defletómetro 2 [mm]
A	20041,2	6,29	3,18
B	19347,9	7,40	3,54
C	17835,4	11,16	35,38

Com base nos valores obtidos, verificou-se um erro de leitura e de execução, pelo que se deverá excluir o PET C, devido aos valores discrepantes obtidos no defletómetro 2. Os restantes valores consideram-se lógicos, em especial devido à proximidade dos valores adquiridos.

Segundo a utilização da Expressão 5.1, referida no subcapítulo 5.3.3 registaram-se os seguintes valores:

Tabela 6.2. Valores de resistência à tração

PET	fcd [MPa]
A	0,6938
B	0,6698
C	0,6174

Poder-se-á afirmar que em média um módulo PET terá uma resistência à tração por compressão diametral de cerca de 0,660 MPa.

Nas Figuras que se seguem encontram-se os gráficos referentes a deformação do PET enquanto sujeitas a um carregamento constante. Nos três exemplos foram registados 2 defletómetros em cada ensaio.

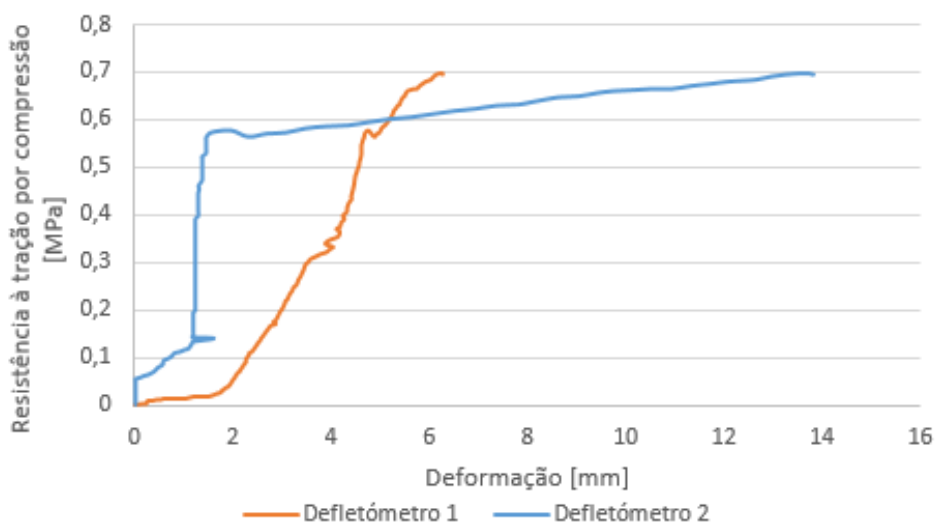


Figura 6.1. Deformação ao longo do carregamento, PET A

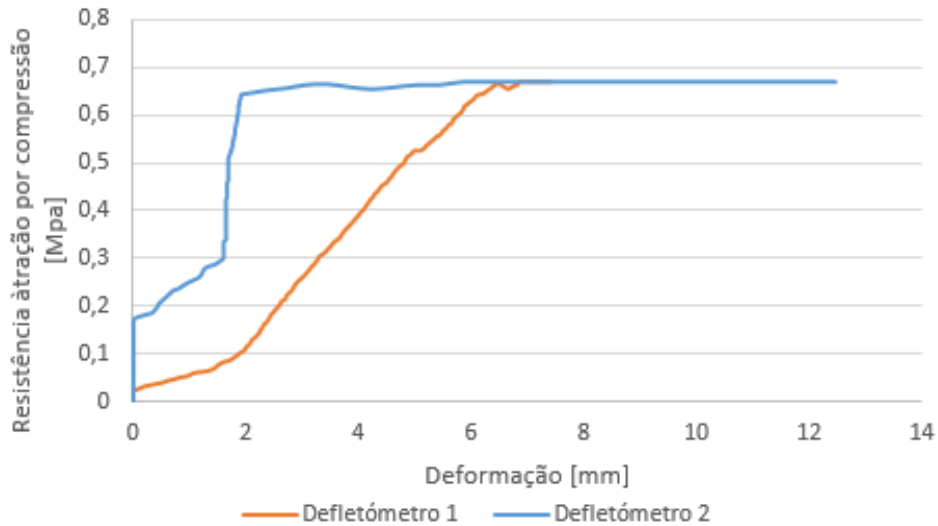


Figura 6.2. Deformação ao longo do carregamento, PET B

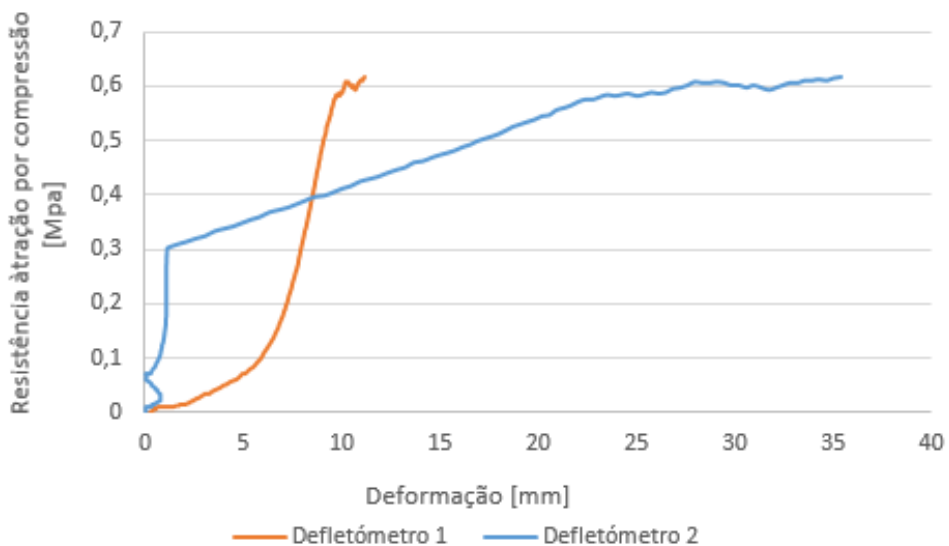


Figura 6.3. Deformação ao longo do carregamento, PET C

Denota-se que na Figura 6.3 existe um erro de leitura, de acordo com o defletómetro 2, mesmo após a sua fissuração o PET ainda continua a deformar até valores bastante altos. Este facto deve-se a um erro que ocorreu durante o ensaio com um dos materiais utilizados, uma barra de aço que entortou influenciando a leitura.

Se o provete em estudo fosse de argamassa ou betão, a sua rotura ocorreria a meio do provete de forma vertical, rotura típica como se demonstra na Figura 6.4., no caso em estudo, esse facto não se verificou.

Não sendo um material rígido, como o provete de argamassa ou betão, a rotura deu-se na margem da barra colocada na face superior. Verifica-se que o sucedido poderá ocorrer devido à não uniformização entre materiais (PET e areia), assim como ao limite da capacidade elástica do PET, Figura 6.5 e 6.6. Na verdade a rotura da garrafa também pode ser explicado pelo mesmo mecanismo gerado pela não compressibilidade da areia que ao deslocar-se exerce nas paredes da garrafa tensões de tração que levam à rotura da garrafa na superfície superior da mesma. Esta rotura localizada pode ser também induzida pelo efeito da carga em faca que é típica da forma de carregamento no ensaio. Na Figura 6.6 pode-se verificar a forma ovalada com grandes deformações laterais que resultam após carregamento.

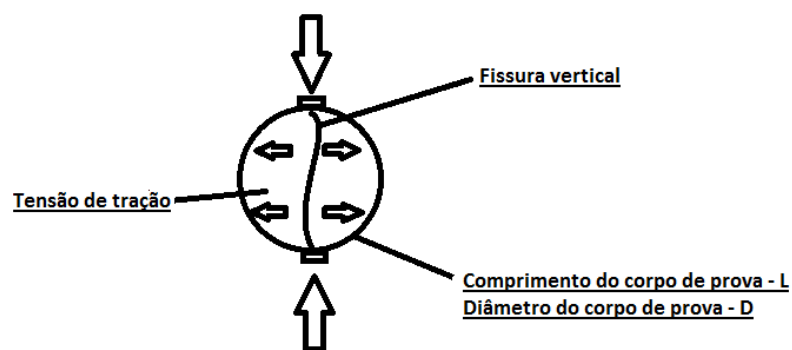


Figura 6.4. Rotura típica de provetes de argamassa ou betão



Figura 6.5. Registro fotográfico da fissura após o ensaio de resistência diametral PET 1



Figura 6.6. Registro fotográfico da fissura após o ensaio de resistência diametral, PET 2 e 3

6.2.2. Ensaio aos provetes de argamassa

No presente trabalho não existiu um grande foco na concepção da argamassa, não sendo aqui considerada como uma variável de estudo. Recorreu-se a estudos sobre argamassas de construção, propostos por diferentes autores, de forma a encontrar uma argamassa cujas características se enquadrassem dentro do presente trabalho.

Ao longo da pesquisa denotou-se, que o conceito de Argamassa Armada proporciona características curiosas e interessantes para ser aplicada neste trabalho. Desta forma optou-se por uma argamassa proposta por Hanai (1992) de traço em massa 1:2 e uma relação de água/cimento de 0,4, constituída por cimento Portland (CEM I 32,5 R), Areia 0/2 para uma mistura e Areia 0/4 para outra e água potável. Este tipo de traço permite que a argamassa seja rica em cimento. Tratando-se de revestimento exterior, a utilização deste tipo de argamassa proporciona um ambiente altamente alcalino que, por sua vez, a mesma protege a malha de aço da corrosão.

A Tabela 6.3 reúne os resultados obtidos aos 7 e 28 dias para as duas argamassas propostas. Verifica-se, tendo em conta os valores médios e os seus respectivos desvios padrões, que em ambas argamassas há um aumento de resistência dos 7 aos 28 dias e que esse aumento é da ordem de 25% para a argamassa grossa (com areia 0/4) e de 15% para a argamassa fina (com areia 0/2). Esta diferença de “maturação” pode por um lado ser explicada pela própria heterogeneidade do material areia definida pela distinta granulometria entre as mesmas. De fato se olharmos os resultados como um todo verificamos que face aos desvios padrões obtidos não podemos afirmar que as resistências à compressão das argamassas sejam diferentes. Verificação esta que a luz da significância invalida a observação inicialmente realizada de forma isolada para a dita “maturação” ou evolução da resistência à compressão no tempo.

Tabela 6.3. Resultado dos ensaios à compressão das argamassas após 7 e 28 dias (em MPa)

Argamassa	7 Dias		28 Dias	
	Média	DP	Média	DP
1:2 (areia 0/4)	33,3	1,6	41,7	2,4
1:2 (areia 0/2)	34,2	2,1	39,2	2,6

A Figura 6.7a apresenta as faces fraturadas da argamassa fina onde se pode observar maior compacidade entre os grãos, sendo que essa característica é menor na argamassa grossa (Fig. 6.7b)



Figura 6.7. Provetes de argamassa após o ensaio de resistência à compressão

6.2.3. Ensaio dos prismas do sistema PETBlock

O ensaio dos prismas realizou-se aos 7 e aos 28 dias. Na idade de 7 dias utilizou-se dois prismas denominados P1 e P2, compostas de areia 0/2 e areia 0/4, respetivamente. Aos 28 dias utilizou-se quatro prismas denominados P1A, P1B revestidos com argamassa de areia 0/2 e P2A, P2B com areia 0/4.

Ambos os prismas foram submetidos a uma força de compressão uniformemente distribuída na face dos mesmos.

Devido à grande resistência dos prismas, não foi possível realizar o ensaio na prensa disponível em Laboratório, por essa razão recorreu-se a um macaco de 50 toneladas e a uma célula de carga de 490 kN conectada ao datalogger, obtendo-se assim, um método de compressão manual.

A Tabela 6.4 resume os resultados obtidos nos prismas ensaiados.

Tabela 6.4. Resistência à compressão de prismas PETBlock (em MPa)

Revestimento	7 Dias		28 Dias	
	Média	DP	Média	DP
P1	2,03	-	1,92	0,27
P2	2,23	-	2,47	0,38

DP=desvio padrão em MPa

Tendo em conta que o ensaio aos 7 dias foi realizado apenas em um provete só foi possível conhecer a variação dos resultados individuais aos 28 dias. Pelo desvio padrão aos 28 dias pode-se concluir que os valores médios não diferem entre si. Este fato leva a considerar a não significância da evolução da resistência da argamassa e tampouco do efeito do tipo de areia nos resultados de resistência à compressão dos prismas. Aliás, esta constatação comprova os resultados obtidos no subcapítulo anterior ou seja igualdade das argamassas aqui utilizadas.

Em ambos os ensaios, os prismas possuem pequenas fissuras, tendo a rotura ocorrida em forma de fraturas tais como são apresentadas na Figura 6.8.



Figura 6.8. Fissuras ao longo e após o carregamento

Constatou-se durante os ensaios, que os prismas que foram sujeitos a carregamento após 7 dias apresentavam uma rotura com maior coesão dos revestimentos que aos 28 dias. Aos 28 dias, a rotura dos provetes era acompanhada de uma desintegração da argamassa de revestimento (Fig.6.9), originando espaços pequenos através dos quais pode-se visualizar o interior dos prismas, (Fig. 6.10). Este comportamento é justificado pela evolução da resistência da argamassa dos 7 aos 28 dias, o que a torna mais rígida.



Figura 6.9. Visualização da desintegração da argamassa no ensaio após 28 dias



Figura 6.10. Visualização do conteúdo no interior do prisma

6.3. Ensaio de corpo duro

O ensaio de corpo duro foi realizado na parede executada, após 28 dias, da finalização da última fase da parede, em ambas as faces.

Salienta-se no entanto que enquanto uma das faces era constituída por argamassa com areia 0/2 e outra possuía na sua constituição areia 0/4. Nas figuras que se seguem, demonstram-se os resultados do ensaio ao corpo duro, em ambas as faces.



Figura 6.11. Resultados - 1 e 2 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/2



Figura 6.12. Resultado - 3 e 4 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/2



Figura 6.13. Resultado - 5 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/2



Figura 6.14. Resultado - 1 e 2 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/4



Figura 6.15. Resultado - 3 e 4 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/4



Figura 6.16. Resultado - 5 - do ensaio de corpo duro na face de argamassa que contém areia 0/4

O embate da esfera foi premeditado. De acordo com a posição das garrafas, mediu-se o local estratégico onde se pretendia que ocorresse o embate da esfera. O embate 1 e 2 referem-se ao embate no meio do PET, nos extremos da parede, o embate 3 e 4 referem-se ao choque entre o gargalo do PET, e o embate 5 refere-se ao embate no centro da parede. Não podendo afirmar que o choque foi realizado com exatidão nos respectivos locais, serão embates aproximados dos locais indicados, como se demonstra na Figura 6.17 e 6.18.

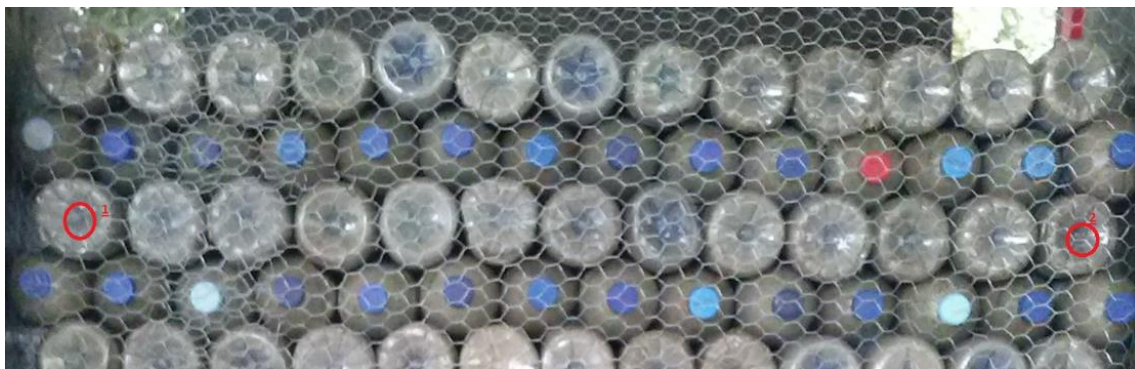


Figura 6.17. Localização do embate da esfera - 1 e 2 - em ambas as faces

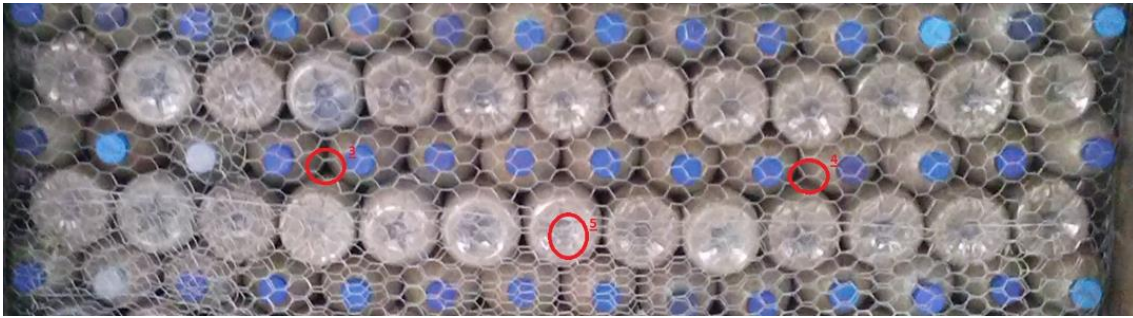


Figura 6.18. Localização do embate da esfera - 3, 4 e 5 - em ambas as faces

Verificando as imagens anteriores constata-se que a maioria dos impactos, não teve nenhuma influência, exceto a número 3, da face que contém areia 0/2. Verifica-se que o impacto existente em 3 possui uma profundidade de 2cm originando algum resíduo. Já na face cuja argamassa contém areia 0/4, verificou-se também que o número 3 tinha uma saliência devido ao impacto, com abertura de pequenas fissuras, porém com nenhum resíduo. Perante os resultados e de acordo com as imagens podemos concluir de uma forma geral que, pela norma os resultados são satisfatórios.

6.4. Ensaio de corpo mole

O ensaio de corpo mole foi efetuado logo após à realização do ensaio de corpo duro, ou seja, após 28 dias da finalização da última face da parede, no entanto este ensaio só foi realizado em uma das duas faces.

Dado que um dos principais objetivos de estudo é a deformação e a deslocação horizontal, não fazia sentido que após obter os resultados na execução de embate numa das faces, realizássemos o mesmo processo na face contrária, já deformada. Neste sentido o presente ensaio, ao contrário do Ensaio de Corpo Duro, apenas foi realizado em uma das faces.

Na figura que se segue demonstra o registo dos embates com o saco de 40 Kg.

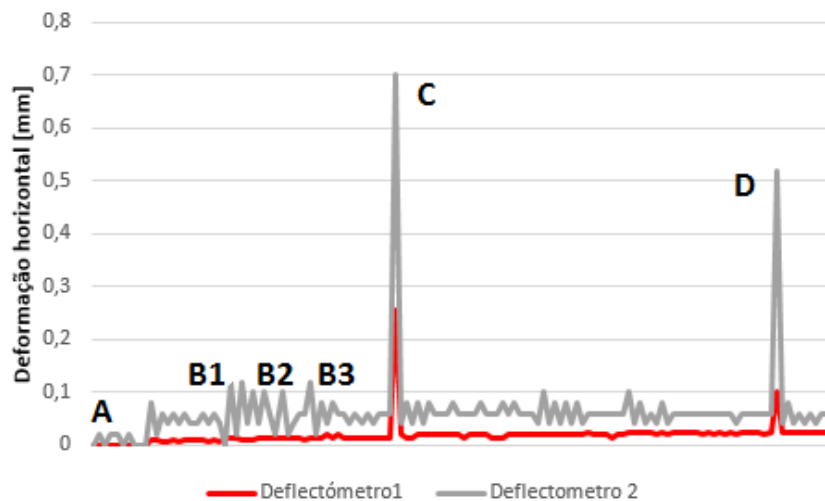


Figura 6.19. Deslocamento horizontal e deformação da parede

Verifica-se que os resultados são muito baixos e que a parede não sofreu nenhum deslocamento horizontal, tendo-se obtido apenas uma pequena deformação pouco relevante.

Denota-se que o registo A refere-se ao impacto a uma altura de 30cm, o impacto B1,B2 e B3 corresponde ao impacto a uma altura de 60cm, o impacto C e D corresponde a altura 90 e 120 cm respetivamente. Denota-se que o registo D é menor que o C, este facto deve-se ao rompimento do saco ao efetuar a altura de 120cm, da mesma forma que não houve a possibilidade de obter o valor a altura de 180 cm. Deste modo o impacto não foi bem concebido.

Verifica-se no entanto que o impacto de 120 J que corresponde a uma altura de 30 cm se demonstrou pouco significativo. Após o impacto de 240 J que corresponde a altura de 60 cm, e que foi repetido 3 vezes, ouve uma oscilação, assim como uma pequeníssima deformação, no entanto mesmo assim, esta não é significativa de acordo com a norma ABNT NBR 15575-2:2013. Os valores obtidos não são significativos dado que o elemento em análise não é esbelto. Segundo a equação 6.1, em que se relaciona a altura com a espessura da parede, o valor de aproximadamente 4,4, é muito pequeno. Logo não se trata de uma parede esbelta mas sim robusta.

$$\lambda = \frac{he}{te} \quad (6.1)$$

Em que:

λ - Índice de esbeltez, em cm

he - altura efetiva, em cm

te - espessura efetiva, em cm

6.5. Estudo de prismas de alvenaria

Para melhor compreensão dos resultados seguem-se alguns valores de resistência à compressão a prismas de alvenaria de blocos de betão e de blocos de cerâmica.

De acordo com o Manual Técnico de Alvenaria a resistência média de paredes de blocos de betão estruturais rege pelos 9 MPa. Já no que se trata a blocos de cerâmicos o valor varia entre os 4,6 a 5,8 MPa. Valores referenciais perante resultados dos ensaios efetuados pelas normas brasileiras ABNT para a criação deste manual.

Santos (2008) realizou um estudo de análise à resistência de prismas em pequenas paredes de alvenaria com diferentes argamassas de assentamento. O seu estudo baseou-se em dois tipos de geometria de blocos cerâmicos tais como, paredes vazadas (BPV) e paredes maciças (BPM). Em cada um dos tipos de blocos efetuou 2 tipos de prismas, primas com 2 blocos e prismas com 3 blocos. Os seus resultados foram satisfatórios no que respeita a média de resistência dos prismas, consoante a argamassa utilizada (Tabela 6.5).

Tabela 6.5. Resistência à compressão em relação a área bruta dos prismas de 2 blocos.

Tipologia do bloco	Argamassa (MPa)	Prismas de 2 blocos	
		Média (MPa)	Desvio Padrão
BPV	T1 (4,4)	4,61	0,32
	T2 (8,7)	5,84	0,48
	T3 (13,9)	6,48	0,72
	T4 (16,8)	6,77	0,21
BPM	T1 (4,4)	6,32	0,63
	T2 (8,7)	8,80	0,44
	T3 (13,9)	9,33	0,11
	T4 (16,8)	10,11	0,62

Tabela 6.6. Resistência à compressão em relação a área bruta dos prismas de 3 blocos.

Tipologia do bloco	Argamassa (MPa)	Prismas de 3 blocos	
		Média (MPa)	Desvio Padrão
BPV	T1 (4,4)	4,47	0,19
	T2 (8,7)	5,82	0,92
	T3 (13,9)	6,43	0,35
	T4 (16,8)	7,03	0,39
BPM	T1 (4,4)	5,55	0,99
	T2 (8,7)	8,70	0,44
	T3 (13,9)	9,47	0,45
	T4 (16,8)	10,76	0,78

Em ambos os prismas, prismas de 2 blocos e prismas de 3 blocos, apresentaram valores próximos, contudo o autor atribui como sendo valores contraditórios. Os resultados médios da resistência do prisma de 2 blocos teriam de ser valores superiores aos valores apresentados no prisma de 3 blocos. Este efeito deve-se ao facto da relação entre bloco/parede e prisma/parede. Quanto menor for o modelo utilizado para a determinação da resistência maior será o seu valor. A correlação prisma/parede é normalmente utilizado como valor de controlo que identifica a proximidade do valor da amostra com o valor real da parede.

No caso do sistema PETBlock, sendo um tipo de alvenaria diferente na sua composição, os valores obtidos é inferior aos que normalmente se obtém com os blocos ditos estruturais. Na verdade os valores obtidos com prismas de blocos de betão ou blocos cerâmicos vazados ou não, são valores últimos. Os valores alcançados pelo ensaio de resistência a compressão ao Prisma de PETblock são valores que podemos atribuir para um comportamento em serviço. Neste caso o valor do ensaio é limitado pela rotura da argamassa armada não necessariamente atingindo a rotura dos módulos PET. Em sendo assim, para uma melhor elucidação de um valor último seria necessário construir prismas sem a argamassa. Porém, a estabilidade dos módulos poderia ser garantida pela presença da tela devidamente fixada. Não foi possível por motivo de tempo chegar à esta fase, não obstante uma estimativa da relação módulo/prisma é possível de ser explorada.

Retomando os valores de força obtidos da Tabela 6.1 obtidos no ensaio de compressão diametral do módulo PET e considerando que a barra de compressão de 10 mm de largura comprimiu uma dimensão da garrafa igual a 230 mm, obtém-se os valores da Tabela 6.7.

Tabela 6.7. Resistência à compressão do módulo PET

Módulo PET	Força [N]	Área [mm]	Resistência à compressão (MPa)		
			Individual	Média	Desvio padrão
A	20041.2	2300	8.7		
B	19347.9	2300	8.4	8.3	0.5
C	17835.4	2300	7.8		

Portanto o valor estimado para o módulo PET se inclui dentro da classificação de unidades de alvenaria com desempenho estrutural de acordo com a EN1996 (Eurocódigo 6), que de maneira geral atribuem o valor em torno de 6 MPa para as unidades de alvenaria estrutural.

Relacionando-se os resultados obtidos no módulo PET (f_{mPET}) com os obtidos no prisma de PETBlock (f_{pPETB}), obtém-se os valores de fator de eficiência dos prismas.

Tabela 6.8. Resultados de fator de eficiência f_{pPETB}/f_{mPET}

Revestimento	f_{pPETB}/f_{mPET}	
	7 Dias	28 Dias
P1	0.24	0.23
P2	0.27	0.30

Os valores indicados na Tabela 6.8, ainda considerando que f_{pPETB} venha representar uma tensão de serviço e não a última, estes valores de fator de eficiência são muito próximos aos encontrados na literatura para outros tipos de unidades de alvenaria.

Estas constatações em termos de ensaios mecânicos asseguram a viabilidade de uma exploração ainda mais profunda do sistema aqui proposto atingindo deste modo o objetivo desta dissertação.

7. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo empregar um resíduo urbano no desenvolvimento de um sistema construtivo, cujas suas características cumprissem com os requisitos mínimos de segurança.

Após a realização dos trabalhos conclui-se, que de uma forma geral o objetivo do presente trabalho foi concebido com êxito.

Como qualquer projeto pioneiro houve alguns percalços. Inicialmente o método esperado para a disposição do PET tornou-se no menos adequado, devido ao seu posicionamento instável. Pela visualização do seu comportamento optou-se por modificar a disposição do PET, para que a sua disposição, por si só, permitisse alcançar uma parede com elevada estabilidade e pouca deformabilidade.

No decorrer dos trabalhos laboratoriais, verificou-se que a parede seria bastante robusta e resistente, o que indicava um bom caminho para a concretização de um dos objetivos. Este efeito denota-se pela junção dos materiais utilizados, que no seu conjunto, torna a parede segura.

As garrafas PET foram o elemento essencial para a concretização do presente projeto, é um material que mais contribuiu para a resistência da mesma, independentemente de conter no seu interior areia compactada. A sua utilização contribuiu, também para o suporte, para a robustez e para um elemento de preenchimento do interior da parede. No entanto a argamassa, independentemente de a realização dos ensaios de resistência à compressão concluir uma resistência elevada, o seu papel fundamental é de manter a união de todos os materiais utilizados. A argamassa juntamente com a tela hexagonal permitiu obter uma ligação e um confinamento, ao longo de toda a face, permitindo a adequada ligação entre o reboco e o PET. Este efeito deve-se ao facto de a superfície do PET ser bastante lisa, dificultando assim a sua ligação com a argamassa, por essa razão a utilização da tela de hexagonal é fundamental.

No que respeita ao prisma, o ensaio de resistência à compressão concluiu que existe uma grande ductilidade o que permite a grandes deformações. O colapso dá-se devido ao rompimento do sistema, ou seja, capacidade de resistência da argamassa que nos permite avaliar o limite de segurança da mesma. Denota-se que mesmo continuando o seu carregamento após a sua primeira fissura, o prisma ainda é capaz de suportar o dobro da carga que lhe foi imposta para o aparecimento da primeira fissuração, se continua-se o carregamento obter-se-ia a resistência última do sistema.

Sem nenhum apoio ou componente de ligação à base, quando sujeita ao choque com um elemento de 40Kg, a parede não derruba, não se parte e nem se deforma. Verifica-se que isto ocorre porque a parede é bastante robusta. Com dimensões de 1,20 x 1,76 x 0,4 metros, a parede contém 324 garrafas com um peso de $2,66 \pm 0,04$ Kg cada garrafa, o que dá um peso

total de 861,84 Kg aproximadamente, excluindo o peso da argamassa. Ou seja a parede construída laboratorialmente terá um peso de aproximadamente 1,815 toneladas. Este efeito apesar de negativo, já era esperado.

Verificou-se que este método de construção se torna um pouco trabalhoso pelo facto de se encher cada garrafa com areia e por o revestimento da parede ser feita por fases. Contudo trata-se de uma construção simples, com materiais acessíveis e ao alcance de qualquer utilizador. Todos os materiais são de custos baixos, sendo o elemento mais caro a areia, não devido ao seu preço, mas sim à quantidade utilizada.

7.1. Trabalhos futuros

O desenvolvimento desta dissertação demonstrou a possibilidade de utilizar resíduo urbano e materiais simples, na execução de uma estrutura resistente e estável. Devido ao seu peso elevado seria interessante aperfeiçoar o trabalho de forma a tornar a estrutura mais leve, comparando a sua viabilidade.

Como a proposta apresentada se trata de uma estrutura sem elementos estruturais seria interessante, desenvolver um protótipo da habitação em menor escalar, de forma a perceber o seu comportamento a nível estrutural.

De modo a complementar o trabalho apresentado seria interessante desenvolver uma habitação de 2 andares com a mesma linha de pensamento proposto.

Seria também de extrema relevância estudar o comportamento térmico e acústico da construção apresentada. Cada vez mais é importante definir as condições de conforto de uma habitação, pelo que o projeto acústico e térmico é imprescindível ao bem-estar dos seus utentes.

Desenvolver um outro método construtivo utilizando um resíduo urbano diferente, proporcionaria uma outra forma de reciclagem para além de ser um projeto ambicioso.

Por fim, seria interessante desenvolver um estudo sobre o comportamento deste tipo de estrutura relativamente a sismos assim como determinar a sua resistência última.

Bibliografia

ABNT/CB-02, Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto:1º Projeto 02:123.04-015-1, Outubro,2010

ABNT NBR 15575-2, Edificações Habitacionais - Desempenho, Parte2: Requisitos para os sistemas estruturais, 2013

Amorim, S., Kapp, S., Eksterman,C.,2010, **Coordenação Modular: Caderno 1- Projeto em Habitação de Interesse Social**, Manual de Práticas Recomendados, Rio de Janeiro, pp. 51

Baldauf, A., Greven, H., 2007, **Introdução à Coordenação Modular na Construção Civil no Brasil: um abordagem Atualizada**, Coleção HABITARE/FINEP, Porto Alegre, pp-15-37

Barboza, A., Silva, M., Silva, L., Júnior, J., 2011, **A Técnica de Coordenação Modelar como Ferramenta Directiva de Projecto**, Ambiente Construido, Porto Alegre, V.11, N. 12, pp. 97-100

Barroca, P., (2013), **Comportamento reológico e mecânico de argamassas com agregados leves**, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Carvalho, C. , (1997), **Levantamento das necessidades e existências em instalações de resíduos sólidos, em Portugal**, pp. 1 - 15

CASTELO, J.(2008) Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

Catalogo Selenis, **Propriedades do PET**, Portugal SA

Catalogo Selenis, **Química do PET**, Portugal SA

Cordeiro, A. S., Szucs, C. P., (2003),**Avaliação Funcional de Habitações Autoconstruídas - um estudo de caso em Maceió - AL**, Cadernos de encargos de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte, V. 10, Nº 11, pp. 57-78

Curwell, S., Cooper, I., (1998), **The implications of Urban Sustainability**, Bulding Research and Information, V. 26, N. 1, pp. 17-28

Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste - Statement by the Council, the Commission and the European Parliament, oficial Journal L047, pp. 0026-0032

Eires, R., Cardoso, C., Camões, A., (2014), **Argamassas de terra e cal reforçadas com fibras naturais**, Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.

European Committee of Standardization EN 1015-3 - Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table), Bruxelas, Fevereiro, 1999

European Committee of Standardization EN1015-11 - Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar, Bruxelas, Agosto, 1999.

European Committee of Standardization EN 12390-6- Tesing hardened concrete - Part 6: Tensile splitting of test specimens, Bruxelas, October, 2000

Foti, D., (2011), *Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bothles PET fibers*, Construction and building Materials, V.25, Nº. 4, pp. 1906-1915

Ferreira, E. M., Penido, H. S., Silva, S. H., Alves, E., Gomes, C. A., 2007, *Estudo e Garrafas PET Incorporadas aos Blocos de Concreto – Aplicação Alternativa na Construção*, FEAU, pp.492

Fraternali, F., Ciancia, V., Checlile, R., Rizzano, G., Feo, L., Incarnato, L., (2011), *Experimental study of the thermomechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete*, Composite Structures, V.93, Nº9, pp. 2368-2374

Hanai, J., B., (1992), *Construções de Argamassa Armada-Fundamentos Tecnologicos para Projeto e Execução*, Copyright Editora PINI LTDA, Brasil, pp. 78-92

John, V. M., (2000), *Reciclagem de Resíduos na construção Civil*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, pp. 16-98

Junior, J., Macêdo, L., Correa, M., Santos, P., Neto, W., Leite, M., Araujo, P., 2010, *Utilização de garrafas PET na Construção de Tijolos*, Cadern

os de Graduação - Crecias Exatas e Tecnologicas, V.1, N. 15, pp. 59-66

Magrinho, A., Didelet, F., Semião, V., (2006), *Mundial solid waste dispoal in Portugal*, Waste Management, Vol.26, Nº. 12, pp. 1477-1489

Mahdi, F., Abbas, H., Khan, A., (2013), *Flexural, shear and bond strength oh polymer concrete utilizing recycled resin obtained from post consumer PET bottles*, Construction and Building Materials, V. 44, pp. 798-811

Mancini, S.,D., Bezerra, M., N., Anin, M., (1998), *Reciclagem de Pet advindo de Garrafas de Refrigerante Pós-consumo*, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil, pp 68-69

Manual Técnico de Alvenaria, ABCI: Associação Brasileira da Construção Industrializada, Projecto / PW

Marques. A., 2011, *Estudo de Coordenação Modular em Projetos de Reciclagem de Contentores*, Universidade da Beira Interior, Covilhã, pp. 83-103

Millan, G., Vittorazzi, C., Reis, Z. C., (2010), *A Redução de Resíduos Têxteis e de Impactos Ambientais : Um estudo Desenvolvido em uma indústria de confeções do Vestuário*, Seminários em Administração

Mucelin, C. A., Bellini, M., (2007), *Lixo e Impactos Ambientais Perceptíveis no Ecosistema Urbano*, Sociedade & Natureza, Uberlândia

Nascimento, R. J., (2009), *Mapeamento da cadeia de suprimentos de Reciclagem de PET*, Faculdade de Tecnologias da zona Leste, Brasil, pp. 33-35

Norma Portuguesa NP EN 933-1 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte1: Análise Granulométrica. Método de Peneiração, IPQ, Lisboa, 2000.

Norma Portuguesa EN1996, Eurocódigo 6: Projeto de Estruturas de Alvenaria, Lisboa, 2000

Oliveira, L., Castro-Gomes, J., (2011), *Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar*, Centre of Materials and Buildin Technologies, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

Pacheco-torgal, F., Ding, Y., Jalalit, S., (2012), *Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles) : An overview*, Construcion and Building Materials, V30, pp714-724

Provenzano, T. L., (2006), *Desenvolvimento de sistemas construtivo em painéis Pré-fabricados de argamassa e garrafas plásticas para habitação de interesse social*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

Santos, M., (2008), *Análise de resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassa*, Universidade Federal Santa Maria, Santa Maria, Brasil.

Santos, A., Scheer, S., Azuma, F., Marcos, M., (2007), *Gargalos para dissiminação da Coordenação Modular*, Coordenação Modular e Mutabilidade- Escola de Arquitetura UFMG, Brasil.

Soares, C. N., (2010), *Gestão de Resíduos de PET: avaliação do processo de reciclagem mecânica no contexto da política de ambiente Europeia*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, pp. 85

Bibliografia eletrónica

- [1] Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos, consultado em Outubro 2013, disponível em <http://www.recicla.ccb.ufsc.br/files/2011/04/L123052.pdf>,.

- [2] Significados, consultado em outubro 2013, disponível em <http://www.significados.com.br/reciclagem/>

- [3] Sociedade Ponto Verde, consultado em Outubro 2013, disponível em http://www.pontoverde.pt/como_funciona.php.

- [4] Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste - Statement by the Council, the Commission and the European Parliament, consultado em Outubro 2013, disponível em <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0012:EN:HTML>,

Anexos

Anexos A

Ensaio de corpo mole

Tabela A.1. Ensaio de corpo mole

Garrafa A [kN]	Garrafa A [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa B [kN]	Garrafa B [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa C [kN]	Garrafa C [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,02
0,063	0,002180836	0,16	0	0,063	0,002180836	0	0	0,063	0,002180836	0,27	0,02
0,063	0,002180836	0,19	0	0,063	0,002180836	0	0	0,063	0,002180836	0,33	0,02
0,063	0,002180836	0,21	0	0,126	0,004361673	0	0	0,126	0,004361673	0,38	0,02
0,063	0,002180836	0,24	0	0,1891	0,006545971	0	0	0,1891	0,006545971	0,44	0,02
0,126	0,004361673	0,24	0	0,1891	0,006545971	0	0	0,2521	0,008726807	0,48	0,02
0,126	0,004361673	0,24	0	0,2521	0,008726807	0	0	0,1891	0,006545971	0,53	0,02
0,1891	0,006545971	0,25	0	0,2521	0,008726807	0	0	0,3151	0,010907643	0,61	0,02
0,1891	0,006545971	0,25	0	0,3151	0,010907643	0	0	0,3151	0,010907643	0,73	0,02
0,1891	0,006545971	0,25	0	0,3781	0,01308848	0	0	0,3151	0,010907643	0,87	0,02
0,1891	0,006545971	0,25	0	0,3151	0,010907643	0	0	0,3151	0,010907643	1,02	0,02
0,2521	0,008726807	0,27	0	0,3781	0,01308848	0	0	0,3151	0,010907643	1,15	0,06
0,2521	0,008726807	0,29	0	0,3781	0,01308848	0	0	0,3151	0,010907643	1,28	0,22
0,2521	0,008726807	0,31	0	0,3781	0,01308848	0	0	0,3151	0,010907643	1,43	0,3
0,2521	0,008726807	0,36	0	0,3781	0,01308848	0	0	0,3781	0,01308848	1,58	0,31
0,3151	0,010907643	0,45	0	0,4412	0,015272778	0	0	0,3781	0,01308848	1,7	0,34
0,3151	0,010907643	0,54	0	0,4412	0,015272778	0	0	0,4412	0,015272778	1,77	0,34
0,3781	0,01308848	0,58	0	0,5042	0,017453614	0	0	0,4412	0,015272778	1,86	0,34
0,3781	0,01308848	0,71	0	0,5672	0,01963445	0	0	0,4412	0,015272778	1,96	0,34
0,3781	0,01308848	0,81	0	0,5672	0,01963445	0	0	0,4412	0,015272778	2,04	0,44
0,3781	0,01308848	0,94	0	0,5672	0,01963445	0	0	0,5042	0,017453614	2,14	0,5
0,3781	0,01308848	1,04	0	0,6302	0,021815287	0	0	0,5042	0,017453614	2,19	0,52
0,4412	0,015272778	1,12	0	0,6932	0,023996123	0	0	0,5672	0,01963445	2,29	0,62

Tabela A.1. Ensaio de corpo mole

Garrafa A [kN]	Garrafa A [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa B [kN]	Garrafa B [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa C [kN]	Garrafa C [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2
0,5042	0,017453614	1,21	0	0,7563	0,026180421	0,01	0	0,6302	0,021815287	2,36	0,74
0,5042	0,017453614	1,31	0	0,7563	0,026180421	0,04	0	0,6302	0,021815287	2,44	0,76
0,5042	0,017453614	1,42	0	0,8193	0,028361257	0,1	0	0,6932	0,023996123	2,51	0,76
0,5042	0,017453614	1,51	0	0,9453	0,03272293	0,18	0	0,7563	0,026180421	2,57	0,76
0,5672	0,01963445	1,58	0	1,0084	0,034907228	0,25	0	0,7563	0,026180421	2,67	0,76
0,6302	0,021815287	1,64	0	1,0714	0,037088064	0,34	0	0,8193	0,028361257	2,75	0,76
0,6932	0,023996123	1,68	0	1,1344	0,039268901	0,43	0	0,8823	0,030542094	2,85	0,76
0,6932	0,023996123	1,71	0	1,1974	0,041449737	0,53	0	0,9453	0,03272293	2,94	0,76
0,8193	0,028361257	1,78	0	1,3235	0,045814871	0,62	0	1,0084	0,034907228	3,04	0,76
0,8823	0,030542094	1,78	0	1,3865	0,047995708	0,72	0	1,0084	0,034907228	3,15	0,76
0,9453	0,03272293	1,83	0	1,5125	0,05235738	0,83	0	1,0084	0,034907228	3,26	0,72
1,0084	0,034907228	1,84	0	1,5756	0,054541678	0,95	0	1,1344	0,039268901	3,4	0,62
1,0714	0,037088064	1,89	0	1,7646	0,061084187	1,07	0	1,1974	0,041449737	3,52	0,62
1,1344	0,039268901	1,91	0	1,8277	0,063268485	1,19	0	1,2605	0,043634035	3,65	0,5
1,1974	0,041449737	1,94	0	1,8907	0,065449322	1,32	0	1,3235	0,045814871	3,8	0,5
1,2605	0,043634035	1,95	0	2,0167	0,069810994	1,42	0	1,4495	0,050176544	3,96	0,32
1,3865	0,047995708	1,98	0	2,2058	0,076356965	1,49	0	1,5125	0,05235738	4,14	0,32
1,4495	0,050176544	1,99	0	2,3318	0,080718637	1,54	0	1,6386	0,056722515	4,31	0,2
1,5756	0,054541678	2,02	0	2,4579	0,085083772	1,62	0	1,7016	0,058903351	4,46	0,08
1,6386	0,056722515	2,04	0,08	2,5209	0,087264608	1,7	0	1,7646	0,061084187	4,63	0,02
1,7646	0,061084187	2,06	0,18	2,71	0,093810579	1,79	0	1,8907	0,065449322	4,78	0,06
1,8277	0,063268485	2,08	0,26	2,899	0,100353088	1,86	0	2,0797	0,071991831	4,95	0,02

Tabela A.1. Ensaio de corpo mole

Garrafa A [kN]	Garrafa A [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa B [kN]	Garrafa B [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa C [kN]	Garrafa C [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2
4,4746	0,154894766	2,69	1,18	6,5543	0,226886597	2,75	0,64	5,1048	0,176710053	6,98	1,06
4,5376	0,157075602	2,71	1,18	6,7434	0,233432567	2,8	0,7	5,2309	0,181075187	7,02	1,06
4,6637	0,161440737	2,74	1,18	6,8695	0,237797701	2,83	0,8	5,4199	0,187617696	7,07	1,06
4,7897	0,165802409	2,77	1,18	7,0585	0,24434021	2,86	0,88	5,483	0,189801994	7,11	1,06
4,9158	0,170167544	2,88	1,18	7,2476	0,250886181	2,9	0,98	5,672	0,196344503	7,15	1,06
5,0418	0,174529216	2,83	1,18	7,3736	0,255247854	2,94	1,06	5,7981	0,200709637	7,2	1,06
5,1048	0,176710053	2,87	1,18	7,4997	0,259612988	2,98	1,14	5,9241	0,20507131	7,24	1,06
5,2309	0,181075187	2,9	1,18	7,6887	0,266155497	3,04	1,2	6,0502	0,209436444	7,27	1,06
5,3569	0,18543686	2,92	1,18	7,8148	0,270520631	3,07	1,22	6,2392	0,215978953	7,31	1,06
5,483	0,189801994	2,94	1,18	8,0039	0,277066602	3,12	1,24	6,3653	0,220344088	7,36	1,06
5,609	0,194163667	2,96	1,18	8,1929	0,283609111	3,16	1,32	6,5543	0,226886597	7,41	1,06
5,735	0,198525339	2,99	1,22	8,319	0,287974245	3,2	1,44	6,6174	0,229070894	7,44	1,06
5,8611	0,202890474	3,02	1,22	8,445	0,292335918	3,23	1,5	6,8064	0,235613403	7,47	1,06
5,9871	0,207252146	3,04	1,22	8,6341	0,298881889	3,27	1,58	6,9325	0,239978538	7,5	1,06
6,1132	0,211617281	3,06	1,22	8,8232	0,305427859	3,3	1,6	7,0585	0,24434021	7,54	1,06
6,3023	0,218163251	3,08	1,22	8,9492	0,309789532	3,36	1,6	7,1846	0,248705345	7,58	1,06
6,3653	0,220344088	3,11	1,22	9,0752	0,314151205	3,41	1,6	7,3736	0,255247854	7,62	1,06
6,5543	0,226886597	3,14	1,22	9,2643	0,320697175	3,45	1,6	7,4997	0,259612988	7,66	1,06
6,7434	0,233432567	3,17	1,22	9,3904	0,32506231	3,49	1,6	7,6257	0,263974661	7,7	1,06
6,8064	0,235613403	3,19	1,22	9,5794	0,331604819	3,53	1,6	7,7518	0,268339795	7,73	1,06
6,9325	0,239978538	3,22	1,22	9,7055	0,335969953	3,57	1,6	7,8778	0,272701468	7,77	1,07
7,1215	0,246521047	3,24	1,22	9,8315	0,340331626	3,62	1,64	8,1299	0,281428275	7,8	1,08
7,1846	0,248705345	3,27	1,22	9,9576	0,34469676	3,66	1,64	8,2559	0,285789947	7,83	1,08
7,3106	0,253067017	3,31	1,22	10,2096	0,353420105	3,71	1,64	8,382	0,290155082	7,86	1,09

Tabela A.1. Ensaio de corpo mole

Garrafa A [kN]	Garrafa A [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa B [kN]	Garrafa B [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa C [kN]	Garrafa C [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2
7,4997	0,259612988	3,33	1,22	10,3987	0,359966076	3,75	1,64	8,6341	0,298881889	7,9	1,1
7,6257	0,263974661	3,35	1,22	10,5878	0,366512047	3,81	1,64	8,7601	0,303243561	7,93	1,14
7,7518	0,268339795	3,38	1,22	10,7138	0,370873719	3,84	1,64	8,9492	0,309789532	7,97	1,64
7,9408	0,274882304	3,41	1,22	10,9029	0,37741969	3,89	1,64	9,0752	0,314151205	8	2,06
8,0669	0,279247438	3,43	1,22	11,092	0,38396566	3,94	1,64	9,2643	0,320697175	8,04	2,6
8,1929	0,283609111	3,45	1,22	11,281	0,390508169	3,99	1,64	9,3904	0,32506231	8,07	3,04
8,382	0,290155082	3,47	1,22	11,4701	0,39705414	4,03	1,64	9,6424	0,333785655	8,11	3,52
8,5711	0,296701052	3,5	1,22	11,5961	0,401415813	4,07	1,64	9,7685	0,338150789	8,15	3,98
8,6341	0,298881889	3,54	1,22	11,7852	0,407961783	4,11	1,64	9,8945	0,342512462	8,19	4,46
8,8232	0,305427859	3,58	1,22	12,0373	0,41668859	4,16	1,64	10,0836	0,349058433	8,22	4,92
9,0122	0,311970368	3,71	1,22	12,2264	0,423234561	4,2	1,64	10,2727	0,355604403	8,26	5,4
9,1383	0,316335503	3,79	1,22	12,4154	0,42977707	4,25	1,66	10,3987	0,359966076	8,29	5,82
9,2643	0,320697175	3,92	1,22	12,6045	0,436323041	4,28	1,66	10,6508	0,368692883	8,33	6,3
9,4534	0,327243146	3,99	1,22	12,7305	0,440684713	4,33	1,66	10,7768	0,373054556	8,36	6,8
9,5794	0,331604819	4,05	1,22	12,9826	0,44941152	4,38	1,66	10,9029	0,37741969	8,39	7,26
9,7685	0,338150789	3,89	1,22	13,1717	0,455957491	4,44	1,66	11,092	0,38396566	8,42	7,72
10,0206	0,346877596	4	1,22	13,2347	0,458138327	4,48	1,66	11,281	0,390508169	8,46	8,16
10,1466	0,351239269	4,12	1,22	13,4238	0,464684298	4,52	1,68	11,4701	0,39705414	8,49	8,62
10,2727	0,355604403	4,17	1,22	13,6129	0,471230269	4,57	1,68	11,5331	0,399234976	8,52	9,1
10,5248	0,36433121	4,19	1,22	13,865	0,479957076	4,62	1,68	11,7222	0,405780947	8,54	9,58
10,6508	0,368692883	4,12	1,22	13,991	0,484318748	4,65	1,68	11,9113	0,412326918	8,58	10,02
10,8399	0,375238854	4,2	1,22	14,1801	0,490864719	4,7	1,68	12,0373	0,41668859	8,61	10,44
11,0289	0,381781363	4,21	1,22	14,3061	0,495226392	4,74	1,68	12,2894	0,425415397	8,64	10,92

Tabela A.1. Ensaio de corpo mole

Garrafa A [kN]	Garrafa A [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa B [kN]	Garrafa B [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa C [kN]	Garrafa C [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2
11,281	0,390508169	4,28	1,22	14,4322	0,499591526	4,79	1,68	12,4154	0,42977707	8,67	11,38
11,4701	0,39705414	4,25	1,28	14,6842	0,508314871	4,83	1,68	12,5415	0,434142204	8,7	11,84
11,6592	0,403600111	4,32	1,28	14,8733	0,514860842	4,87	1,7	12,7305	0,440684713	8,72	12,3
11,7852	0,407961783	4,34	1,28	14,9363	0,517041678	4,91	1,7	12,9196	0,447230684	8,76	12,82
11,9743	0,414507754	4,34	1,28	15,0624	0,521406813	4,94	1,72	13,0457	0,451595818	8,8	13,24
12,2264	0,423234561	4,37	1,28	15,1884	0,525768485	4,98	1,72	13,2977	0,460319164	8,83	13,66
12,4785	0,431961368	4,43	1,28	15,1884	0,525768485	5,03	1,72	13,3608	0,462503462	8,85	14,1
12,6045	0,436323041	4,42	1,28	15,1884	0,525768485	5,08	1,74	13,5498	0,469045971	8,89	14,56
12,8566	0,445049848	4,44	1,28	15,2514	0,527949322	5,11	1,74	13,6759	0,473411105	8,9	14,92
13,1087	0,453776655	4,46	1,3	15,3145	0,530133619	5,15	1,74	13,8019	0,477772778	8,93	15,36
13,2347	0,458138327	4,47	1,28	15,5035	0,536676128	5,19	1,76	13,928	0,482137912	8,96	15,74
13,3608	0,462503462	4,48	1,3	15,6296	0,541041263	5,24	1,76	14,117	0,488680421	8,99	16,14
13,6129	0,471230269	4,49	1,36	15,7556	0,545402935	5,28	1,76	14,2431	0,493045555	9,03	16,52
13,8019	0,477772778	4,5	1,36	15,8817	0,54976807	5,33	1,78	14,4322	0,499591526	9,05	16,88
13,928	0,482137912	4,51	1,36	16,0707	0,556310579	5,38	1,78	14,5582	0,503953199	9,09	17,24
14,1801	0,490864719	4,54	1,36	16,0707	0,556310579	5,41	1,78	14,6842	0,508314871	9,13	17,64
14,3691	0,497407228	4,56	1,36	16,1968	0,560675713	5,45	1,8	14,8103	0,512680006	9,17	17,98
14,4952	0,501772362	4,58	1,36	16,4489	0,56940252	5,5	1,8	14,9994	0,519225976	9,2	18,34
14,7473	0,510499169	4,59	1,36	16,5119	0,571583356	5,54	1,8	15,1884	0,525768485	9,22	18,68
14,9363	0,517041678	4,61	1,36	16,764	0,580310163	5,59	1,82	15,3145	0,530133619	9,27	19,04
15,0624	0,521406813	4,62	1,36	16,827	0,582491	5,64	1,82	15,4405	0,534495292	9,3	19,4
15,2514	0,527949322	4,63	1,44	17,0791	0,591217807	5,67	1,84	15,5666	0,538860426	9,35	19,78
15,4405	0,534495292	4,63	1,44	17,2051	0,595579479	5,71	1,84	15,7556	0,545402935	9,39	20,18
15,5666	0,538860426	4,63	1,44	17,3312	0,599944614	5,75	1,84	15,8186	0,547583772	9,43	20,56

Tabela A.1. Ensaio de corpo mole

Garrafa A [kN]	Garrafa A [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa B [kN]	Garrafa B [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa C [kN]	Garrafa C [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2
15,7556	0,545402935	4,63	1,44	17,4572	0,604306286	5,8	1,86	16,0707	0,556310579	9,46	20,88
15,9447	0,551948906	4,65	1,44	17,6463	0,610852257	5,84	1,86	16,1968	0,560675713	9,5	21,3
16,0707	0,556310579	4,66	1,44	17,8984	0,619579064	5,87	1,86	16,3228	0,565037386	9,54	21,64
16,1968	0,560675713	4,68	1,44	17,9614	0,6217599	5,91	1,88	16,5119	0,571583356	9,58	22
16,4489	0,56940252	4,7	1,5	18,0875	0,626125035	5,95	1,88	16,6379	0,575945029	9,6	22,36
16,5749	0,573764193	4,73	1,62	18,2135	0,630486707	6	1,88	16,6379	0,575945029	9,64	22,76
16,6379	0,575945029	4,78	1,96	18,3395	0,63484838	6,04	1,9	16,764	0,580310163	9,68	23,1
16,2598	0,562856549	4,89	2,3	18,5286	0,641394351	6,09	1,9	16,89	0,584671836	9,72	23,48
16,4489	0,56940252	4,95	2,68	18,5916	0,643575187	6,15	1,92	16,827	0,582491	9,76	23,86
16,5119	0,571583356	5	3,06	18,6547	0,645759485	6,21	2,04	16,89	0,584671836	9,8	24,22
16,764	0,580310163	5,04	3,46	18,8437	0,652301994	6,28	2,38	16,9531	0,586856134	9,83	24,56
16,89	0,584671836	5,08	3,88	18,9698	0,656667128	6,34	2,72	16,827	0,582491	9,87	24,98
16,9531	0,586856134	5,11	4,34	19,1588	0,663209637	6,41	3,04	16,89	0,584671836	9,9	25,32
17,1421	0,593398643	5,16	4,74	19,2219	0,665393935	6,48	3,42	17,0161	0,58903697	9,93	25,74
17,3312	0,599944614	5,21	5,18	19,0328	0,658847965	6,58	3,84	16,9531	0,586856134	9,97	26,06
17,4572	0,604306286	5,24	5,64	18,9068	0,654486292	6,64	4,24	17,0161	0,58903697	10,03	26,48
17,6463	0,610852257	5,27	6,08	19,0328	0,658847965	6,71	4,64	17,2051	0,595579479	10,08	26,82
17,8354	0,617398228	5,29	6,52	19,1588	0,663209637	6,78	5,02	17,2682	0,597763777	10,12	27,22
17,9614	0,6217599	5,33	6,94	19,1588	0,663209637	6,81	5,42	17,3942	0,60212545	10,14	27,58
18,1505	0,628305871	5,37	7,36	19,3479	0,669755608	6,84	5,84	17,5833	0,608671421	10,19	27,94
18,2135	0,630486707	5,41	7,8	19,3479	0,669755608	6,9	6,24	17,5203	0,606490584	10,22	28,3
18,4026	0,637032678	5,43	8,14	19,3479	0,669755608	6,94	6,62	17,5203	0,606490584	10,27	28,72

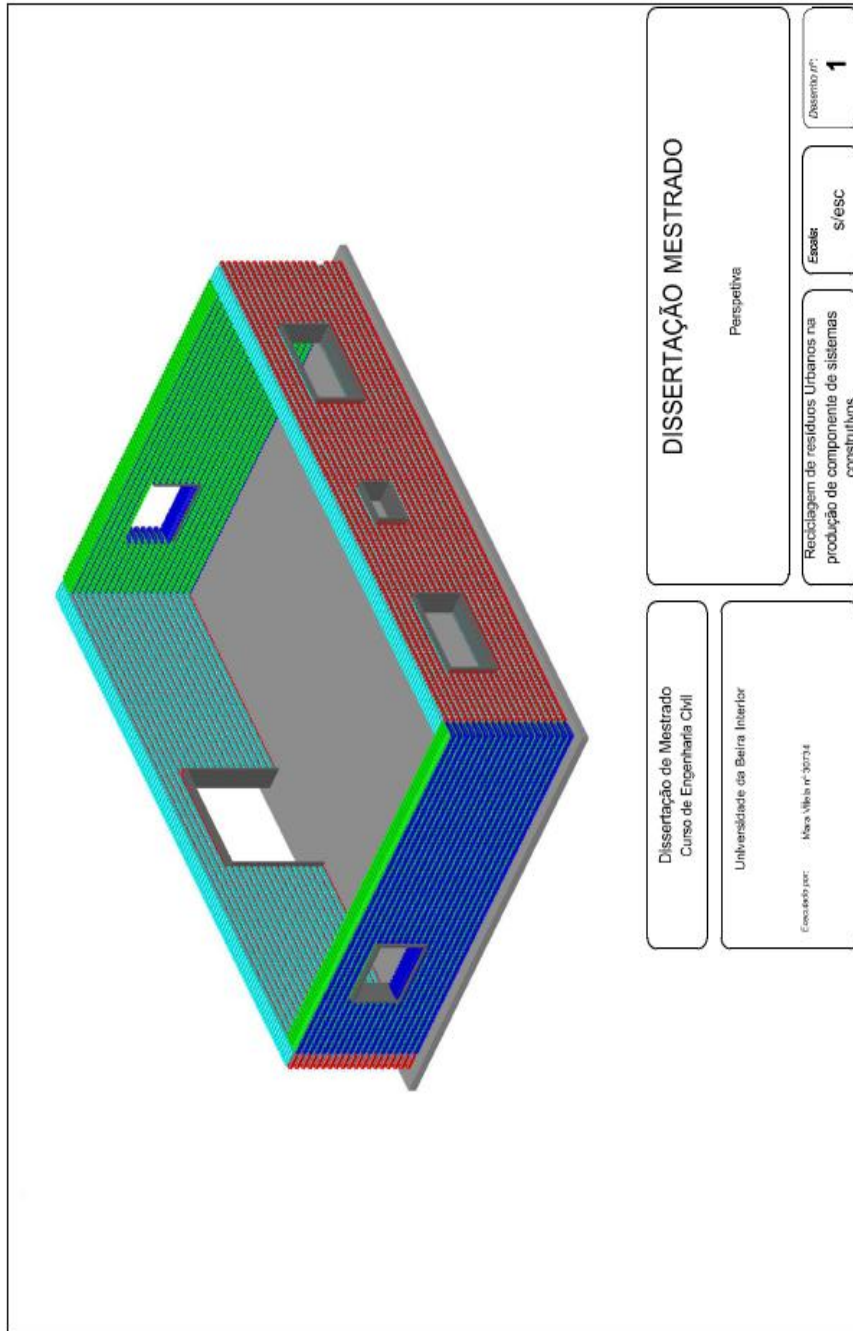
Tabela A.1. Ensaio de corpo mole

Garrafa A [kN]	Garrafa A [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa B [kN]	Garrafa B [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2	Garrafa C [kN]	Garrafa C [Mpa]	Deflectometro 1	Deflectometro 2
18,6547	0,645759485	5,48	8,62	19,3479	0,669755608	6,98	6,94	17,5833	0,608671421	10,3	29,04
18,7177	0,647940321	5,51	9,04	19,3479	0,669755608	7,01	7,32	17,5203	0,606490584	10,36	29,46
18,9068	0,654486292	5,54	9,4	19,3479	0,669755608	7,04	7,68	17,3942	0,60212545	10,41	29,78
19,0328	0,658847965	5,57	9,74	19,3479	0,669755608	7,05	8	17,3942	0,60212545	10,46	30,2
19,0958	0,661028801	5,63	10,16	19,3479	0,669755608	7,07	8,4	17,2682	0,597763777	10,52	30,56
19,1588	0,663209637	5,7	10,5	19,3479	0,669755608	7,08	8,74	17,3942	0,60212545	10,58	30,94
19,1588	0,663209637	5,76	10,92	19,3479	0,669755608	7,11	9,12	17,2682	0,597763777	10,62	31,32
19,3479	0,669755608	5,82	11,34	19,3479	0,669755608	7,13	9,5	17,1421	0,593398643	10,68	31,72
19,474	0,674120742	5,88	11,74	19,3479	0,669755608	7,16	9,86	17,2682	0,597763777	10,74	32,08
19,6	0,678482415	5,94	12,06	19,3479	0,669755608	7,18	10,18	17,3942	0,60212545	10,8	32,42
19,663	0,680663251	6	12,4	19,3479	0,669755608	7,21	10,54	17,5203	0,606490584	10,84	32,78
19,726	0,682844088	6,05	12,66	19,3479	0,669755608	7,24	10,88	17,5203	0,606490584	10,88	33,18
19,9151	0,689390058	6,11	12,96	19,3479	0,669755608	7,28	11,22	17,6463	0,610852257	10,93	33,52
20,0412	0,693755192	6,16	13,26	19,3479	0,669755608	7,32	11,5	17,6463	0,610852257	10,97	33,92
20,1042	0,695936029	6,22	13,56	19,3479	0,669755608	7,36	11,74	17,7093	0,613033093	11,03	34,24
20,1042	0,695936029	6,29	13,72	19,3479	0,669755608	7,4	12,02	17,6463	0,610852257	11,06	34,66
20,0412	0,693755192	6,29	13,8	19,3479	0,669755608	7,4	12,28	17,7723	0,61521393	11,11	35
20,0412	0,693755192	6,29	13,82	19,3479	0,669755608	7,4	12,46	17,8354	0,617398228	11,16	35,38

Anexos B

Peças de AutoCad

Anexo B.1. Perspetiva 1



DISSERTAÇÃO MESTRADO

Perspetiva

Reciclagem de resíduos Urbanos na produção de componentes de sistemas construídos

Escola: s/esc

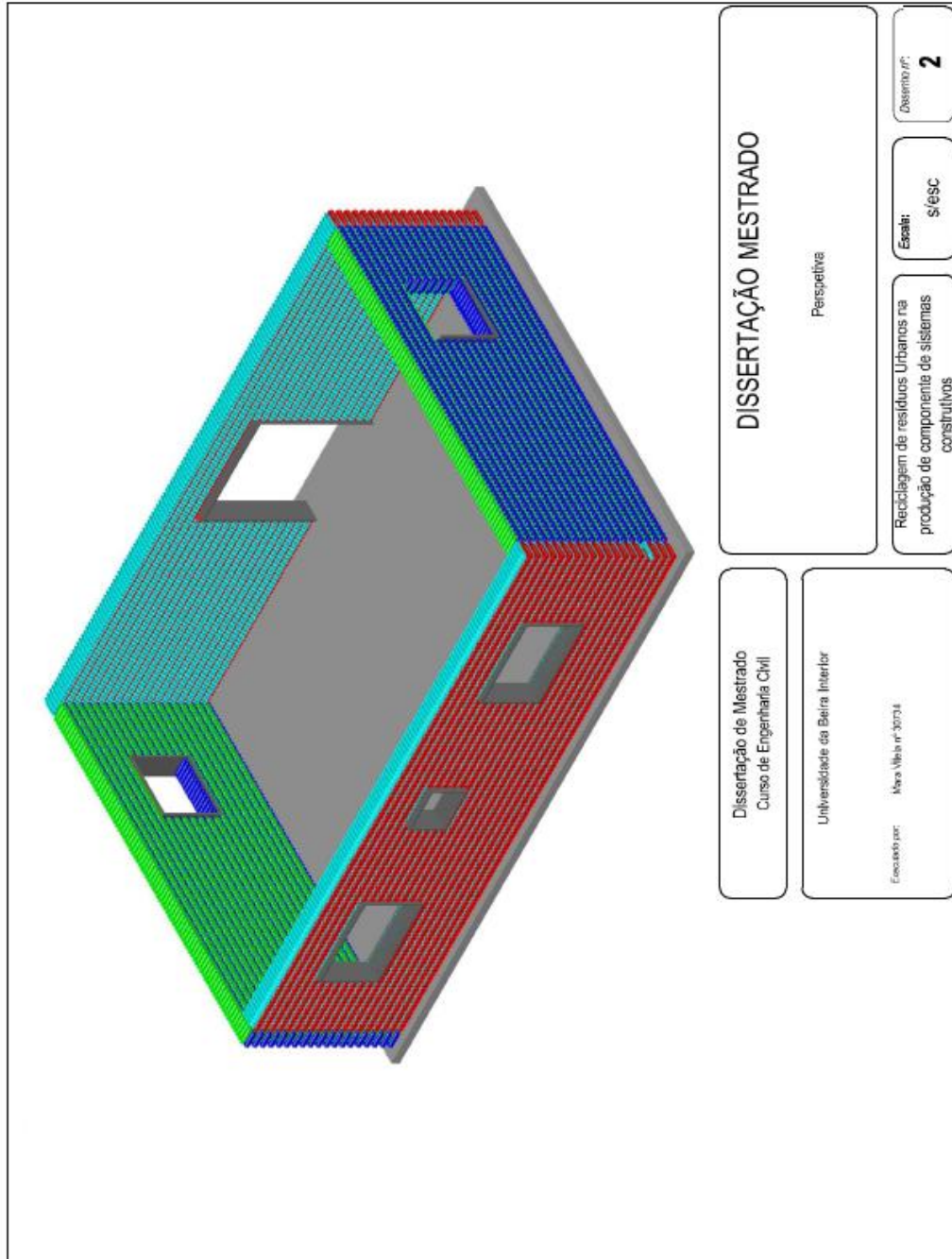
Dissertação nº: 1

Dissertação de Mestrado
Curso de Engenharia Civil

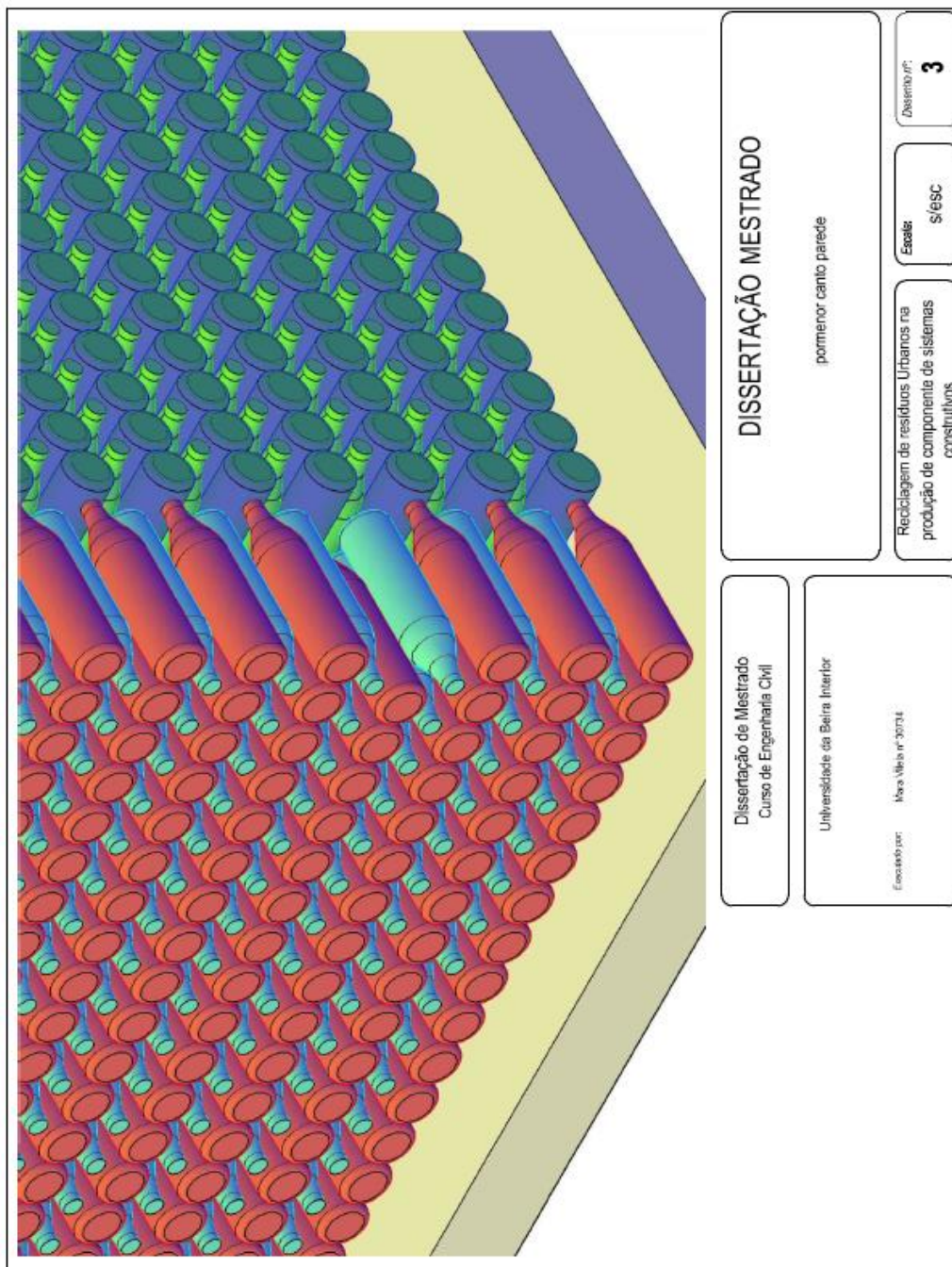
Universidade da Beira Interior

Executado por: Maria Vilela nº 30734

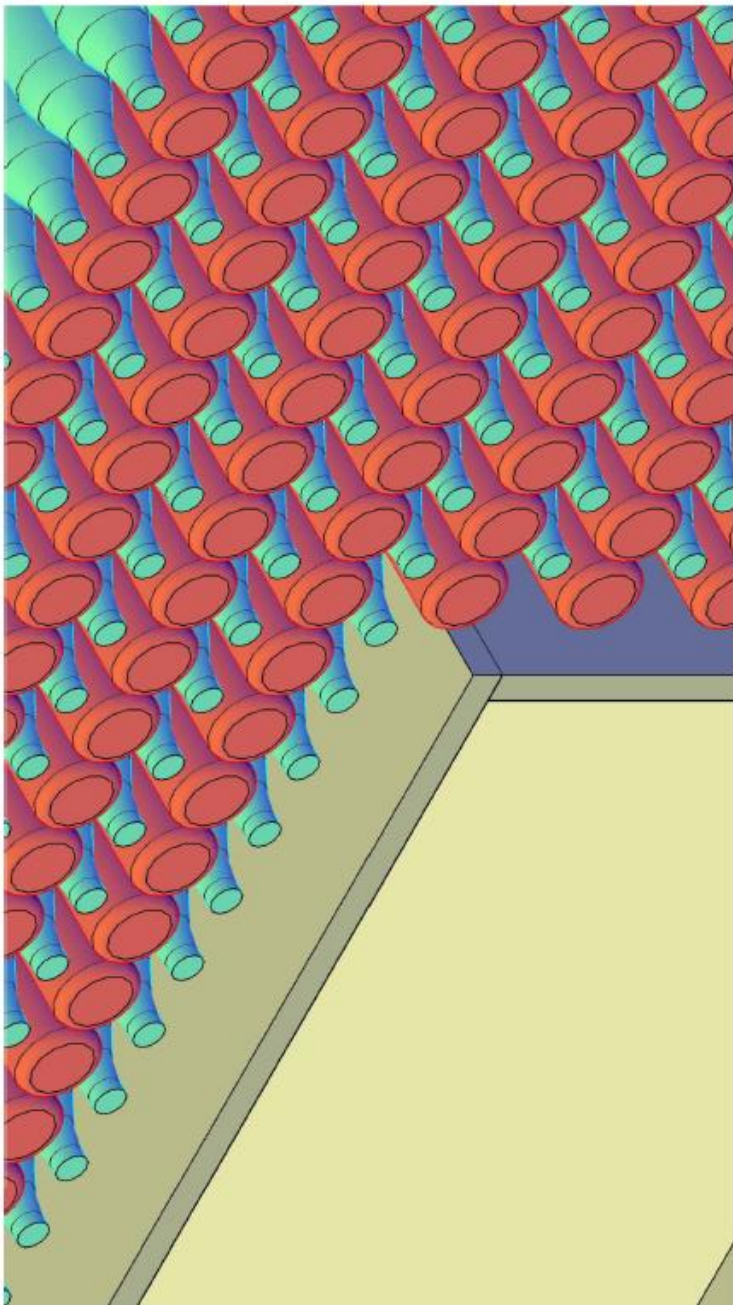
Anexo B.2. Perspetiva 2



Anexo B.3. Promenor canto da parede

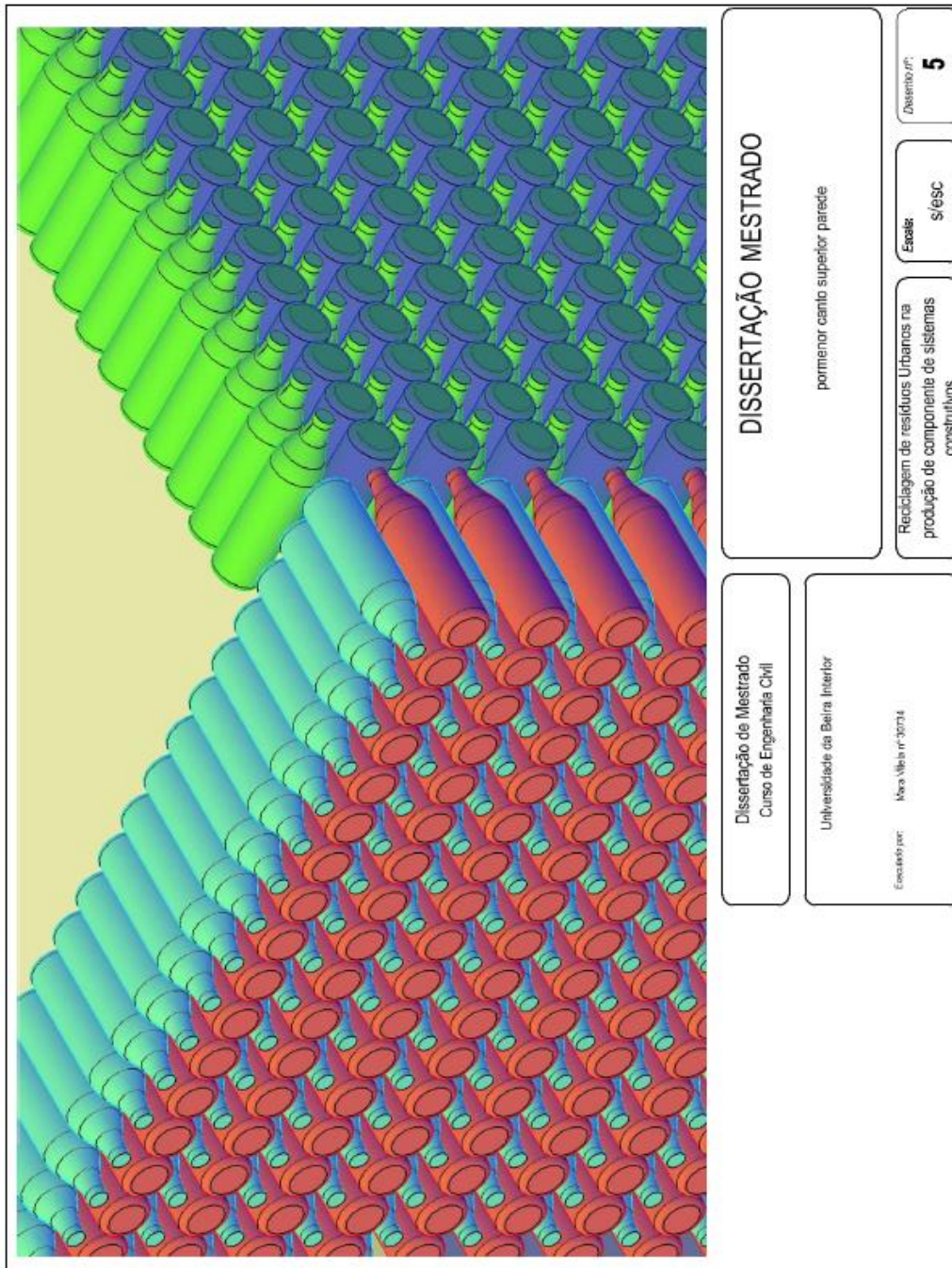


Anexo B.4. Promenor canto da janela

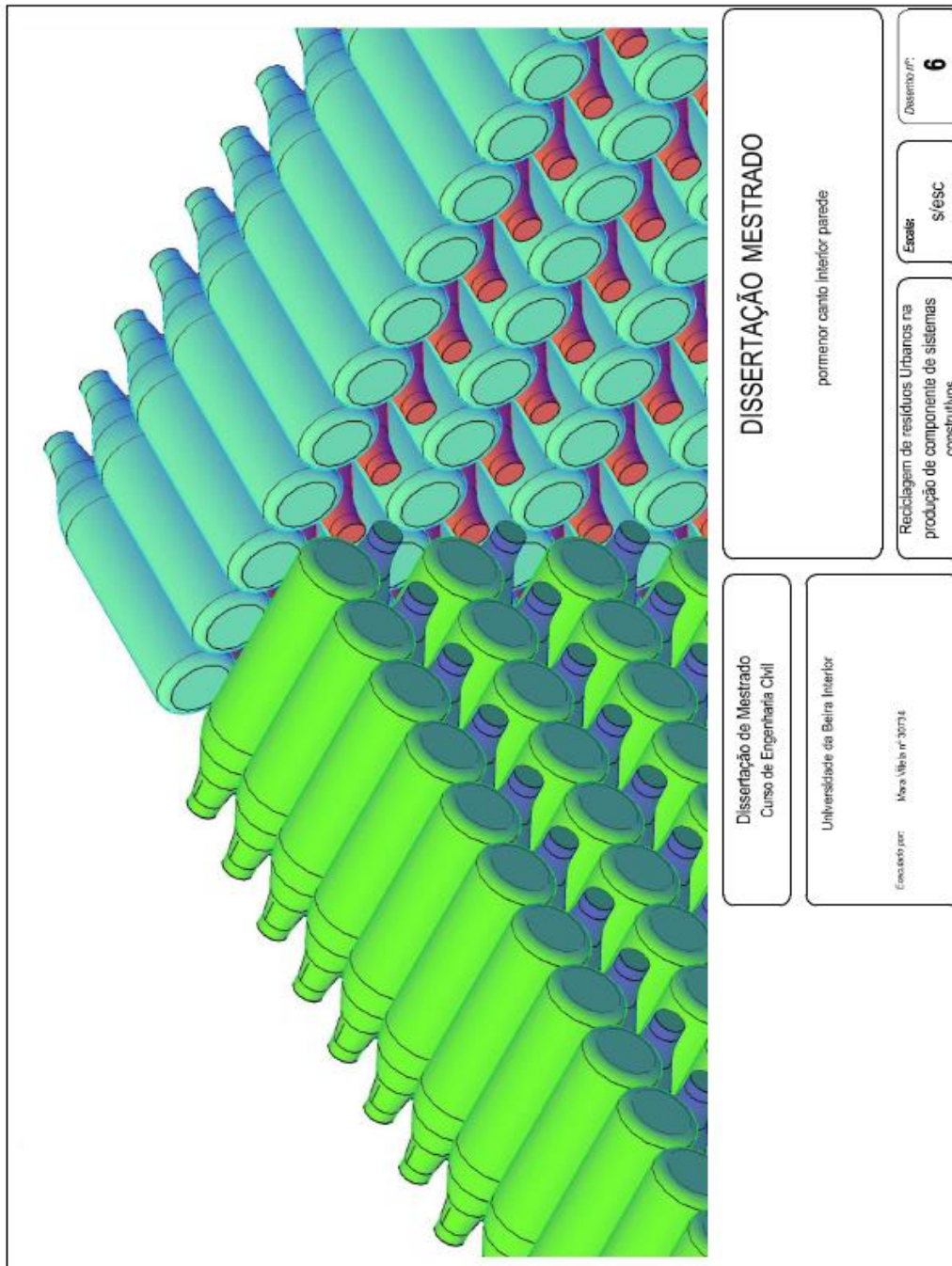


Dissertação de Mestrado Curso de Engenharia Civil	DISSERTAÇÃO MESTRADO promenor canto janela	Escalas: s/esc	Desenho nº: 4
Universidade da Beira Interior Elaborado por: Sara Mota nº 30714	Reciclagem de resíduos Urbanos na produção de componentes de sistemas construtivos		

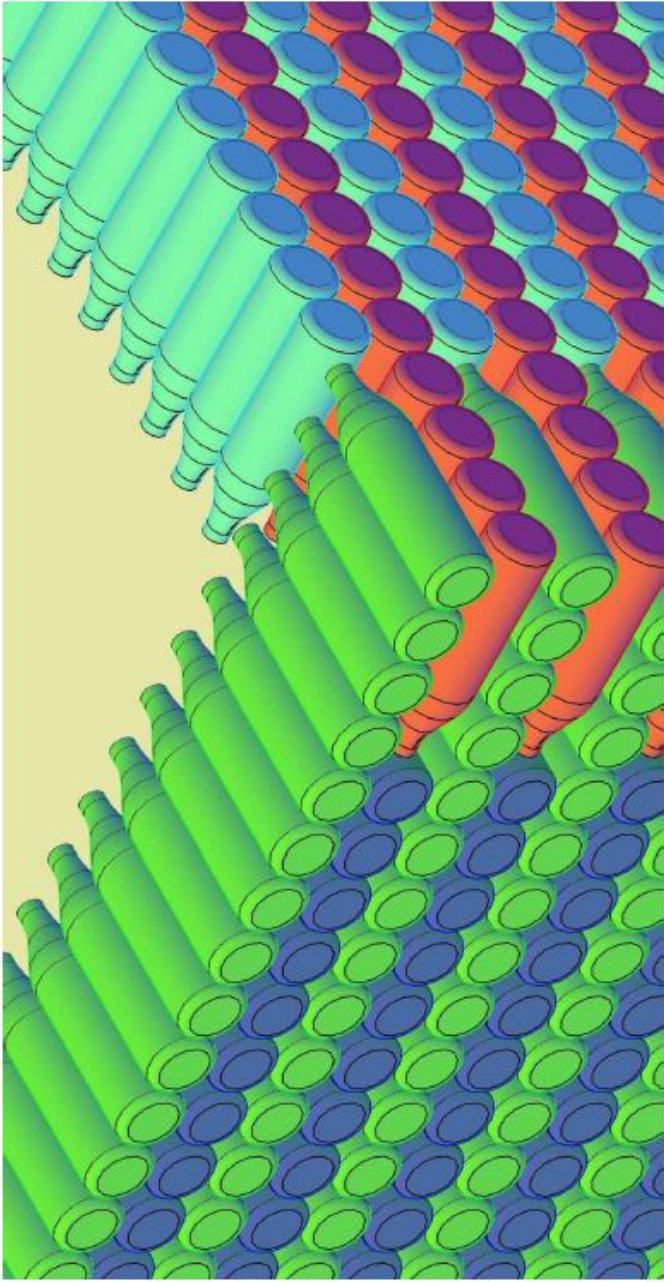
Anexo B.5. Promenor canto superior da parede



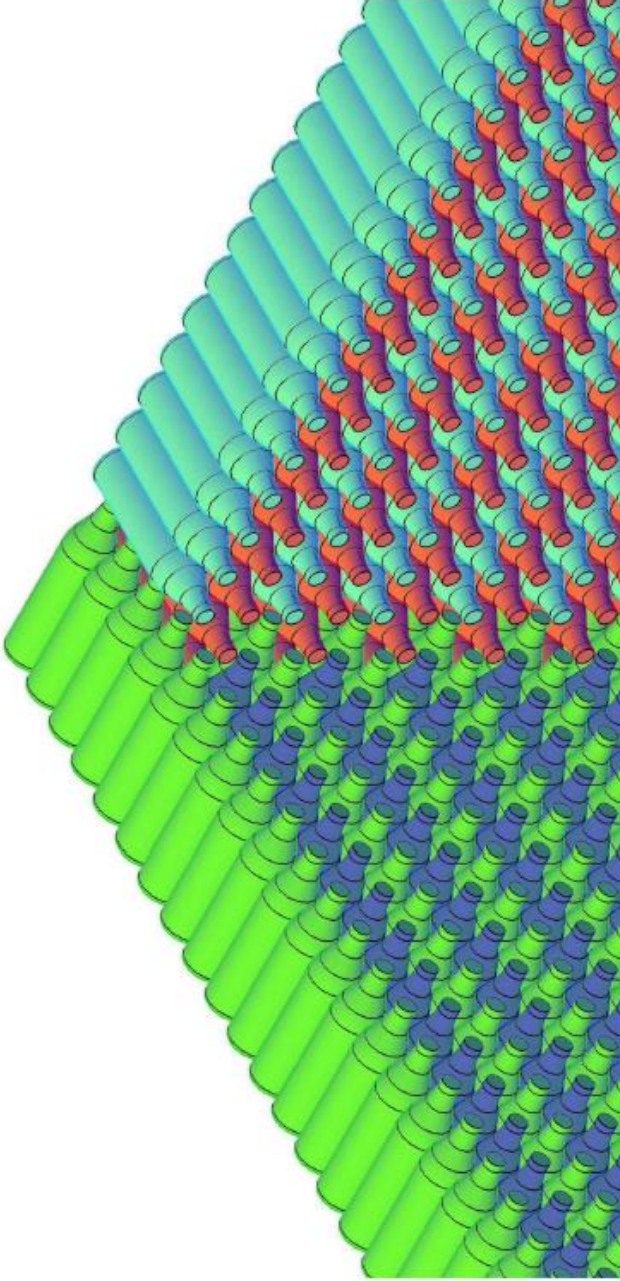
Anexo B.6. Promenor canto interior da parede da parede



Anexo B.7. Promenor de canto 1º hipótese não adotada

	DISSERTAÇÃO MESTRADO Promenor de canto 1ª hipótese sem resolução	Descrição nº: 7
	Reciclagem de resíduos Urbanos na produção de componente de sistemas construtivos	Escola: SIESC
Dissertação de Mestrado Curso de Engenharia Civil	Universidade de Beira Interior	Excecção nº: Mara Vilela nº 30714

Anexo B.8. Promenor de canto interior 1º hipótese não adotada



DISSERTAÇÃO MESTRADO

Promenor de canto interior 1ª hipótese sem resolução

Reciclagem de resíduos Urbanos na produção de componentes de sistemas construídos

Escala: 1/50

Desenho nº: 8

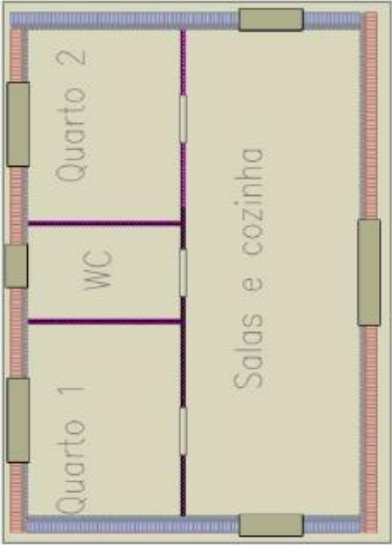
Universidade da Beira Interior

Curso de Engenharia Civil

Dissertação de Mestrado

Encadernado por: Maria Vilela nº 30714

Anexo B.9. Planta proposta 9



Quarto 1

WC

Quarto 2

Salas e cozinha

DISSERTAÇÃO MESTRADO

Planta proposta

Reciclagem de resíduos Urbanos na produção de componente de sistemas construídos

Escala: 1/100

Desenho nº: 9

Dissertação de Mestrado
Curso de Engenharia Civil

Universidade da Beira Interior

Exemplar nº: 30734

