

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**INDICADORES DE DESEMPENHO PARA BLOCOS DE  
CONCRETO: UMA ANÁLISE DE REQUISITOS MAIS  
SUSTENTÁVEIS PARA A PRODUÇÃO A PARTIR DE RCD**

**Morgane Bigolin**

Porto Alegre  
2013

MORGANE BIGOLIN

**INDICADORES DE DESEMPENHO PARA BLOCOS DE  
CONCRETO: UMA ANÁLISE DE REQUISITOS MAIS  
SUSTENTÁVEIS PARA A PRODUÇÃO A PARTIR DE RCD**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia.

Porto Alegre  
2013

**MORGANE BIGOLIN**

**INDICADORES DE DESEMPENHO PARA BLOCOS DE  
CONCRETO: UMA ANÁLISE DE REQUISITOS MAIS  
SUSTENTÁVEIS PARA A PRODUÇÃO A PARTIR DE RCD**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área da Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador, co-orientadora e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de Setembro de 2013.

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho  
PhD. pela University of Leeds / UK  
orientador

Prof.<sup>a</sup> Ângela de Moura Ferreira Danilevicz  
Dra. pela UFRGS / Br  
co-orientadora

Prof. Armando Miguel Awruch  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Márcia Elisa Soares Echeveste (UFRGS)  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. João Luiz Calmon Nogueira da Gama (UFES)  
Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

## CIP - Catalogação na Publicação

Bigolin, Morgane  
Indicadores de desempenho para blocos de concreto: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD / Morgane Bigolin. -- 2013.  
162 f.

Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.  
Coorientadora: Ângela de Moura Ferreira Danilevicz.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. Resíduos de Construção e Demolição. I. Pinto da Silva Filho, Luiz Carlos, orient. II. de Moura Ferreira Danilevicz, Ângela, coorient. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de uma forma ou de outra colaboraram para o desenvolvimento desta dissertação. São poucas linhas para fazer este agradecimento e espero não ser injusta e não esquecer ninguém. Porém, mesmo com poucas linhas não posso deixar de agradecer às pessoas que fizeram esta caminhada mais tranquila e prazerosa.

Agradeço ao Prof. Luiz Carlos, orientador deste trabalho, pela oportunidade oferecida, e por todo entusiasmo demonstrado com o universo da pesquisa quando era necessário um novo incentivo para continuar. Agradeço por ter aceitado orientar este trabalho e pelos conhecimentos repassados mesmo nas mais atribuladas horas.

Agradeço também à Prof.<sup>a</sup> Ângela Danilevicz, pela co-orientação na pesquisa, fundamental e indispensável para o trabalho. Agradeço pela dedicação, pelas conversas, conselhos e pelas frutíferas horas de trabalho dedicadas a pesquisa.

Agradeço ao Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais pela excelente acolhida e mentalidade multidisciplinar de todos ao entender as dificuldades de uma arquiteta em um laboratório da engenharia. Aproveito a todos que de uma forma ou de outra explicaram conceitos e fórmulas e auxiliaram em todos os momentos, em especial aos colegas Lucas e Josué, e às colegas Luiza, Fernanda e Débora. Aos auxiliares de pesquisa Gabriel, Suriane e Michael pela ajuda no laboratório. Agradeço também especialmente a Ângela, Lizandra e Luciane por toda ajuda e orientação desprendida. Agradeço aos demais colegas de laboratório pelas conversas, auxílios, caronas (obrigada por esperar-me até mais tarde Bruno, Luciane...), e pelas novas e inestimáveis amizades. Sei que não sou a primeira a dizer, mas agradeço a todos por fazerem deste ambiente mais que um laboratório, mas uma família, por me acolher e me fazer sentir como parte desta, nunca esquecerei.

Um agradecimento especial à equipe que tão prestativa e dedicada auxiliou no preenchimento das matrizes: Luciane, Ângela e Josué, meu sincero muito obrigada, este trabalho deve muito a vocês.

Agradeço a Christa e ao LACOR pelo auxílio no ensaio para identificar os teores de cloretos e sulfatos.

Agradeço a todos os membros da cooperativa CTSA, em especial ao Sérgio e a Luciane, pela acolhida e por todas as ajudas prestadas.

Agradeço a CAPES pelo auxílio que possibilitou a dedicação à pesquisa.

Aos professores do PPGEC e PPGEF pelos conhecimentos de altíssima qualidade transmitidos aos seus alunos. Em especial, a Prof.<sup>a</sup> Márcia que também ajudou muito no desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço ao meu amor Max, por estar sempre do meu lado em todos os momentos, apoiar minhas decisões e compreender todos os momentos de angústia e nervosismo. Tua presença em minha vida é fundamental e nestes mais de seis anos de convivência, sempre me entendeu e incentivou, nunca duvidando das minhas capacidades, meu muito obrigada.

Por fim, agradeço a minha família que sempre apoiou e incentivou a busca pelo conhecimento e aperfeiçoamento. Meu amigo e irmão, Marcio, pelas conversas e revisões de textos, tua empolgação com a pesquisa foi o que sempre me incentivou. Obrigada, pai e mãe, por sempre apoiar nas difíceis decisões e continuar incentivando mesmo sem entender nada do meu trabalho. Vocês são e sempre serão meu exemplo de dignidade e bondade. Este trabalho é para vocês.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.

*Albert Einstein*

## RESUMO

BIGOLIN, M. Indicadores de desempenho para blocos de concreto: uma análise de requisitos mais sustentáveis para a produção a partir de RCD. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Diferentes setores produtivos, nacionais e internacionais, mantêm em sua pauta estratégica as questões ambientais. A cadeia da construção civil, consciente dos impactos gerados ao meio ambiente, busca alternativas mitigatórias tanto em processos quanto em insumos. Entre essas alternativas encontra-se a reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) dentro da própria cadeia produtiva. No Brasil, esse tipo de reciclagem ainda é insipiente e pouco difundido. Um dos fatores que pode ocasionar este cenário está associado à falta de confiabilidade e à grande variabilidade dos agregados reciclados oriundos de RCD, o que reflete diretamente nas características finais dos produtos desenvolvidos a partir deste material. Porém, existem iniciativas que visam o uso destes enquanto agregados reciclados para a produção de artefatos de concreto, como é o caso da cooperativa Centro de Transformação Sócio Ambiental (CTSA), em Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de propor um conjunto de características a ser monitorado de maneira a se produzir Bloco de Concreto de Vedação (BCV) a partir de RCD, no ambiente produtivo da CTSA, aliado à sua vocação de preservação ambiental. Para atingir este objetivo foram seguidos dois vieses. O primeiro investigando as características almejadas para o produto BCV, através do método de desdobramento da função qualidade, ou *quality function deployment* (QFD), que transforma as demandas dos clientes em características de qualidade do produto. Porém, estas demandas foram ampliadas buscando assim, além da voz dos clientes, os requisitos ambientais e os normativos para o produto, priorizando as características que devem ser controladas pela cooperativa para obter a qualidade do produto final. O segundo viés está associado às características apresentadas pelos agregados reciclados de RCD produzidos pela cooperativa e utilizados como matéria-prima dos BCVs. Através de ensaios de granulometria, absorção de água, teor de material pulverulento, e teor de contaminantes (cloretos, sulfatos, materiais não minerais e torrões de argila e materiais friáveis) comparando esses resultados com as especificações da norma NBR 15.116 (ABNT, 2004), que define limites aceitáveis para a utilização deste material em concretos não estruturais. As conclusões do primeiro viés são que, de uma maneira geral, as demandas dos consumidores vão ao encontro das demandas normativas, mas que para responder aos requisitos ambientais são necessários alguns ajustes nas especificações para a obtenção de uma listagem que absorvesse requisitos das três demandas (cliente, ambiental e normativa). No segundo viés, verificou-se que os agregados analisados apresentaram bom comportamento quando comparados às especificações da norma, indicando que o processo hoje estabelecido pela cooperativa para tratamento e estoque dos RCDs assegura a viabilidade do uso do mesmo na confecção dos BCVs.

**Palavras-chaves:** sustentabilidade ambiental; resíduos de construção e demolição (RCD); blocos de concreto de vedação (BCV); requisitos de produto; indicadores de desempenho.

## ABSTRACT

BIGOLIN, M. Performance indicators for concrete blocks: an analysis of more sustainable requirements for production from CDW. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Different productive sectors, in both national and international spheres, maintain in their agenda strategic environmental issues. The construction's chain, aware of the impacts to the environment, searches for alternatives for both the mitigation processes and raw materials. One of these alternatives is the recycling of Construction and Demolition Waste (CDW) within the supply chain. In Brazil, this type of recycling is still incipient and not widespread. One of the factors that lead to this scenario is associated to the lack of reliability and the wide variety of recycled aggregates derived from CDW, which directly affects the final characteristics of the products developed from this material. However, there are many initiatives to use CDW as recycled aggregates for the production of concrete artifacts, such as the cooperative Centro de Transformação Sócio Ambiental (*Social Environmental Transformation Center* – CTSA), in Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Therefore, the objective of this work is to propose a set of features to be monitored in order to produce Concrete Block for Sealing (CBS) from CDW, in the productive system of CTSA, complying with its vocation of environmental preservation. To achieve this objective this work focuses on two biases. The first is related to investigating the characteristics for the CBS product, through the Quality Function Deployment (QFD) method, which transforms the demands of customers in quality features of the product. However, these demands were expanded aiming, apart from the voice of customers, environmental and regulatory requirements for the product, to prioritizing features to be controlled by the cooperative to get the final product quality. The second bias is associated with the characteristics presented by CDW recycled aggregate produced by the cooperative and used as raw material for CBSs. This was carried out through experimental testings, such as particle size, water absorption, powdery material content and contaminant content (chlorides, sulphates, non-mineral materials and clay lumps and friable materials). These results were compared with the NBR 15.116 (ABNT, 2004) specifications, which defines acceptable limits of CDW for use in non-structural concrete. The general conclusions for the first bias is that the consumer demands will meet the normative demands, but to respond to environmental requirements some adjustments in the specifications are required to obtain a list of requirements that absorb the three demands (customer, environmental and regulatory). For the second bias, it was found that the analyzed aggregated presented good behavior regarding the standard specifications, indicating that the process established by the cooperative for the treatment and storage of CDW ensure the feasibility of its use in the manufacture of CBSs.

**Key-words:** environmental sustainability, construction and demolition waste (CDW); concrete block seal (CBS); product requirements; performance indicators.

# SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>18</b> |
| 1.1      | CONTEXTO.....   | 18        |
| 1.2      | PROBLEMA DE PESQUISA.....   | 21        |
| 1.3      | QUESTÕES DE PESQUISA.....   | 24        |
| 1.4      | OBJETIVOS.....  | 24        |
| 1.5      | DELIMITAÇÕES.....   | 25        |
| 1.6      | ESTRUTURA DO TRABALHO.....  | 25        |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>   | <b>28</b> |
| 2.1      | SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....   | 28        |
| 2.1.1    | Conceituação de sustentabilidade.....                                       | 29        |
| 2.1.2    | Sustentabilidade ambiental em produto e processo.....                       | 30        |
| 2.1.3    | Sustentabilidade ambiental na construção civil e o problema do RCD.....     | 32        |
| 2.1.4    | Métodos de avaliação da sustentabilidade ambiental na construção civil..... | 37        |
| 2.2      | RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: REVISÃO SISTEMÁTICA.....                | 39        |
| 2.2.1    | Métodos e protocolo de pesquisa.....  | 40        |
| 2.2.2    | Fontes de dados e palavras-chaves.....                                      | 40        |
| 2.2.3    | Critérios de inclusão e exclusão.....                                       | 42        |
| 2.2.4    | Seleção dos estudos.....  | 42        |
| 2.2.5    | Características dos estudos.....  | 43        |
| 2.2.6    | Análise dos estudos encontrados.....  | 44        |
| 2.3      | VIABILIDADE DO USO DE RCD EM ARTEFATOS DE CONCRETO.....                     | 51        |
| 2.3.1    | Recomendações normativas para blocos de concreto.....                       | 54        |
| 2.3.2    | Recomendações normativas para uso do RCD.....                               | 56        |
| 2.4      | MODELOS CONCEITUAIS DE QFD PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....            | 62        |
| <b>3</b> | <b>MÉTODO DE PESQUISA.....</b>  | <b>67</b> |
| 3.1      | CASO DE ESTUDO: A COOPERATIVA CTSA.....                                     | 68        |
| 3.2      | CONSTRUÇÃO DO MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DOS REQUISITOS.....                   | 73        |
| 3.2.1    | Modelo Conceitual Utilizado.....  | 74        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.2.2    | Levantamento dos requisitos do cliente .....                  | 76         |
| 3.2.3    | Levantamento dos requisitos ambientais .....                  | 79         |
| 3.2.4    | Levantamento dos requisitos normativos.....                   | 81         |
| 3.3      | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA VALIDAÇÃO DA QUALIDADE DO RCD. | 82         |
| 3.3.1    | Especificação para o uso de RCD .....                         | 83         |
| 3.3.2    | Obtenção do material .....                                    | 83         |
| 3.3.3    | Análise granulométrica .....                                  | 88         |
| 3.3.4    | Teor de material fino que passa na peneira de 75 µm.....      | 88         |
| 3.3.5    | Absorção de água.....   | 90         |
| 3.3.6    | Contaminantes: cloretos e sulfatos.....                       | 91         |
| 3.3.7    | Contaminantes: materiais não minerais .....                   | 92         |
| 3.3.8    | Contaminantes: argila em torrões e materiais friáveis .....   | 93         |
| <b>4</b> | <b>APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>       | <b>95</b>  |
| 4.1      | APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DOS REQUISITOS.....      | 95         |
| 4.1.1    | Matriz do Cliente .....                                       | 95         |
| 4.1.2    | Matriz do Ambiente .....                                      | 104        |
| 4.1.3    | Matriz das Normas.....  | 108        |
| 4.1.4    | Características monitoradas .....                             | 111        |
| 4.1.5    | Matriz das correlações .....                                  | 114        |
| 4.2      | ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS AGREGADOS DE RCD.....  | 115        |
| 4.2.1    | Análise granulométrica .....                                  | 116        |
| 4.2.2    | Teor de material fino que passa na peneira de 75 µm.....      | 119        |
| 4.2.3    | Absorção de água.....   | 121        |
| 4.2.4    | Contaminantes: cloretos e sulfatos.....                       | 123        |
| 4.2.5    | Contaminantes: materiais não minerais .....                   | 124        |
| 4.2.6    | Contaminantes: argila em torrões e materiais friáveis .....   | 126        |
| 4.3      | ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE OS REQUISITOS .....                | 128        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                             | <b>132</b> |
| 5.1      | CONCLUSÕES .....  | 132        |
| 5.2      | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                        | 135        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>137</b> |
| <b>APÊNDICE A – TABELA RESUMO REVISÃO SISTEMÁTICA.....</b>                        | <b>148</b> |
| <b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA PESQUISA QUALITATIVA .....</b>          | <b>153</b> |
| <b>APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO APLICADO PESQUISA QUANTITATIVA .....</b>             | <b>154</b> |
| <b>APÊNDICE D – MATRIZ DA QUALIDADE.....</b>                                      | <b>157</b> |
| <b>APÊNDICE E – ESPECIFICAÇÕES META PARA AS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE.....</b> | <b>159</b> |
| <b>APÊNDICE F – MATRIZ DAS CORRELAÇÕES.....</b>                                   | <b>161</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Estrutura da pesquisa .....   | 27 |
| Figura 2: Visão do meio ambiente como chave no desenvolvimento de produtos .....    | 31 |
| Figura 3: Composição média do RCD.....  | 34 |
| Figura 4: Hierarquia no conceito de gestão de resíduos.....                         | 36 |
| Figura 5: Ciclo na reciclagem do RCD .....  | 37 |
| Figura 6: Matriz resumida dos imperativos do selo LBC.....                          | 39 |
| Figura 7: Combinações das palavras-chaves para busca.....                           | 41 |
| Figura 8: Distribuição dos artigos pelo ano de publicação.....                      | 43 |
| Figura 9: Dimensões nos blocos de concreto .....                                    | 55 |
| Figura 10: Quadro com a classificação, definição e destinação dos RCDs.....         | 57 |
| Figura 11: Quadro com alterações da Resolução CONAMA, 307.....                      | 57 |
| Figura 12: Metodologias para sustentabilidade na manufatura.....                    | 64 |
| Figura 13: Exemplo de inter-relação entre demandas do consumidor e ambientais ..... | 66 |
| Figura 14: Localização e fachada da cooperativa CTSA .....                          | 68 |
| Figura 15: Equipamentos utilizados na cooperativa na CTSA.....                      | 69 |
| Figura 16: Esquema de desenvolvimento da pesquisa .....                             | 73 |
| Figura 17: Desenho esquemático dos sinônimos utilizados .....                       | 74 |
| Figura 18: Diagrama do modelo conceitual .....                                      | 75 |
| Figura 19: Árvore da qualidade demandada do cliente .....                           | 78 |
| Figura 20: Critérios de sustentabilidade ambiental .....                            | 80 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 21: Árvore da qualidade demandada do ambiente .....                                  | 81  |
| Figura 22: Árvore da qualidade demandada das normas.....                                    | 82  |
| Figura 23: Estoques da cooperativa CTSA .....   | 84  |
| Figura 24: Granulometrias do agregado utilizado pela cooperativa CTSA.....                  | 85  |
| Figura 25: Quadro com a descrição das amostras .....  | 87  |
| Figura 26: Equipamentos utilizados para determinação granulométrica.....                    | 88  |
| Figura 27: Ensaio para determinação de materiais finos.....                                 | 89  |
| Figura 28: Ensaio de absorção de água .....   | 90  |
| Figura 29: Cromatógrafo iônico utilizado no laboratório.....                                | 91  |
| Figura 30: Ensaio para determinação de materiais não minerais .....                         | 92  |
| Figura 31: Desenho esquemático da separação por líquidos densos.....                        | 93  |
| Figura 32: Ensaio para determinação de teor de argila em torrões e materiais friáveis ..... | 94  |
| Figura 33: Priorização da qualidade demandada dos clientes .....                            | 98  |
| Figura 34: Desdobramento das características de qualidade dos requisitos do cliente .....   | 99  |
| Figura 35: Matriz do cliente .....  | 100 |
| Figura 36: Priorização das características de qualidade da matriz do cliente .....          | 102 |
| Figura 37: Gráfico de Pareto da matriz do cliente.....                                      | 103 |
| Figura 38: Priorização da qualidade demanda do ambiente .....                               | 104 |
| Figura 39: Desdobramento das características de qualidade da matriz do ambiente .....       | 105 |
| Figura 40: Matriz do ambiente .....   | 106 |
| Figura 41: Priorização das características de qualidade da matriz do ambiente .....         | 107 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 42: Gráfico de Pareto da matriz do ambiente.....                             | 108 |
| Figura 43: Desdobramento das características de qualidade da matriz das normas..... | 109 |
| Figura 44: Matriz das normas.....   | 110 |
| Figura 45: Gráfico de Pareto da matriz das normas .....                             | 111 |
| Figura 46: Gráfico de Pareto da Matriz da Qualidade.....                            | 113 |
| Figura 47: Escala da matriz das correlações.....                                    | 114 |
| Figura 48: Gráfico da composição granulométrica do agregado miúdo .....             | 117 |
| Figura 49: Gráfico da composição granulométrica do agregado graúdo.....             | 118 |
| Figura 50: Gráfico do teor de material fino dos agregados miúdos .....              | 120 |
| Figura 51: Gráfico do teor de material fino dos agregados graúdos .....             | 121 |
| Figura 52: Gráfico da absorção de água .....  | 122 |
| Figura 53: Gráfico dos teores de materiais não minerais .....                       | 125 |
| Figura 54: Materiais não minerais encontrados.....                                  | 126 |
| Figura 55: Gráfico dos teores de torrões de argila.....                             | 127 |
| Figura 56: Matriz das relações.....   | 129 |
| Figura 57: Gráfico de Pareto das características dos RCDs .....                     | 130 |
| Figura 58: Indicadores de desempenho .....  | 131 |

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 1: Distribuição de artigos por resíduos investigados .....                                    | 44  |
| Tabela 2: Resistência à compressão, absorção e retração. ....  | 54  |
| Tabela 3: Especificações de agregados de RCD conforme normas .....                                   | 61  |
| Tabela 4: Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a concreto sem função estrutural ..... | 83  |
| Tabela 5: Composição granulométrica dos agregados miúdos .....                                       | 116 |
| Tabela 6: Composição granulométrica dos agregados graúdos.....                                       | 117 |
| Tabela 7: Teor de material fino dos agregados miúdos.....  | 119 |
| Tabela 8: Teor de material fino dos agregados graúdos.....   | 120 |
| Tabela 9: Absorção de água.....  | 122 |
| Tabela 10: Teor de cloretos .....  | 123 |
| Tabela 11: Teor de sulfatos .....  | 124 |
| Tabela 12: Teor de materiais não minerais.....   | 125 |
| Tabela 13: Teor de torrões de argila.....  | 126 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACI: *American Concrete Institute*
- ARC: Agregado de Resíduo de Concreto
- ARM: Agregado de Resíduo Misto
- ASTM: *American Society for Testing and Materials*
- BCV: Bloco de Concreto de Vedação
- CTSA: Centro de Transformação Sócio Ambiental
- CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DIN: *Deutsches Institut für Normung* (Alemanha)
- DMLU: Departamento Municipal de Limpeza Urbana
- ECQFD: *Environmental conscious quality function deployment*
- FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos
- HIS: Habitação de Interesse Social
- LACOR: Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais
- LBC: *Living Building Challenge*
- LC-QFD: Desdobramento da função qualidade para o ciclo de vida do produto (do inglês *Life-cycle quality function deployment*)
- LEED: *Leadership in Energy and Environmental Design*
- LEME: Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais
- NBR: Norma brasileira
- ONG: Organização não governamental
- ONU: Organização das Nações Unidas
- P+L: Produção mais limpa
- QFD: Desdobramento da Função Qualidade (do inglês *quality function deployment*)
- RCD: Resíduo de Construção e Demolição
- RILEM: *Journal of Materials and Structures*
- SINDUSCON: Sindicato da Indústria da Construção Civil
- TS: Tecnologia Social
- UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- VOC: Voz do cliente (do inglês *Voice of customer*)
- VOE: Voz do meio ambiente (do inglês *Voice of environment*)
- VOR: Voz da regulamentação (do inglês *Voice of regulations*)

WCED: *World Commission on Environment and Development*

ID<sub>i</sub>\*: Índice de importância da qualidade demandada corrigido

ID<sub>i</sub>: Índice de importância da qualidade demandada

M<sub>i</sub>: Avaliação competitiva dos itens da qualidade demandada

E<sub>i</sub>: Avaliação estratégica dos itens da qualidade demandada

IQ<sub>j</sub>: Importância das características de qualidade

IQ<sub>j</sub>\*: Importância das características de qualidade corrigida

D<sub>j</sub>: Dificuldade de atuação dos itens de característica de qualidade

B<sub>j</sub>: Análise competitiva dos itens de característica de qualidade

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório é exposto o escopo desta dissertação. É apresentado o contexto no qual se insere esta pesquisa, as questões que este problema gerou, além dos objetivos que deverão ser alcançados, bem como as delimitações e estrutura do trabalho.

## 1.1 CONTEXTO

Existe uma crescente preocupação com redução do impacto ambiental. Muitas empresas buscam soluções que não agridam o meio ambiente, empregando menor consumo de recursos naturais e energia para produção, além de menor geração de resíduos na produção. As empresas trabalham em pesquisas para desenvolver produtos que sejam biodegradáveis, recicláveis ou que possam ser aproveitados de outra forma após o seu uso. Existem alternativas para aumento da eficiência dos produtos ou até mesmo a incorporação de resíduos da própria indústria ou de outras nos produtos desenvolvidos.

Dentro deste contexto, encontra-se a cadeia da construção civil, que tem um tamanho gigantesco e sua função tem relação com proporcionar um ambiente construído para o homem. Com maior ou menor sofisticação, todas as atividades humanas necessitam de um ambiente construído adequado, que podem ser edifícios, conexões viárias, hidráulicas, elétricas, que são todos também produtos da construção civil (JOHN, 2000).

O elevado consumo de recursos naturais é umas das maiores preocupações do setor, que devido à dimensão dos seus produtos é também dos maiores consumidores de recursos naturais de qualquer economia. Em termos de consumo, a construção civil é responsável por: 50% do consumo de recursos da natureza, 40% do consumo total de energia e produz 50% do total de resíduos (OIKONOMOU, 2005). A utilização de agregados naturais é ampla e cresce de acordo com o consumo de concreto. São três bilhões de toneladas de agregados produzidos em países europeus a cada ano, situação que fez com que vários países impusessem taxas para o uso de agregado natural (MARINKOVIC *et al.*, 2010). No Brasil segundo dados da

ANEPAC<sup>1</sup>, foram consumidos em 2012, mais de 600 milhões de toneladas de agregados naturais, o que equivale a 3,5 t/hab.

O setor é também grande gerador de resíduos a serem dispostos no meio ambiente. A produção pela indústria da construção civil japonesa, por exemplo, chega a 75 milhões de toneladas por ano, isso corresponde a 19% do volume total de resíduos industriais produzidos (EGUCHI *et al.*, 2007). Na China é estimada a produção de 200 milhões de toneladas de resíduos de concreto anualmente (XIAO *et al.*, 2012) e somente em Hong Kong cada ano, é gerado 20 milhões de toneladas anuais (KOU; POON; WAN, 2012).

No Brasil, devido a informalidade do setor e das inúmeras deposições irregulares, não há números precisos, entretanto, ainda é comumente considerado para a geração de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) a estimativa de que sejam produzidos 150 kg/m<sup>2</sup> de resíduos por área construída (PINTO, 1999). Dados mais atuais indicam que a cada ano são gerados em média 500 kg por habitante de resíduos de construção e renovações urbanas (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011). Na cidade de São Paulo, só a indústria da construção civil gera mais de 10.000 toneladas por dia de entulho, sendo que deste montante, apenas 5.000 toneladas por dia são registrados em aterros oficiais (ZORDAN, 1997). Em Porto Alegre, estima-se que a geração de entulho seja da ordem de 350 toneladas por dia (VIEIRA, 2003).

Esta situação ainda ganha maior proporção pelo fato de a construção civil estar em pleno crescimento no Brasil. Para tentar diminuir o déficit habitacional existente, foram lançadas políticas habitacionais como o “Minha casa minha vida”, que fez aumentar em grande proporção o número de novas construções. Outra situação que hoje no Brasil está alavancando o setor da construção civil é a preparação para a Copa de 2014 e as Olimpíadas de 2016. Dois eventos que exigirão inúmeras obras novas, além de reformas e demolições. E conseqüentemente grande consumo de recursos naturais e produção de resíduo.

Oferecer uma destinação correta, além da reciclagem dos RCDs vem ao encontro da demanda pela gestão destes resíduos, conforme Resolução nº 307, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 2002, a qual estabelece a obrigatoriedade de destinação final adequada dos resíduos de construção civil, e cuja responsabilidade compete ao seu gerador. Essa obrigatoriedade também é assegurada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Nº

---

<sup>1</sup> <http://anepac.org.br/wp/>

12.305, de agosto de 2010, a qual estabelece que as empresas da construção civil estão sujeitas à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

O foco dos estudos na construção civil é nas matrizes cimentícias, já que o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, com consumo mundial que hoje se estima em 6 bilhões de toneladas por ano (MARINKOVIC *et al.*, 2010). Com essa demanda tornou-se necessário obter concretos mais adequados à atualidade, mais duráveis, com melhor desempenho e eficiência, além de ecologicamente mais adequados. Já existem várias pesquisas envolvendo matrizes cimentícias que buscam causar menor impacto ao meio ambiente. Essas visam à incorporação de diversos tipos de resíduos advindos de outras indústrias em substituição aos componentes do concreto, como por exemplo, resíduos de borracha, escórias metálicas, resíduos de curtume ou mesmo adicionado na fabricação do cimento Portland como cinzas volantes, cinzas de casca de arroz entre outros (TOPÇU; CANBAZ, 2004; YILMAZ; DEGIRMENCI, 2009; ZAIN *et al.*, 2011).

Muitos estudos buscam promover a reciclagem dos resíduos advindos da própria construção civil (AJDUKIEWICZ; KLISZCZEWICZ, 2002; LOVATO *et al.*, 2012; SOUTSOS; TANG; MILLARD, 2012) que para esta tem benefício duplo: uma destinação correta dos próprios resíduos e a diminuição de impactos causados ao meio ambiente com a extração de recursos naturais. Isto sem contar os benefícios econômicos que a prática pode proporcionar. No Brasil, apesar dos vários estudos, o principal uso do RCD continua sendo como bases e sub-bases em estradas. O uso mais nobre do resíduo como agregado em peças e blocos pré-moldados em concreto tem se mostrado eficiente em pesquisas, porém, no país é pouco utilizado. A não utilização do agregado reciclado é justificada pelos profissionais da área da construção civil pela falta de experiência do uso do agregado reciclado como material de construção, além de preconceitos com relação ao produto (REMBISKI, 2012).

Rembiski (2012) apresenta uma interessante análise quanto ao uso conhecido para o agregado reciclado por pesquisadores e profissionais atuantes no mercado. Para os pesquisadores os usos mais recorrentes desenvolvidos são para argamassa, concreto não estrutural e blocos de vedação não estrutural. Para os profissionais da área os usos conhecidos são para aterro, base e sub-base para pavimentação e argamassa, outras utilizações não apontaram nenhum resultado, enfatizando o desconhecimento do uso no mercado para outras funções.

Em Porto Alegre, não existem usinas fixas de reciclagem de RCD, o que dificulta ainda mais a proliferação e utilização do resíduo como matéria-prima. Porém, já começam a surgir iniciativas para o uso do produto. Exemplo disso, é a organização não governamental (ONG) Solidariedade, fundada pelos moradores do Bairro Cristal. A cooperativa Centro de Transformação Sócio Ambiental (CTSA) é o principal projeto da ONG, tendo surgido como objetivo de prospectar alternativas de geração de renda para as famílias de carroceiros e carrinheiros que, devido à criação da Lei 10.531, de 2008, terão suas atividades gradativamente proibidas na Região Metropolitana de Porto Alegre. A alternativa envolve, entre outras ações, a produção de blocos de concreto de vedação (BCV) com utilização de agregados reciclados. Além de se constituir em uma alternativa de geração de renda, devido à alta demanda do setor da construção civil, esse tipo de produção é mais sustentável, pois possibilita uma destinação adequada aos RCDs.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Embora já se observe uma grande quantidade de estudos publicados tratando da reciclagem dos RCDs, não existe uma estrutura de comparação das tentativas de incorporação ao concreto. Cada estudo verifica de acordo com seu entendimento quais as características de desempenho e durabilidade do material devem ser verificadas. Isso leva a uma grande dificuldade de comparação dos benefícios trazidos pelos materiais impossibilitando uma classificação por desempenho técnico e ambiental. De forma geral, não há um processo estruturado de desenvolvimento de produtos mais sustentáveis para a construção civil, de maneira que seja possível comparar e avaliar sua viabilidade como material de construção. Isso começa pela falta de uma organizada e sistematizada base de requisitos de qualidades necessárias para que o produto obtenha sucesso de implementação no mercado.

Outra problemática verificada com a falta de um processo estruturado para o desenvolvimento de produto, é que não se faz uma análise efetiva de quais os benefícios que se obtém com a incorporação de resíduos em termos de melhorias ou diminuição do impacto ao meio ambiente. Não existem sistemáticas para avaliar o desempenho ambiental da reciclagem dos diversos resíduos bem como dos RCDs. De maneira geral, não são realizados estudos de ciclo de vida para avaliar comparativamente o produto com uso de resíduos ou de recursos naturais. Avaliando-se custos como o transporte, energia gasta para transformar o resíduo em

componente utilizável junto as matrizes cimentícias, além da possibilidade de uso do resíduo com outros objetivos. (JOHN, 2000).

É necessário entender (e talvez modificar) esse cenário, para que se possam comparar alternativas e decidir quais as mais promissoras ou impactantes, como também avaliar a real viabilidade do uso, quando da transformação em produto para a comercialização. É necessário ter balizadores em que se possam verificar todas as variáveis que interferem em termos da qualidade do produto bem como os benefícios ambientais da incorporação de um determinado resíduo.

No trabalho de John (2000) é apresentado uma proposta de metodologia para pesquisa e desenvolvimento de um novo material ou produto com uso de resíduo (de qualquer fonte geradora, não apenas RCD). Essa metodologia indica alguns passos que deveriam ser seguidos: o primeiro passo é a identificação e quantificação dos resíduos disponíveis, esta análise é necessária para a verificação do real problema causado pelo resíduo e se este será suficiente para uma produção em escala do produto estudado. O segundo passo é a caracterização do resíduo selecionado, para que se conheçam as propriedades além de custos envolvidos no processamento. O terceiro passo é a identificação e a escolha de uma aplicação para o resíduo selecionado, essas devem ser pensadas para que se obtenha o melhor desempenho do resíduo, necessitando de menos energia para a sua transformação.

Tendo escolhido uma aplicação, como quarto passo, deve-se realizar a avaliação com testes de desempenho e durabilidade, na sequência avaliar o desempenho ambiental já que é uma característica desejável no conceito do produto. As próximas etapas ultrapassam a fase de projeto do produto e já é levado em conta o processo de produção, nas quais deve ser pensado de que forma será produzido e como será o controle de qualidade. Por fim, envolvendo toda a cadeia, deve-se analisar a transferência da tecnologia, sendo assim, as necessidades dos geradores de resíduos, fabricantes e consumidores devem ser levadas em conta.

Apesar de ser possível aplicar esta metodologia também para o uso do RCD na manufatura de blocos de concreto, não existe um conjunto de requisitos mínimos estruturados que devem ser verificados para se desenvolver o produto. Assim, fazendo-se uma análise, a partir dos requisitos dos principais agentes intervenientes no processo, das normas e regulamentações existentes para o produto e os requisitos de sustentabilidade ambiental pode-se verificar a possibilidade um modelo mínimo de avaliação de qualidade e desempenho ambiental de um

material de construção mais sustentável. Dessa forma pode-se propor um conjunto priorizado de indicadores técnicos e ambientais. Este conjunto atendido pode ser motivador para que os consumidores finais passem escolher os produtos com RCD, sendo o cumprimento dos indicadores o balizador de qualidade do produto.

O problema da falta de indicadores de qualidade, principalmente ambientais, é bastante relevante quando o objetivo é o desenvolvimento de produtos com essa vocação. O simples fato de trabalhar com a reciclagem não garante que o produto é ambientalmente correto quando comparado com seus concorrentes que não o fazem. É necessário conhecer os indicadores ambientais relativos a este produto. E verificar, correlacionando os dados, se uma atitude positiva em relação ao ambiente não traz consigo muitos outros impactos negativos.

Outra problemática que surge com o fato de se trabalhar com reciclagem é a preocupação com a qualidade da matéria-prima. Conhecendo-se os requisitos e realizados os devidos *trade-offs*<sup>1</sup> para a hierarquização destes requisitos, sem conhecer minimamente as características do matéria-prima (resíduos) não é possível fazer afirmações sobre a qualidade ou desempenho ambiental do produto final. Principalmente em relação aos RCDs, o componente diferenciado dos outros produtos concorrentes (blocos de concreto), já bem difundidos e consolidados no mercado. Assim, faz-se necessário conhecer os indicadores para um produto sustentável, bem como a qualidade da matéria-prima que se está trabalhando para se poder afirmar que é possível desenvolver e comercializar um produto mais sustentável e competitivo para a construção civil, baseado na reciclagem e com controle de qualidade confiável.

Neste contexto levanta-se a questão se é possível produzir bloco de concreto de vedação (BCV) a partir de RCD no ambiente produtivo de uma pequena cooperativa, que pretende trabalhar dentro da lógica de sustentabilidade ambiental. Para isso, faz-se necessário conhecer quais são os requisitos técnicos e ambientais e, além disso, quais indicadores de qualidade mensuráveis do produto deveriam ser monitorados. Também, além de conhecer estes indicadores, outro fator importante para esta situação é conhecer a matéria-prima que se deseja trabalhar, no caso o RCD. Este é um material que tem por características bastante variáveis e essas não podem ser generalizadas a todas as situações. Assim, conhecer o material disponível dentro da cooperativa também ajuda a responder esta questão.

---

<sup>1</sup> Trade-offs são entendidos neste trabalho como trocas compensatórias, escolhas de compromisso.

### 1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

A partir do que foi discutido anteriormente, é proposta a seguinte questão de pesquisa:

“Que características devem ser monitoradas de maneira a se produzir bloco de concreto de vedação (BCV) a partir de RCD, no ambiente produtivo de uma pequena cooperativa, dentro da lógica de sustentabilidade ambiental?”

Os desdobramentos desta questão trouxeram as seguintes questões secundárias:

- a) Quem e quais são os requisitos dos clientes de BCVs?
- b) Quais são os indicadores técnicos mínimos a serem buscados em um BCV de vedação com uso de RCD?
- c) Quais são os indicadores ambientais mínimos a serem buscados em um BCV com uso de RCD?
- d) Quais requisitos os RCDs devem apresentar para viabilizar seu uso junto aos BCVs? Esses são possíveis de atingir dentro de um ambiente de pequena cooperativa?
- e) Fazem-se necessárias adaptações ao método de transformação do RCD em agregado reciclado, para viabilizar a produção de BCVs?

### 1.4 OBJETIVOS

A dissertação terá como objetivo principal propor um conjunto de indicadores técnicos e ambientais para o desenvolvimento de um artefato de concreto a partir de RCD em um ambiente de cooperativa.

São propostos como objetivos específicos:

- a) Identificar ferramentas adequadas para o levantamento e a priorização dos requisitos no processo de desenvolvimento de produto.
- b) Identificar e discutir requisitos técnicos e de sustentabilidade ambiental como indicadores para definir a qualidade mínima nos blocos de concreto de vedação com uso de RCD.
- c) Obter, através de um método para gestão dos requisitos, a priorização de indicadores de desempenho técnicos e ambientais.

- d) Validar a adequação do uso do RCD como agregado reciclado em blocos de concreto de vedação, por meio de uma avaliação prática, verificando a viabilidade do RCD existente na cooperativa.

## 1.5 DELIMITAÇÕES

Este trabalho abrange as questões de definição de indicadores, não detalhará portando as demais fases para o desenvolvimento de produto. Outras delimitações do escopo deste trabalho são:

- a) A pesquisa será implementada na Cooperativa CTSA, sendo os resultados voltados a essa.
- b) A pesquisa apenas avaliará os resultados da incorporação de RCD na composição do produto bloco de concreto, outras possibilidades de incorporação de resíduos não serão analisadas;
- c) O agregado reciclado avaliado será o proveniente da cooperativa, o qual foi submetido aos processos de segregação e peneiramento realizados no local.
- d) Os indicadores técnicos avaliados terão como base as Normas Técnicas da ABNT.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é descrito a contextualização do tema, a apresentação dos objetivos e as questões de pesquisa. Além disso, é apresentado o método de trabalho e a estrutura da dissertação, assim como suas delimitações.

No segundo capítulo, é apresentado o referencial teórico necessário para a realização do trabalho. Assim, o capítulo está subdividido em assuntos: 1) sustentabilidade e produtos sustentáveis; 2) resíduos de construção e demolição; 3) a viabilidade do uso do RCD em artefatos de concreto e 4). Modelos conceituais do método *Quality Function Deployment* (QFD) para o desenvolvimento de produto. Com o desdobramento de todos os assuntos é possível entender todos os conceitos utilizados para a definição do método e para determinação das características que devem ser monitoradas dos BCVs e dos RCDs.

O terceiro capítulo apresenta a construção do método para identificação dos requisitos para o BCV, através das abordagens do cliente, ambientais e normas técnicas. Também são apresentados os requisitos necessários para os RCDs, além de descrever-se o procedimento experimental dos ensaios realizados para a verificação destes requisitos. As abordagens, métodos e conceitos discutidos no referencial teórico são estruturados de forma a conduzir o gerenciamento das informações até a obtenção dos requisitos.

O quarto capítulo apresenta e interpreta os resultados dos métodos aplicados. Nesta etapa está descrita a aplicação do método para priorização dos requisitos e os resultados são analisados. Também são analisados os resultados de ensaios realizados com os agregados de RCD coletados. A partir da discussão dos resultados, são apontadas melhorias que deverão ser realizadas para a correção dos problemas detectados.

O quinto capítulo apresenta as conclusões obtidas a partir do trabalho desenvolvido, apontando os pontos positivos e negativos dos métodos utilizados, suas limitações em relação ao objetivo traçado, bem como os resultados obtidos com a aplicação dos mesmos. Este capítulo apresenta, ainda, as sugestões para futuros trabalhos que possam dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

Para um melhor entendimento da estrutura geral do trabalho é apresentado na Figura 1 o fluxograma da pesquisa. A figura mostra o objetivo inicial e os dois vieses estruturados para melhor responder o problema. O primeiro viés tem relação com os blocos de concreto de vedação e todas as fontes nas quais deverão ser investigados os requisitos necessários para levantar de forma completa os requisitos do produto. Avaliaram-se assim, os requisitos dos clientes, de produtos ambientalmente sustentáveis e das normas técnicas (considerados como requisitos mínimos). Esses requisitos são posteriormente relacionados de maneira que seja possível hierarquizar a importância para seu controle.

Como segundo viés, uma vez que a cooperativa irá trabalhar também com a segregação e tratamento dos RCDs, notou-se também necessário o conhecimento e controle de qualidade dos agregados reciclados oriundos destes. Assim, baseando-se na Norma NBR 15.116, (ABNT, 2004) “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos” analisaram-se as características dos agregados reciclados produzidos na cooperativa para verificar se estas atingiam os requisitos mínimos especificados pela norma. Os dois vieses abordados, são por

fim, analisados e relacionados de modo a se obter em um conjunto único de indicadores prioritizados os quais devem ser controlados.

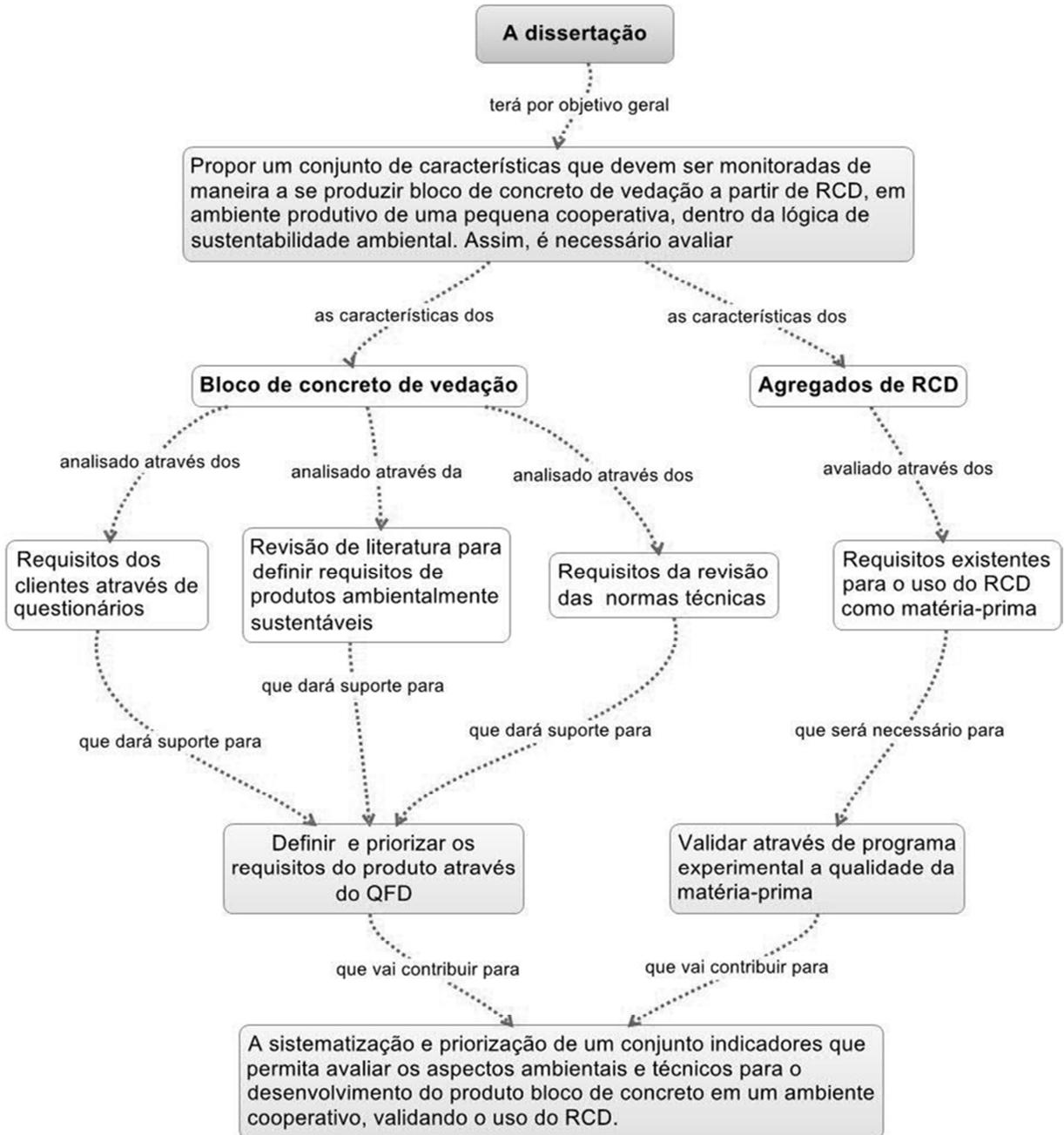


Figura 1: Estrutura da pesquisa

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo foram levantadas questões que embasam o desenvolvimento de um produto mais sustentável para construção civil, particularmente com uso de RCD. Assim, foram explicados os conceitos vigentes sobre sustentabilidade e a relação com a construção civil juntamente com as problemáticas do setor referentes ao assunto. Em uma segunda etapa, foi levantada a situação dos estudos a respeito do uso de RCD bem como sua aplicação em artefatos pré-moldados de concreto, além da situação normativa alusiva ao RCD. E por fim, foi realizado um levantamento dos modelos conceituais do método QFD que buscam incorporar os requisitos ambientais.

### 2.1 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

O termo sustentabilidade está cada dia mais presente no cotidiano das pessoas. Fatores como aquecimento global, catástrofes naturais mais recorrentes, poluição, destruição da camada de ozônio, alto consumo de energia e matérias-primas não renováveis, aumentam a preocupação com o futuro do planeta. O conceito de desenvolvimento sustentável continua difuso, e precisa ser definido mais objetivamente, mas normalmente está vinculado às questões ambientais. Já existem várias pesquisas e metodologias para o desenvolvimento de materiais e produtos mais sustentáveis (MANZINI; VEZZOLI, 2005; ABELE; ANDERL; BIRKHOFER, 2005). Vários setores buscam soluções ambientalmente eficientes, reduzindo o consumo energético de recursos naturais bem como da geração de resíduos.

A discussão sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável também chegou ao setor da construção. A cadeia produtiva da construção civil é possivelmente uma das maiores da economia e conseqüentemente causadora de grandes impactos ambientais. É uma das maiores consumidoras de recursos naturais e geradoras de resíduos, e também é grande colaboradora para a poluição ambiental incluindo o efeito estufa. Várias pesquisas já estão em desenvolvimento nesta área buscando diminuir esses impactos (BIGNOZZI, 2011; DURAN; LENIHAN; O'REGAN, 2006; XIAO *et al.*, 2012). Porém, existem correntes que afirmam que o desenvolvimento ambiental para a construção civil só será possível com uma transformação significativa na sua cadeia produtiva como um todo (JOHN, 2000).

### 2.1.1 Conceituação de sustentabilidade

A discussão sobre desenvolvimento sustentável vem percorrendo um longo caminho até os dias de hoje, passando por várias definições. O termo sustentabilidade originalmente pertence ao campo da ecologia referindo-se ao potencial de um ecossistema sofrer quase nenhuma alteração durante a passagem do tempo (JABAREEN, 2006). Quando adicionado o termo desenvolvimento cria-se um paradoxo e este é representado na definição do Relatório *Brundtland*, que tira a ênfase do ambiente e dá destaque a questão das necessidades humanas serem atendidas por meio do desenvolvimento.

Para a Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável é a “garantia do atendimento das necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem também as suas” (WCED, 1987). A Conferência sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas (RIO 92) consolidou através da Agenda 21, e caracterizou o desenvolvimento sustentável não apenas como a preservação ambiental de modo a garantir o uso pelas próximas gerações como também a igualdade ao uso dos benefícios desse desenvolvimento por todas as pessoas, consolidando uma ideia de equidade (ONU, 1992).

Neste trabalho entende-se que o conceito de desenvolvimento sustentável visa os desafios de atender simultaneamente ao crescimento econômico, justiça social e preservação do ambiente. Esse conceito de tripé da sustentabilidade (*Tripple Botton Line*) foi cunhado na década de 1990, por John Elkington e desde então é referência para definição de sustentabilidade, que evidencia os enfoques sociais, econômicos e ambientais. Assim, neste trabalho será usado o termo sustentabilidade ambiental quando forem tratadas apenas as questões de preservação ambiental. Sendo que a preservação do ambiente refere-se ao desenvolvimento ambiental, que é a condição onde as atividades humanas não interferem nos ciclos naturais em tudo que sua resiliência<sup>1</sup> permite, sem empobrecer o ambiente que será transmitido para as gerações futuras, assim, a sustentabilidade ambiental é um objetivo a ser atingido e não uma direção a seguir (MANZINI; VEZZOLI, 2005). Com isso em mente, nem tudo que apenas apresente melhorias pode ser considerado sustentável, assim para este trabalho, quando for mencionada sustentabilidade isso deverá significar “mais sustentável”, sendo sustentabilidade o objetivo final.

---

<sup>1</sup> Capacidade de um ecossistema sofrer uma ação negativa sem perder a capacidade de restaurar seu equilíbrio inicial. (MANZINI; VEZZOLI, 2002)

Tendo em vista a sustentabilidade ambiental como objetivo, esta deve responder aos requisitos de basear-se em recursos renováveis, otimizar o uso dos recursos que não forem renováveis, não gerar resíduos que não possam ser reincorporados na natureza e agir de modo que todo indivíduo de sociedades ricas ou pobres possam usar o ambiente ao qual tem direito (MANZINI; VEZZOLI, 2005). Assim, para atingir a meta do desenvolvimento sustentável de forma completa, será necessário mais que desenvolvimento tecnológico como também uma mudança em níveis sociais e culturais tanto em nível macro (global, nacional, regional, local) quanto em micro (empresas e consumidores) (JOHN, 2000).

### 2.1.2 Sustentabilidade ambiental em produto e processo

Para implantação de um novo modo de pensar a produção, considerando aspectos ambientais antes negligenciados no processo produtivo surgiram diversas ferramentas. Indicadores como emissões totais de CO<sub>2</sub>, utilização de recursos não renováveis, indicadores da camada de ozônio, são exemplos de importantes parâmetros que podem ser avaliados no desenvolvimento de um produto. No desenvolvimento de produtos, de acordo com Manzini e Vezzoli (2005) a preocupação para atingir a sustentabilidade passou pelas políticas de fim de tubo e adoção de tecnologias limpas, interferindo no processo; o redesenho ambiental objetivando produtos limpos e chegando ao consumo limpo, que traz a conscientização acerca do problema ambiental.

Na lógica do desenvolvimento de produto baseado na Análise de Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment*) o conceito para o projeto do ciclo de vida adota uma visão mais ampla do que aquela usada em projetos convencionais avaliando-se os impactos ambientais de cada fase do produto. O projeto deve analisar e considerar todas as fases o ciclo de vida do produto, ou seja, devem-se considerar todas as fases de produzir, utilizar e descartar/eliminar o produto (MANZINI; VEZZOLI, 2005). Assim, o projeto deixa de ser apenas do produto e passa a ser do sistema em que o produto está inserido. O objetivo desta abordagem é assim, a redução dos impactos ambientais causados pelo produto em questão, em todas as fases do ciclo de vida.

Na abordagem do *ecodesign* também conhecido como “*Design for Environment*” ou “*Life Cycle Design*” o objetivo é também fazer uma simulação dos impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto (ABELE; ANDERL; BIRKHOFER, 2005). De acordo com os autores a abordagem da análise do ciclo de vida do produto é o mais importante meio para analisar os impactos ambientais de um produto.

O *green design* tem dois principais objetivos: evitar a geração de resíduos e melhorar o gerenciamento de materiais, que podem ser produtos concebidos para uma facilidade de desmontagem final ou que usem já na sua composição materiais que podem ser reciclados (VAN WEENEN, 1995). A reciclagem é bastante importante na abordagem de *green design*, tanto que parte deste consiste em ‘*design* para reciclagem’.

Apesar de somente nos últimos anos ter surgido diversas abordagens de desenvolvimento de produtos com foco ambiental, de acordo com Abele, Anderl e Birkhofer (2005) as questões ambientais sempre estiveram presentes no processo de desenvolvimento de produto, mas o alvo estava apontado para custo, tempo e qualidade. No contexto atual, a questões ambientais deixam de ser algo secundário, para ser preocupação central. A Figura 2 mostra a integração da ecologia como um dos alvos chaves para o desenvolvimento de produto.

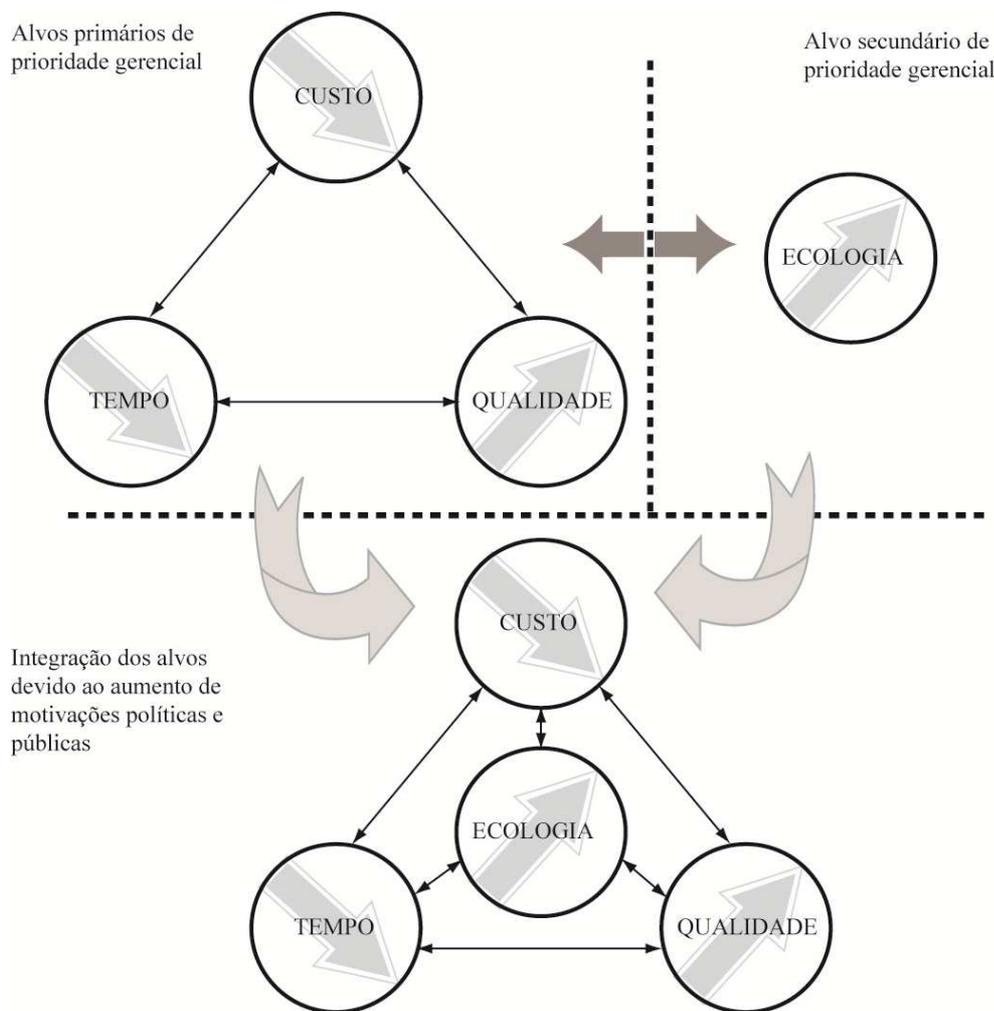


Figura 2: Visão do meio ambiente como chave no desenvolvimento de produtos  
 Fonte: (Abele, Anderl e Birkhofer, 2005, p. 5).

A Produção Mais Limpa (*Cleaner Production, P+L*) e a Produção Limpa (*Clean Production*) são ambas estratégias para a produção industrial que leva em conta aspectos de sustentabilidade. A segunda estratégia foi concebida pela organização ambientalista não governamental Greenpeace, e é mais restritiva que a primeira. Por exemplo, enquanto a Produção Mais Limpa estimula a redução da toxicidade, a Produção Limpa propõe produtos atóxicos (JUNG; TEN CATEN, 2010).

Na abordagem Berço ao Berço (*Cradle to Cradle Design*); rejeita-se a ideia de que o excesso de demandas de bens industriais é a causa final e definitiva da destruição do meio ambiente. Busca-se, portanto, a ideia de fluxos contínuos de energia inspirados na própria natureza (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002). O princípio fundamental é que o resíduo de um organismo (indústria) é o alimento para outro, podendo eliminar-se assim, o conceito de resíduo como rejeito, ‘sobra’ que terminaria em aterro. Nesta abordagem o projeto de produto amplia-se com preocupações relativas a toda cadeia do entorno.

Ainda como outros métodos para sustentabilidade podem ser citadas as Tecnologias Mais Limpas (*Cleaner Technologies*); Eco eficiência (*Eco-Efficiency*); Projeto para a Sustentabilidade (*Design for Sustainability*); Prevenção da Poluição (*Pollution Prevention*); Engenharia Verde (*Green Engineering*); e Zero Emissões (*ZERI - Zero Emissions Research Initiative*). Todas essas visam práticas de desenvolvimento de produtos menos impactantes ao meio ambiente.

As avaliações de sustentabilidade têm como força inicial os governos nacionais (LABUSCHAGNE; *et al.*, 2005). Essas avaliações têm, portanto, caráter nacional e abrangem as três dimensões de sustentabilidade, econômico, social e ambiental. Apesar das diversas abordagens e métodos de projeto que enfocam as questões ambientais, ainda se fazem necessários maior quantidade de avaliações, parâmetros e indicadores para ser possível analisar e avaliar comparativamente e criticamente os produtos desenvolvidos sob a ótica ambiental.

### 2.1.3 Sustentabilidade ambiental na construção civil e o problema do RCD

A construção civil é a geradora do ambiente onde o homem vive, trabalha e circula. Por isso mesmo, é bastante heterogênea e complexa. Falar em sustentabilidade ambiental na construção civil é por este motivo também muito complicado. Envolve as questões das escolhas de materiais menos agressivos ao meio ambiente, de um gerenciamento de obra mais

eficaz, sem desperdícios e do objeto propriamente dito, ou seja, o ambiente construído. Neste, deve ser avaliado entre outros aspectos se ele oferece um bom comportamento térmico passivo, uma boa durabilidade, conforto acústico, lumínico entre outras características. Assim, a construção sustentável engloba soluções para todas as fases, mesmo nas etapas anteriores ao projeto (na concepção), além da execução e do uso e operação. As soluções sempre devem englobar economia de recursos e diminuição do impacto no seu entorno.

A construção civil enquanto indústria é das mais impactantes e danosas ao meio ambiente, já que consome grande quantidade de recursos naturais e também gera grande quantidade de resíduos. Esta última, já gera grande preocupação, pois os espaços para dispor o grande volume de resíduos, estão cada vez mais escassos e afastados das cidades, sendo além de um problema econômico é também ambiental já que causa maior gasto de energia e produção de CO<sub>2</sub> para o transporte. No Brasil este problema ainda é agravado devido às disposições clandestinas.

Há duas fontes comuns para a geração de resíduos na construção civil: a construção e a demolição, na qual ainda podem ser considerados também os resíduos de reformas. Podem ser originados em catástrofes naturais, desabamentos, incêndios, demolições de estruturas que encerraram sua vida útil e deficiências nos processos e sistemas construtivos utilizados através de perdas nos canteiros de obras (LOVATO, 2007). Segundo dados do SINDUSCON (2005) apresentados por Angulo (2005), os resíduos de canteiros de obras e construções informais representam 50% dos RCDs. Conforme o mesmo autor dados sobre reformas são poucos já que estes são somados aos resíduos de demolições. As mudanças no estilo de vida e o crescimento das cidades fazem com que edificações precisem se adaptar as novas funções, ou seja, substituídas por outras que atendam, aumentando o número de demolições e reformas. Para Oikomonou (2005) o número crescente de demolições se dá por três fatores principais:

- a) muitas edificações antigas e outras estruturas chegaram ao seu limite de vida útil e necessitam ser demolidas;
- b) há estruturas, que mesmo adequadas ao uso, são demolidas, pois há novas necessidades e;
- c) alguns resíduos são resultados de fenômenos da natureza, como terremotos e tempestades.

A composição do RCD quando resultante de construções é bastante variável, dependendo de vários fatores como, local da obra, técnica construtiva, etapa da obra entre outros fatores. Porém, normalmente incluem materiais como diferentes tipos de plásticos, isolantes, papel, materiais betuminosos, madeiras, metais, concretos, argamassas, blocos, tijolos, telhas, solos, e gesso, dentre outros. É mais preocupante que a mistura de todos esses componentes é ainda quando esse quadro gera a posterior impossibilidade de segregação, como no caso do gesso molhado, que contamina e inviabiliza o uso de todo o material restante. Esses resíduos podem compreender ainda diversas substâncias tóxicas em sua composição, como fenóis, sulfatos e metais pesados, que podem constituir em torno de 1% da massa de resíduo (LOVATO, 2007). A porcentagem da composição média dos RCDs é apresentada na Figura 3, na qual percebe-se que a porcentagem de concreto e material cerâmico somados é 70% do RCD, esses materiais são os que podem ser transformados em agregados reciclados.

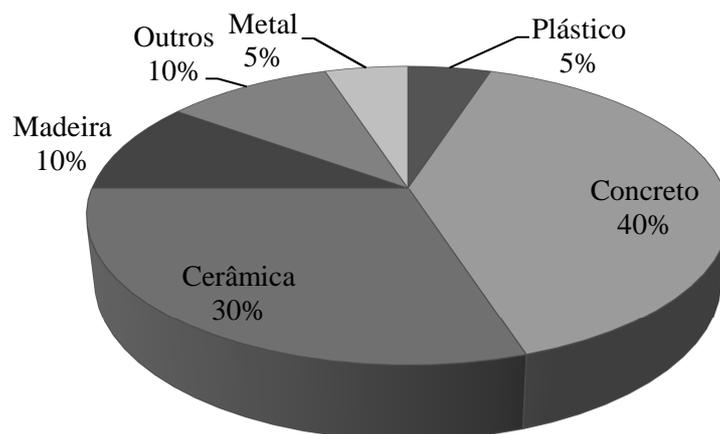


Figura 3: Composição média do RCD  
Fonte: (Oikonomou, 2005, p. 316)

Os resíduos de construção e demolição (RCDs) são no Brasil definidos pela diretriz Resolução N° 307, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), como sendo resíduos provenientes de construções, reformas, ou demolições de obras de construção civil e também podem ser resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Os componentes possíveis deste resíduo são entre outros restos de tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc. Sendo que são classificados em quatro categorias, na qual a categoria A, resultante de tijolos, blocos cerâmicos, concreto, argamassa, é que pode ser reciclado como agregado.

Apesar de considerados como inertes pela norma brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004) que classifica os resíduos sólidos, estabelece – Resíduos sólidos: classificação – classifica os resíduos de construção e demolição como inertes (classe II-b), ou seja, não reagem quimicamente no ambiente, mesmo contendo elementos minerais. Quando disposto em locais inadequados passa a ser vetor de doenças como a dengue e atrativo de insetos e roedores, além de gerar inúmeros problemas para o meio urbano. Além de quando descartado clandestinamente em rios e córregos, causa o assoreamento aumentando a possibilidade de enchentes. Além disso, existem estudos que contestam a classificação dos RCDs como sendo inertes. Para Zaharieva *et al.*(2003) os agregados reciclados oriundos do RCD não poderiam ser considerados inertes, pois possuem uma grande quantidade de impurezas e grande heterogeneidade e porosidade.

Para tentar diminuir os impactos do alto consumo de recursos naturais e grande produção de resíduos o conceito desenvolvimento sustentável tem ganhado espaço também na indústria da construção civil. A primeira alternativa para a diminuição da geração de resíduos da construção e demolição é redução das perdas na obra, diminuindo assim, tanto a quantidade de resíduos produzidos bem como os gastos com a obra e para a destinação dos mesmos (LEITE, 2001).

A reciclagem se mostra também como outra importante alternativa tanto para a diminuição da quantidade de resíduos a ser destinadas a aterros bem como para reduzir parcela de recursos naturais necessários para a construção. Lançada durante a Conferência da Terra, no Rio de Janeiro em 1992, a política dos 3Rs é base para este pensamento. O 3Rs é uma abreviação para as palavras reduzir, reutilizar e reciclar, atitudes essas que visam minimizar a quantidade de resíduos em aterros. No conceito da gestão de resíduos existe uma hierarquia de objetivos como mostra a Figura 4. A reciclagem aparece depois da redução e do reuso como a melhor alternativa a ser dada aos resíduos. Outra alternativa, é a incineração para recuperação de energia, porém os resíduos devem ter características que facilitem esta medida. Para o papel e madeira, poderia ser considerado como uma boa alternativa. Mas, no caso do RCD onde a maior parte na composição é de restos de concreto e material cerâmico o mais adequado seria a própria reciclagem. Como última alternativa, se não for possível, tecnicamente ou economicamente, a possibilidade é a disposição em aterros.



Figura 4: Hierarquia no conceito de gestão de resíduos  
 Fonte: (Leach *et al.*, 1997, p. 708)

Essa hierarquia existe assim, como conceito geral, porém pode não ser a melhor indicação a todos os setores, é necessário, portanto, que se aplique uma análise do ciclo de vida de cada produto para verificar qual a solução mais eficiente e menos agressiva para cada caso, já que alguns produtos, o reuso e reciclagem se tornam inviáveis devido a custos e gastos energéticos elevados. Leach; *et al.* (1997) demonstra, por exemplo, que através da análise do ciclo de vida a incineração para o caso do papel é melhor solução que a reciclagem. Além disso, a geração de resíduos é inevitável, por dois motivos, primeiro todos os produtos possuem uma vida útil que é finita, e segundo pela variabilidade intrínseca dos produtos, além de processos que podem apresentar produtos em não conformidade (JOHN, 2000).

Na construção civil a reciclagem pode ser uma ótima alternativa, e alguns resíduos (anteriormente descartados) hoje já são considerados subprodutos de outras indústrias e são utilizados como insumos na construção civil, caso da escória de alto forno e a sílica ativa (LEITE, 2001). Os resíduos oriundos da própria indústria da construção também já possuem várias destinações: base e sub-base de pavimentos, concretos sem função estrutural, blocos de concretos entre outros. A reciclagem de RCDs é importante porque fecha o ciclo de vida dentro do próprio setor, o que ocasiona um equilíbrio entre a oferta de subproduto (RCD) e demanda (agregados, blocos, etc.). O ciclo esquematizado é apresentado na Figura 5. A calça, ou o resíduo não segregado é originado assim, das etapas da obra e das demolições. Seu uso pode ser destinado às estradas, diretamente na obra ou na fabricação de artefatos de concreto, que ainda colabora neste último caso para a geração de emprego e renda já que pode ser gerido em pequenas empresas.

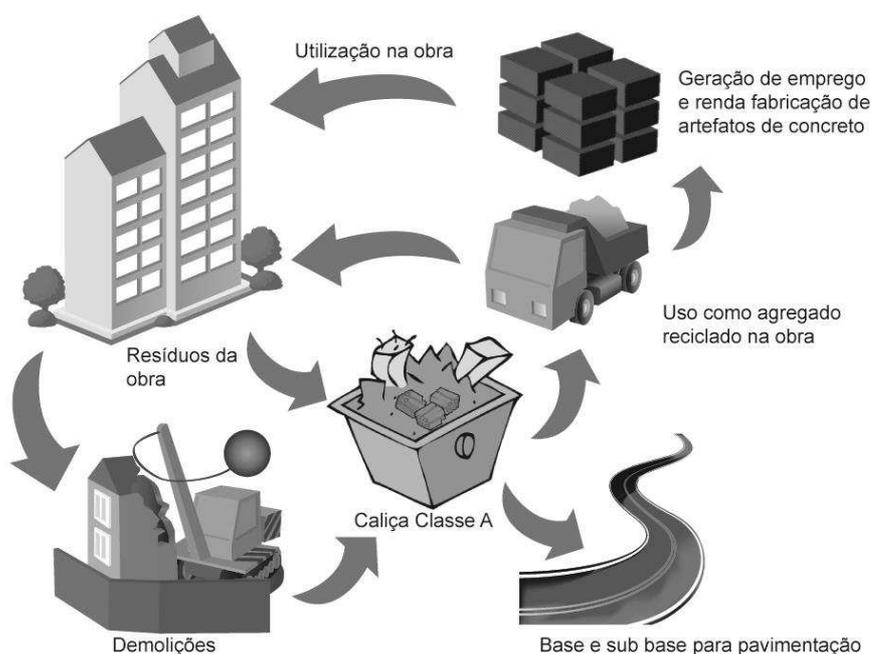


Figura 5: Ciclo na reciclagem do RCD

#### 2.1.4 Métodos de avaliação da sustentabilidade ambiental na construção civil

Na área da construção civil foram sendo criadas diversas formas de avaliar a sustentabilidade de seus sistemas e soluções, frequentemente em caráter ambiental. São selos e certificações que visam dar destaque para as iniciativas que buscam reconhecer e recompensar benefícios e boas práticas ambientais agregadas a suas construções. Entre esses indicadores estão, talvez os mais conhecidos no Brasil, o Selo Casa Azul, da Caixa Econômica Federal, a certificação *Green Building LEED New Constructions and Major Renovations V. 3.0*, do *United States Green Building Council (USGBC)*; e o *Green Building Living Challenge*, do *Internacional Living Building Institute (ILBI)*.

O Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal, foi lançado em 2010 e é o primeiro sistema de classificação da sustentabilidade de projetos ofertados no Brasil. É um guia voltado para empreendimentos habitacionais, com objetivo de dar suporte a projetistas e empreendedores na adoção de ações que estejam mais de acordo com o ponto de vista sócio ambiental (JOHN; PRADO, 2010). O selo avalia 53 critérios divididos em seis categorias que são qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais. Além das categorias ambientais pode-se verificar que o item 'práticas sociais' também busca contemplar aspectos sociais de sustentabilidade. A adesão ao selo é

voluntária e é possível atingir três níveis, bronze quando se atinge os critérios mínimos obrigatórios, prata para os itens obrigatórios mais seis opcionais e ouro que é o nível máximo, deve-se cumprir os itens obrigatórios mais doze opcionais.

O *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED™) é um sistema de certificação e orientação que busca a sustentabilidade e a redução dos impactos ambientais de edificações, a primeira versão foi criada em 1999 e hoje se encontra em sua terceira versão. Criado pela organização não governamental *United States Green Building Council*, fundada em 1993, é o selo de maior reconhecimento internacional e o mais utilizado em todo o mundo, inclusive no Brasil. Os selos são concedidos por tipo de empreendimento como “Novas construções e grandes projetos de renovação” e “Projeto de Interiores e Edifício Comercial” para citar alguns tipos. No Brasil o *Green Building Council*<sup>1</sup> Brasil, criado em março de 2007, uma organização não governamental, é quem auxilia no desenvolvimento da indústria da construção sustentável e na divulgação e promoção do sistema de certificação LEED™. O selo avalia sete esferas: espaço sustentável, uso racional da água, energia e atmosfera, qualidade ambiental interna, materiais e recursos, inovação e processo em projeto e créditos regionais. Em cada uma das esferas é possível somar pontos e a somatória permite que se obtenha quatro tipos diferentes de selo: certificado, prata, ouro e platina.

O *Living Building Challenge* (LBC)<sup>2</sup> surgiu em 2006 e avalia sete áreas ou pétalas de desempenho: local, água, energia, saúde, materiais, equidade e beleza. Essas áreas possuem imperativos e para conseguir a certificação todos devem ser alcançados e podem ser aplicados na mais diversa gama de edificações. O LBC divide os projetos em quatro tipologias: renovação, paisagismo ou infraestrutura, edificação e vizinhança. Na Figura 6 é possível verificar a matriz resumida com as pétalas e tipologias juntamente com os imperativos que devem ser cumpridos em cada uma delas. Neste selo também aparecem preocupações de caráter social, porém tem destaque maior como os outros selos para as questões ambientais. Um diferencial desta certificação é que para ser realizada a avaliação a edificação deve estar funcionando a pelo menos um ano, já que a certificação é baseada em desempenho medido e não apenas esperado e simulado em projeto. Outra peculiaridade é que para conseguir esta certificação todos os imperativos devem ser cumpridos, não sendo apenas um somatório de pontos como os outros.

---

<sup>1</sup> <http://www.gbcbrazil.org.br>

<sup>2</sup> <https://ilbi.org/>

|           | VIZINHANÇA | EDIFICAÇÃO           | PAISAGISMO +<br>INFRAESTRUT. | RENOVAÇÃO            |                                    |
|-----------|------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| LOCAL     |            |                      |                              |                      | LIMITES PARA O CRESCIMENTO         |
|           |            | <i>Scale Jumping</i> |                              |                      | AGRICULTURA URBANA                 |
|           |            |                      |                              | <i>Scale Jumping</i> | TROCA DE HABITAT                   |
|           |            |                      |                              |                      | VIVENDO LIVRE DO AUTOMÓVEL         |
| ÁGUA      |            |                      |                              | <i>Scale Jumping</i> | ÁGUA COM EMISSÃO ZERO DE CARBONO   |
|           |            | <i>Scale Jumping</i> |                              |                      | FLUXO ECOLÓGICO DE ÁGUA            |
| ENERGIA   |            |                      |                              | <i>Scale Jumping</i> | ENERGIA C/ EMISSÃO ZERO DE CARBONO |
| SAÚDE     |            |                      |                              |                      | AMBIENTE CIVILIZADO                |
|           |            |                      |                              |                      | AR SAUDÁVEL                        |
|           |            |                      |                              |                      | BIOFILIA                           |
| MATERIAIS |            |                      |                              |                      | LISTA NEGRA                        |
|           |            | <i>Scale Jumping</i> |                              |                      | PEGADA DE CARBONO INCORPORADA      |
|           |            |                      |                              |                      | INDÚSTRIA RESPONSÁVEL              |
|           |            |                      |                              |                      | FORNECIMENTO APROPRIADO            |
|           |            |                      |                              |                      | CONSERVAÇÃO + REUSO                |
| EQUIDADE  |            |                      |                              |                      | ESCALA HUMANA + LOCAIS HUMANOS     |
|           |            |                      |                              |                      | DEMOCRACIA + JUSTIÇA SOCIAL        |
|           |            |                      |                              |                      | DIREITO À NATUREZA                 |
| BELEZA    |            |                      |                              |                      | BELEZA + ESPÍRITO                  |
|           |            |                      |                              |                      | INSPIRAÇÃO + EDUCAÇÃO              |

Figura 6: Matriz resumida dos imperativos do selo LBC

Fonte: <https://ilbi.org>

## 2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: REVISÃO SISTEMÁTICA

Esta etapa do trabalho teve caráter exploratório e como objetivo, através de revisão sistemática da literatura, fazer um levantamento de estudos que verificassem a influência do uso de resíduos incorporados a matrizes cimentícias. Esta busca visou primeiramente fazer um mapeamento dos diversos experimentos que fizessem uso de resíduos incorporados ao concreto ou cimento. E em uma segunda etapa o objetivo foi, utilizando como base o trabalho desenvolvido por John (2000), verificar comparativamente com a metodologia proposta de que forma se estruturam as pesquisas e desenvolvimentos de produtos oriundos de matrizes cimentícias com uso de RCD incorporado. Esta metodologia tem por objetivo orientar as atividades de pesquisas e desenvolvimento de produtos com foco em reciclagem e indica algumas etapas que deveriam ser seguidas. Entre esses passos estão, a) a identificação e quantificação dos resíduos disponíveis, b) a caracterização do resíduo, c) a identificação de uma aplicação para o resíduo, d) a avaliação do produto, e) avaliação de desempenho ambiental, f) desenvolvimento do produto e g) transferência da tecnologia.

Este estudo buscou assim, responder as seguintes perguntas:

- a) Que tipos de resíduos foram testados incorporados a matrizes cimentícias?
- b) Que tipos de ensaios e formas de avaliação são realizados para verificação dos efeitos do uso dos RCDs junto a matrizes cimentícias?
- c) Que tipos de avaliação são feitas para verificar os impactos ambientais do uso dos RCDs junto a matrizes cimentícias?
- d) Pode-se perceber a preocupação com a produção em escala comercial do produto desenvolvido?

### 2.2.1 Métodos e protocolo de pesquisa

Esta etapa do estudo foi uma pesquisa de natureza aplicada com objetivos de caráter exploratório, que faz um levantamento quantitativo e qualitativo de estudos experimentais que verifiquem o desempenho de resíduos junto a matrizes cimentícias. O levantamento das publicações foi feito através do método de revisão sistemática de literatura.

A revisão sistemática é uma metodologia de pesquisa utilizada para recolher e para avaliar um determinado tópico (BIOLCHINI *et al.*, 2005). É uma forma de pesquisa que utiliza a literatura existente como fonte, aplica métodos explícitos e ordenados de busca, e expõe de forma resumida a metodologia da pesquisa além dos resultados das evidências encontradas (SAMPAIO; MANCINI, 2007).

A revisão sistemática foi escolhida como estratégia para esta pesquisa porque se mostra como uma excelente forma para integrar os dados de um conjunto de estudos. É uma boa forma para verificar a amplitude do que já foi estudado sobre o assunto em questão e encontrar lacunas de pesquisa, e se mostrou assim, como um adequado método de pesquisa para o objetivo proposto. Assim, três passos se mostraram muito importantes: a estratégia de busca, com a especificação das (1) fontes de dados e palavras-chaves; a avaliação, na qual são estipulados os (2) critérios de inclusão e exclusão. E realizados estes delineamentos, é possível então fazer a (3) seleção dos estudos.

### 2.2.2 Fontes de dados e palavras-chaves

Os artigos foram selecionados nas seguintes bases: *sciello*, *science direct*, *ebSCO*, *emerald*, *sage*, *isi web of knowledge*, *infohab* e *capES*. Foi primeiramente verificado nas seis primeiras bases de dados, que cobrem juntas mais de dez mil publicações e periódicos. Após o primeiro

levantamento ainda foram levantados artigos na biblioteca virtual do *infohab* (Centro de Referência e Informação em Habitação), que possuem mais de 4.000 artigos em periódicos da área da construção civil e habitação. Foi feita a busca ainda no Portal da Capes em bases de dados que não haviam sido levantadas anteriormente.

Nestas bases foram usadas as palavras-chaves em português: resíduos, concreto, cimento, materiais reciclados. Foram também levantados artigos em inglês usando as seguintes palavras: *waste, concrete, cement, recycled materials*. A Figura 7 apresenta como foram feitas as combinações das palavras-chaves. A pesquisa foi realizada em duas etapas por cada idioma. O objetivo da combinação é que sempre existissem em uma primeira rodada de pesquisa as palavras derivadas de resíduo combinadas com cimento ou concreto e em uma segunda rodada as palavras derivadas de “materiais reciclados” combinadas com cimento ou concreto.

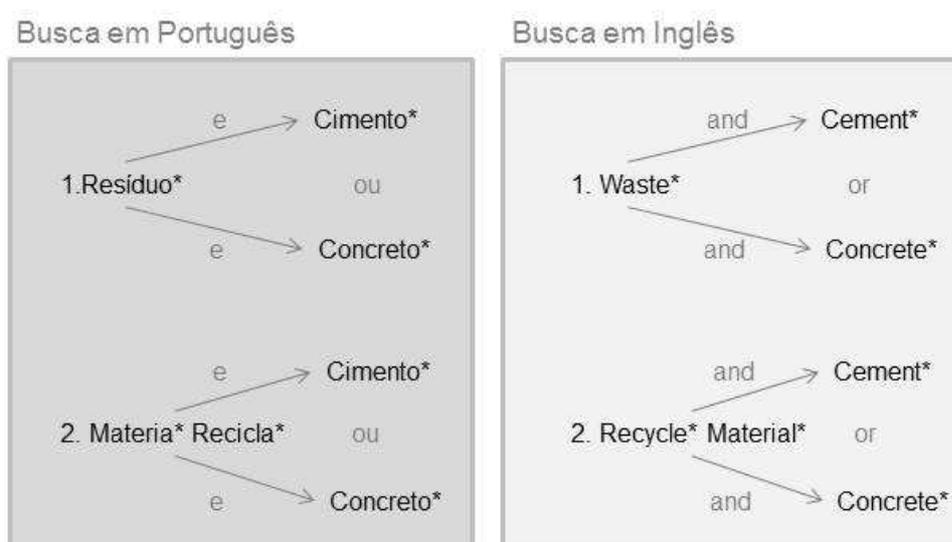


Figura 7: Combinações das palavras-chaves para busca

Foram usados como sinônimo para resíduo, as palavras materiais reciclados ou recicláveis, pois foi verificado em pesquisa prévia que alguns artigos tomavam como referência este termo para designar os resíduos. A pesquisa foi realizada por apenas um pesquisador nos meses de Junho e Julho de 2012.

### 2.2.3 Critérios de inclusão e exclusão

Dos artigos levantados com os cruzamentos das palavras-chaves e bases de dados descritas acima, ainda foram usados os seguintes critérios para inclusão dos artigos na análise final:

- a) Estudos experimentais da utilização de resíduos junto a matrizes cimentícias (cimentos, concretos e argamassas), na substituição de agregados do concreto ou argamassa, junto à composição do cimento ou ainda incorporados ao concreto. Foram excluídos, portanto, artigos teóricos e de revisão sobre a problemática, artigos que tratassem sobre gerenciamento de resíduos da construção civil ou resíduos utilizados como matriz energética em caldeiras.
- b) Foram excluídos artigos que estudaram as matrizes cimentícias sem objetivar o uso na construção civil.
- c) Foi usado como marco temporal o ano de 1992, ano da II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano. Pois, foi considerado que neste evento se consolidou uma agenda global em relação ao meio ambiente. Assim, espera-se que as pesquisas passaram a ter também uma visão de impactos ambientais. Foram levados em conta artigos dos últimos 20 anos, entre 1992 e 2012, ano também da conferência Rio+20.
- d) Como critério de qualidade da seleção foi adotado a escolha apenas de artigos publicados em revistas e periódicos, excluindo-se assim outras formas de publicação como livros, teses, dissertações, monografias, trabalhos não publicados e artigos de eventos.

### 2.2.4 Seleção dos estudos

Com uma análise nos títulos e resumos de cada artigo foram levantados 531 potenciais artigos. Após segunda análise, utilizando os critérios de inclusão e exclusão já apresentados foram separados 398 artigos do uso de resíduos junto a matrizes cimentícias. Todos os artigos selecionados foram classificados com base no resíduo avaliado e na forma de utilização: adição ao concreto como agregados ou substituindo parcialmente o cimento.

Para a segunda etapa foram avaliados apenas os artigos que tratavam exclusivamente da questão do uso do RCD. Os artigos que tinham a preocupação com a incorporação de outro resíduo junto ao RCD ou da comparação do uso de outro resíduo com o uso de RCD foram excluídos. Também não foram analisados os artigos que mencionassem apresentar

preocupação com apenas uma característica específica do produto. Restaram assim, para avaliação na segunda etapa 48 artigos.

### 2.2.5 Características dos estudos

A distribuição dos artigos revisados pelo ano em que foram publicados demonstra um evidente crescimento no número de publicações referentes ao tema da reciclagem de resíduos junto a matrizes cimentícias (Figura 8). O aumento maior se mostrou nesta última década, sendo que nos últimos quatro anos a média é de 43 artigos publicados e a soma destes artigos corresponde a pouco menos que o montante de artigos publicados de 1992 a 2008. Isso pode ser justificado pela crescente preocupação com o meio ambiente e os impactos que a construção civil provoca. Adicionalmente está a busca por inovação na construção já que este é um setor considerado atrasado (JOHN, 2000).

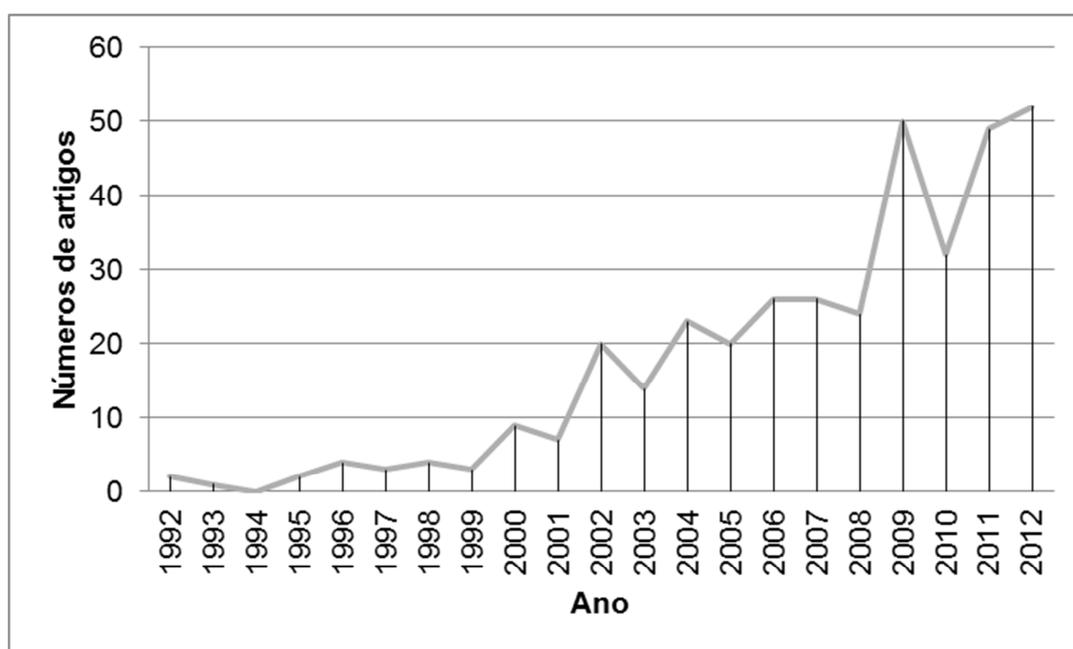


Figura 8: Distribuição dos artigos pelo ano de publicação

Os artigos foram classificados também pela forma de incorporação do resíduo. Dos 398 artigos revisados 132 artigos são de cinzas e outros pós para ser adicionados ou substituindo total ou parcialmente o cimento. Como adições junto ao concreto foram encontrados 266 artigos, destes 168 foram considerados para substituição total ou parcial de agregado natural, esse elevado número se justifica também pelo grande número de estudos sobre os resíduos de construção e demolição, que na totalidade dos artigos analisados foram tratados como agregados. Os 98 artigos restantes foram classificados como adição junto ao concreto.

Foi verificado o uso de pelo menos 76 diferentes tipos de resíduos incorporados das mais diversas formas e dosagens junto às matrizes cimentícias. Sendo que alguns estudos compararam as propriedades do concreto com mais de um tipo de resíduo incorporado, (exemplo: cinza volante e borracha) e outros compararam as propriedades de concretos com resíduos diferentes comparando as propriedades entre as diferentes amostras. De maneira geral, pode-se observar pela Tabela 1 que os resíduos com maior número de estudos são os RCDs, vidro, cinza volante e borracha. Os RCDs são notadamente os mais estudados, justificando-se por ser um resíduo oriundo da própria construção civil, sendo de grande interesse da área seu uso e destinação. Os outros, vidro, cinza volante e borracha podem ser justificados pela grande abundância destes resíduos em qualquer parte do mundo, não sendo problema assim, apenas da região produtora, como o caso da cana-de-açúcar e casca de arroz.

Tabela 1: Distribuição de artigos por resíduos investigados

| Resíduo                   | Número de artigos | Porcentagem |
|---------------------------|-------------------|-------------|
| RCD                       | 98                | 26%         |
| Vidro                     | 35                | 9%          |
| Cinza Volante             | 31                | 8%          |
| Borracha                  | 28                | 8%          |
| Escórias                  | 21                | 6%          |
| Corte de cerâmica         | 16                | 4%          |
| Mármore                   | 11                | 3%          |
| Resíduo de garrafa pet    | 9                 | 2%          |
| Cinza do bagaço da cana   | 7                 | 2%          |
| Sílica ativa              | 6                 | 2%          |
| Lodo de estação de esgoto | 5                 | 1%          |
| Cinza pesada              | 5                 | 1%          |
| Pó do corte de granito    | 5                 | 1%          |
| Plásticos                 | 5                 | 1%          |
| Areia de fundição         | 4                 | 1%          |
| Resíduos de madeira       | 4                 | 1%          |
| Cinza de casca de arroz   | 4                 | 1%          |
| Outros Resíduos           | 104               | 28%         |
| Total de artigos          | 398               | 107%*       |

\* Nota: o total é maior que 100% pois alguns estudos analisam mais que um resíduo

## 2.2.6 Análise dos estudos encontrados

Nesta etapa foi realizada a análise dos artigos que tratavam apenas dos resíduos de RCD comparando com a metodologia desenvolvida no trabalho de John (2000) que tem por objetivo orientar as pesquisas e desenvolvimento de um novo material ou produto da

construção civil com uso de resíduo. A tarefa para desenvolver um novo material que seja ambientalmente seguro é complexa e exige conhecimento multidisciplinar. O objetivo deste levantamento foi verificar quais são as preocupações e em que nível de profundidade encontram-se os estudos com RCDs que buscam alguma aplicabilidade para este resíduo como agregado junto a matrizes cimentícias. É necessário levar em consideração que os agregados reciclados de RCD já são amplamente utilizados como base e sub-base para pavimentações e aterros. Entretanto, a finalidade deste levantamento foram os artigos que buscam empregar o RCD na produção de concretos, argamassas e artefatos pré-fabricados de concreto.

Um grande problema no uso do RCD é a variabilidade das composições, que é diferente em cada região e em cada fase da obra. Este problema foi levantado por diversos estudos desta revisão, assim foram verificadas soluções diferenciadas como manejo e separação, alguns estudos utilizam apenas um componente (ex. resíduo de concreto), e outros utilizam sem nenhum tratamento. Todas as soluções foram incluídas na revisão, não sendo esse um critério de exclusão. A separação dos RCDs agrega custo e mais uma etapa e ao processo, que deveriam ser levados em consideração, porém os custos dos tratamentos poucas vezes foram levantados nos artigos revisados. Assim, as próximas etapas deste trabalho avaliam os artigos encontrados de acordo com as etapas da metodologia propostas por John (2000).

#### 2.2.6.1 Quantificação dos resíduos disponíveis

Está foi a primeira etapa proposta para iniciar uma pesquisa com resíduos. A determinação de dados quantitativos é importante para o início de um projeto deste tipo, já que o resíduo será matéria-prima é necessário saber se haverá a quantidade necessária quando o produto for lançado. O exame dos artigos incluídos na revisão demonstrou uma preocupação com a quantificação em boa parte dos estudos. Como a quantificação é um trabalho difícil, considerando o tamanho da cadeia da construção civil, os levantamentos na maioria dos artigos revisados foram baseados em estimativas e estudos acadêmicos de outros autores.

A preocupação evidenciada não é com a falta de resíduo como matéria-prima e sim com a abundância desses, causa de grande impacto ambiental e justificam assim, que a reciclagem do RCD é uma boa alternativa para solução deste problema. De um modo geral, a falta deste resíduo como matéria prima não foi motivo de preocupação. Os dados referentes ao mercado nacional, por exemplo, indicam uma geração de 68,5 milhões de toneladas de resíduos

anualmente (LOVATO *et al.*, 2012). E este montante apresentará crescimento nos próximos anos devido ao desenvolvimento econômico do país.

#### 2.2.6.2 Caracterização do resíduo

Os principais testes realizados para a caracterização dos resíduos verificados nos artigos revisados foram os testes de massa unitária, massa específica, além do teste de absorção de água. Alguns apresentam também composição granulométrica do resíduo utilizado (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004). Outras caracterizações feitas têm relação com a análise química e também a composição em termos de variedades de componentes na amostra do RCD estudado. Isso se justifica porque o resíduo de construção e demolição pode ser muito variável e composto por vários tipos de resíduos como restos de alvenaria, telhas, cerâmicos dos revestimentos, concreto, argamassa além de poder conter outras impurezas como o gesso, madeira, vidro, resíduos orgânicos entre outros. Uma característica avaliada que também pode ser considerada como parte de avaliação de desempenho ambiental é a lixiviação, encontrada em dois dos trabalhos revisados (ENGELSEN *et al.*, 2010; SANI; MORICONI; CORINALDESI, 2005).

#### 2.2.6.3 Custos envolvidos no processamento

Embora exista uma preocupação com a qualidade do resíduo utilizado e a variabilidade ser um efeito apontado em vários dos artigos revisados, a questão do processamento e dos custos envolvidos para tratamento não é esclarecida na grande maioria dos artigos revisados. Em alguns artigos foi explicado de forma resumida e com esquemas como foi feita a separação e triagem do RCD (EGUCHI *et al.*, 2007; LI, 2008), porém não foi avaliado o custo econômico desta etapa.

O custo foi avaliado em apenas um dos estudos revisados no qual levantou-se a questão do acréscimo no uso de cimento para o melhor desempenho com uso do RCD e foi realizado uma comparação com o custo do cimento (LOVATO *et al.*, 2012). Apesar de esta ser uma preocupação importante para viabilizar o produto, ainda não leva em conta custo com a transformação do RCD em agregado. Apenas um dos artigos revisados levou em consideração a preocupação com o custo financeiro de processamento de agregado reciclado em comparação com o natural e apresenta resultados promissores ao uso de RCD sendo seu custo consideravelmente inferior ao agregado natural (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

#### 2.2.6.4 Identificação de uma aplicação

O RCD é mais comumente estudado com o uso de substituição parcial ou total do agregado natural em concretos estruturais e não estruturais além de utilizados em argamassas, podendo ser utilizado tanto para agregado graúdo quanto miúdo. Nos artigos revisados, além destes usos, também foram encontrados estudos que avaliaram o uso como agregado em elementos pré-moldados de concreto para pavimentação em calçadas (JANKOVIC *et al.*, 2012; LI, X., 2008; SOUTSOS *et al.*, 2011b) e para blocos de alvenaria (SOUTSOS *et al.*, 2011a). Em um estudo foi avaliado a atividade pozolânica do material cerâmico (LEITE; DALMOLIN, 2002).

#### 2.2.6.5 Avaliação do produto

Essa é a fase em que os artigos revisados mais destinaram a atenção. Pode-se considerar como a principal etapa do projeto de pesquisa e desenvolvimento. Nesta etapa, são realizados diversos ensaios que buscam demonstrar a viabilidade do resíduo para o uso proposto. A crítica necessária neste momento são quais testes de desempenho e durabilidade são necessários para fazer essa afirmação. Para os testes de desempenho, ou as propriedades mecânicas do concreto, foi verificado nos artigos revisados que em sua quase totalidade o principal ensaio é o de resistência à compressão. Este foi considerado o principal e mais importante ensaio a ser aplicado devido às próprias características e propósitos dos produtos desenvolvidos. Além destes testes, também foi verificado, em alguns dos artigos revisados, o ensaio de ultrassom, que analisaram a compacidade e associaram à resistência à compressão (KHATIB, 2005; KOU; POON; WAN, 2012). Em segundo lugar aparecem os testes de tração e módulo de elasticidade. Nos artigos cujo objetivo foi investigar a possibilidade do uso do RCD como agregado junto a blocos pré-moldados para pavimentação foi realizado também o ensaio de resistência à abrasão (JANKOVIC; NIKOLIC; BOJOVIC, 2012; SOUTSOS; TANG; MILLARD, 2011).

Quanto às características a respeito da durabilidade do concreto, os testes realizados são em relação à penetração de ar, água e íons. Nos artigos revisados a principal preocupação foi à absorção de água (KWAN *et al.*, 2011; LEVY; HELENE, 2004; OLORUNSOGO; PADAYACHEE, 2002), em segundo lugar como teste mais recorrente nos artigos foi o ensaio de carbonatação acelerada (DOSHO, 2011; RAO; JHA; MISRA, 2007; ZEGA; MAIO, 2011). Foram realizados em alguns artigos também ensaios de deformação do concreto por retração (CORINALDESI, 2010; KOU; POON; WAN, 2012).

#### 2.2.6.6 Desempenho ambiental

Apesar de o desenvolvimento de um produto da construção civil utilizando resíduo reciclável ser uma preocupação fundamentalmente ambiental (reduzir a disposição de resíduo no ambiente e diminuir a necessidade de exploração de recursos naturais) outras características que impactam o meio ambiente não foram avaliadas na maioria dos artigos revisados. John, 2000 coloca que o principal teste a ser feito é o de lixiviação, mas não pode ser único, sendo necessária também uma análise do ciclo de vida do produto, (do berço ao túmulo). Dos artigos analisados apenas dois, tem a preocupação com a mensuração dos impactos ambientais do uso do resíduo (DOSHO, 2011; EGUCHI *et al.*, 2007). Nestes são avaliados as estimativas das emissões de CO<sub>2</sub>. Em ambos os estudos os resultados parecem satisfatórios quando ao uso do RCD em termos de emissão de CO<sub>2</sub>. Não foi verificada em nenhum dos artigos a preocupação com saúde dos usuários do produto nem da mão-de-obra utilizada para tratamento deste resíduo. Apenas dois artigos realizaram ensaios de lixiviação para verificar possibilidade de danos ao meio ambiente (ENGELSEN *et al.*, 2010; SANI; MORICONI; CORINALDESI, 2005).

#### 2.2.6.7 Desenvolvimento do produto

O desenvolvimento do produto consiste na fase de verificar as possibilidades de produção em escala para industrialização e comercialização. Nesta etapa o objetivo é analisar como deve ser feito o controle de qualidade, para que os resultados obtidos em laboratórios possam ser refletidos também no uso e aplicação. No caso do RCD, essa é uma etapa consideravelmente importante, dada a variabilidade do resíduo, já mencionado anteriormente. Esta é uma etapa de caráter multidisciplinar, onde se deve pensar nos conceitos de engenharia simultânea (JOHN, 2000). Nos artigos revisados esta foi uma questão que não ganhou destaque. Foi apenas avaliado o nível de qualidade que os resíduos estavam para os ensaios realizados em laboratório. Em um dos artigos (DOSHO, 2011) foi apresentado um fluxograma para controle da qualidade, aplicado e testado em empresa fornecedora de concreto, sendo o único que apresentou um plano para controle da qualidade quando o produto proposto estiver em linha de produção.

#### 2.2.6.8 Transferência da tecnologia

Nesta etapa leva-se em consideração a interação de todos os elos da cadeia produtiva para o lançamento do produto. Pode-se considerar como uma etapa pertencente ao desenvolvimento do produto. Deve ser pensado de que maneira o produto será apresentado e entregue ao

consumidor e como convencê-los a utilização. Os geradores de resíduos, os governos, os potenciais consumidores e mesmo setores como cooperativas e outros empreendedores deveriam ser consultados e analisados para verificar de que forma esses poderiam se apropriar e passar a fazer uso do novo produto. Não foi verificado em nenhum dos artigos revisados o interesse em abordar o tema. Esta constatação vem ao encontro do baixo nível de consumo de agregados reciclados em países como o Brasil. Também corrobora com a dificuldade existente e conhecida no meio acadêmico no que tange a transferência de tecnologia desenvolvida dentro das universidades para a comunidade e setor produtivo em geral.

#### 2.2.6.9 Considerações

Existe uma crescente tendência a elevação do número de estudos que buscam a reciclagem de resíduos oriundos das mais diversas fontes em materiais de construção. E o concreto é um importante facilitador para essa incorporação. A indústria da construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais e assim, também é de grande benefício para a mesma, a descoberta de novos materiais (resíduos que passam a ser considerados subprodutos) que possam ser incorporados reduzindo o impacto que a mesma causa ao meio ambiente. É notável o número de estudos sobre o uso do RCD, que para a construção civil é de fundamental importância, pois com a reciclagem, resolve também o problema de destinação de seus resíduos dentro na própria cadeia. Esta tendência crescente no número de estudos que visam à reciclagem de resíduos vem ao acordo com as disposições mundiais de uma maior consciência ambiental, que vem crescendo nos últimos anos, especialmente na última década.

É importante considerar que os artigos revisados são da área de engenharia civil cujo foco é a avaliação de materiais e de produtos. Dentro deste escopo está principalmente a preocupação com as propriedades mecânicas do concreto, o ensaio de resistência à compressão parece ser utilizado por todos como análise de qualidade e viabilidade. Assim, se essa característica não for bem respondida o produto não é viável. Isso pode ser explicado devido à principal função do produto avaliado. Outros testes como os de durabilidade parecem merecer menor importância, sendo ignorados em diversos artigos. Isso leva ao questionamento se não seriam necessários mais ensaios, principalmente os que avaliam possíveis impactos ambientais, para comprovar a viabilidade e qualidade de um material, principalmente quando se pretende ‘vender’ sustentabilidade ambiental. Esse fator ganha importância no momento de dar confiabilidade a uma conclusão a respeito de determinado produto.

Porém, o bom desempenho mecânico e a boa durabilidade não são suficientes para afirmar que o produto pode ser comercializado (JOHN, 2000). Devem ser levados em conta todos os outros fatores quando se faz uma afirmação de que certo resíduo pode ser destinado para uso comercial. A viabilidade de produção em escala fora de laboratório, o controle de qualidade e a margem de segurança para o uso do resíduo também devem ser verificados. Como também o conhecimento dos custos envolvidos e conhecimento da cadeia. As possibilidades e limitações para o uso exigem assim, conhecimento multidisciplinar para sua avaliação.

Um grande problema no uso dos RCDs é a variabilidade das composições, cujas características possuem uma infinidade de influências. Essa situação também é agravada pelo baixo controle e separação dos resíduos na própria obra. Este problema é evidenciado em diversos estudos desta revisão, os quais propõem soluções diferenciadas como manejo e separação. Alguns desenvolvem seus experimentos verificando o desempenho sem fazer nenhum tratamento dos RCDs, outros utilizam apenas a fração de resíduo de concreto. Esta última solução pode apresentar inviabilidade nas situações fora de laboratório, principalmente em países como o Brasil, onde o gerenciamento de resíduos é insipiente e as tecnologias de triagem bastante artesanais. A separação dos RCDs agrega custo e mais uma etapa e ao processo, que devem ser levados em consideração.

As lacunas verificadas quanto à análise de desempenho ambiental são perigosas quando se afirma que se está desenvolvendo um produto mais sustentável. Não é possível afirmar tal fato sem haver uma avaliação do ciclo de vida do produto. O simples fato de promover a reciclagem por si só não garante um produto mais sustentável. Testes como lixiviação deveriam ser realizados, verificando níveis de toxicidade que podem causar problemas nos usuários e trabalhadores que utilizarão o resíduo como possível fonte de renda, bem como problemas ao meio ambiente.

Outra análise que pode ser feita e não foi verificada nos artigos revisados são as reais vantagens ambientais do uso do agregado reciclado de RCD, comparativamente com o uso do agregado natural. É necessário um balanço dos custos e emissões dos dois procedimentos, quando, por exemplo, existir a necessidade de se tornar o traço mais rico em cimento para poder viabilizar o uso do agregado reciclado. Esta análise é importante já que a principal intenção do uso de agregado reciclado são as suas vantagens ambientais.

Como avanço no desenvolvimento do trabalho pode-se verificar a qualidade dos testes desenvolvidos para avaliação do produto, verificando-se assim, se os resultados são comparáveis e confiáveis. Como a maioria dos artigos não apresenta dados de desempenho ambiental, estes dados não poderiam ser comparados abrindo-se assim, a possibilidade para estudo de análise de risco ambiental e análise de ciclo de vida que foi negligenciado na maioria dos artigos revisados.

Este estudo não pretendeu ser conclusivo a respeito do assunto, e sim verificar em que estágio os artigos revisados se encontram quando comparados com uma metodologia para processo de desenvolvimento de produtos baseados na reciclagem. Bem como, conhecer as principais preocupações e interesses dos pesquisadores sobre a reciclagem do RCD até o determinado momento da pesquisa. Na qual, foi verificado a lacuna a respeito da transformação dos estudos de laboratório em produto comercializável, bem como com a avaliação dos riscos ambientais. Verificou-se também o destacado o interesse pelo comportamento do RCD como agregado reciclado e suas influências positivas ou negativas no desempenho mecânico produto. Pode-se pressupor que com o adequado conhecimento deste comportamento já se deve avançar nas pesquisas investigar também as outras etapas.

### 2.3 VIABILIDADE DO USO DE RCD EM ARTEFATOS DE CONCRETO

O tema do uso de RCD em concretos não é algo novo. Porém, ainda persiste o desconhecimento sobre a variabilidade das composições do material e as implicações que esta característica altera nas propriedades dos concretos. Em geral, os estudos apresentam substituições parciais de agregado natural por agregado reciclado e para uso em concretos estruturais a tendência é em pesquisas com agregados reciclados a partir de resíduos de concreto (ISMAIL; RAMLI, 2013; SHEEN *et al.*, 2013; YANG; DU; BAO, 2011).

Estudos com uso de agregado reciclado misto (oriundos de misturas de concreto, argamassas, e cerâmicas vermelhas) gráudo em concreto apontam que a redução na resistência à compressão diminui linearmente conforme aumenta a taxa de substituição e aproxima-se da proporção de 20% a 30% de redução para concretos com 100% de substituição de agregados naturais por agregados reciclados (MARTÍNEZ-LAGE *et al.*, 2012). Para o uso de agregados reciclados como substituição da areia em concretos, a resistência à compressão não é afetada para substituições até 30% (EVANGELISTA; BRITO, 2007).

A viabilidade do uso de agregados reciclados para blocos de concreto para alvenaria já foi comprovada em diversos artigos e trabalhos. Para Fonseca (2002), a utilização de agregados provenientes de RCD, possibilita substituir agregados naturais mantendo produtos de boa qualidade, porém o autor enfatiza que é necessário manter um adequado controle de qualidade dos agregados reciclados. Em seu trabalho, os objetivos de obter traços de concreto com a resistência mínima de blocos vazados com função estrutural foram cumpridos, sendo que para um consumo de cimento de  $212,66\text{Kg/m}^3$  o bloco atingiu 8,5 MPa e absorção de água de 8,1% menor que o limite de da norma NBR 6136 (ABNT, 2007), para blocos de concreto que aceita absorção até 10%.

Poon *et al.* (2002) objetivou a produção de blocos de concreto para alvenaria e para pavimentação usando resíduos de construção e demolição como agregados reciclados. Os ensaios foram conduzidos em três séries de misturas com agregados reciclados, como a substituição de ambos os agregados graúdos e miúdos naturais em níveis de até 100% em massa, com ou sem a incorporação de cinzas volantes. Para os blocos para alvenaria foram realizados ensaios de resistência à compressão, resistência à flexão, retração e massa específica. Além dos testes de laboratório, uma planta experimental foi realizada para verificar a viabilidade desta técnica em um ambiente industrial. Os resultados mostraram que a substituição de agregados naturais (graúdos e miúdos) por agregados reciclados com os níveis de 25% e 50% tiveram pouco efeito sobre a resistência à compressão dos blocos, mas níveis mais elevados de substituição reduziram a resistência à compressão. No entanto, a resistência à flexão das amostras aumentou à medida que a porcentagem de substituição aumentou. Os ensaios também mostraram que blocos de pavimentação para calçadas com uma resistência à compressão de 30 MPa além de blocos para alvenaria podem ser produzidos também com a incorporação de cinzas volantes além do uso do RCD.

Soutsos *et al.* (2011) desenvolveu um estudo com objetivo de testar a substituição em blocos de concreto de agregados reciclados comparando agregados oriundos de resíduos de concreto com agregados oriundos de resíduos de alvenaria, combinando a fração graúda e miúda. Os resultados foram de que as características físicas dos agregados reciclados podem afetar adversamente as propriedades mecânicas dos blocos. Os níveis de substituição máximos de resíduos de concreto encontrados foram de 60% para a fração graúda, e 20% para a fração miúda. Para os resíduos de alvenaria os níveis máximos foram de 20% para a fração graúda e 20% para a fração miúda. A contaminação de alvenaria em resíduo de concreto é uma

preocupação, uma vez que alvenaria mostrou-se ter um maior efeito prejudicial sobre a resistência. Por esta razão, recomendou-se no estudo que o nível de alvenaria permitida na mistura com agregado reciclado de concreto deve ser limitado a 10%. No geral, as resistências obtidas confirmou que os níveis de substituição selecionados, não causaram redução de resistência significativa e não houve necessidade de aumentar o teor de cimento para manter a resistência necessária aos blocos. Portanto, não haveria custo adicional para os fabricantes ao usar agregados reciclados para a de produção de blocos de concreto desde que usadas os níveis máximos de substituição indicados.

Em Xiao *et al.* (2011) foi verificado os efeitos de tijolos cerâmicos triturados e utilizados como agregados graúdos e miúdos sobre as propriedades mecânicas de blocos de concreto não estrutural. A partir dos resultados, verificou-se que a incorporação dos agregados de tijolos cerâmicos triturados teve uma influência significativa nas propriedades dos blocos. O uso aumentou a absorção de água das amostras de bloco. Os resultados sugerem que a quantidade de tijolo moído para ser utilizada em blocos de alvenaria de concreto deve ser controlada a no máximo 25% para agregado graúdo e dentro de 50 a 75% de agregados miúdos.

Estudo mais recente sugere que o uso de resíduos de construção e demolição com prévia triagem, porém utilizando a mistura de material cerâmico, concreto e argamassa em blocos de concreto podem melhorar as propriedades de isolamento acústico, térmico e ao fogo (LEIVA *et al.*, 2013). Foram feitas substituições de 20% e 100%, e apesar de a incorporação dos resíduos tanto a fração miúda quando graúda prejudicarem os resultados das propriedades mecânicas e massa específica do bloco, ainda seria possível o uso dos blocos para funções não estruturais, com a vantagem do melhoramento das características de resistência ao fogo, e isolamento térmico e acústico.

As possibilidades de incorporação de agregados reciclados em concretos e artefatos pré-moldados de concreto já foram satisfatoriamente estudadas. A preocupação atual é em aumentar esses níveis de substituição através de um maior conhecimento das propriedades do RCD bem como a incorporação de técnicas com objetivo de melhorar a qualidade do material. Assim, já são encontrados estudos investigando a possibilidade de se obter agregados reciclados de alta qualidade (MENARD *et al.*, 2013; ULSEN *et al.*, 2013). O conhecimento a respeito do material e das formas como podem ser feitos o tratamento destes resíduos apresentam ainda grande espaço para pesquisa e aprofundamento.

### 2.3.1 Recomendações normativas para blocos de concreto

Com objetivo de mapear e reconhecer as recomendações normativas nacionais para a fabricação, ensaios e uso dos blocos de concreto, segue abaixo um panorama das normas que dessem ser seguidas referentes ao produto.

#### 2.3.1.1 NBR 6136–“Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos” (ABNT, 2007).

Esta norma estabelece os requisitos para recebimento de blocos vazados de concreto simples, destinados à alvenaria com ou sem função estrutural. Na qual define que, bloco vazado é o componente de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta. Os blocos que compõem uma família, segundo suas dimensões, são designados como bloco inteiro (bloco predominante), meio bloco, blocos de amarração L e T (blocos para encontros de paredes), blocos compensadores (blocos para ajustes de modulação) e blocos tipo canaleta. Blocos tipo canaleta são componentes vazados ou não, criados para racionalizar a execução de vergas contravergas e cintas.

Os blocos ainda são classificados nas classes, A, B, C e D, onde varia com ou sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo e também varia suas dimensões. Define que os materiais constituintes devem ser cimento Portland, agregados e água, podendo ser possível variar no tipo de agregado e o uso de plastificante, desde que atenda aos requisitos físicos mecânicos descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Resistência à compressão, absorção e retração.

| Classe | Resistência Característica $f_{ck}$ MPa | Absorção média em % |   | Retração (1) % |
|--------|---|---------------------|---|----------------|
|        |   | Agregado normal     | Agregado leve   |                |
| A      | $\geq 6,0$                              | $\leq 10,0\%$       | $\leq 13,0\%$<br>(média)<br>$\leq 16,0\%$<br>(individual) | $\leq 0,065\%$ |
| B      | $\geq 4,0$                              |                     |   |                |
| C      | $\geq 3,0$                              |                     |   |                |
| D      | $\geq 2,0$                              |                     |   |                |

(1) Facultativo

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2007), p. 6.

Define ainda, que devem ser executados os ensaios de resistência à compressão, análise dimensional, absorção e área líquida, retração linear por secagem, conforme NBR 12118 (ABNT, 2011); e permeabilidade, conforme estabelecida na norma.

2.3.1.2 NBR 12118–“Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio” (ABNT, 2011).

Especifica métodos de ensaio para análise dimensional e determinação de absorção de água, da área líquida, da resistência à compressão e da retração por secagem, em blocos vazados de concreto simples para alvenaria. As dimensões analisadas devem ser expressas em mm e segundo a Figura 9.

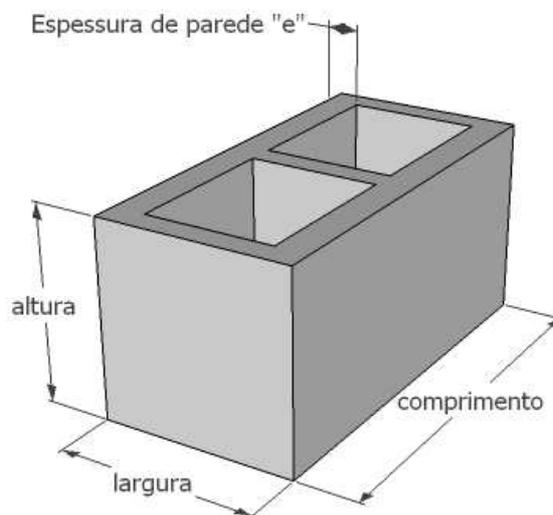


Figura 9: Dimensões nos blocos de concreto  
Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2007), p. 2

Outras normas que estabelecem ensaios relativos a blocos de concretos são:

- a) NBR 8949–“Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio” (ABNT, 1985).
- b) NBR 14322–“Paredes de alvenaria estrutural - Verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão” (ABNT, 1999).
- c) NBR 14321–“Paredes de alvenaria estrutural – Determinação da resistência ao cisalhamento” (ABNT, 1999).
- d) NBR 15961-1 –“Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 1: Projeto” (ABNT, 2011).
- e) NBR 15961-2 –“Alvenaria estrutural - Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras” (ABNT, 2011).

### 2.3.2 Recomendações normativas para uso do RCD

Da mesma forma, foi necessário reconhecer as políticas, resoluções e recomendações normativas referentes aos resíduos de construção e demolição no Brasil, para o adequado andamento do trabalho. A seguir, essas são listadas.

#### 2.3.2.1 LEI Nº 12.305, de dois de agosto de 2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Aprovada em Agosto de 2010 traz consigo uma série de inovações no que tange à coleta, gestão e destino final dos resíduos sólidos em âmbito nacional. A Política Nacional de Resíduos Sólidos visa a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Prevê ainda princípios como ‘poluidor-pagador’ e o ‘protetor-recebedor’ além da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. A Política exige ainda que empresas de construção civil, além de outras áreas apresentem o plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

#### 2.3.2.2 Resolução Nº 307, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002)

Principal diretriz nacional, que estabelece conceitos e definições a respeito dos RCDs. Estabelece diretrizes e regras para a gestão dos resíduos de construção e demolição, disciplinando as ações de forma a minimizar os impactos ambientais. Nela são adotadas as definições:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;

Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo à operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto;

Segundo esta Resolução, as empresas geradoras de resíduos devem ter como objetivo prioritário, a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final. Os resíduos não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, áreas de “bota-fora”, encostas, corpos d’água, lotes vagos e em área protegidas por Lei. A Resolução também classifica os RCDs, de acordo com Figura 10.

| <b>Classe</b> | <b>Descrição</b>   | <b>Destinação</b>  |
|---------------|--|--|
| <b>A</b>      | São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos; componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras; | Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura; |
| <b>B</b>      | São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;   | Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;  |
| <b>C</b>      | São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação   | Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.  |
| <b>D</b>      | São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.   | Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.  |

Figura 10: Quadro com a classificação, definição e destinação dos RCDs

Esta resolução ainda sofreu diversas mudanças para que se adaptasse às novas descobertas e políticas, estas alterações estão apresentadas juntamente com a resolução e data na Figura 11:

| <b>Nº resolução</b> | <b>Data</b>  | <b>Alteração</b>  |
|---------------------|--------------|---|
| Nº 348              | 16 /08/ 2004 | Inclui o amianto na classe de resíduos perigosos  |
| Nº 431              | 24 /05/ 2011 | Estabelece nova classificação para o gesso, passando para a classe B (resíduos recicláveis)                       |
| Nº 448              | 18 /01/ 2012 | Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º, 11º, para se enquadrar a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos. |

Figura 11: Quadro com alterações da Resolução CONAMA, 307

2.3.2.3 NBR 15.116 – “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil- Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos” (ABNT, 2004).

A Norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) é a norma vigente no Brasil que estabelece requisitos para uso de agregados reciclados a partir do RCD em pavimentação e concreto sem função estrutural. Apenas essa última é de interesse para este trabalho, sendo a única função a ser analisada.

Esta norma classifica os resíduos da construção em quatro classes, A, B, C e D, seguindo a mesma classificação da Resolução CONAMA 307. Para uso no concreto somente a classe A podem ser utilizados. São eles:

- a) resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento e outros), argamassa e concreto;
- c) resíduos de processo de preparo e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios e outros) produzidos nos canteiros de obras.

Estes resíduos provenientes da classe A, são ainda classificados pela norma em dois grupos:

- a) ARC – agregado de resíduo de concreto: são os agregados reciclados com 90% ou mais resíduos a base de cimento Portland e rochas na sua composição gráuda;
- b) ARM – agregado de resíduo misto: são os agregados reciclados com menos de 90% de resíduos a base de cimento Portland e rochas na sua composição gráuda.

Para a distinção entre as duas classificações a norma sugere um ensaio contido em anexo para a determinação, no qual estabelece os seguintes critérios:

- a) grupo 1: fragmentos que apresentam pasta de cimento endurecida em mais de 50% do volume;
- b) grupo 2: fragmentos constituídos por rocha em mais de 50% do volume;
- c) grupo 3: fragmentos de cerâmica branca ou vermelha, com superfície não polida, em mais de 50% do volume;
- d) grupo 4: fragmentos de materiais não minerais de natureza orgânica como madeira, plástico, betume e materiais carbonizados, e de contaminantes como vidros, vidrados cerâmicos e gesso.

Se a porcentagem dos dois primeiros grupos somados for superior a 90%, define-se como ARC, do contrário classifica-se em ARM.

A norma permite que se use tanto agregado miúdo como graúdo substituindo total ou parcial os agregados naturais. Determina também os requisitos e as normas de ensaios que devem ser realizados para a aferição dos resultados. Gonçalves (2007) avalia a norma brasileira como ‘conservadora’ ao se considerar a permissão do uso do agregado reciclado apenas para função não estrutural mesmo quando em se tratando de agregados oriundos de concreto

Ao tratar dos agregados mistos a norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) não estabelece requisitos quanto à composição, sendo apenas considerados, como mistos as composições que contenham menos que 90% resíduos de concreto. Os limitantes para uso ficam a cargo assim, dos requisitos de teores máximos de contaminantes, absorção de água e teores de material pulverulento. A norma japonesa (BCSJ, 1977), por exemplo, não faz distinção para a composição dos agregados, tratando todas as composições como mistas. Porém, permite apenas para uso em concretos sem função estrutural, além de estabelecer critérios bastante rigorosos em termos de taxas de absorção de água e material pulverulento. Neste sentido, pode-se avaliar que a norma japonesa também poderia ser considerada como conservadora.

Um diferencial da norma brasileira em relação a normas de outros países é que essa não estabelece requisitos quanto à massa específica, considerando apenas a absorção de água como parâmetro relacionado. Assim, baseado na absorção pode-se inferir que a massa específica requerida seria de  $2000 \text{ Kg/m}^3$  para agregados graúdos de  $1800 \text{ Kg/m}^3$ . (GONÇALVES, 2007). Resultados estes que se comparam a outras normas internacionais.

Outro diferencial é que a norma permite tanto o uso do agregado graúdo quanto miúdo e estabelece requisitos diferentes para cada fração. No trabalho de Gonçalves (2007) que apresenta a norma da Alemanha por DIN 4226-100 “*Aggregates for mortar and concrete – recycled aggregates*”, pode-se analisar que esta norma permite o uso de agregado miúdos e

gráudos, mas não estabelece requisitos diferenciados para cada fração. A norma de Portugal E471: 2006 por outro lado só permite o uso do agregado graúdo. A RILEM Recommendation (1994), por exemplo, estabelece requisitos para agregados  $\geq 4,0\text{mm}$ , e abaixo deles para substituição por agregados reciclados, recomenda que esses atendam às mesmas características da areia a qual será adicionada.

A Tabela 3 sintetiza as principais especificações e requisitos para agregados reciclados de RCD para uso em concretos fazendo uma comparação com a norma brasileira NBR 15.116 (ABNT, 2004). Os dados foram coletados do trabalho de Gonçalves (2007), e na tabela são apresentados os resultados das comparações com a brasileira, a norma da Alemanha DIN 4226-100, a norma do Japão publicada pelo *Building Contractors Society of Japan* (BCSJ) em 1977, a Recomendação da RILEM, publicada em 1994, a norma holandesa desenvolvida pelo *Commissie voor Uitvoering van Research* em 1984; a norma Portuguesa E471 “*Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos*” de 2006 e a norma da Suíça, Ot (*Objectif technique*) 70085 “*Instruction technique. Utilisation de matériaux de construction minéraux secondaires dans la construction d’abris*”, elaborado em 2006.

A seleção das normas a serem comparadas na tabela se baseou nas semelhanças de requisitos avaliados com a norma brasileira e por essas normas escolhidas também permitirem o uso e estabelecerem requisitos para agregados mistos e não apenas para agregados reciclados oriundos de concreto como fazem outras normas.

Pode se verificar na Tabela 03 que no geral, as especificações de cada norma não variam demasiadamente. Porém, a porcentagem permitida de teores de material pulverulento na norma brasileira é destacadamente maior que nas outras normas apresentadas. Também pode ser percebido que a norma holandesa apresenta maior número de especificações e ensaios a serem realizados para a aprovação dos agregados, porém não apresenta os requisitos mais rigorosos. Considerando que a menor taxa de absorção de água, ou maior massa específica, além dos teores de material pulverulento são as características mais difíceis de atingir bons índices com o agregado reciclado pode-se considerar que a norma japonesa possui os critérios mais rigorosos dentre as normas apresentadas.

Tabela 3: Especificações de agregados de RCD conforme normas

| Exigências                               | Brasil |     |     |     | Alemanha         |                  |      |      | Japão            |       | RILEM             |      | Holanda |     | Portugal         |                  |       | Suíça  |     |  |
|--|--------|-----|-----|-----|------------------|------------------|------|------|------------------|-------|-------------------|------|---------|-----|------------------|------------------|-------|--------|-----|--|
| Aplicação                                | NE     |     |     |     | NE / E           |                  |      |      | NE               |       | E                 | NE   | E       | NE  | E                |                  | NE    | NE / E |     |  |
| Natureza                                 | ARC    |     | ARM |     | ARC <sup>1</sup> | ARC <sup>2</sup> | ARA  | ARM  | ARM <sup>b</sup> |       | ARA               | ARC  | ARC     | ARA | ARC <sup>1</sup> | ARC <sup>2</sup> | ARM   | ARC    | ARM |  |
| Tipo                                     | G      | M   | G   | M   | M/ G             |                  |      |      | G                | M     | M <sup>a</sup> /G |      | M       | G   | M                | G                | G     |        | M/G |  |
| Teor de fragmentos a base de cimento (%) | ≥90    | -   | ≥90 | -   | >90              | >70              | <20  | -    | -                |       | -                 | 100  | ≥90     | -   | >90              | >70              |       | 100    | -   |  |
| Absorção de água (%)                     | ≤7     | ≤12 | ≤12 | ≤17 | 10               | 15               | 20   | -    | ≤7               | ≤13   | ≤20               | ≤10  | -       | -   | ≤7               |                  | ≤7    | -      |     |  |
| Cloretos < (%)                           | 1      |     |     |     | 0,04             |                  |      | 0,15 |                  |       |                   |      | -       | 1   |                  |                  |       | 0,03   | 1   |  |
| Sulfatos < (%)                           | 1      |     |     |     | 0,8              |                  |      | -    |                  |       | ≤1                | ≤1   | 1       | 1   | ≤0,8             |                  | ≤0,8  | -      | 1   |  |
| Materiais não minerais < (%)             | 2      |     |     |     | -                |                  |      |      |                  |       | ≤5                | ≤1   | 0,5     | 0,1 | 1                |                  |       |        |     |  |
| Torrões de argila < (%)                  | 2      |     |     |     | -                |                  |      |      |                  |       |                   |      |         |     |                  |                  |       |        |     |  |
| Material pulverulento(%)                 | ≤10    | ≤15 | ≤10 | ≤20 | -                |                  |      |      | ≤1               | ≤8    | ≤3                | ≤2   | -       | 4   | 2                | ≤4               |       | ≤3     |     |  |
| Massa específica > (kg/m <sup>3</sup> )  | -      |     |     |     | 2000             |                  | 1800 | 1500 | ≥2200            | ≥2000 | 2000              | 1500 | 2100    | -   | ≥2200            |                  | ≥2000 |        |     |  |
| Carbonado de cálcio (%)                  |        |     |     |     |                  |                  |      |      |                  |       |                   |      | 25      | 10  | -                |                  |       |        |     |  |
| Partículas lamelares (%)                 |        |     |     |     |                  |                  |      |      |                  |       |                   |      | 30      | 30  |                  |                  |       |        |     |  |
| Partículas leves (%)                     |        |     |     |     |                  |                  |      |      |                  |       |                   |      | 0,1     | -   |                  |                  |       |        |     |  |
| Materiais não rochosos (%)               |        |     |     |     |                  |                  |      |      |                  |       |                   |      | 1       | 1   |                  |                  |       |        |     |  |

<sup>a</sup> é permitido o uso de agregados miúdos desde que cumpra especificações de areia natural.

<sup>b</sup> não impõem nenhuma regra quanto à composição.

NE – permitido uso em concreto não estrutural; E – permitido uso em concreto estrutural, conforme indicações normativas.

ARC – agregado reciclado de concreto; ARM – agregado reciclado misto; ARA – agregado reciclado de alvenaria

M – agregado miúdo, G – agregado graúdo.

As demais recomendações normativas nacionais referentes a uso e manejo dos RCDs são as que seguem abaixo listadas:

- a) NBR 15112 – “Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação” (ABNT, 2004).
- b) NBR 15113 – “Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação” (ABNT, 2004).
- c) NBR 15114 – “Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação” (ABNT, 2004).
- d) NBR 15115 – “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil- Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos” (ABNT, 2004).

## 2.4 MODELOS CONCEITUAIS DE QFD PARA DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O método *Quality Function Deployment* ou Desdobramento da Função Qualidade (QFD) foi definido por Akao e Mazur (2003) como uma ferramenta para converter as demandas dos clientes em características de qualidade, desdobrando as relações entre as demandas dos clientes e as características do produto. É um importante método dentro do desenvolvimento de produto dedicado a traduzir os requisitos dos consumidores (CARNEVALLI; MIGUEL, 2008). Para Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001), o QFD é um método onde os esforços de engenharia são deslocados para a fase do planejamento e coloca de forma organizada e sequencial ‘o que’ precisa ser feito e ‘como’ pode ser feito. As definições para QFD variam, mas todas giram em torno da tradução das necessidades dos consumidores.

Essa ferramenta foi concebida na década de 1960, no Japão, em uma época que o país passava a desenvolver produtos originais deixando de fazer cópias de produtos existentes (AKAO; MAZUR, 2003). Nesse período o uso do QFD era voltado para a garantia da qualidade. Mais tarde o QFD passou a ser utilizado também para criação de novos produtos. Porém, com o passar do tempo muito se alterou no pensamento e na forma de desenvolver produtos, bem como as necessidades e formas de captar as necessidades destes consumidores. A garantia da qualidade do produto já não é mais a principal necessidade das empresas, sendo que outros

objetivos como capacidade inovadora, design, além de aspectos ambientais, também passaram a fazer parte das preocupações no momento de desenvolver o produto.

Akao e Mazur (2003) colocam que a tendência e dificuldades a serem vencidas nas pesquisas futuras sobre o QFD é a forma de abranger requisitos, que vão além da percepção do cliente. Nesse escopo, também entram os requisitos não funcionais, que o método *Kansei* busca solucionar, além de, por exemplo, requisitos ambientais e de regulamentações. O QFD foi concebido para atender a qualidade demandada num contexto da era da qualidade “voz do cliente”. Contudo os desafios do QFD nos tempos atuais é incluir demandas de outras dimensões que representam aspectos sustentáveis: econômicos, sociais e ambientais.

Para o desenvolvimento de produtos com enfoque em sustentabilidade, e usando como base a metodologia do QFD para assegurar qualidade do produto, o problema surge porque os clientes geralmente não têm consciência das exigências ambientais. (KAEBERNICK; KARA; SUN, 2003). Para responder a essa demanda, surgiram métodos baseados no QFD, em que os requisitos ambientais foram levados em consideração. Um dos primeiros trabalhos a inserir requisitos ambientais junto ao QFD foi o de Hochman e O’Connell (1993). O trabalho apresenta poucas diferenças da aplicação tradicional do QFD. A sugestão é que na equipe de projeto haja pessoas capazes de identificar na voz no cliente os requisitos ambientais, já que esses são considerados requisitos não explícitos, mas preocupações latentes dos clientes. As demandas identificadas são alocadas como nível primário separado, denominados de requisitos ambientais e em nível secundário são colocadas cada uma das demandas identificadas pela equipe, dentro da primeira matriz. As características de qualidade derivadas das demandas também são definidas pela equipe de projeto. O restante das matrizes é desenvolvido sem alterações da forma tradicional.

Outra abordagem no sentido de buscar junto ao cliente os requisitos ambientais surge, por exemplo, no trabalho de Yim e Herrmann (2003), que busca identificar a “eco-voz” do cliente. Neste trabalho se estabelece sugestões de como podem ser interpretados demandas dos consumidores e transformadas em demandas ambientais que os autores denominam como “eco-voz”. Citam como exemplo, no caso de um secador de cabelo quando a demanda do consumidor seja “mais leve” pode ser traduzido também como “eco voz” “menor consumo de material”.

No método *Environmental conscious quality function deployment* (ECQFD) de Kaebnick *et al.* (2003) além das duas dimensões tradicionais da primeira matriz, na qual aparecem as características técnicas e os requisitos dos consumidores, é adicionada uma outra dimensão de requisitos ambientais, que funcionam como um métrica que controla e pontua em termos de impactos ambientais os requisitos dos clientes em uma escala de 1-5. O método ECQFD é uma das ferramentas desenvolvidas pelos autores e se encontra no início do desenvolvimento de produto, ainda quando se busca conhecer os requisitos dos clientes. Na Figura 12 é apresentada de forma esquemática a forma tradicional de desenvolvimento de produto e as ferramentas indicadas que sejam inseridas neste processo em cada etapa para a garantia de um bom desempenho ambiental segundo os autores.

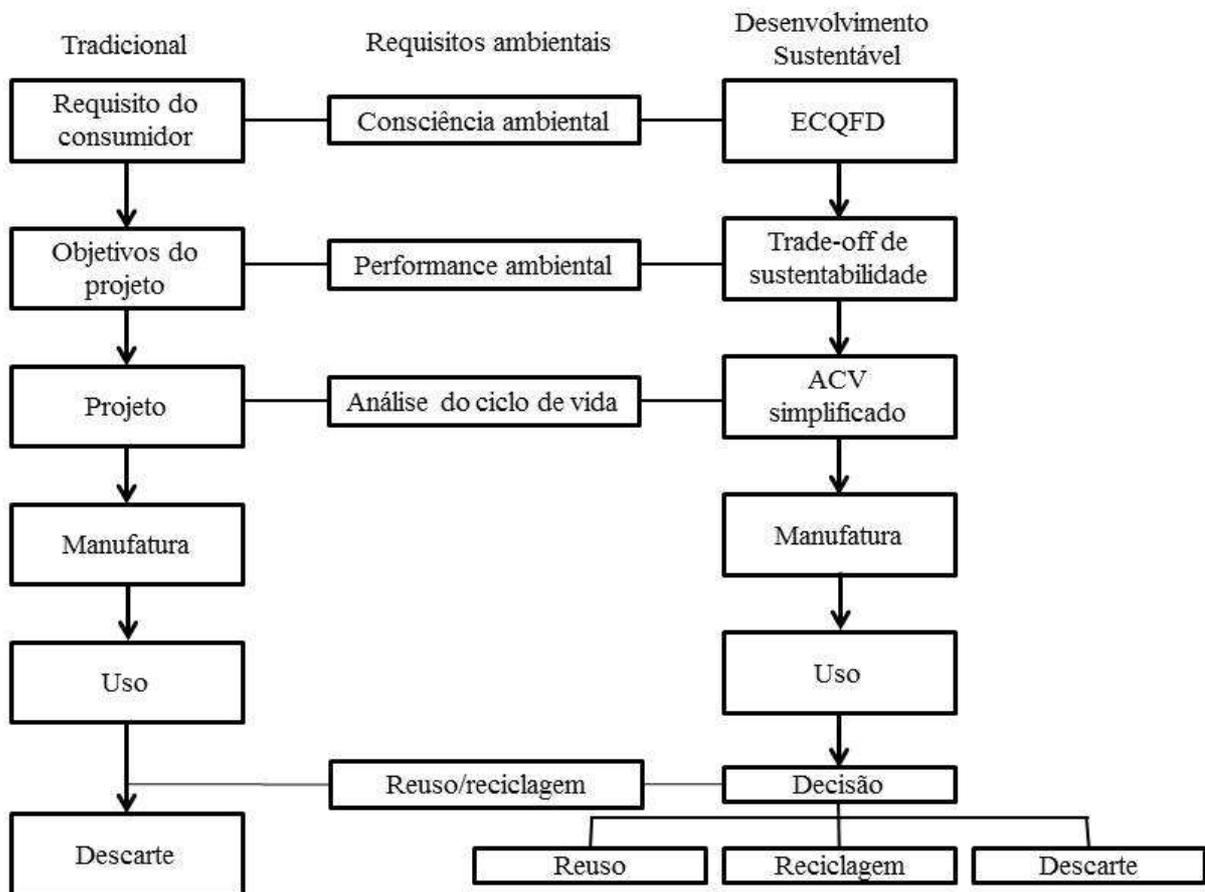


Figura 12: Metodologias para sustentabilidade na manufatura  
Fonte: (Kaebnick *et al.* 2003, p. 462)

Em Masui *et al.*, (2001) o objetivo da aplicação do QFD no desenvolvimento de produtos sustentáveis é identificar que componentes ou partes do produto são mais importantes para satisfazer os requisitos ambientais dos consumidores, além de auxiliar a equipe de projeto que pode não estar familiarizada com conceitos ambientais. Com esses objetivos, propõem-se

quinze demandas e quinze características de qualidade com foco ambiental genérico que poderiam ser adaptáveis a vários produtos como, por exemplo, ‘fácil de transportar’, ‘fácil de reutilizar’, ‘seguro para incinerar e/ou aterro’, ‘ser inofensivo ao meio ambiente’ entre outros. A proposta é auxiliar nas fases iniciais de concepção do produto. Por fim, também se propõem um método para análise de quais mudanças no projeto poderiam ser mais eficientes para atingir melhoramentos ambientais desejados, verificando primeiramente se algum dos requisitos ambientais da listagem também aparece no discurso do consumidor e por fim verificando nas partes do produto quais são possíveis ou não de obter melhoramentos.

Utne (2009) propõem um método baseado no QFD para melhorias no desempenho e na gestão de frotas de pesca. Um diferencial deste trabalho é a abordagem das dimensões econômica e social, além da ambiental. Trabalha com mais de um agente interveniente verificando as alterações nos pesos dados quando comparados dois agentes intervenientes diferentes, averiguando, assim as implicações sociais. Também analisa sob a abordagem de custos para implementação as demandas sugeridas.

Outra pesquisa que aborda as outras duas esferas da sustentabilidade além da ambiental é o trabalho de Marx (2009), no qual é proposto a Matriz de Índice S, para geração de índice de sustentabilidade. Essa matriz pode ser uma ferramenta para auxiliar na decisão de escolha de materiais na fase de desenvolvimento de produto, utilizando pesos para dez critérios de sustentabilidade, que são considerados nas fases de obtenção, transformação e descarte, considerando assim, também os impactos nos agentes primários, secundários e finais.

No trabalho de Abele, Anderl e Birkhofer (2005) a matriz da qualidade é o elemento central para traduzir as especificações dos clientes em características do produto e originalmente relacionam essas duas variáveis. Segundo os autores, para o desenvolvimento de produtos com sustentabilidade ambiental, além de considerar os requisitos dos clientes, devem ainda ser consideradas as regulamentações e requisitos ambientais para derivar os requisitos do produto. Essa lista de requisitos estendida é obtida a partir do processo de desdobramento da qualidade do ciclo de vida do produto (*Life cycle QFD – LC-QFD*), que são aqui os requisitos ambientais, dos requisitos dos consumidores e das regulamentações. Neste processo, as demandas são obtidas assim, a partir do consumidor (*Voice of customer - VOC*), do meio-ambiente (*Voice of Environment - VOE*) e das especificações regulatórias (*Voice of Regulations - VOR*). Após isso, são propostas três matrizes, “casas”: consumidor, meio ambiente e regulamentações.

Para os requisitos ambientais, nesse trabalho é proposto o uso do *Eco Indicator 99*, que é um método para aplicação da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida, desenvolvido em 1997 pela empresa *Pré Consultants*, que levanta além dos requisitos, também os pesos. A proposta é uma inter-relação das matrizes do meio ambiente e do consumidor como a apresentada na Figura 13. Assim, da correlação e inter-relação das três matrizes deriva uma listagem estendida de requisitos.

|  |                                     | Demandas ambientais |               |                  |                          |                             |
|--|-------------------------------------|---------------------|---------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|
|  |                                     | Redução de PVC      | Redução de PP | Redução de cobre | Baixo consumo de energia | Poucos elementos filtrantes |
| -2 = contradição forte<br>-1 = contradição fraca<br>1 = suporte fraco<br>2 = suporte forte |                                     |                     |               |                  |                          |                             |
| Demandas do consumidor   | Recolhe grande quantidade de poeira |                     |               |                  | -2                       | -2                          |
|  | Alta potência                       |                     |               | 1                | -2                       | -2                          |
|  | Cabo longo                          |                     |               |                  | 2                        | -2                          |
|  | Filtragem de ar                     | -2                  |               | -2               |                          |                             |
|  | Baixo ruído                         |                     |               |                  |                          | -2                          |
|  | ...                                 |                     |               |                  | -2                       |                             |

Figura 13: Exemplo de inter-relação entre demandas do consumidor e ambientais  
 Fonte: (Abele, Anderl e Birkhofer, 2005, p. 196).

Para o desdobramento e o planejamento da qualidade na manufatura, Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001) estabelecem um modelo conceitual no qual apresentam quatro matrizes principais: Matriz da Qualidade, Matriz do Produto, Matriz dos Processos e Matriz dos Recursos. Neste modelo, a ênfase maior é nas partes e processos de chão de fábrica. É um modelo de referência simplificado e generalizado, podendo-se retirar matrizes ou agregar outras dependendo da complexidade e exigências do produto avaliado. As matrizes são ponderadas com fatores como importância, dificuldade de atuação e avaliação competitiva de cada característica de qualidade. Essas matrizes se destinam por fim, oferecer informações para os planos de melhorias do produto, das partes, do processo e dos recursos. Uma das principais vantagens deste modelo em relação a outros é sua simplicidade e generalidade, podendo ser aplicado na maioria dos casos (RIBEIRO, ECHEVESTE e DANILEVICZ, 2001).

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Na área da pesquisa social tem-se adotado na atualidade, uma classificação em três grandes níveis de acordo com os objetivos que se busca atingir: exploratória, descritiva e explicativa (GIL, 2008). Como base nesta classificação, pode-se enquadrar este trabalho como pesquisa exploratória. Sendo que a pesquisa exploratória tem por objetivo maior familiaridade com o problema, para torná-lo mais explícito, tendo em vista também a “formulação de problemas ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores” (GIL, 2008, p. 27). Como o objetivo da pesquisa foi criar uma listagem de indicadores de qualidade para um determinado produto, a confirmação da eficiência da listagem como controle de qualidade, permanecerá para trabalhos futuros.

Para a definição da estratégia de pesquisa a ser utilizada, é necessário atentar para três condições principais: o tipo de questão de pesquisa, o nível de controle que o pesquisador terá sobre os eventos e o grau de contemporaneidade dos eventos. Sendo que cada estratégia tem vantagens e desvantagens e cada uma é apropriada para um determinado contexto. (YIN, 2003). No primeiro viés de estudo deste trabalho, o foco do estudo esteve na compreensão e análise de requisitos para o desenvolvimento de produto, assim as estratégias adotadas foram as pesquisas bibliográficas e o levantamento. A pesquisa bibliográfica foi baseada em material já elaborado, principalmente livros e artigos científicos. Para este trabalho além destes, ainda foram levantados dados de referências normativas. No levantamento buscaram-se informações a um grupo significativo de pessoas cujo comportamento se deseja conhecer, para mediante análise quantitativa obter conclusões sobre os dados (GIL, 2002). Esta estratégia foi usada para se obter a voz de agentes intervenientes elencados, cuja opinião considerou-se importante para o desenvolvimento do BCV. Assim, para este viés utilizou-se de métodos de pesquisa qualitativos e quantitativos.

Para o segundo viés, o qual se buscou verificar a adequação da matéria-prima a requisitos pré-estabelecidos pela norma, a estratégia escolhida foi amparada então por pesquisa experimental. A pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo e selecionar as variáveis e definir as formas de controle, o pesquisador é, portanto, um agente ativo (GIL, 2002).

### 3.1 CASO DE ESTUDO: A COOPERATIVA CTSA

A organização não governamental (ONG) Solidarietà, foi fundada pelos moradores do Bairro Cristal, na cidade de Porto Alegre, local onde as carências são muitas. O quadro consiste de casas em áreas de risco, vilas sem infraestrutura básica e ausência de perspectiva de emprego para a maioria dos moradores. A ONG Solidarietà foi resultado da organização popular, e é uma sociedade civil sem fins lucrativos, criada em 19 de janeiro de 2001. Tem o objetivo de fortalecer a participação cidadã nos processos de cogestão pública a partir de instâncias da organização da sociedade civil, promover o desenvolvimento sustentável, a solidariedade, a informação, a reflexão e a articulação em rede. Sua sede (Figura 14) encontra-se hoje, no próprio bairro Cristal, em área de ocupação residencial, mas, que possui outras unidades fabris, além de ficar próxima a importantes vias de escoamento.



Figura 14: Localização e fachada da cooperativa CTSA

Fonte: (a) Google Maps; (b) Acervo da Autora (2013).

O projeto Centro de Transformação Sócio Ambiental (CTSA) é o principal projeto da ONG, constituindo-se em uma cooperativa com o objetivo de prospectar alternativas de geração de renda para as famílias de carroceiros que, devido à criação da Lei 10.531, de 2008, na cidade de Porto Alegre, instituiu o Programa de Redução Gradativa do Número de Veículos de Tração Animal e de Veículos de Tração Humana, a qual impede a atividades dos carroceiros a partir de 2016. A lei estabelece, dentre outras medidas previstas, o prazo de oito anos (desde sua criação) para que seja proibida, em definitivo, a circulação de veículos de tração animal ou humana no trânsito, abrindo exceções para a possibilidade do uso em locais privados, áreas

urbanas, em zonas periféricas, em rotas e baias que sejam autorizados pelo Executivo Municipal e para fins de passeios turísticos. Os carroceiros e carrinheiros serão a partir de então, cadastrados e deverão ser encaminhados para o recolhimento, a separação, o armazenamento e a reciclagem do lixo em unidades de reciclagem, seguindo políticas públicas de educação ambiental.

Observando a necessidade destes catadores que não mais terão a possibilidade de fazer do recolhimento de materiais recicláveis (sua fonte de renda), a ONG Solidariedade busca com o projeto CTSA oferecer uma alternativa, já que, nem todos que hoje recolhem os resíduos poderão ser empregados nas unidades de triagem do município. Como objetivo geral, assim o projeto da CTSA visa contribuir para o desenvolvimento econômico e social, através da capacitação de pessoas que hoje trabalham com o recolhimento de resíduos recicláveis. O projeto visa além da inserção de adolescentes e reinserção de adultos e pessoas com idade mais avançada e que não são alfabetizadas no mundo do trabalho, com condições adequadas e compatíveis aos diferentes públicos.

Dentre as alternativas de geração de emprego analisadas no âmbito do projeto da cooperativa CTSA, a mais promissora envolve a produção de blocos de concreto para vedação e pavimentação com utilização de agregados reciclados, oriundos da britagem dos resíduos de construção e demolição. Na Figura 15 são apresentados os equipamentos que a cooperativa já possui para o início da fabricação. Pretende-se assim, realizar na própria cooperativa, todo o processo de tratamento dos RCDs, que inclui: recebimento, triagem, britagem (a) e peneiramento (b) transformando-os assim, em agregados reciclados. Bem como a fabricação dos blocos (c), que inclui a mistura dos materiais na betoneira, a prensagem na máquina vibro-prensa e o processo de cura dos blocos.



Figura 15: Equipamentos utilizados na cooperativa na CTSA  
 Fonte: Acervo da autora (2013)

Além de se constituir em uma alternativa de geração de renda, esse tipo de produção é mais sustentável, pois possibilita uma destinação adequada aos RCDs. Também deve-se frisar que o sistema de produção dos blocos de concreto será de forma cooperativada, assim algumas características devem ser observadas. O termo ‘cooperativa’ possui várias definições, porém, normalmente é tratado com uma associação autônoma de pessoas que se unem, voluntariamente, para satisfazer aspirações e necessidades econômicas, sociais e culturais comuns (SEBRAE, 2013). Os princípios fundamentais do cooperativismo são: “adesão livre e voluntária; controle democrático e participação econômica dos sócios; independência e autonomia das cooperativas; educação, treinamento e formação do pessoal; integração entre as cooperativas e preocupação com a comunidade” (PICCININI, 2004, p.69).

Para a Organização das Cooperativas Brasileiras<sup>1</sup> (OCB) o formato de negócio em cooperativa prevê alguns direitos e deveres dos cooperados como votar e ser votado; participar de todas as operações da cooperativa; convocar assembleia caso seja necessário; opinar e defender suas ideias; cooperar com a cooperativa; participar das assembleias gerais; votar nas eleições da cooperativa; participar do rateio das perdas se ocorrerem e das despesas da cooperativa.

O projeto da CTSA idealizado pela ONG Solidariedade está relacionado ao desenvolvimento de tecnologia social para o estabelecimento de uma economia solidária, por meio da consolidação da cooperativa, que permite inserção social mais justa e democrática de seus cooperados. O desenvolvimento de tecnologia social e a forma com que a sociedade se apropria é alvo de grande interesse do meio acadêmico. Segundo o Portal Brasil<sup>2</sup> por tecnologia social entende-se, “o conjunto de atividades relacionadas a estudos, planejamento, ensino, pesquisa, extensão e desenvolvimento de produtos, técnicas ou metodologias replicáveis, que representem soluções para o desenvolvimento social e melhoria das condições de vida da população”. Ainda, segundo Dagnino (2010) tecnologias sociais devem ser de pequeno porte, vindas direto do produtor, não devem ser discriminatórias (empregado x patrão) e devem ser capazes de viabilizar empreendimentos auto gerenciáveis. São normalmente soluções que apresentam a união entre conhecimento técnico-científico e o saber popular.

---

<sup>1</sup> <http://www.ocb.org.br/site/ocb/>

<sup>2</sup> <http://www.brasil.gov.br/sobre/ciencia-e-tecnologia/desenvolvimento-sustentavel/tecnologia-social>

A proposta da cooperativa de oferecer uma destinação correta e a reciclagem dos RCDs vem ao encontro da demanda atual pela gestão de resíduos da construção e de demolição. O fornecimento de RCD para o projeto da fábrica de blocos do CTSA será facilitado pelo poder público municipal. No Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do município de Porto Alegre, está garantido por lei no art.6º da Lei Municipal 10.847/2010 que os RCDs serão preferencialmente destinados para a geração de renda de populações em situação de vulnerabilidade social.

Os RCCs Classe A serão preferencialmente destinados a atividades de reciclagem que lhes agreguem valor e gerem trabalho e renda às populações em situação de vulnerabilidade social, em especial a produção de blocos de concreto para pavimentação de vias urbanas e a construção civil, ficando o excedente para demais formas de destinação e uso destes resíduos

(art.6º da Lei Municipal 10.847/2010).

O beneficiamento dos RCDs envolve a coleta e transporte dos resíduos, que no caso da CTSA será realizado em parceria com o Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) do município de Porto Alegre. Na cooperativa, os resíduos passam por processo de separação, britagem e peneiramento, até sua estocagem para posterior utilização. Das diversas possibilidades de aplicação para o agregado reciclado, a cooperativa pretende agregar mais valor produzindo artefatos de concreto para comercialização. O agregado reciclado como produto não será vendido, apenas será utilizado como matéria-prima para seus artefatos. Além de blocos de concreto para paredes de alvenaria, também serão produzidos blocos para pavimentação além de outros artefatos como postes e bocas de lobo.

É interessante observar que o projeto de produção de blocos com uso de agregados reciclados do CTSA responde aos três pilares da sustentabilidade (social, econômico e ambiental). No âmbito social, promove a inserção ao envolver/capacitar atores em situação de vulnerabilidade social para uso de novas técnicas sustentáveis. Tem pretensão de ser economicamente viável, pois contribui com o desenvolvimento socioeconômico a partir da qualificação do público alvo para o mercado de trabalho e geração de renda. Em relação ao meio ambiente é duplamente importante. Além de possibilitar uma destinação mais adequada aos RCDs, também deixa de consumir recursos naturais (areia e brita) que seriam necessários para a produção dos blocos diminuindo a extração em pedreiras, leitos de rios e reduzindo o custo com transportes dos agregados naturais cuja fonte está cada vez mais afastada das cidades.

Essas características podem ser observadas no projeto da CTSA, e o auxílio demandado à universidade é em assessorar o desenvolvimento do produto e na capacitação junto a ONG Solidariedade de mão-de-obra para a Cooperativa. Assim, no início do ano de 2009, a UFRGS foi procurada por integrantes da ONG Solidariedade, buscando apoio científico e tecnológico para a implantação do processo de produção de blocos de concreto, utilizando agregados oriundos de RCD.

Porém, para dar início à comercialização dos blocos, será necessária a certificação de acordo com normas técnicas específicas, e a assessoria para esta etapa está acontecendo em parceria com a universidade. O processo de certificação do produto contará com a realização de ensaios pautados em normas técnicas, realizados no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), da UFRGS. Para isso serão realizados testes de dosagem, processo que permite a determinação das proporções dos materiais (traço) levando-se em conta as características dos materiais e a especificação nos blocos. A não conformidade com as normas técnicas representa crime contra o consumidor, conforme Lei Federal 8078 art. 39, inciso VIII do "Código de Defesa do Consumidor", bem como inviabiliza o negócio.

A relação da UFRGS com a ONG Solidariedade abre a possibilidade de implementar e operar uma linha de produção de artefatos de concreto com RCD, ajudando a disseminar essa tecnologia para a comunidade. Além de oferecer capacitação para uma nova atividade econômica e colaborar para consolidar o uso dessa tecnologia de baixo custo econômico e ambiental.

Dentro do escopo de produtos que a cooperativa pretende desenvolver o BCV foi escolhido para estudo em relação ao bloco para pavimentação por dois principais motivos. Os estudos preliminares com o uso do RCD junto aos blocos produzidos pela cooperativa indicaram que não era possível atingir as resistências definidas por norma para os blocos de pavimentação. O mesmo não aconteceu com os blocos de vedação. A outra motivação foi que a possibilidade do uso dos BCVs em habitações é muito mais ampla que os bloco para pavimentação assumindo-se que poderia trazer mais benefícios à população.

As vantagens do BCV em relação a outras técnicas mais convencionais como o tijolo é sua maior possibilidade de modularização e redução de desperdícios em obra, além de redução de tempo e custo com mão-de-obra. A utilização destes elementos pré-moldados contraria a técnica tradicional de construir as paredes e depois "rasgá-las" para a colocação das

tubulações. Na técnica com o uso de blocos de concretos as tubulações são colocadas embutidas nas paredes. Essa racionalização também ajuda a reduzir o desperdício na obra. Os blocos de concreto podem ser facilmente adaptados também em obras de pequeno porte como casas populares e habitações de interesse social desde que se tenha pensado a edificação de forma modular e racional antecipadamente.

### 3.2 CONSTRUÇÃO DO MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DOS REQUISITOS

Este viés da pesquisa foi dividido em três grandes etapas: compreensão, desenvolvimento e análise. Na Figura 16 pode-se observar como cada uma das etapas foi organizada e está relacionada. A primeira etapa, compreensão, foi realizado o levantamento dos requisitos de cada uma das abordagens elencadas para o trabalho. Assim, o levantamento dos requisitos ambientais e normativos foi realizado através de revisão da bibliografia e revisão das normas. Para os requisitos dos agentes intervenientes foi utilizado processo de pesquisa de mercado. Na segunda etapa, desenvolvimento, foi aplicada o método do QFD, para chegar aos indicadores. Após, na terceira etapa, análise, os resultados e o método utilizado foi avaliado e analisado criticamente, gerando assim, discussões e conclusões a respeito dos mesmos. A revisão bibliográfica permeia todas as etapas da pesquisa, fornecendo embasamento e comparações com outras pesquisas.

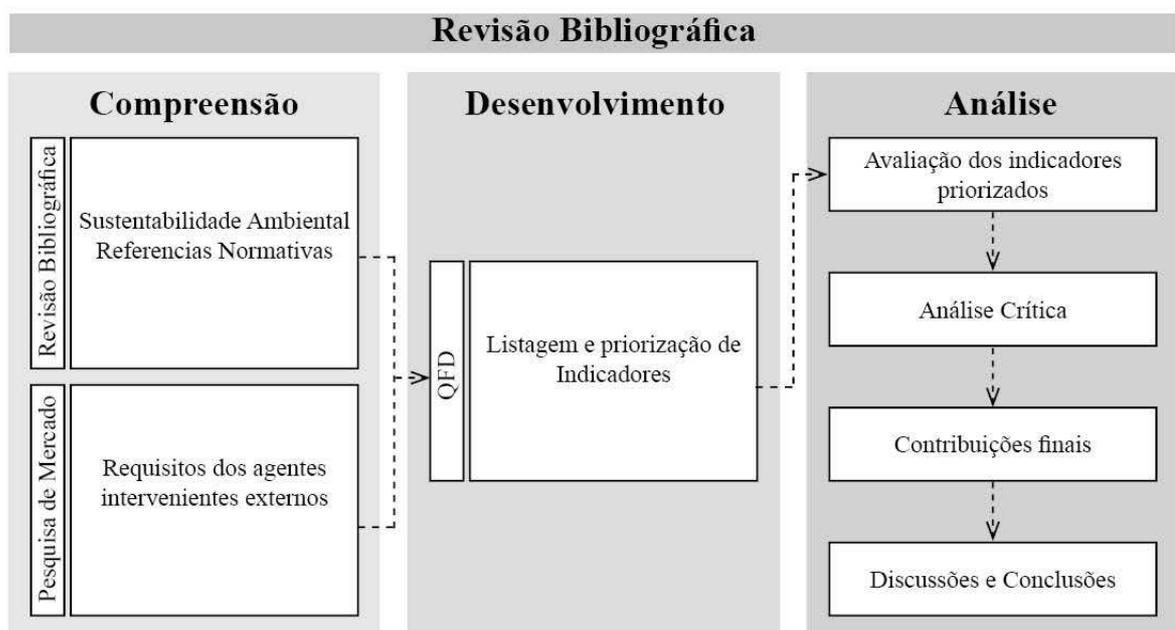


Figura 16: Esquema de desenvolvimento da pesquisa

Cabe ressaltar aqui alguns conceitos e nomenclaturas que serão utilizadas no restante do trabalho. Assim, para desenvolvimento de produto, os requisitos do cliente (agentes intervenientes externos) são sinônimos de demandas da qualidade. Neste trabalho, além dos requisitos dos clientes ainda serão buscados os requisitos ambientais e normativos, esses também são denominados como demandas da qualidade. Os requisitos de produto, que são as traduções técnicas ou atributos mensuráveis (termo utilizado no marketing) dos requisitos dos clientes, ambientais e normativas são sinônimos de características de qualidade, que para este trabalho serão os indicadores. Cada indicador possui uma especificação atual ou especificação meta para o produto. Na Figura 17 está apresentado um esquema para facilitar o entendimento destas relações e desdobramentos.

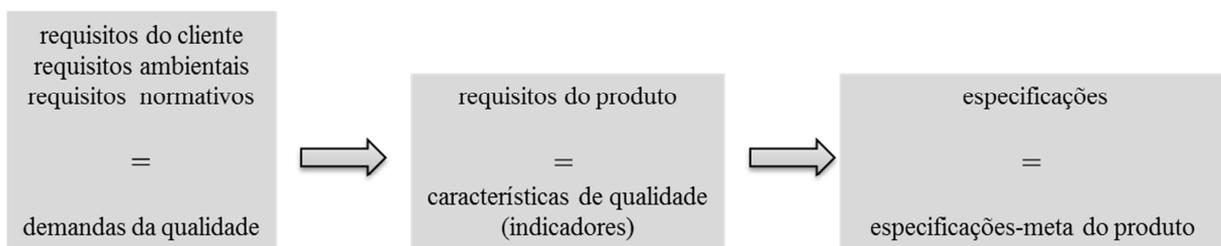


Figura 17: Desenho esquemático dos sinônimos utilizados

### 3.2.1 Modelo Conceitual Utilizado

Esta dissertação embasou-se em dois modelos conceituais de forma integrada para o desenvolvimento da Matriz da Qualidade. O primeiro, baseado na proposta de Abele, Anderl e Birkhofer (2005) auxiliou no desenvolvimento da estrutura geral e o segundo, o método proposto por Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001) foi utilizado para o desenvolvimento de das matrizes. Cabe salientar que, uma vez que o objetivo deste trabalho foi o de propor um conjunto de indicadores técnicos e ambientais para o desenvolvimento do produto (bloco concreto para vedação a partir de RCD) foi realizado o desdobramento apenas da primeira matriz do QFD, Matriz da Qualidade, apesar do modelo aplicado à manufatura, proposto por Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001), indicar o desdobramento de quatro matrizes: a Matriz da Qualidade, a Matriz do Produto, a Matriz de Processos e a Matriz de Recursos.

O modelo conceitual de um projeto de desenvolvimento de produtos ambientalmente corretos, de Abele, Anderl e Birkhofer (2005), propõe uma ampliação da lista de requisitos convencional, a qual é composta pelas demandas do consumidor (*Voice of Customer - VOC*) e estendida com os requisitos do meio-ambiente (*Voice of Environment - VOE*) e das

especificações regulatórias (*Voice of Regulations - VOR*). Essa totalidade de requisitos é cruzada, em uma ou mais matrizes de inter-relação com os requisitos do produto (ou características de qualidade). Assim, as três abordagens ou matrizes (cliente, ambiental e normativa) utilizadas nesta dissertação embasaram-se neste modelo. Na Figura 18, é possível verificar como cada uma delas se relaciona.

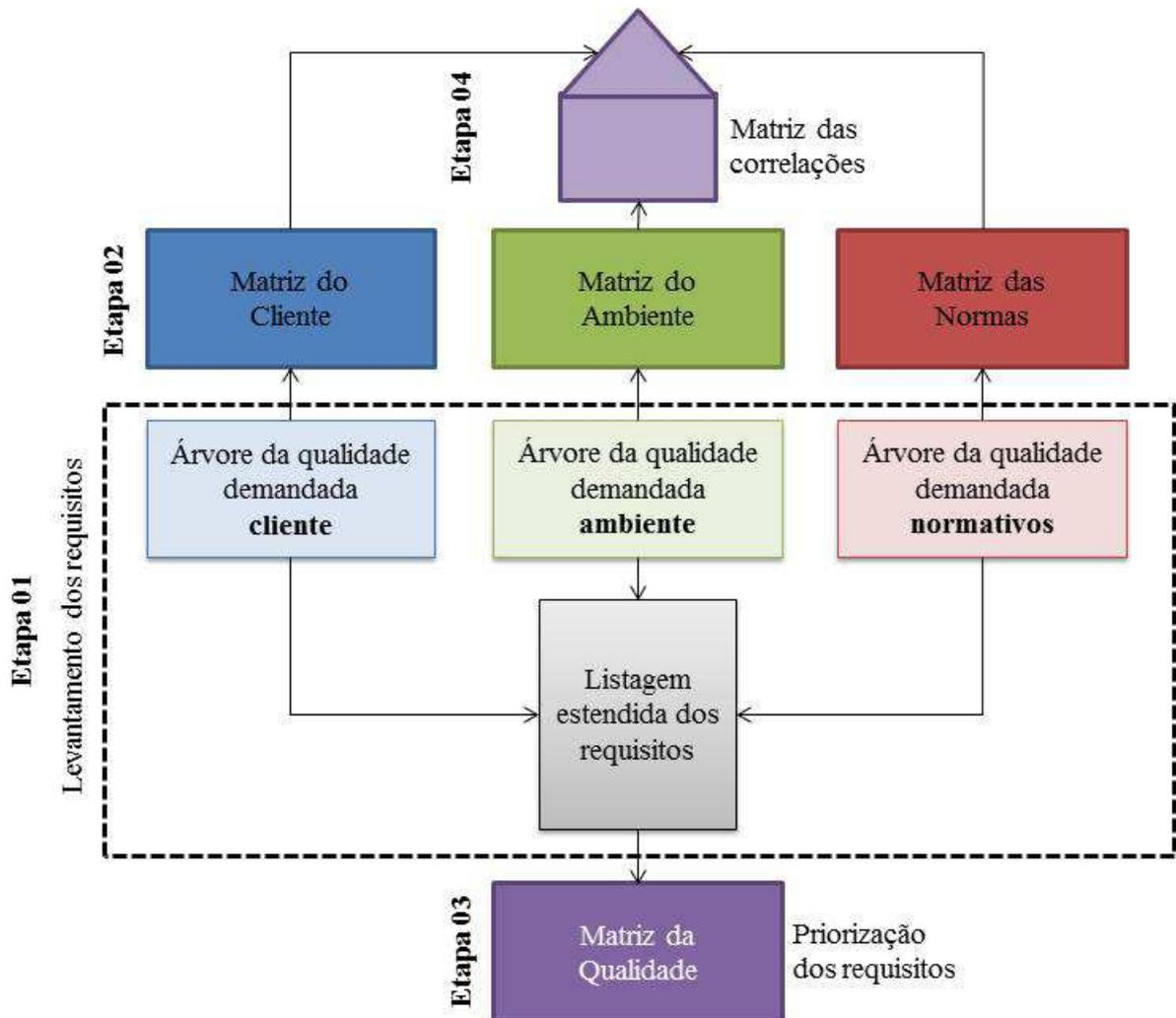


Figura 18: Diagrama do modelo conceitual

A proposta do trabalho foi identificar as relações entre as demandas dos clientes, ambientais e normativas com as características de qualidade, bem como verificar as correlações positivas e negativas entre estas características de qualidade. Para isso, na primeira etapa (etapa 01) foram levantados os requisitos de cada uma das abordagens já mencionadas relativas ao produto avaliado. Cada uma destas listagens de requisitos gerou uma matriz (etapa 02), que identifica as relações das demandas com as características de qualidade do produto (tradução

técnica de cada uma das demandas). Estas matrizes possibilitaram a priorização das características de qualidade.

Da listagem estendida de requisitos (etapa 01), originada da união das demandas das três matrizes, foi possível montar a Matriz da Qualidade (etapa 03), possibilitando assim, uma visão global das relações e obtendo-se uma priorização geral das características de qualidade de todas as abordagens conjuntamente. Esta listagem, é importante porque além de sua utilização no desenvolvimento do produto, também representa uma completa base de dados a respeito dos requisitos exigidos (normativos) e desejados (ambiente e consumidor) do produto. Na quarta etapa (etapa 04) foram verificadas as correlações positivas e negativas entre as características de qualidade das três abordagens, constituindo mais uma forma de análise das características avaliadas. Nesta etapa o objetivo foi verificar se existiam muitas relações negativas entre as características de qualidade das três matrizes, uma vez que essas são fatores de preocupação para o desenvolvedor do produto.

Para o desdobramento de cada matriz foi utilizado como modelo o QFD para manufatura do trabalho de Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001) que ainda pondera em cada matriz itens como ‘avaliação competitiva’ que analisa o item com relação à concorrência, ‘avaliação estratégica’ que é a relevância para a empresa e ‘avaliação da dificuldade de atuação’ analisando a dificuldade para a empresa alterar cada item.

### 3.2.2 Levantamento dos requisitos do cliente

A obtenção dos requisitos para a matriz do cliente foi realizado através de pesquisa de mercado. Essa técnica é um instrumento de coleta de dados que tem por objetivo a obtenção da voz do cliente e segue algumas etapas: “organização do questionário qualitativo, elaboração da árvore de qualidade demandada, elaboração de questionário quantitativo e atribuição dos pesos aos itens de qualidade demandada” (RIBEIRO; ECHEVESTE; DANILEVICZ, 2001). A primeira atividade, antes mesmo de iniciar a pesquisa de mercado, está associada à identificação dos agentes intervenientes do sistema.

Rozenfeld *et al.* (2006) coloca que esses agentes intervenientes podem estar nas diversas fases do ciclo de vida do produto. Podem ser considerados clientes externos, que é quem irá consumir o produto, os intermediários que são os que farão a distribuição e venda e os clientes internos que são os responsáveis pelo projeto e produção. Os autores colocam também que os

mais importantes são os clientes externos e suas necessidades devem ser priorizadas sobre os demais clientes.

Baseados nessa premissa foram identificados os clientes externos da cooperativa, que são as construtoras, mais especificamente os funcionários que coordenam o canteiro de obras, uma vez que são os que trabalham diretamente com o produto, conhecendo assim, as características necessárias que o BCV deve apresentar. Além deles existem outros tomadores de decisões, como arquitetos e engenheiros projetistas, bem como os clientes de lojas de materiais de construção e usuários para autoconstrução. Porém, como enfoque desta pesquisa optou-se por avaliar apenas os requisitos dos funcionários de construtoras, sendo considerados os principais clientes da cooperativa.

Como o objetivo dessa abordagem é o de conseguir um maior conhecimento sobre o fenômeno, foi conduzida uma pesquisa qualitativa através de entrevista estruturada, por conveniência, e foi suficiente para obter-se um maior conhecimento e aprofundamento sobre o assunto. Somado a isso, o produto pesquisado possui baixa complexidade, fazendo com que os clientes não possuam elevado número de requisitos sobre o mesmo, sendo que, em alguns casos, foi citado que “bastaria estar de acordo com as normas”. Dessa maneira, foram entrevistados quatro engenheiros com experiência em canteiros de obra. Na terceira e na quarta entrevista as respostas passaram a convergir, não surgindo nenhum requisito novo, encerrando-se, assim, a etapa. Também em função da baixa complexidade, os requisitos identificados foram poucos e em sua maioria de caráter funcional.

Assim, para esta pesquisa qualitativa, optou-se pela realização de entrevista estruturada e presencial com as fontes, realizada com roteiro de perguntas abertas e abordagem direta. Em todas as sessões, com a autorização dos participantes, foi usado um gravador de áudio. Assim, a segunda atividade foi a elaboração do roteiro de perguntas. Esse foi elaborado visando buscar o maior número de necessidades e também problemas com as soluções oferecidas. O roteiro pode ser visualizado de forma integral no Apêndice B. Foram levantadas questões com abordagem nas problemáticas ambientais, para verificar se existia alguma preocupação, porém os entrevistados não souberam responder. Também se levantou requisitos para essa primeira etapa através da literatura em artigos científicos, teses e dissertações que tratam sobre o assunto de blocos de concreto, além de pesquisas sobre os produtos oferecidos pelas empresas concorrentes na fabricação de blocos de concreto.

A compilação da fase qualitativa (entrevistas), do levantamento bibliográfico e da análise da concorrência, é apresentada na Figura 19. Os requisitos levantados, de acordo com o método proposto por Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001) foram organizados no formato de uma árvore lógica, (árvore da qualidade demandada), em três níveis hierárquicos: nível primário, nível secundário e nível terciário. Considerou-se como nível primário a “satisfação do cliente”, o qual se desdobra em bom desempenho, boa aparência, fácil aplicação e uso e boa durabilidade, os quais também se desdobram nos requisitos do cliente (qualidade demandada), detalhados na Figura 19. Os níveis representam diferentes graus de detalhamento.

A organização da árvore da qualidade deve respeitar algumas características: os requisitos devem ser escritos em termos de qualidade positiva, mesmo que a informação seja uma reclamação; os requisitos devem ser escritos em termos de adjetivo mais substantivo; e o desdobramento nos níveis deve ser realizado de forma equilibrada, desta maneira, o número de requisitos do nível terciário deve ser aproximadamente o mesmo para todos os requisitos do nível secundário.

| <b>Nível Primário</b>        | <b>Nível Secundário</b>        | <b>Nível Terciário (Requisitos do cliente)</b> |
|------------------------------|--------------------------------|--|
| <b>Satisfação do Cliente</b> | <b>Bom Desempenho Mecânico</b> | Maior resistência à compressão                 |
|                              |                                | Maior resistência à tração                     |
|                              |                                | Maior rigidez                                  |
|                              |                                | Menor retração                                 |
|                              |                                | Maior compacidade                              |
|                              | <b>Boa Aparência</b>           | Maior variedade de texturas de acabamento      |
|                              |                                | Maior variedade de cores                       |
|                              |                                | Menor variação dimensional                     |
|                              |                                | Boa aparência (mais densa e homogênea)         |
|                              |                                | Boa garantia de prumo e alinhamento            |
|                              | <b>Fácil Aplicação e Uso</b>   | Menor peso                                     |
|                              |                                | Bom acondicionamento dos blocos                |
|                              |                                | Melhor aderência do reboco                     |
|                              |                                | Fácil modularidade                             |
|                              |                                | Maior rastreabilidade dos lotes                |
|                              | <b>Boa Durabilidade</b>        | Boa estanqueidade                              |
|                              |                                | Menor necessidade de acabamentos para a parede |
|                              |                                | Baixa incidência de blocos com quebras         |
|                              |                                | Bom comportamento a altas temperaturas         |
|                              |                                | Menor taxa de carbonatação                     |

Figura 19: Árvore da qualidade demandada do cliente

### 3.2.3 Levantamento dos requisitos ambientais

A forma para obtenção dos requisitos de sustentabilidade ambiental baseou-se na pesquisa desenvolvida pela equipe da UFRGS do Projeto REDE MORAR TS, apoiada por recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Esse projeto está sendo desenvolvido em rede com outras universidades do país com o objetivo de estudar formas de incorporação de Tecnologias Sociais (TS) em Habitações de Interesse Social (HIS). Busca-se, através do referido projeto, a inserção de TS desde as políticas públicas, passando por diretrizes de projeto, construção, avaliação pós-ocupação e redução da vulnerabilidade de riscos ambientais.

Os critérios de sustentabilidade selecionados para este trabalho se enquadram dentro do subprojeto que tem como escopo o desenvolvimento de diretrizes de projeto para produção da moradia com incorporação de TS, e aborda além de outros temas em desenvolvimento os critérios para a avaliação da sustentabilidade ambiental de materiais e soluções construtivas. “Definir os critérios para uma maior sustentabilidade, especificamente para projetos de Habitação de Interesse Social, apresenta desafios condizentes com a complexidade de ambos os temas” (KREBS, *et al.* 2012).

Assim, dentro de uma análise maior, que inclui outros aspectos (avaliações que caracterizam tecnologia social, habitação de interesse social, desempenho, inovação, saúde e custos, além da sustentabilidade ambiental), fez-se um recorte apenas no aspecto de sustentabilidade ambiental, interesse do presente trabalho. Assim, objetivo desta etapa foi apresentar os resultados parciais da pesquisa em desenvolvimento pela equipe da UFRGS do Projeto FINEP REDE MORAR TS, referente aos critérios de sustentabilidade ambiental que foi adotado para posterior tradução nos requisitos ambientais do BCV.

O método empregado para o levantamento destes critérios baseou-se em publicações relativas às áreas de sustentabilidade no setor da construção civil. Como referências de indicadores de sustentabilidade ambiental, foram adotados os critérios presentes no Selo Casa Azul, da Caixa Econômica Federal e nas certificações internacionais de edifícios verdes *Green Building LEED® - New Constructions and Major Renovations V3.0*, do *United States Green Building Council (USGBC)*; e *Living Building Challenge 2.0*, do *International Living Building Institute (ILBI)* (KREBS, *et al.*, 2012).

Os critérios de sustentabilidade ambiental selecionados para posterior transformação em demandas da qualidade apresentam-se resumidos na Figura 20, baseada no trabalho desenvolvido pelo grupo de estudo do projeto REDE MORAR TS. Na Figura 20 é possível verificar a origem de cada critério (indicador de sustentabilidade no qual foi baseado), bem como o detalhamento de cada critério.

| Indicadores                                    | Crítérios  | Detalhamento do Critério  |
|--|--|---|
| Selo Casa Azul (CEF)                           | Coordenação modular  | Adoção de dimensões padronizadas como múltiplos e submúltiplos do módulo básico internacional (1M = 10cm) e de tolerâncias dimensionais compatíveis.  |
| Selo Casa Azul (CEF)                           | Emprego de concreto com dosagem otimizada                        | Memorial descritivo especificando a utilização de concreto produzido com controle de umidade e dosagem em massa, de acordo com a (ou produzido em central), com $I_c < 11 \text{ kg.m}^3 \cdot \text{MPa}$ .  |
| Certificação <i>Green Building LEED™</i>       | Economia em relação à água, energia elétrica e recursos naturais | Este tópico busca identificar vantagens relacionadas a critérios de Produção Mais Limpa. Que significa a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo.  |
| Certificação <i>Green Building LEED™</i>       | Materiais com conteúdo reciclado em sua composição               | Utilizar materiais com conteúdo reciclado, de modo que a soma dos reciclados pós-consumo mais a metade deste valor pré-consumo constitua no mínimo 10% (baseado em custo) do valor total de materiais do projeto.   |
| Certificação <i>Green Building LEED™</i>       | Materiais rapidamente renováveis                                 | Utilizar produtos e materiais de construção de fontes rapidamente renováveis (feitos de matérias-primas que tenham um ciclo de dez anos ou menos) em 2,5% (baseados em custo) do valor total de produtos e materiais utilizados pelo projeto.   |
| Certificação <i>Green Building LEED™</i>       | Materiais recicláveis  | Identificar materiais que podem ser reciclados e recicláveis e seus fornecedores. Utilizar, no mínimo, 10% de materiais reciclados e recicláveis.   |
| Certificação <i>Green Building LEED™</i>       | Materiais regionais  | Utilizar um mínimo de 10% (baseados no custo) de produtos e materiais do edifício que sejam extraídos, recuperados/reciclados ou produzidos regionalmente, em um raio de <i>500 miles</i> (aproximadamente 800 Km).   |
| Certificação <i>Green Building LEED™</i>       | Materiais reutilizáveis  | Utilizar materiais recuperados, reformados ou reusados de modo que seu total represente 5% (em custos) do valor total dos materiais do projeto.   |
| Certificação <i>Living Building Challenge™</i> | Materiais não tóxicos  | O projeto não pode conter nenhum dos materiais ou componentes químicos da lista: Amianto, Cádmiio, Polietileno Clorado e Polietileno Clorossulfonado, Clorofluorcarbonetos (CFCs), Neoprene, Formaldeídos (adicionados), Retardadores de Chamas Halogenados, Hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs), Chumbo (adicionado), Mercúrio, Fertilizantes e Pesticidas Petroquímicos, Ftalatos, Policloreto de Vinila (PVC), Tratamentos de madeira contendo <i>Creosote</i> , Arsênico ou Pentaclorofenol |

Figura 20: Quadro com os critérios de sustentabilidade ambiental  
Fonte: Krebs, 2013

Esses critérios foram, assim posteriormente descritos como qualidades demandadas (requisitos ambientais) para o produto BCV, já que esses critérios têm caráter geral, aplicável a qualquer produto da construção civil. Também semelhante às outras abordagens, foi construída a árvore de qualidade demandada com os níveis primário, secundário e terciário. Na Figura 21 é possível verificar os requisitos adaptados para os BCVs.

| Nível Primário                     | Nível Secundário                          | Nível Terciário (Requisitos Ambientais)                 |
|------------------------------------|---|---|
| Atendimento às questões Ambientais | Menor gasto energético para matéria-prima | Utilize resíduos na composição                          |
|                                    |   | Menor consumo de cimento                                |
|                                    |   | Utilize materiais regionais                             |
|                                    | Transformação menos impactante            | Menor consumo de recursos naturais (água)               |
|                                    |   | Menor consumo energético agregado (energia elétrica)    |
|                                    |   | Menor consumo de recursos naturais (agregados naturais) |
|                                    |   | Menor geração de resíduos e emissões                    |
|                                    | Menor impacto no uso e descarte           | Não possuir materiais tóxicos                           |
|                                    |   | Fácil modularidade                                      |
|                                    |   | Maior potencial de reuso ou reciclagem                  |

Figura 21: Árvore da qualidade demandada do ambiente

### 3.2.4 Levantamento dos requisitos normativos

Para o levantamento dos requisitos normativos foram buscadas as normas que estabelecem requisitos para os BCVs como também os requisitos para o sistema construtivo ao qual se aplica o produto, no caso as paredes de alvenaria. Assim, as referências normativas encontradas são as que se referem a blocos de concreto para alvenaria dispostas na NBR 6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos (ABNT, 2007); e na NBR 15575-4 – Edificações habitacionais — Desempenho, Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE (ABNT, 2013).

A NBR 6136 (ABNT, 2007) estabelece os requisitos para blocos vazados de concreto simples, destinados à alvenaria com ou sem função estrutural. Foi avaliado, portanto, nesta norma os requisitos referentes apenas a classe dos blocos sem função estrutural, denominados de classe D, nos quais se encontram os BCVs. A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) estabelece os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas de edificações habitacionais ou de seus elementos, sendo utilizada como um procedimento de avaliação de desempenho de sistemas construtivos.

Foram levantados, assim, apenas os requisitos das duas normas que fossem ligados diretamente aos BCVs, principalmente no que tange a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), uma vez que esta é bastante ampla e leva em consideração aspectos macro da edificação, como execução e projeto. Na Figura 22 encontram-se listados os requisitos normativos levantados nas duas normas citadas.

| Nível Primário          | Nível Secundário              | Nível Terciário (Requisitos Normativos)           |
|-------------------------|-------------------------------|---|
| Atendimento às Normas   | NBR 6136<br>(ABNT, 2007)      | Concreto homogêneo e compacto                     |
|                         |                               | Bom assentamento                                  |
|                         |                               | Atendimento à espessura mínima da parede do bloco |
|                         |                               | Atendimento à dimensão mínima do furo             |
|                         |                               | Boa resistência à entrada de água                 |
|                         |                               | Resistência à compressão mínima                   |
|                         |                               | Boa absorção e aderência da argamassa             |
|                         |                               | Menor retração                                    |
|                         |                               | Menor variação dimensional (largura, altura)      |
|                         | NBR 15575 – 4<br>(ABNT, 2013) | Boa resistência à fixação de objetos              |
|                         |                               | Boa resistência aos impactos de corpo mole        |
|                         |                               | Boa resistência a ações transmitidas por portas   |
|                         |                               | Boa resistência aos impactos de corpo duro        |
|                         |                               | Boa segurança contra incêndio                     |
|                         |                               | Boa estanqueidade                                 |
| Bom desempenho térmico  |                               |   |
| Bom desempenho acústico |                               |   |

Figura 22: Árvore da qualidade demandada das normas

### 3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA VALIDAÇÃO DA QUALIDADE DO RCD

Nesta etapa, realizou-se uma série de ensaios experimentais para verificar a adequação do agregado reciclado, produzido pela cooperativa, em relação aos requisitos da norma NBR 15.116 – “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos” (ABNT, 2004), para produção de concretos não estruturais que é a situação do BCV.

### 3.3.1 Especificação para o uso de RCD

Alinhado ao objetivo do trabalho, foram identificados exclusivamente os ensaios indicados pela Norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) para concreto sem função estrutural, uma vez que esta função é a única de interesse.

Para a análise dos resultados obtidos nos ensaios foram considerados os parâmetros indicados na norma para agregados reciclados misto, visto que as amostras analisadas foram predominantemente derivadas de resíduos de alvenaria. Isto se deve ao fato de uma premissa assumida na pesquisa que, muito provavelmente, a cooperativa não receberá agregados reciclados de concreto, em função do perfil de fornecimento desse insumo. Na Tabela 4 pode se verificar os requisitos e as respectivas normas para os ensaios com os agregados reciclados indicados pela norma.

Tabela 4: Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a concreto sem função estrutural

| Propriedades  | Agregado reciclado classe A         |       |                  |       | Normas de ensaios |                |
|---|-------------------------------------|-------|------------------|-------|-------------------|----------------|
|   | ARC <sup>2</sup>                    |       | ARM <sup>3</sup> |       | Agregado Graúdo   | Agregado Miúdo |
|   | Graúdo                              | Miúdo | Graúdo           | Miúdo |                   |                |
| Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)           | ≥ 90                                | -     | ≥ 90             | -     | Anexo A           | -              |
| Absorção de água (%)  | ≤ 7                                 | ≤ 12  | ≤ 12             | ≤ 17  | NBR NM 53         | NBR NM 30      |
| Contaminante  | Cloretos                            | 1     |                  |       | NBR 9917          |                |
|   | Sulfatos                            | 1     |                  |       | NBR 9917          |                |
| Teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%) | Materiais não minerais <sup>1</sup> | 2     |                  |       | Anexo A           | Anexo B        |
|   | Torrões de argila                   | 2     |                  |       | NBR 7218          |                |
|   | Teor máximo de contaminantes        | 3     |                  |       | -                 |                |
| Teor de material passante na malha 75µm (%)                 | ≤ 10                                | ≤ 15  | ≤ 10             | ≤ 20  | NBR NM 46         |                |

<sup>1</sup>Para efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.  
<sup>2</sup> Agregado reciclado de concreto  
<sup>3</sup> Agregado reciclado misto

Fonte: NBR 15.116 (ABNT, 2004, p. 5)

### 3.3.2 Obtenção do material

A obtenção do material está circunscrita, por enquanto, ao entorno da cooperativa CTSA, que se localiza no bairro Cristal, na cidade de Porto Alegre, uma vez que seus principais fornecedores de matéria-prima (RCD) são os próprios moradores do entorno. Os RCDs são

oriundos, portanto de pequenas obras ou reformas nas habitações. Outra possível fonte que a cooperativa poderá dispor será a dos 'Eco pontos' da cidade, em parceria realizada com o Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) de Porto Alegre. As Unidades de Destino Certo, nome oficial desses pontos de recolhimento de RCD não recebem lixo orgânico e se destinam apenas a pequenos geradores, por isso não aceitam descartes maiores do que 0,5 metro cúbico. Assim, tanto da primeira alternativa quanto da segunda, pode se inferir que os resíduos a serem recebidos pela cooperativa serão caracterizados como de pequenos geradores oriundos de reformas.

A cooperativa já conta com significativo estoque de resíduo, que está armazenado a espera do início da produção efetiva. O armazenamento, hoje, deste produto ocorre de duas formas distintas. A primeira, já em forma de agregado reciclado (britado e peneirado) e protegido de intempéries. A outra forma de estoque é ao ar livre, sujeito a todas as variações climáticas na forma original de como foi recebido (RCD). O tempo de estoque do agregado reciclado pronto é de aproximadamente um ano nesta forma, e o RCD armazenado externamente encontra-se de um a dois anos estocados. Na Figura 23 é possível ver as duas formas de estoque: na imagem esquerda (a), está o estoque antes da triagem e da forma de agregado reciclado e na imagem da direita (b) os estoques já em forma de agregado miúdo e graúdo.



Figura 23: Estoques da cooperativa CTSA  
Fonte: Acervo da autora (2013)

Os agregados utilizados para a confecção dos BCVs pela cooperativa são divididos em duas faixas granulométricas (Figura 24). A primeira fração é composta por material inferior a 2,4mm, sendo para este trabalho denominado como parcela de agregado miúdo (esquerda da

Figura 24). A segunda fração fica entre de 2,4mm e 9,5mm, sendo denominado de agregado graúdo (direita da Figura 24).



Figura 24: Granulometrias do agregado utilizado pela cooperativa CTSA  
Fonte: Acervo da autora (2013)

O RCD recebido pela cooperativa passa por processo de triagem manual, no qual são retirados os contaminantes. Este processo ainda não possui procedimento rigoroso, e é baseado no conhecimento empírico dos membros da cooperativa. Após é submetido ao procedimento de britagem, em britador de mandíbulas. Segundo Prado (2006), este tipo de britador gera um agregado com formato mais angular, e torna a mistura do concreto mais coesa diminuindo a trabalhabilidade. Após é realizada a vibração do material em peneira manual, a qual possui duas malhas, gera as duas faixas granulométricas que são utilizadas para os blocos de concreto e uma terceira que fica retida na peneira de malha de 5 mm é encaminhado novamente ao britador para redução do tamanho.

O objetivo desta etapa foi verificar as condições de uso do estoque existente na cooperativa, bem como avaliar se o tipo de resíduo recebido pode ser utilizado como agregado para substituição total em concretos sem função estrutural. Para isso foram executadas coletas de amostras como segue descrito na

| Nome | Origem | Imagens |
|------|--------|---------|
|------|--------|---------|

|            |   |   |
|------------|---|---|
| Amostra 01 | Coletado de acordo com NBR NM 26 (ABNT, 2009) no monte armazenado internamente por aproximadamente um ano, em forma de agregado e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).              |    |
| Amostra 02 | Apenas agregados coletados no <b>topo</b> do monte armazenado internamente por aproximadamente um ano, em forma de agregado e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).                  |    |
| Amostra 03 | Apenas agregados coletados no <b>meio</b> do monte armazenado internamente por aproximadamente um ano, em forma de agregado e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).                  |    |
| Amostra 04 | Apenas agregados coletados na <b>base</b> do monte armazenado internamente, por aproximadamente um ano, em forma de agregado e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).                 |   |
| Amostra 05 | Amostras de agregados oriundos de RCD exposto ao tempo por aproximadamente dois anos e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).   |  |
| Amostra 06 | Amostras de agregados oriundos de RCD exposto ao tempo por aproximadamente um ano com predominância de restos de <b>cerâmica vitrificada</b> e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001). |  |
| Amostra 07 | Amostras de agregados oriundos de RCD exposto ao tempo por aproximadamente um ano com predominância de restos de <b>cerâmica vermelha</b> e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).    |  |
| Amostra 08 | Amostras de agregados oriundos de RCD exposto ao tempo por aproximadamente um ano com predominância de restos de <b>argamassa</b> e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).            |  |

Figura 25. É importante ressaltar que todas as mesmas foram adquiridas já na forma de agregado reciclado, tendo passado pelos processos de triagem, britagem e peneira, executados na própria cooperativa, de acordo com seu próprio controle de qualidade.

| Nome       | Origem  | Imagens   |
|------------|---|---|
| Amostra 01 | Coletado de acordo com NBR NM 26 (ABNT, 2009) no monte armazenado internamente por aproximadamente um ano, em forma de agregado e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).              |    |
| Amostra 02 | Apenas agregados coletados no <b>topo</b> do monte armazenado internamente por aproximadamente um ano, em forma de agregado e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).                  |    |
| Amostra 03 | Apenas agregados coletados no <b>meio</b> do monte armazenado internamente por aproximadamente um ano, em forma de agregado e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).                  |    |
| Amostra 04 | Apenas agregados coletados na <b>base</b> do monte armazenado internamente, por aproximadamente um ano, em forma de agregado e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).                 |   |
| Amostra 05 | Amostras de agregados oriundos de RCD exposto ao tempo por aproximadamente dois anos e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).   |  |
| Amostra 06 | Amostras de agregados oriundos de RCD exposto ao tempo por aproximadamente um ano com predominância de restos de <b>cerâmica vitrificada</b> e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001). |  |
| Amostra 07 | Amostras de agregados oriundos de RCD exposto ao tempo por aproximadamente um ano com predominância de restos de <b>cerâmica vermelha</b> e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).    |  |
| Amostra 08 | Amostras de agregados oriundos de RCD exposto ao tempo por aproximadamente um ano com predominância de restos de <b>argamassa</b> e amostra reduzida de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001).            |  |

Figura 25: Quadro com a descrição das amostras

### 3.3.3 Análise granulométrica

As amostras coletadas foram submetidas ao ensaio prescrito pela norma NBR NM 248–Agregados – Determinação Granulométrica (ABNT, 2003), para ser possível analisar a granulometria, diâmetro máximo e os parâmetros da curva granulométrica de cada coleta. Desta forma, também se pode verificar se existem diferenças entre as distribuições granulométricas provenientes das amostras coletadas.

Este ensaio foi realizado com a porção de agregados miúdos e graúdos do RCD da cooperativa, sendo realizadas três determinações para cada amostra. Com essa determinação pode-se avaliar se existem diferenças entre as granulometrias das amostras, verificando assim, o controle de qualidade da cooperativa neste aspecto. Na Figura 26 são apresentados os equipamentos utilizados para a execução do ensaio.



Figura 26: Equipamentos utilizados para determinação granulométrica  
Fonte: Acervo da autora (2013)

### 3.3.4 Teor de material fino que passa na peneira de 75 $\mu\text{m}$

Com o objetivo de uma melhor caracterização dos agregados em termos de sua composição granulométrica e como cumprimento das determinações da norma NBR 15.116 (ABNT, 2004), foi realizado o ensaio para determinar, por lavagem, o teor de material mais fino que a

peneira 75 $\mu$ m, segundo a NBR NM 46 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira de 75  $\mu$ m, por lavagem (ABNT, 2003). Foi utilizado apenas água para a operação de lavagem, como pode se observar na Figura 27.

Para a execução do ensaio foi separada a amostra e secada até constância de massa (a), determinou-se a massa e foi realizada lavagem dos agregados (b), após foi vertido a água sobre o conjunto de duas peneiras, no qual a superior com abertura de malha de 1,18 mm e a inferior 0,75  $\mu$ m, repetindo-se a operação até a água ficar clara (c). Após recolheu-se a amostra lavada (d) e secou-se novamente até a obtenção de massa constante. Esse ensaio foi realizado com as duas frações de agregados de RCD da cooperativa (miúdo e graúdo), sendo realizadas três determinações para cada amostra.

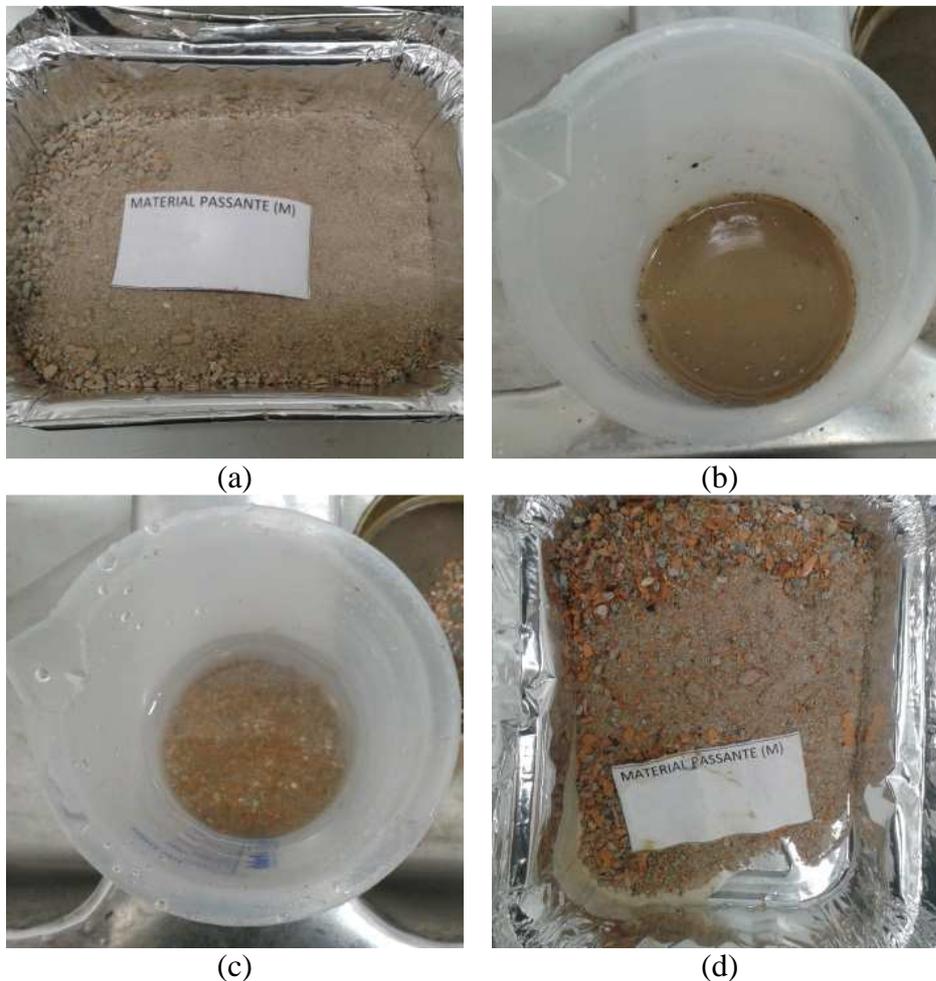


Figura 27: Ensaio para determinação de materiais finos  
Fonte: Acervo da autora (2013)

### 3.3.5 Absorção de água

Para a análise da absorção de água optou-se por ensaiar apenas a composição granulométrica miúda das amostras de RCD, uma vez que, para a determinação de absorção de água para agregados graúdos, a NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água (ABNT, 2009), define como agregado graúdo o “agregado cuja maior parte de suas partículas fica retida na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ou a porção retida nessa mesma peneira” (ABNT, 2009, p.1). Como essa não é a situação do agregado denominado neste trabalho como ‘graúdo’ e como a pior situação no caso da absorção de água, seria o resultado agregado miúdo, optou-se por realizar o ensaio de acordo com a norma NBR NM 30 - Agregado miúdo – Determinação da absorção de água (ABNT, 2001) utilizando-se assim, a fração miúda e realizando-se três determinações para cada amostra.

A Figura 28 apresenta os materiais e equipamentos utilizados para a realização do ensaio no qual deve manter a amostra submersa por 24 h, após retirar a amostra da água e estender sobre uma superfície plana, revolvendo a amostra com frequência para assegurar uma secagem uniforme. Prosseguir a secagem até que os grãos de agregado miúdo não fiquem aderidos entre si de forma marcante. Colocar o agregado miúdo em um molde, sem comprimi-lo, aplicar suavemente em sua superfície 25 golpes com a haste de compactação e levantar verticalmente o molde (a). Assim, se houver umidade superficial, o agregado se conservará com a forma do molde e no momento em que a amostra atinge a condição de saturado com superfície seca (b) o monte desmorona.

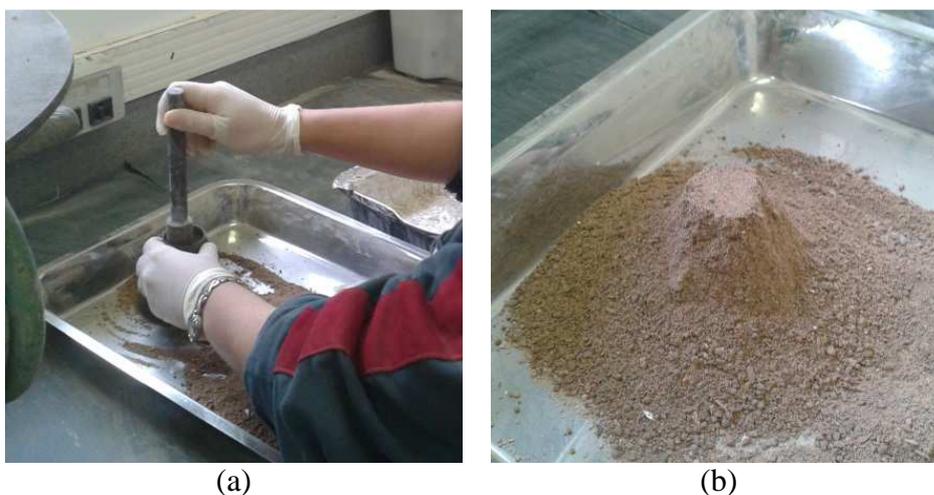


Figura 28: Ensaio de absorção de água  
Fonte: Acervo da autora (2013)

### 3.3.6 Contaminantes: cloretos e sulfatos

Os ensaios que determinam teores de contaminantes de cloretos e sulfatos foram realizados apenas com a fração miúda dos agregados de RCD da cooperativa. Isso porque, a norma NBR 15.116 (ABNT, 2004), estabelece o mesmo valor de teores tanto para miúdos quanto para grãos. Assim, entendeu-se que, como as amostras são oriundas do mesmo material e apenas separadas em faixas granulométricas distintas, poderiam ser verificados os contaminantes em apenas uma das frações. Na preparação para este ensaio a amostra a deve ser passada na peneira de 2,36 mm e separado 1 Kg de material. Assim, as amostras de agregados foram então submetidas ao ensaio para determinação de porcentagem de cloretos e sulfatos. A preparação da amostra e solubilização por lixiviação foi realizada segundo a norma NBR 9917– Agregados para concreto – Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis (ABNT, 2009).

Assim, foi separado e pesado 20 g de material de cada uma das oito amostras e adicionando-se às mesmas 100 ml de água destilada, a aproximadamente 80°C, dentro de um frasco de Erlenmeyer e agitou-se a mistura por dez minutos. A solução foi então filtrada e transferida para balão volumétrico após o resfriamento da água até a temperatura ambiente, completou-se o balão volumétrico com água destilada. Por fim, diluiu-se, novamente, 0,05ml dessa solução em um balão volumétrico de 100 ml. Por fim, a análise química foi realizada por cromatografia iônica. Na Figura 29 pode-se verificar o equipamento utilizado para a análise, neste caso, o cromatógrafo iônico faz parte da infraestrutura do Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais (LACOR).



Figura 29: Cromatógrafo iônico utilizado no laboratório  
Fonte: Acervo da autora (2013)

### 3.3.7 Contaminantes: materiais não minerais

Para definição do percentual de materiais não minerais foi utilizado a sugestão da própria norma NBR 15.116 (ABNT, 2004), na qual o anexo B que estabelece a “Determinação do percentual de materiais não minerais dos agregados reciclados por líquidos densos”. Para essa análise foi utilizado apenas a porção de agregado miúdo, como determinado na norma. Os equipamentos e materiais podem ser visualizados na Figura 30.

Neste ensaio a amostra seca foi passada em peneira com abertura de malha de 0,300mm (a), e determinou-se a massa seca do material retido. A amostra foi introduzida em frasco de Béquer com solução aquosa de cloreto de zinco, com densidade de  $1,90 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$  (b). Foram retiradas as partículas flutuantes e secadas até a constância de massa (c), após determinou-se a massa do material seco retirado.

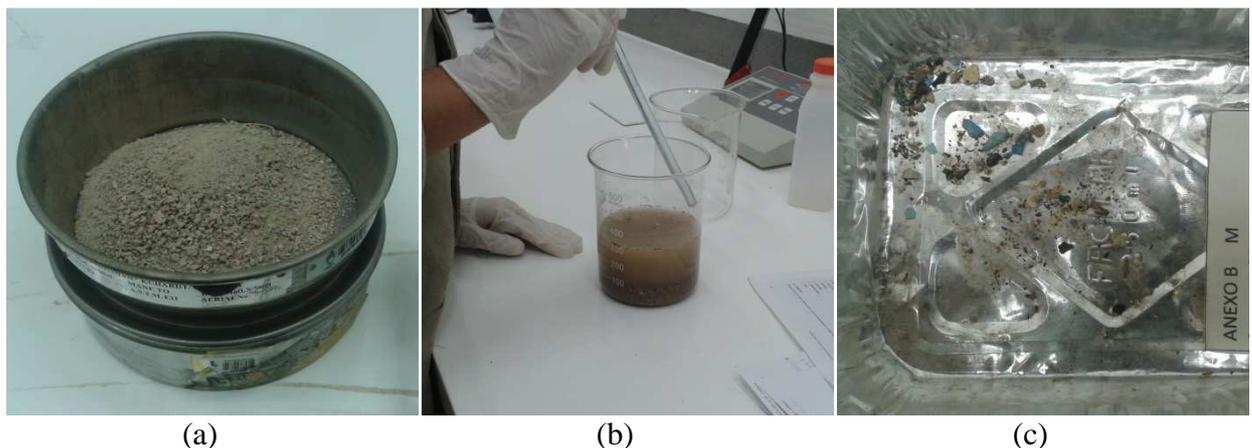


Figura 30: Ensaio para determinação de materiais não minerais  
Fonte: Acervo da autora (2013)

Na Figura 31 é apresentado um desenho esquemático da separação por líquidos densos sugerido no trabalho de Angulo (2005). A Figura 31 mostra o passo a passo do ensaio quando da separação dos materiais não minerais pelo líquido. As etapas 05 e 06 não são necessariamente obrigatórias e não fazem parte do ensaio, mas se mostram muito importantes, pois permitem a recuperação do líquido, para que este não seja desperdiçado. A filtração final também pode ser auxiliada por frasco Kitassato e bomba de vácuo para maior rapidez da filtração, conforme sugerido pela própria norma NBR 15.116 (ABNT, 2004).

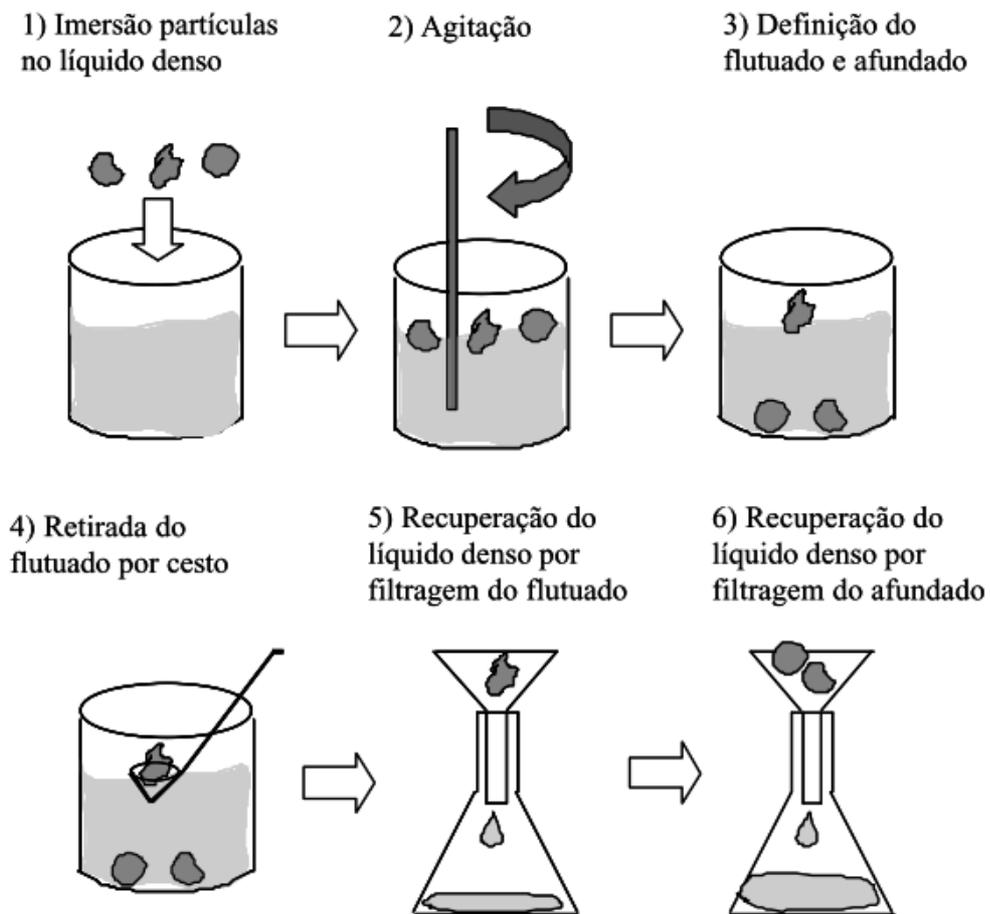


Figura 31: Desenho esquemático da separação por líquidos densos  
 Fonte: (Ângulo, 2005, p. 87)

### 3.3.8 Contaminantes: argila em torrões e materiais friáveis

Este ensaio teve como objetivo identificar o teor de argila e materiais friáveis da amostra. A norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) sugere que este seja realizado segundo a norma NBR 7218 – Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (ABNT, 2010). Sendo que se optou, novamente, pela realização do ensaio apenas com a porção de agregados miúdos já que a norma pede que se separem a fração retida na peneira de abertura 1,18mm e que passante na peneira de 4,75 mm das amostras. A norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) estabelece uma única especificação tanto para agregados miúdos quanto grãos.

Os equipamentos e materiais utilizados para esse ensaio estão apresentados na Figura 32, na qual pode se visualizar as etapas do ensaio. Na primeira foi separado 200gr da amostra no intervalo granulométrico  $\geq 1,18$  mm e  $< 4,75$ mm (a), após, a fração foi coberta com água

durante 24 horas (b). Observado o intervalo, as partículas foram pressionadas entre os dedos (c) e realizado o peneiramento por via úmida (d).

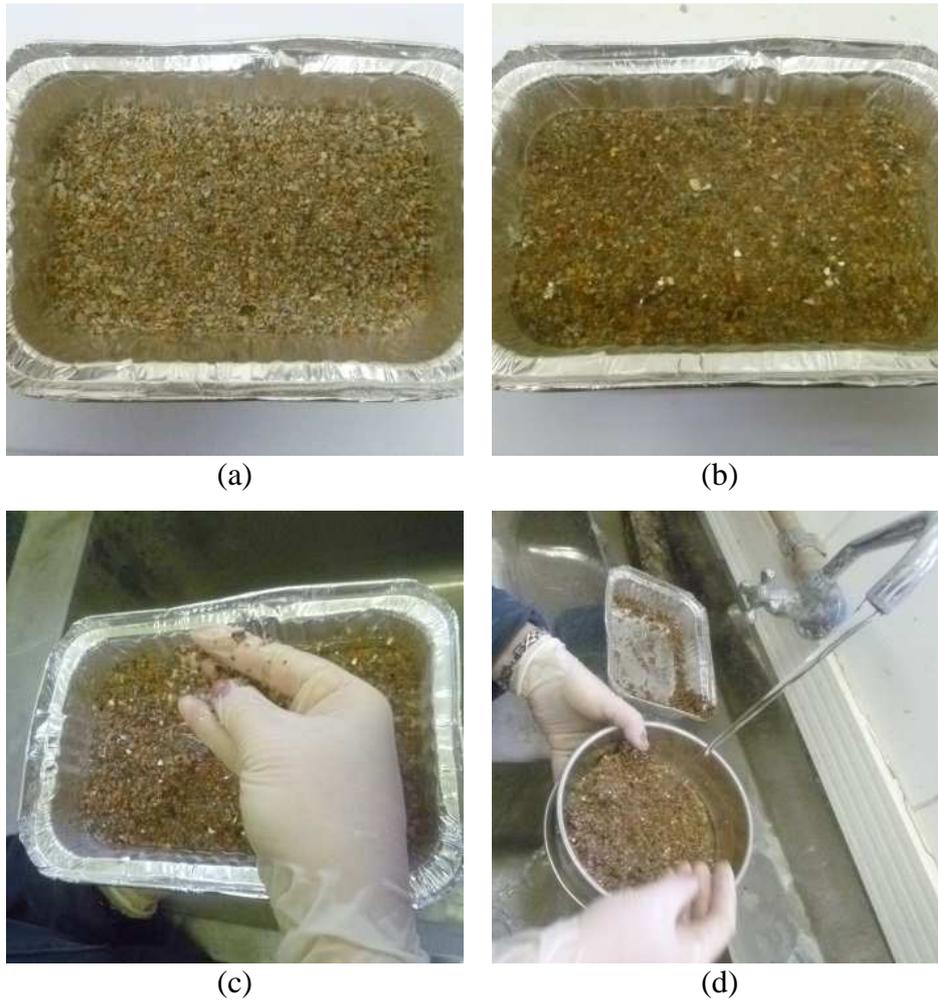


Figura 32: Ensaio para determinação de teor de argila em torrões e materiais friáveis  
Fonte: Acervo da autora (2013)

## 4 APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão descritos os resultados da aplicação dos métodos para definição dos requisitos para os BCVs e para o agregado de RCD. Esses resultados refletem a realidade da cooperativa CTSA para a qual foram aplicados os métodos e realizadas as avaliações. Na primeira seção do capítulo estão os resultados relativos à listagem estendida de requisitos dos BCVs, considerando as abordagens do cliente, ambiental e normativas. Na segunda seção, são apresentados os requisitos e os resultados dos ensaios realizados com os agregados de RCD utilizados pela cooperativa.

### 4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA PRIORIZAÇÃO DOS REQUISITOS

Nesta etapa foi definida a listagem estendida dos requisitos, bem como as principais relações positivas e negativas entre os mesmos, podendo-se chegar assim, nas principais características de qualidade ou indicadores do produto BCV que a cooperativa CTSA deve controlar. Como essa etapa exige análise paciente e criteriosa de cada um dos itens e para evitar julgamentos precipitados e sem conhecimento profundo sobre o tema, foram realizados encontros com outros pesquisadores para o preenchimento das matrizes. Nestes encontros além da pesquisadora que atuou como moderadora, a equipe foi composta por três pesquisadores do Laboratório de Modelos e Ensaio Estruturais (LEME), que possuem conhecimento associado ao produto desenvolvido, bem como da operação da cooperativa e de seu histórico. Todas as matrizes foram preenchidas pela mesma equipe de pesquisadores (uma pós-doutoranda, uma doutoranda e um mestrando). É importante ressaltar que é a equipe do LEME que fornece o suporte e conhecimento técnico que a cooperativa necessita para o desenvolvimento dos seus produtos.

#### 4.1.1 Matriz do Cliente

Nesta tarefa depois de ter sido levantado os requisitos dos clientes e realizada pesquisa para priorização das demandas pode-se seguir com a elaboração da primeira matriz, que para o modelo apresentado nesta dissertação, será nomeada de matriz do cliente. Os passos seguidos para o preenchimento desta primeira matriz são baseados no modelo proposto por Ribeiro, Echeveste e Danilevich (2001). Dessa maneira, o primeiro passo para o desenvolvimento da

matriz é o desdobramento da qualidade demandada. Isto é, os requisitos do cliente que foram traduzidos em características da qualidade ou requisitos do produto.

Em seguida, a próxima tarefa foi a de buscar estabelecer uma escala de importância para cada item. Para isso foi elaborado um questionário para ser enviado via *online* para 20 especialistas da área (engenheiros civis), no qual além de estabelecer um peso de importância para cada requisito do nível terciário ainda estabeleceu-se uma hierarquia entre os itens do nível secundário. A avaliação dos itens do nível terciário foi realizada através de uma escala de importância de 1 a 10, na qual 10 é muito importante e 1 pouco importante. Na sequência, questionou-se aos respondentes o grau de priorização dentre os itens de qualidade demandada secundária, no qual os respondentes deveriam ordenar por importância de 1 a 4, sendo 1 o item mais importante, 2 o segundo mais importante até o número 4, o menos importante. No Apêndice C é possível verificar o questionário que foi enviado e respondido pelos 20 especialistas. A base de dados e o formulário utilizado para este caso foi desenvolvido com o auxílio da ferramenta *Google Docs*. Esse foi escolhido por ser um pacote de aplicativos gratuito, baseado na web, que apresentou todas as funcionalidades necessárias para a implementação da base de dados, e a criação do formulário além da facilidade de disponibilização aos respondentes.

As médias dos pesos avaliados pelos respondentes para cada um dos itens foram calculadas para a priorização das demandas. O cálculo dos pesos dos itens do nível secundário ( $W_0$ ) baseou-se no ordenamento atribuído pelos investigados para cada item, por meio da soma dos inversos, e, em seguida, convertidos em porcentagem. Os pesos dos itens de nível terciário foram calculados pela média aritmética da importância atribuída pelos respondentes no questionário quantitativo e convertido em porcentagem, considerando a importância de cada bloco (nível secundário:  $W_0$ ) ao qual pertence. Os pesos do nível terciário correspondem ao índice de importância ( $ID_i$ ), calculados através da equação (1). O resultado final é o índice de importância da qualidade demandada ( $ID_i$ ), e demonstrado na Figura 33.

$$ID_i = w_0 \times \frac{w_i}{\sum w_i} \quad (1)$$

Na qual:

$ID_i$  = índice de importância

$W_0$  = peso do nível secundário

$W_1$  = peso do nível terciário

Para o cálculo do índice de importância da qualidade demandada corrigido ( $ID_i^*$ ), segundo o modelo de Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001) são utilizados dois fatores de correção para a qualidade demandada: avaliação competitiva ( $M_i$ ) e avaliação estratégica ( $E_i$ ). A avaliação competitiva é definida em relação aos concorrentes (empresas que fabricam blocos de concreto com uso de agregado natural), assim identificam-se os pontos que a empresa já atende e ressaltam-se os que ainda precisam ser melhorados. A escala para essa avaliação é sugerida no modelo como: 0,5 - acima da concorrência; 1,0 - similar à concorrência; 1,5 - abaixo da concorrência e 2,0 - muito abaixo da concorrência. A avaliação estratégica tem relação com as metas da empresa, avaliando assim, a relevância de cada item para esse objetivo. A escala avalia cada item da seguinte forma: 0,5 - importância pequena; 1,0 - importância média; 1,5 - importância grande e 2,0 - importância muito grande. Assim para se obter o cálculo do  $ID_i^*$  aplicou-se a equação (2):

$$ID_i^* = ID_i \times \sqrt{M_i} \times \sqrt{E_i} \quad (2)$$

Na qual:

$ID_i^*$ = índice de importância da qualidade demandada corrigido

$ID_i$ =índice de importância da qualidade demandada

$M_i$ = avaliação competitiva dos itens da qualidade demandada

$E_i$ = avaliação estratégica dos itens da qualidade demandada

Na Figura 33 podem ser verificadas todas as médias dos pesos sugeridos pelos especialistas que responderam o questionário *online* para as demandas em nível secundário e terciário. Também são apresentados os fatores de correção definidos pela equipe do LEME que preencheu as matrizes, bem como o resultado da aplicação da equação (1) e equação (2) que calcula os índices de importância e índice de importância corrigido para as demandas da qualidade (requisitos do cliente). É importante ressaltar que os itens do nível terciário marcados em negrito, aparecem também nas demandas do ambiente ou das normas, são assim, requisitos que se repetem.

| Nível Secundário               | Nível Terciário (Qualidade demandada)          | Médias Nível Secundário | Médias Nível Terciário | <i>IDi</i> | <i>Mi</i> | <i>Ei</i> | <i>IDi*</i> |
|--------------------------------|--|-------------------------|------------------------|------------|-----------|-----------|-------------|
| <b>Bom desempenho mecânico</b> | <b>Maior resistência à compressão</b>          | 35,33                   | 9,42                   | 8,28       | 1,50      | 2,00      | 14,35       |
|                                | Maior resistência à tração                     |                         | 6,67                   | 5,86       | 1,50      | 2,00      | 10,16       |
|                                | Maior rigidez                                  |                         | 7,58                   | 6,67       | 1,50      | 2,00      | 11,55       |
|                                | <b>Menor retração</b>                          |                         | 8,00                   | 7,04       | 1,00      | 0,50      | 4,98        |
|                                | Maior compacidade                              |                         | 8,50                   | 7,48       | 1,50      | 1,50      | 11,22       |
| <b>Boa aparência</b>           | Maior variedade de texturas de acabamento      | 24,00                   | 5,92                   | 3,88       | 2,00      | 0,50      | 3,88        |
|                                | Maior variedade de cores                       |                         | 4,75                   | 3,12       | 2,00      | 0,50      | 3,12        |
|                                | Menor variação dimensional                     |                         | 8,50                   | 5,58       | 1,50      | 1,50      | 8,36        |
|                                | <b>Boa aparência (mais densa e homogênea)</b>  |                         | 8,42                   | 5,52       | 1,00      | 1,00      | 5,52        |
|                                | <b>Boa garantia de prumo e alinhamento</b>     |                         | 9,00                   | 5,90       | 1,50      | 1,50      | 8,86        |
| <b>Fácil aplicação e uso</b>   | Menor peso                                     | 19,33                   | 7,58                   | 3,61       | 1,50      | 1,00      | 4,42        |
|                                | Bom acondicionamento dos blocos recebidos      |                         | 8,25                   | 3,92       | 2,00      | 1,00      | 5,55        |
|                                | <b>Melhor aderência do reboco</b>              |                         | 8,83                   | 4,20       | 1,00      | 0,50      | 2,97        |
|                                | <b>Fácil modularidade</b>                      |                         | 8,42                   | 4,00       | 1,50      | 1,50      | 6,00        |
|                                | Maior rastreabilidade                          |                         | 7,58                   | 3,61       | 2,00      | 1,50      | 6,24        |
| <b>Boa durabilidade</b>        | <b>Boa estanqueidade</b>                       | 21,33                   | 9,33                   | 4,81       | 1,50      | 1,00      | 5,89        |
|                                | Menor necessidade de acabamentos para a parede |                         | 8,08                   | 4,16       | 1,00      | 1,00      | 4,16        |
|                                | Baixa incidência de blocos com quebras         |                         | 7,92                   | 4,08       | 1,50      | 2,00      | 7,06        |
|                                | <b>Bom comportamento a altas temperaturas</b>  |                         | 8,33                   | 4,29       | 1,00      | 1,00      | 4,29        |
|                                | Menor taxa de carbonatação                     |                         | 7,75                   | 3,99       | 1,00      | 0,50      | 2,82        |

Figura 33: Priorização da qualidade demandada dos clientes

Percebe-se que o item ‘bom desempenho mecânico’ apresentou o maior nível de importância destacando-se das demais demandas. Com uma avaliação direta dos pesos dados pelos clientes tem-se que ‘maior resistência à compressão’, ‘boa estanqueidade’ e ‘boa garantia de prumo e alinhamento’ seriam as demandas que a cooperativa deveria ter mais atenção. Porém, o fato das questões de ‘desempenho mecânico’ (nível secundário) terem uma grande importância e receberem uma porcentagem significativa de importância, as demandas desse nível acabam se destacando. Depois da análise e das ponderações dos fatores de correção, as demandas que se destacaram foram ‘maior resistência à compressão’, ‘maior rigidez’ e ‘maior

compacidade'. Os três itens foram considerados pela equipe como abaixo da concorrência e com importância estratégica grande ou muito grande para a cooperativa o que acabou aumentando seu valor. Cabe ressaltar que alguns itens se repetem em mais de uma matriz, por exemplo, 'maior resistência à compressão' que é tanto requisito do cliente quanto de norma, assim o atendimento desta demanda é requisito obrigatório, uma vez que o atendimento da resistência mínima deve ser alcançado para ser comercializado como BCV.

O próximo passo foi a definição dos requisitos do produto que também podem ser chamados de indicadores ou características de qualidade, que são a tradução técnica dos requisitos dos clientes. Estes requisitos devem ser atributos técnicos mensuráveis. Assim, em uma próxima etapa são definidas especificações a serem mantidas ou especificações metas. Na Figura 34 pode-se verificar a árvore contendo as demandas dos clientes e relacionada a essas cada um dos requisitos do produto.

| <b>Demandas de qualidade</b>   | <b>Qualidade demandada (Requisitos do cliente)</b> | <b>Características de Qualidade (Requisitos do produto)</b> |  |
|--------------------------------|--|---|--|
| <b>Bom desempenho mecânico</b> | <b>Maior resistência à compressão</b>              | <b>Resistência à compressão (MPa)</b>                       |  |
|                                | Maior resistência à tração                         | Resistência à tração (MPa)                                  |  |
|                                | Maior rigidez                                      | Módulo de deformação do bloco (MPa)                         |  |
|                                | <b>Menor retração</b>                              | <b>Retração máxima admitida (%)</b>                         |  |
|                                | Maior compacidade                                  | Densidade (massa específica) (g/cm <sup>3</sup> )           |  |
| <b>Boa aparência</b>           | Maior variedade de texturas                        | Número de variações de texturas                             |  |
|                                | Maior variedade de cores                           | Número de variações de cores                                |  |
|                                | <b>Menor variação dimensional</b>                  | <b>Tolerância dimensional largura e altura (mm)</b>         |  |
|                                | Boa aparência                                      | Escala visual de uniformidade da cor (1 a 5)                |  |
|                                | <b>Boa garantia de prumo e alinhamento</b>         | <b>Ângulo da aresta (°)</b>                                 |  |
| <b>Fácil aplicação e uso</b>   | Menor peso   | Massa (kg)  |  |
|                                | Bom acondicionamento dos blocos                    | Percentual de blocos com quebras na entrega                 |  |
|                                | <b>Melhor aderência do reboco</b>                  | <b>Absorção média (%)</b>                                   |  |
|                                | <b>Fácil modularidade</b>                          | <b>Número de variações dentro da família</b>                |  |
|                                | Maior rastreabilidade dos lotes                    | Quantidade de informações do lote                           |  |
| <b>Boa durabilidade</b>        | <b>Boa estanqueidade</b>                           | <b>Permeabilidade máxima (%)</b>                            |  |
|                                | Menor necessidade de acabamentos para a parede     | Escala visual de regularidade de superfície (1 a 5)         |  |
|                                | Baixa incidência de blocos com quebras             | Percentual de blocos com quebras na obra (%)                |  |
|                                | <b>Bom comportamento a altas temperaturas</b>      | <b>Índice de propagação de chama</b>                        | <b>Densidade óptica máxima de fumaça</b> |
|                                |  |   | Profundidade de carbonatação (mm)        |
|                                | Menor taxa de carbonatação                         |   |  |

Figura 34: Desdobramento das características de qualidade dos requisitos do cliente

A próxima etapa do método é o preenchimento da matriz do cliente. Os itens são cruzados entre si respondendo a seguinte questão: se a característica de qualidade x for mantida em níveis excelentes estará assegurada a satisfação da qualidade demandada y? Sendo a resposta sim, ainda deve ser respondido se a relação é forte (9), parcialmente (3) e se a relação é fraca (1). Se a resposta for não, não existe relacionamento e a célula é mantida em branco. Na Figura 35 podem ser verificadas essas relações. As casas marcadas em cinza são as consideradas relações fortes e merecem mais atenção do desenvolvedor do produto. Um item de característica de qualidade com muitas relações fortes também deve ter atenção redobrada, pois se não for devidamente atendido acaba por prejudicar várias demandas. Ainda é interessante observar na matriz a indicação da tendência das características de qualidade. Estes símbolos indicam se a característica será melhor quando maior for o valor (↑ - seta para cima); ou a característica será melhor quando menor for o seu valor (↓ - seta para baixo) ou ainda se é uma característica é melhor com um valor nominal, (⊙ - círculo circunscrito).

| MATRIZ DO CLIENTE       | SE A CARACTERÍSTICA DE QUALIDADE 'X' FOR EXCELENTE, ESTARÁ ASSEGURADO O ATENDIMENTO DA DEMANDA 'Y'? | Qualidade Demandada            |                            |                                     |                              |                                      |                                 |                              |  |  |                      |            |   |                    |                                       |                                   |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|-------------------------|---|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|--|----------------------|------------|---|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---|--|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
|                         |   | ↑                              | ↑                          | ↓                                   | ↓                            | ↑                                    | ↑                               | ↑                            | ↓  | ↑  | ⊙                    | ↓          | ↓   | ↓                  | ↑                                     | ⊙                                 | ↓                         | ↑   | ↓  | ↓                                    | ↓                                 | ↓                                 |   |
|                         |   | Resistência a compressão (Mpa) | Resistência a tração (Mpa) | Módulo de deformação do bloco (Mpa) | Retração máxima admitida (%) | Densidade (massa específica) (g/cm³) | Número de variações de texturas | Número de variações de cores | Tolerância dimensional largura e altura (mm) | Escala visual de uniformidade da cor (1 a 5) | Ângulo da aresta (°) | Massa (kg) | Percentual de blocos com quebras na entrega (%) | Absorção média (%) | Número de variações dentro da família | Quantidade de informações do lote | Permeabilidade máxima (%) | Escala visual de regularidade de superfície (1 a 5) | Percentual de blocos com quebras na obra (%) | Índice de propagação de chama (W/m²) | Densidade óptica máxima de fumaça | Profundidade de carbonatação (mm) |   |
| BOM DESEMPENHO MECÂNICO | Resistência a compressão mínima   | 9                              | 9                          | 3                                   | 1                            | 3                                    |                                 |                              | 1  |  |                      |            |   |                    |                                       |                                   | 3                         | 1   | 1  | 1                                    | 1                                 | 1                                 |   |
|                         | Maior resistência à tração  | 9                              | 9                          | 3                                   | 1                            | 3                                    |                                 |                              | 1  |  |                      |            |   |                    |                                       |                                   | 3                         | 1   | 1  | 1                                    | 1                                 | 1                                 |   |
|                         | Maior rigidez   |                                |                            | 3                                   |                              |                                      |                                 |                              |  |  |                      |            |   |                    |                                       |                                   |                           |   |  | 1                                    | 1                                 |                                   |   |
|                         | Menor retração  |                                | 1                          | 3                                   | 9                            | 3                                    |                                 |                              |  |  |                      | 1          |   |                    |                                       |                                   | 3                         |   |  | 1                                    | 1                                 |                                   |   |
|                         | Maior compactidade  | 9                              | 9                          | 3                                   |                              | 9                                    |                                 |                              |  |  |                      |            |   |                    |                                       |                                   | 9                         |   |  | 9                                    | 9                                 | 9                                 | 9 |
| BOA APARÊNCIA           | Maior variedade de texturas   |                                |                            |                                     |                              |                                      | 9                               |                              |  |  |                      |            |   |                    |                                       |                                   |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|                         | Maior variedade de cores  |                                |                            |                                     |                              |                                      |                                 | 9                            |  |  |                      |            |   |                    |                                       |                                   |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|                         | Menor variação dimensional (largura, altura)  |                                |                            |                                     |                              |                                      |                                 |                              | 9  |  | 3                    |            |   |                    |                                       |                                   |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|                         | Boa aparência (mais densa e homogênea)  |                                |                            |                                     |                              |                                      | 1                               | 1                            |  | 9  | 3                    |            |   |                    |                                       |                                   | 1                         |   |  |                                      |                                   |                                   | 3 |
|                         | Bom assentamento  |                                |                            |                                     |                              |                                      |                                 |                              |  |  | 9                    | 3          |   |                    | 3                                     |                                   |                           | 1   |  |                                      |                                   |                                   |   |
| FÁCIL APLICAÇÃO E USO   | Menor peso  |                                |                            |                                     |                              |                                      |                                 |                              |  |  | 9                    |            |   |                    |                                       |                                   |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|                         | Bom acondicionamento dos blocos   |                                |                            |                                     |                              |                                      |                                 |                              |  |  |                      | 9          |   |                    |                                       | 3                                 |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|                         | Boa absorção e aderência da argamassa   |                                |                            |                                     |                              |                                      |                                 |                              |  |  |                      | 3          | 9   |                    |                                       |                                   |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|                         | Fácil modularidade  |                                |                            |                                     |                              |                                      |                                 |                              |  |  |                      |            |   |                    | 9                                     |                                   |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|                         | Maior rastreabilidade dos lotes   |                                |                            |                                     |                              |                                      |                                 |                              |  |  |                      | 9          |   |                    |                                       | 9                                 |                           |   |  |                                      |                                   |                                   |   |
| BOA DURABILIDADE        | Boa estanqueidade   | 3                              | 1                          |                                     |                              | 9                                    |                                 |                              | 3  |  |                      |            |   |                    |                                       | 9                                 |                           |   | 1  | 1                                    | 3                                 |                                   |   |
|                         | Menor necessidade de acabamentos para a parede  |                                |                            |                                     |                              | 1                                    | 9                               | 9                            | 1  | 3  |                      |            |   |                    | 3                                     | 3                                 | 9                         |   |  |                                      |                                   | 1                                 |   |
|                         | Baixa incidência de blocos com quebras  | 3                              | 1                          | 1                                   |                              | 1                                    |                                 |                              |  |  |                      | 3          |   |                    |                                       |                                   |                           | 9   |  |                                      |                                   |                                   |   |
|                         | Boa segurança contra incêndio   | 3                              |                            |                                     |                              | 1                                    |                                 |                              |  |  |                      |            |   |                    |                                       |                                   | 3                         |   |  | 9                                    | 9                                 | 1                                 |   |
|                         | Menor taxa de carbonatação  | 1                              | 1                          |                                     |                              | 1                                    |                                 |                              |  | 1  |                      |            |   |                    |                                       |                                   | 3                         |   |  | 1                                    | 1                                 | 9                                 |   |

Figura 35: Matriz do cliente

O resultado dessa matriz é a lista de características de qualidade que devem ser priorizadas, segundo as demandas dos clientes. Isso é realizado considerando os relacionamentos com as demandas dos clientes. Em seguida, os valores destas relações ( $DQ_{ij}$ ) estão relacionados com a  $ID_i^*$  de acordo com a equação (3), gerando o Índice de Importância dos Requisitos Técnicos ( $IQ_j$ ) (isto é, a importância das características de qualidade).

$$IQ_j = \sum_{i=1}^I ID_i^* \times DQ_{ij} \quad (3)$$

Na qual:

$IQ_j$  = índice de importância das características de qualidade

$ID_i^*$  = índice de importância da qualidade demandada corrigido

$DQ_{ij}$  = intensidade do relacionamento entre os itens qualidade demandada e características de qualidade

Este índice é ajustado ainda, em relação à dificuldade de agir sobre as especificações das características do produto ( $D_j$ ), que utiliza a seguinte escala: 0,5 – muito difícil; 1,0 – difícil; 1,5 – moderado 2,0 – fácil. E no que diz respeito às características técnicas ( $B_j$ ), quando comparados aos produtos da cooperativa com seus concorrentes, de acordo com a escala: 0,5 – acima da concorrência; 1,0 – similar à concorrência; 1,5 – abaixo da concorrência e 2,0 – muito abaixo da concorrência. Este ajuste gera Índice de Importância Corrigido ( $IQ_j^*$ ) dos requisitos técnicos expresso na Equação (4). Na Figura 36 todos os valores e resultados da aplicação das equações (3) e (4) aparecem expressos.

$$IQ_j^* = IQ_j \times \sqrt{D_j} \times \sqrt{B_j} \quad (4)$$

Na qual:

$IQ_j^*$  = índice de importância das características de qualidade corrigido

$IQ_j$  = índice de importância das características de qualidade

$D_j$  = avaliação da dificuldade de atuação

$B_j$  = avaliação da competitividade

| Características de Qualidade                        | Importância das Características de Qualidade (IQj) | Dificuldade de Atuação (Dj) | Análise Competitiva (Bj) | IQj* |
|---|--|-----------------------------|--------------------------|------|
| <b>Resistência à compressão (MPa)</b>               | 36   | 1,5                         | 1,5                      | 55   |
| Resistência à tração (MPa)                          | 34   | 1,0                         | 1,5                      | 42   |
| Módulo de deformação do bloco (MPa)                 | 16   | 1,0                         | 1,5                      | 20   |
| <b>Retração máxima admitida (%)</b>                 | 7  | 1,5                         | 1,0                      | 8    |
| Densidade (massa específica) (g/cm <sup>3</sup> )   | 26   | 1,5                         | 1,5                      | 39   |
| Número de variações de texturas                     | 8  | 0,5                         | 2,0                      | 8    |
| Número de variações de cores                        | 7  | 0,5                         | 2,0                      | 7    |
| <b>Tolerância dimensional largura e altura (mm)</b> | 10   | 2,0                         | 1,5                      | 17   |
| Escala visual de uniformidade da cor (1 a 5)        | 7  | 2,0                         | 1,0                      | 11   |
| <b>Ângulo da aresta (°)</b>                         | 13   | 2,0                         | 1,5                      | 22   |
| Massa (kg)  | 8  | 0,5                         | 1,5                      | 7    |
| Percentual de blocos com quebras na entrega (%)     | 13   | 1,5                         | 2,0                      | 22   |
| <b>Absorção média (%)</b>                           | 3  | 1,5                         | 1,0                      | 3    |
| <b>Número de variações dentro da família</b>        | 9  | 1,0                         | 1,5                      | 11   |
| Quantidade de informações do lote                   | 7  | 2,0                         | 2,0                      | 15   |
| <b>Permeabilidade máxima (%)</b>                    | 28   | 0,5                         | 2,0                      | 28   |
| Escala visual de regularidade de superfície (1 a 5) | 4  | 2,0                         | 1,0                      | 5    |
| Percentual de blocos com quebras na obra (%)        | 10   | 1,5                         | 1,5                      | 14   |
| <b>Índice de propagação de chama</b>                | 19   | 1,0                         | 1,0                      | 19   |
| <b>Densidade ótica máxima de fumaça</b>             | 19   | 1,0                         | 1,0                      | 19   |
| Profundidade de carbonatação (mm)                   | 19   | 1,0                         | 1,0                      | 19   |

Figura 36: Priorização das características de qualidade da matriz do cliente

Depois de aplicadas as equações (3) e (4) gera-se um gráfico de Pareto das características priorizadas na matriz. Na Figura 37 é possível verificar que as características de desempenho mecânico aparecem destacadamente nas primeiras posições, seguidas pelas questões de durabilidade. As questões da aparência do BCV, apesar de obter considerável importância nos pesos levantados através da pesquisa de mercado, aparecem no gráfico com pouca importância, não sendo consideradas críticas para controle, mas de qualquer maneira, têm que ser controladas. O motivo é que essas características acabam perdendo relevância por não possuírem relações com outras demandas quando desdobrada a matriz.

Vale observar que cada característica de qualidade responde a uma demanda do cliente, assim garante-se que todas as demandas possam ser contempladas. As características passam assim, pelas avaliações técnicas, ponderando-se a quantidade de relações com as diversas demandas, e aplicando os fatores de correção de análise competitiva, importância estratégica e dificuldade de atuação. Com esses vários ponderadores chega-se a um resultado mais aproximado de quais características devem ser priorizadas e controladas pela cooperativa, para atender as demandas dos clientes.

Assim, como resultados para a pesquisa, as características do produto na matriz do cliente que devem ser priorizadas aparece em primeiro lugar a ‘resistência à compressão’, em segundo, ‘resistência à tração’ e em terceiro lugar a ‘densidade’ do BCV. Todas estas características são referentes ao bom desempenho mecânico do produto. A ‘resistência à tração’ e a ‘densidade’ são características bastante relacionadas à ‘resistência à compressão’, e era esperado que essas mantivessem níveis de relações semelhantes, indicando que o resultado da matriz atinge-se o esperado. Porém, é importante colocar que se controlando a ‘resistência a compressão’ está já é representativa da qualidade do bloco tratando-se de desempenho mecânico não sendo necessariamente importante o ensaio de ‘resistência à tração’.

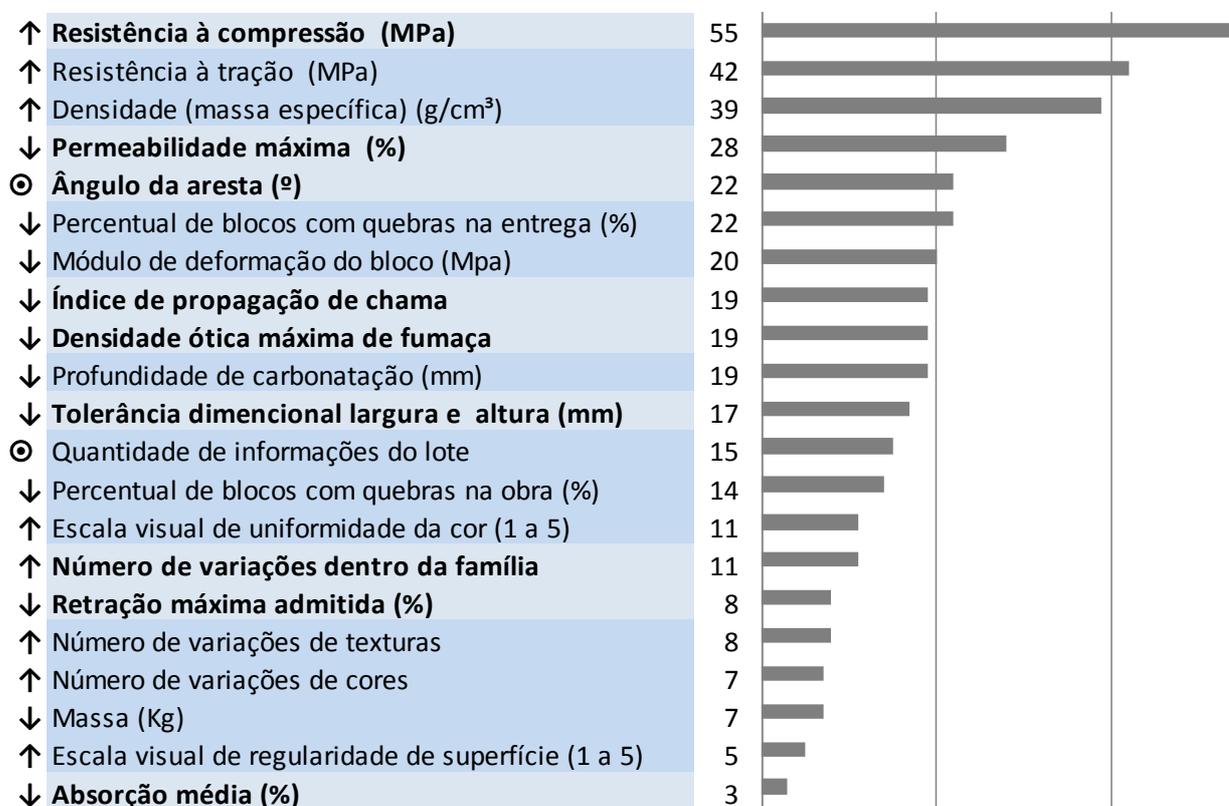


Figura 37: Gráfico de Pareto da matriz do cliente

#### 4.1.2 Matriz do Ambiente

A segunda matriz proposta, a matriz do ambiente, baseou-se nos pesos levantados por questionário quantitativo, seguindo o mesmo método previamente descrito, bem como se valeu das mesmas equações adotadas na matriz do cliente. Porém, nesta etapa os respondentes foram os participantes do grupo do projeto FINEP MORAR TS, além de outros especialistas da área ambiental. Formando, assim, um total de dez respondentes que avaliaram os pesos dos níveis secundários e terciários.

Para a análise da avaliação competitiva ( $M_i$ ) e da avaliação estratégia ( $E_i$ ) foi realizada reunião junto ao grupo de pesquisadores do LEME, assim como para o preenchimento da matriz. Na Figura 38 é possível verificar os pesos relativos aos níveis primário e secundário e os valores atribuídos ao  $E_i$  e  $M_i$  adotados para o cálculo do Índice de importância corrigida da qualidade demandada na abordagem ambiental. O item ‘fácil modularidade’ aparece em negrito porque também se repete na matriz do cliente. O item do nível secundário ‘menor gasto com energético na matéria-prima’ recebeu a maior pontuação na avaliação realizada pelos respondentes. O item “utilize materiais regionais” do nível terciário recebeu nota máxima por todos os respondentes, sendo assim considerado como item muito importante.

| Nível Secundário                               | Nível Terciário<br>(Qualidade Demandada)                | Peso Nível Secundário | Médias Nível Terciário | $ID_i$ | $M_i$ | $E_i$ | $ID_i^*$ |
|--|---|-----------------------|------------------------|--------|-------|-------|----------|
| <b>Menor gasto energético na matéria-prima</b> | Utilize resíduos na composição                          | 43,64                 | 8,40                   | 13,78  | 0,50  | 2,00  | 13,78    |
|  | Menor consumo de cimento                                |                       | 8,20                   | 13,45  | 1,50  | 2,00  | 23,30    |
|  | Utilize materiais regionais                             |                       | 10,00                  | 16,40  | 0,50  | 2,00  | 16,40    |
| <b>Transformação menos impactante</b>          | Menor consumo de recursos naturais (água)               | 38,18                 | 8,40                   | 9,06   | 1,00  | 1,50  | 11,10    |
|  | Menor consumo energético agregado (energia elétrica)    |                       | 9,00                   | 9,71   | 0,50  | 1,50  | 8,41     |
|  | Menor consumo de recursos naturais (agregados naturais) |                       | 8,40                   | 9,06   | 0,50  | 1,50  | 7,85     |
|  | Menor geração de resíduos e emissões                    |                       | 9,60                   | 10,35  | 1,00  | 1,50  | 12,68    |
| <b>Menor impacto no uso e descarte</b>         | Não possuir materiais tóxicos                           | 18,18                 | 9,80                   | 6,75   | 1,00  | 1,50  | 8,27     |
|  | <b>Fácil modularidade</b>                               |                       | 8,60                   | 5,92   | 1,50  | 1,50  | 8,88     |
|  | Maior potencial de reuso ou reciclagem                  |                       | 8,00                   | 5,51   | 1,00  | 1,50  | 6,75     |

Figura 38: Priorização da qualidade demanda do ambiente

O desdobramento das qualidades demandadas em requisitos mensuráveis do produto (características de qualidade) seguiu as mesmas etapas metodológicas descritas anteriormente na matriz do cliente. Na Figura 39 pode se verificar os níveis secundário e terciário com as respectivas características ou requisitos de qualidade ambiental do produto.

| <b>Demandas de qualidade</b>                     | <b>Qualidade demandada (Requisitos do ambiente)</b>     | <b>Características de Qualidade (Requisitos ambientais do produto)</b> |
|--|---|--|
| <b>Menor gasto energético para matéria-prima</b> | Utilize resíduos na composição                          | Porcentagem de uso de agregados reciclados (%)                         |
|  | Menor consumo de cimento                                | Porcentagem de cimento no traço (%)                                    |
|  | Utilize materiais regionais                             | Distância máxima da origem dos componentes (Km)                        |
| <b>Transformação menos impactante</b>            | Menor consumo de recursos naturais (água)               | Consumo de água na produção (l)  |
|  | Menor consumo energético agregado (energia elétrica)    | Consumo energético (energia elétrica) na produção (Kw/h)               |
|  | Menor consumo de recursos naturais (agregados naturais) | Porcentagem de uso de agregados naturais (%)                           |
|  | Menor geração de resíduos e emissões                    | Porcentagem de geração de resíduos (%)                                 |
| <b>Menor impacto no uso e descarte</b>           | Não possuir materiais tóxicos                           | Porcentagem de materiais tóxicos (%)                                   |
|  | <b>Fácil modularidade</b>                               | <b>Número de variações dentro da família de blocos</b>                 |
|  | Maior potencial de reuso ou reciclagem                  | Número de componentes para a fabricação do bloco                       |

Figura 39: Desdobramento das características de qualidade da matriz do ambiente

Para o preenchimento da matriz do ambiente utilizou-se a mesma metodologia e equipe que a utilizada na matriz do cliente. Foi usada assim, a mesma escala que representa relações fortes (9), médias (3) e fracas (1). A questão a ser respondida foi alterada: se a característica ambiental da qualidade  $x$  for mantida em níveis excelentes, estará assegurada a satisfação da qualidade demandada ambiental  $y$ ? Sendo que se a resposta for sim, a relação é forte, se parcialmente, a relação é média e assim por diante. E se a resposta for negativa, a célula permanece em branco. Na Figura 40 está representada a matriz dos requisitos ambientais com as relações entre as demandas e os requisitos relativos a esta matriz.

Pode-se observar que na matriz do ambiente (Figura 40) existem consideravelmente menos relações entre os itens que a matriz do cliente já apresentada. A maioria das relações fortes apresentadas é entre as características correspondentes a cada uma das demandas. Isto, no entanto, não significa que não sejam importantes, apenas que se a característica for elevada a níveis excelentes elas não irão interferir ou melhorar as outras características ambientais.

| MATRIZ DO AMBIENTE                      | <p>SE A CARACTERÍSTICA AMBIENTAL DE QUALIDADE 'X' FOR EXCELENTE, ESTARÁ ASSEGURADO O ATENDIMENTO DA DEMANDA</p>  <p>Se sim:<br/>9 = muito forte<br/>3 = moderado forte<br/>1= fraco</p> <p>Qualidade Demandada</p> | ↑  | ↓                                   | ↓   | ↓                               | ↓  | ↓  | ↓                                      | ↓                                    | ↑   | ↓  |
|---|---|--|-------------------------------------|---|---------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|---|--|
|   |   | Porcentagem de uso de agregados reciclados (%) | Porcentagem de cimento no traço (%) | Distância máxima da origem dos componentes (Km) | Consumo de água na produção (l) | Consumo energético (energia elétrica) na produção (Kw/h) | Porcentagem de uso de agregados naturais (%) | Porcentagem de geração de resíduos (%) | Porcentagem de materiais tóxicos (%) | Número de variações dentro da família de blocos | Número de componentes para a fabricação do bloco |
| Menor gasto energético na matéria-prima | Utilize resíduos na composição  | 9  |                                     |   |                                 |  | 3  |  |                                      |   |  |
|   | Menor consumo de cimento  |  | 9                                   |   |                                 |  |  |  |                                      |   |  |
|   | Utilize materiais regionais   | 3  |                                     | 9   |                                 |  |  |  |                                      |   |  |
| Transformação menos impactante          | Menor consumo de recursos naturais (água)   |  |                                     |   | 9                               |  |  | 1                                      |                                      |   |  |
|   | Menor consumo energético agregado (energia elétrica)  |  |                                     |   |                                 | 9  |  | 1                                      |                                      |   |  |
|   | Menor consumo de recursos naturais (agregados naturais)   | 9  |                                     |   |                                 |  | 9  |  |                                      |   |  |
|   | Menor geração de resíduos e emissões  |  |                                     |   | 1                               |  |  | 9                                      |                                      |   | 1  |
| Menor impacto no uso e descarte         | Não possuir materiais tóxicos   |  |                                     |   |                                 |  |  |  | 9                                    |   |  |
|   | Fácil modularidade  |  |                                     |   |                                 |  |  |  |                                      | 9   |  |
|   | Maior potencial de reuso ou reciclagem  |  |                                     |   |                                 |  |  |  |                                      |   | 9  |

Figura 40: Matriz do ambiente

O resultado dessa matriz é uma lista de características de qualidade que devem ser priorizadas segundo a abordagem ambiental. Assim, os valores das relações entre as demandas e as características de qualidade ( $DQ_{ij}$ ) estão relacionados com a  $IDi^*$ , gerando o Índice de Importância dos Requisitos Técnicos ( $IQ_j$ ), da mesma maneira já apresentada na etapa anterior, da matriz do cliente.

Este índice é ajustado ainda, em relação à dificuldade de agir sobre as especificações das características do produto ( $D_j$ ), que utiliza a seguinte escala: 0,5 – muito difícil; 1,0 – difícil; 1,5 – moderado 2,0 – fácil. E no que diz respeito às características técnicas ( $B_j$ ), quando comparados aos produtos da cooperativa com seus concorrentes, de acordo com a escala: 0,5 – acima da concorrência; 1,0 – similar à concorrência; 1,5 – abaixo da concorrência e 2,0 – muito abaixo da concorrência. Na Figura 41 todos os resultados podem ser conferidos.

| Características de Qualidade                             | Importância das Características de Qualidade IQj | Dificuldade de Atuação (Dj) | Análise Competitiva (Bj) | IQj* |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|------|
| Porcentagem de uso de agregados reciclados (%)           | 24,4   | 2,0                         | 0,5                      | 24,4 |
| Porcentagem de cimento no traço (%)                      | 21,0   | 1,0                         | 1,5                      | 25,7 |
| Distância máxima da origem dos componentes (Km)          | 14,8   | 2,0                         | 0,5                      | 14,8 |
| Consumo de água na produção (l)                          | 11,3   | 1,5                         | 1,0                      | 13,8 |
| Consumo energético (energia elétrica) na produção (Kw/h) | 7,6  | 1,5                         | 0,5                      | 6,6  |
| Porcentagem de uso de agregados naturais (%)             | 11,2   | 2,0                         | 0,5                      | 11,2 |
| Porcentagem de geração de resíduos (%)                   | 13,4   | 2,0                         | 1,0                      | 18,9 |
| Porcentagem de materiais tóxicos (%)                     | 7,4  | 2,0                         | 1,0                      | 10,5 |
| <b>Número de variações dentro da família de blocos</b>   | 8,0  | 1,0                         | 1,5                      | 9,8  |
| Número de componentes para a fabricação do bloco         | 7,3  | 1,0                         | 1,0                      | 7,3  |

Figura 41: Priorização das características de qualidade da matriz do ambiente

O gráfico de Pareto com os resultados da priorização das características de qualidade pode ser analisado na Figura 42, no qual se verifica que a característica prioritária é o item ‘porcentagem de cimento no traço’. Esta é uma preocupação constante para a equipe de desenvolvimento de produto bem como para a cooperativa. Não apenas pelas questões ambientais, uma vez que é de conhecimento geral a grande quantidade de energia necessária para produção e a geração de CO<sub>2</sub> associado à fabricação de cimento, bem como pelas questões econômicas, pois é o insumo mais caro do BCV. Em segundo lugar, aparece a ‘porcentagem de uso de agregados reciclados’. A matriz confirma assim, as duas principais preocupações ambientais em relação ao desenvolvimento do traço do BCV, uma vez que existe um *trade-off* importante desses dois itens, pois quanto maior a porcentagem de resíduos, maior será a porcentagem de cimento que deve ser utilizado para se atingir uma maior resistência à compressão, prioridade da matriz do cliente.

Outro aspecto interessante foi o item que ficou na terceira posição ‘porcentagem na geração de resíduos’ porque, a atividade de fabricação de blocos de concreto geraria praticamente nenhum resíduo, já que os produtos não conformes podem entrar novamente para a linha de produção como insumo. Porém, na etapa de produção de agregado reciclado é gerada uma faixa granulométrica que não é utilizado na fabricação dos BCVs. Essa parcela que vira

resíduo deverá ser uma preocupação da cooperativa já que a mesma busca se colocar no mercado como ambientalmente sustentável.

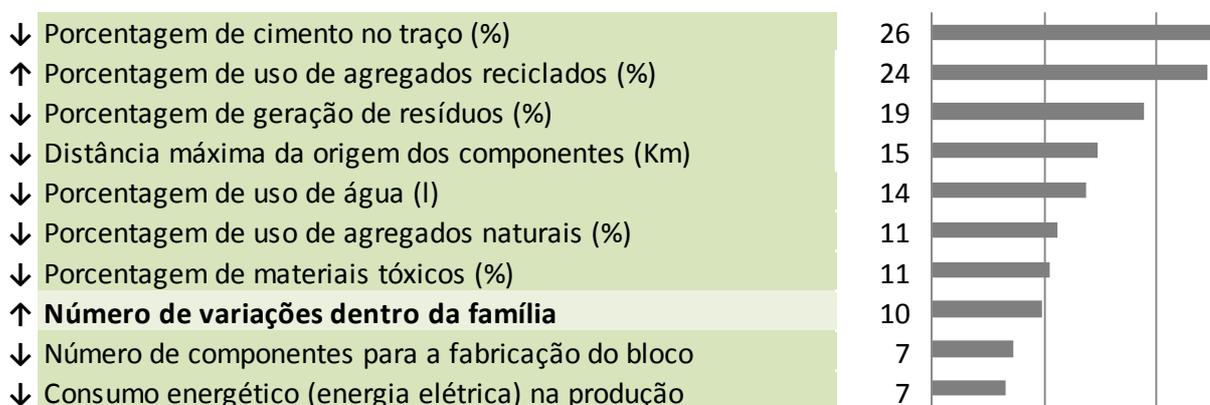


Figura 42: Gráfico de Pareto da matriz do ambiente

#### 4.1.3 Matriz das Normas

Para a matriz das normas técnicas foi realizado uma simplificação da metodologia. Isto porque, para as normas todos os requisitos devem ser cumpridos de maneira compulsória. Assim, não faz sentido buscar pesos diferenciados para cada item. Porém, o preenchimento da matriz traz consigo uma vantagem para identificar quais das características de qualidade exigidas pelas normas pode ser considerado o mais importante ou com quais se deve ter mais atenção por se relacionar com mais demandas das normas. Sendo assim, priorizar essa característica afetaria positivamente outras demandas.

A primeira tarefa para a matriz das normas foi, então, mapear os requisitos normativos e desdobrar os requisitos do produto mensuráveis que as normas procuram regulamentar. Essa etapa tornou-se facilitada uma vez que as normas são mais claras e objetivas quanto a seus requisitos, normalmente já estabelecendo parâmetros que possam ser medidos e testados. Entretanto, a dificuldade encontrada nesta etapa foi associada à necessidade de identificar, na norma de desempenho NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), quais os requisitos de qualidade tinham relação com o produto BCV e, com isto, identificar quais demandas da norma poderiam ser respondidas pela análise da qualidade do produto BCV e não apenas pelo sistema construtivo de parede de alvenaria e ou que fosse uma característica medida no projeto da edificação como um todo. Na Figura 43 podem ser vistas as demandas com os respectivos requisitos do produto (características de qualidade) encontradas nas duas normas avaliadas.

| <b>Demandas de qualidade</b> | <b>Qualidade demandada (Requisitos das normas)</b>  | <b>Características de Qualidade (Requisitos normativos do produto)</b> |
|------------------------------|---|--|
| <b>NBR 6136</b>              | Concreto homogêneo e compacto                       | Escala visual de homogeneidade (1 a 5)                                 |
|                              | <b>Bom assentamento</b>                             | <b>Ângulo da aresta (°)</b>  |
|                              | Atendimento à espessura mínima da parede do bloco   | Espessura da parede (mm)   |
|                              | Atendimento à dimensão mínima do furo               | Dimensional do furo (mm)   |
|                              | <b>Dimensão mínima das mísulas de acomodação</b>    | <b>Raio das mísulas de acomodação (mm)</b>                             |
|                              | <b>Boa estanqueidade</b>                            | <b>Permeabilidade (%)</b>  |
|                              | <b>Resistência à compressão mínima</b>              | <b>Resistência à compressão (MPa)</b>                                  |
|                              | <b>Boa absorção e aderência da argamassa</b>        | <b>Absorção média (%)</b>  |
|                              | <b>Menor retração</b>                               | <b>Retração admitida (%)</b>   |
|                              | <b>Menor variação dimensional (largura, altura)</b> | <b>Tolerância dimensional largura e altura (mm)</b>                    |
| <b>NBR 15575 - 4</b>         | Boa resistência à fixação de objetos                | Resistência a solicitações de peças suspensas (kN)                     |
|                              | Boa resistência aos impactos de corpo mole          | Resistência aos impactos de corpo mole (J)                             |
|                              | Boa resistência a ações transmitidas por portas     | Resistência a ações transmitidas por portas (J)                        |
|                              | Boa resistência aos impactos de corpo duro          | Resistência aos impactos de corpo duro (J)                             |
|                              | <b>Boa segurança contra incêndio</b>                | <b>Índice de propagação de chama</b>                                   |
|                              |   | <b>Densidade ótica máxima de fumaça</b>                                |
|                              | <b>Boa estanqueidade</b>                            | <b>Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade (%)</b>  |
|                              | Bom desempenho térmico                              | Transmitância térmica máxima (W/m <sup>2</sup> .K)                     |
|                              |   | Capacidade térmica mínima (kJ /m <sup>2</sup> .K)                      |
| Bom desempenho acústico      | Índice de redução sonora ponderada (Rw)             |  |

Figura 43: Desdobramento das características de qualidade da matriz das normas

Para o preenchimento desta matriz usou-se a mesma técnica e equipe que foi utilizada nas outras matrizes. Foi usada, assim, a mesma escala de representação das relações: fortes (9), médias (3) e fracas (1). A questão a ser respondida foi alterada: se a característica da qualidade normativa  $x$  for mantida em níveis excelentes, estará assegurada a satisfação da qualidade demandada da norma  $y$ ? Sendo que se a resposta for sim, a relação é forte, se parcialmente, a relação é média e assim por diante. Quando a resposta for negativa, a célula permanece vazia. Na Figura 44 está representada a matriz dos requisitos normativos com as relações entre as demandas e as características.

| MATRIZ DAS NORMAS | SE A CARACTERÍSTICA NORMATIVA DE QUALIDADE 'X' FOR EXCELENTE, ESTARÁ ASSEGURADO O ATENDIMENTO DA DEMANDA NORMATIVA 'Y'? | ↑  | ⊙                | ↑                                 | ⊙                        | ⊙                                   | ↓                         | ↑                              | ↓                  | ↓                            | ↓                                       | ↑  | ↑  | ↑   | ↑  | ↓                             | ↓                                | ↓  | ↑   | ↑                                       |   |
|-------------------|---|--|------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------------------|---|--|--|---|--|-------------------------------|----------------------------------|--|---|---|---|
|                   |   | Escala visual de homogeneidade do bloco pronto | Ângulo da aresta | Espessura da parede do bloco (mm) | Dimensional do furo (mm) | Raio das mísulas de acomodação (mm) | Permeabilidade máxima (%) | Resistência à compressão (Mpa) | Absorção média (%) | Retração máxima admitida (%) | Tolerância dimensional largura e altura | Resistência à solicitações de peças suspensas (kN) | Resistência aos impactos de corpo mole (J) | Resistência a ações transmitidas por portas (J) | Resistência aos impactos de corpo duro (J) | Índice de propagação de chama | Densidade ótica máxima de fumaça | Transmitância térmica máxima (W/m <sup>2</sup> .K) | Capacidade térmica mínima (kJ /m <sup>2</sup> .K) | Índice de redução sonora ponderado (Rw) |   |
|                   | Qualidade Demandada   | 9  |                  |                                   |                          |                                     |                           |                                |                    |                              |   |  |  |   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
| NBR 6136          | Concreto homogêneo e compacto   | 9  |                  |                                   |                          |                                     |                           |                                |                    |                              |   |  |  |   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
|                   | <b>Bom assentamento</b>   |  | 9                | 3                                 | 3                        | 3                                   |                           |                                |                    |                              |   |  |  |   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
|                   | Espessura mínima da parede  |  |                  | 9                                 |                          |                                     |                           |                                |                    |                              |   |  |  |   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
|                   | Menor dimensão do furo  |  |                  |                                   | 9                        |                                     |                           |                                |                    |                              |   |  |  |   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
|                   | Dimensão mínima das mísulas de acomodação   |  |                  |                                   |                          | 3                                   | 9                         |                                |                    |                              |   |  |  |   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
|                   | <b>Boa estanqueidade</b>  |  |                  |                                   |                          |                                     |                           | 9                              | 3                  |                              |   |  |  |   |  | 1                             | 1                                |  |   |   | 3 |
|                   | <b>Resistência a compressão mínima</b>  | 3  |                  | 9                                 | 1                        | 3                                   | 3                         | 9                              |                    | 1                            | 1                                       | 3  | 3  | 1   | 1  | 1                             | 1                                |  |   |   | 1 |
|                   | <b>Boa absorção e aderência da argamassa</b>  |  |                  |                                   |                          |                                     |                           |                                |                    | 9                            |   |  |  |   |  |                               |                                  |  | 1   | 1                                       |   |
|                   | Menor retração  |  |                  |                                   |                          |                                     |                           | 3                              |                    |                              | 9                                       |  |  |   |  | 1                             | 1                                |  |   |   |   |
|                   | <b>Menor variação dimensional (largura, altura)</b>   |  | 3                | 3                                 | 1                        | 9                                   |                           |                                |                    |                              |   | 9  |  |   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
| NBR 15575 - 4     | Boa resistência à fixação de objetos  |  |                  | 3                                 | 1                        |                                     | 3                         | 9                              |                    |                              |   | 9  |  |   |  | 1                             | 1                                |  |   |   |   |
|                   | Boa resistência aos impactos de corpo mole  |  |                  | 1                                 |                          |                                     | 1                         | 3                              |                    |                              |   |  | 9  |   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
|                   | Boa resistência a ações transmitidas por portas   |  |                  |                                   |                          |                                     |                           | 3                              |                    |                              |   |  |  | 9   |  |                               |                                  |  |   |   |   |
|                   | Boa resistência aos impactos de corpo duro  |  |                  | 1                                 |                          |                                     | 3                         | 3                              |                    |                              |   |  |  |   | 9  |                               |                                  |  |   | 1                                       |   |
|                   | <b>Boa segurança contra incêndio</b>  |  |                  | 1                                 |                          |                                     | 3                         | 3                              |                    |                              |   |  |  |   |  | 9                             | 9                                | 3  | 3   | 1                                       |   |
|                   | <b>Bom desempenho térmico</b>   |  |                  |                                   |                          |                                     |                           | 1                              |                    |                              |   |  |  |   |  |                               | 9                                | 9  |   |   |   |
|                   | Bom desempenho acústico   |  |                  |                                   |                          |                                     | 1                         | 1                              |                    |                              |   |  |  |   | 1  | 1                             |                                  |  |   | 9                                       |   |

Figura 44: Matriz das normas

Assim, para este conjunto de características a priorização foi baseada apenas nas relações estabelecidas entre a qualidade demandada e as características de qualidade. Sendo considerado assim, que características mais importantes são aqueles que mantêm maior número de relações com as demandas. Para esse resultado, então, foi realizada a soma dos relacionamentos identificados. Os itens de qualidade demandada em negrito são aqueles que, também, se encontram na matriz do cliente. O item 'Boa estanqueidade' da norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), não foi cruzado na matriz, porque se assumiu como premissa que a demanda era já solicitada na NBR 6136 (ABNT, 2007), optando-se por listar, mas não repetir o item na matriz.

Na Figura 45 é possível verificar que, novamente, o item 'resistência à compressão' é prioridade no controle a ser realizado pela cooperativa. Em segundo lugar e com valor muito aproximado encontra-se o item 'permeabilidade máxima', as duas primeiras características priorizadas na matriz da norma são itens que também se encontram na matriz dos clientes. Em

terceiro lugar aparece o item ‘espessura da parede do bloco’, este acaba se destacando porque possui relações também com a resistência a compressão e permeabilidade.

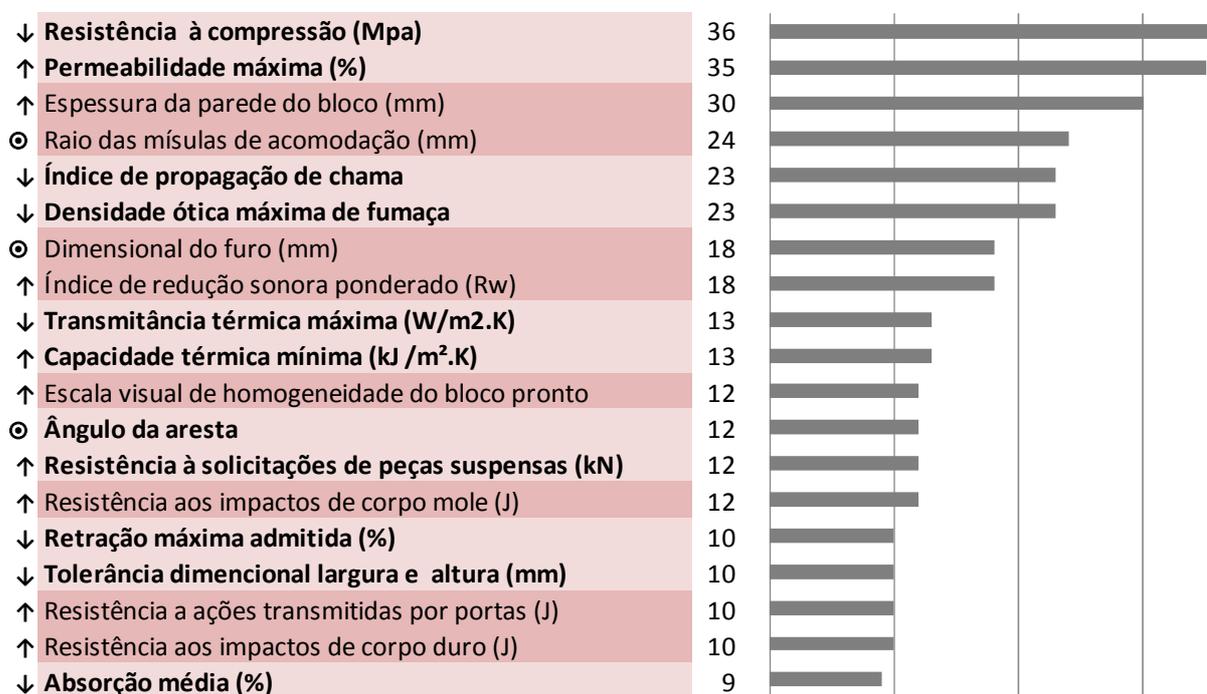


Figura 45: Gráfico de Pareto da matriz das normas

#### 4.1.4 Características monitoradas

A etapa que finalizou a análise de priorização dos requisitos foi o preenchimento da matriz completa com a lista estendida dos requisitos, isto é, com os requisitos das três abordagens: cliente, ambientais e normativos. É importante observar que as outras matrizes foram oriundas desta Matriz da Qualidade agora apresentada de forma completa. Assim, as matrizes do cliente, ambiente e normas, são recortes das relações estabelecidas nesta matriz.

A forma de preenchimento seguiu o mesmo padrão já apresentado, com as escalas de 1, 3 e 9 para identificar o nível de relacionamento. Nesta matriz não foram repetidas nem as demandas da qualidade, nem as características de qualidade que se repetiam entre as três primeiras matrizes. Assim, os requisitos que se repetiram principalmente para as abordagens do cliente e das normas, foram combinados usando apenas um deles. Não houve nenhum prejuízo para a análise uma vez que, da mesma forma que para a matriz das normas, não foram levados em consideração nenhum outro peso além das relações entre demandas e características. Esses itens estão em negrito na Matriz da Qualidade e podem ser visualizados no Apêndice D.

É interessante notar que a característica “resistência à compressão” ficou em destaque também na matriz do cliente. No entanto, para esta matriz pode-se assumir que este é um fator importante no contexto atual, no qual a cooperativa ainda não tem um produto bem delimitado. No futuro quando essa meta for atingida, os fatores de correção, como análise de mercado fariam com que sua prioridade baixasse. Isso porque apesar de ser exigência do cliente e interferir em diversas outras demandas seria um item já cumprido. No entanto, quando avaliado apenas as relações entre características e demandas tanto na matriz da norma quanto na Matriz da Qualidade, essa característica volta ao topo, concluindo-se assim, que ela é, realmente, importante e por muitas vezes indicadora da qualidade de outras demandas.

Uma avaliação pode ser realizada também é quanto ao item “permeabilidade” que aparece em segundo lugar quando se analisa a Matriz da Qualidade e apenas na quarta posição na matriz do cliente. O fator principal que fez com que item perdesse importância na matriz do cliente foi a dificuldade de atuação, e por ser de alta dificuldade, o aconselhável não seria uma atuação imediata, indicando que se resolva primeiramente problemas de solução mais fácil.

Outra verificação constante na Figura 46, gráfico de Pareto da Matriz da Qualidade, é em relação às matrizes estabelecidas. Na figura foi representado até a primeira importante inflexão do gráfico. Assim, a partir do item marcado como doze diminuiu consideravelmente o número de relações, definiu-se para este trabalho escolher estas como as características de qualidade que prioritariamente devem ser monitoradas pela cooperativa.

Porém, a tomada de decisão por quantos itens atuar é exclusiva para cada tipo de empresa e os recursos que ela tem disponível. É importante observar que entre as características de qualidade priorizadas existem representantes das três matrizes, cliente, normativas e ambientais. As características prioritárias incluem questões acerca de desempenho mecânico, forma do produto, características de durabilidade e norma de desempenho, além dos insumos utilizados para a fabricação. Assim, para a Matriz da Qualidade, o item com maior número de relações é a ‘resistência à compressão’ e seguida pelo item ‘permeabilidade máxima’; os dois itens pertencentes às características das matrizes dos clientes e das normas. Em terceiro lugar, encontra-se a ‘densidade’ item pertencente apenas à matriz do cliente.

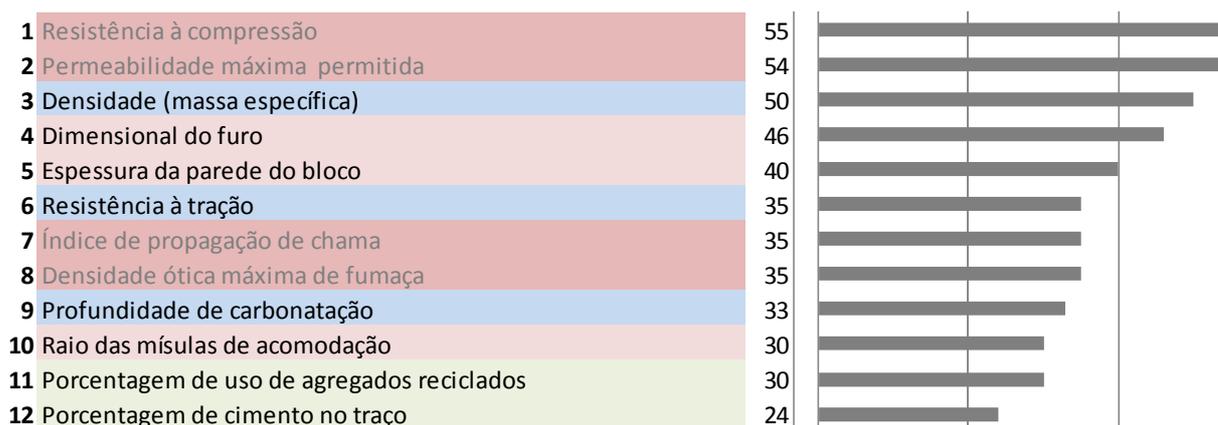


Figura 46: Gráfico de Pareto da Matriz da Qualidade

Esse conjunto de matrizes mais que um indicador inicial que aponta as características que devem ser monitoradas com mais atenção pela cooperativa, é um importante banco de dados, para todas as futuras melhorias que a cooperativa desejar ser implantar. Visando este objetivo, desenvolveu-se uma tabela que lista todos os requisitos levantados para as três matrizes, junto com seus parâmetros de medição, somados as especificações meta. Estas foram baseadas nas especificações de normas vigentes no país, em outras pesquisas que desenvolveram produtos semelhantes, na análise da concorrência e nos parâmetros indicados pelos selos e certificações que avaliam a sustentabilidade das edificações. Esta tabela pode ser visualizada no Apêndice E. Nesta são apresentados todas as demandas, duas fontes, as características de qualidade, as especificações juntamente com as fontes nas quais foram definidas as mesmas.

Outra importante função que se pode observar como o preenchimento das matrizes, além do banco de dados, foi de geração e transferência de conhecimento dentro da equipe de desenvolvimento de produto. Da geração do conhecimento, porque através dos encontros, foram geradas discussões sobre os vários indicadores e suas relações. Assim, todos que participaram partilham de igual forma todo o conhecimento sobre o produto. E de transferência do conhecimento porque, através de sua formatação visual foi possível, rapidamente, verificar todas as relações, sendo também assim, facilitada a transmissão destas informações para os membros da cooperativa, que não possuem o mesmo conhecimento técnico da equipe. Apesar de não ser uma ferramenta simples e rápida de se aplicar pelas empresas seus efeitos e sua utilidade podem ser duradouros e proveitosos para todos os agentes envolvidos no processo.

#### 4.1.5 Matriz das correlações

Foi ainda realizada a análise das correlações existentes entre as características de qualidade das três matrizes distintas para auxiliar a os desenvolvedores do produto e a cooperativa a entender e facilitar a decisão no momento de definir as características do BCV. Foi assim, construída uma matriz de correlações. Essa matriz apresenta-se de forma na qual se pode facilmente verificar onde estão relações positivas e negativas entre as características, podendo assim, tomar decisões com mais facilidade.

Assim, o objetivo desta avaliação foi verificar a influência que a característica de qualidade de uma matriz pode ter sobre as de outra. Por exemplo, avaliar se as características desejadas pelo cliente são favoráveis ou não às características do ambiente e assim por diante. Isto é importante, porque em algumas situações o atendimento de uma característica pode prejudicar o atendimento de outra. Esta etapa é importante porque identifica os objetivos conflitantes (RIBEIRO; ECHEVESTE; DANILEVICZ, 2001).

Desenvolveu-se assim, uma matriz de tipo Y que é uma combinação de três matrizes de tipo L e que permite avaliar as relações entre três dimensões (MOURA 1994). Esta forma de apresentação facilita a visualização de todas as relações estabelecidas em uma mesma figura. Para o preenchimento das três matrizes foi realizado um encontro com a mesma equipe de desenvolvedores. As correlações foram avaliadas em positivas ou negativas, e fortes ou fracas, sendo utilizada a escala da Figura 47 para representar estas relações.

| Símbolo | Relação        |
|---------|----------------|
| -2      | Negativa forte |
| -1      | Negativa fraca |
| 1       | Positiva fraca |
| 2       | Positiva forte |

Figura 47: Escala da matriz das correlações

Cada característica foi analisada par a par e verificada, assim, a existência de correlação entre elas, avaliando não o grau de relacionamento, mas a mútua relação entre os itens. O Apêndice F apresenta o resultado destas análises de forma completa. Deste modo, o formato como é apresentado permite que se verifique rapidamente o número de correlações negativas, já que estas aparecem destacadas, em cor diferenciada. Isso se deve ao fato, de que as relações negativas são aquelas em que o desenvolvedor do produto realmente precisa se preocupar, são os conflitos entre as relações.

Pode-se analisar que entre os itens dos clientes e das normas existem poucas correlações negativas e as que aparecem são fracas. A maioria das correlações negativas indicadas na matriz é entre os itens do ambiente em contraponto com os itens dos clientes e das normas. Esses itens da matriz do ambiente são aqueles relacionados à composição do BCV. Esta constatação é coerente já que estas características ambientais interferem negativamente nas características físicas do bloco e também nas características de desempenho mecânico e durabilidade do BCV.

No entanto, como a cooperativa tem entre seus objetivos a intenção de desenvolver um produto ambientalmente correto, adequado com as questões da sustentabilidade, estas relações negativas apresentadas não podem ser negligenciadas. Neste momento o desenvolvedor do produto deve fazer um *trade-off* entre essas relações para que o cumprimento integral de uma característica não afete negativamente muitas outras. Buscando-se assim, um equilíbrio entre as necessidades e desenvolvendo-se desta forma, um produto que respeite integralmente as normas, atenda o cliente e seja também um produto legitimamente benéfico ao meio ambiente.

## 4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS AGREGADOS DE RCD

Nesta etapa estão apresentados os resultados referentes aos ensaios realizados com as amostras recolhidas na cooperativa CSTA. Em todos os ensaios foi realizada uma análise dos resultados comparando as variações entre as amostras, bem como com os limites estabelecidos pela Norma 15.116 (ABNT, 2004) que define os requisitos para agregados reciclados. É importante ressaltar que os limites e os ensaios considerados na norma para este trabalho foram os estabelecidos para agregados reciclados mistos (ARM). Assim, a análise para verificar se a que classe pertencia os agregados, na qual os mesmos devem ser compostos por mais que 90% de restos de concreto, para classificá-lo como agregado reciclado de concreto (ARC), não se fizeram necessário. Uma vez que a cooperativa não tinha recebido resto de concreto em nenhum momento, pode-se assumir que as amostras coletadas não poderiam conter resíduos de concreto em qualquer proporção.

### 4.2.1 Análise granulométrica

A composição granulométrica do agregado é importante, pois é uma das características que influencia na compacidade do BCV. A norma brasileira NBR 15.116 (ABNT, 2004) estipula que a composição granulométrica dos agregados de RCD deve estar de acordo com o solicitado na norma NBR 7211 - Agregado para concreto – Especificação. (ABNT, 2009). Desta forma, buscou-se conhecer a distribuição granulométrica dos agregados provenientes da cooperativa CTSA como também compará-los com os limites estabelecidos pela norma.

A cooperativa utiliza duas frações de agregados reciclados para a fabricação do BCV. Foram ensaiadas assim, as oito amostras coletadas separadas nas duas frações, miúdo e graúdo, com objetivo de verificar se haveriam diferenças entre as amostras. Assim, o estudo da composição granulométrica dos agregados reciclados foi realizado de acordo com as especificações da NM 248 (ABNT, 2003).

A fração miúda é composta por material inferior a 2,4mm, e hoje não existe a etapa no processo da cooperativa de retirada da fração de finos menor que 0,15mm. Os resultados deste estudo estão apresentados na Tabela 5, que mostra as percentagens retidas e acumuladas, a dimensão máxima e o módulo de finura de cada amostra, sendo que a curva granulométrica originada destes resultados é apresentada na Figura 48. Em conjunto com as curvas resultantes dos ensaios com o agregado miúdo são apresentados os limites de distribuição granulométrica para agregados miúdos apresentados na NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 5: Composição granulométrica dos agregados miúdos

| Peneiras | Amostra 1 |                | Amostra 2 |                | Amostra 3 |                | Amostra 4 |                | Amostra 5 |                | Amostra 6 |                | Amostra 7 |                | Amostra 8 |                |
|----------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
|          | % retida  | % retida acum. |
| 9,5      | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 6,3      | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 4,75     | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              | 0         | 0              |
| 2,36     | 1,13      | 1              | 1,33      | 1              | 1,61      | 2              | 1,55      | 2              | 1,52      | 2              | 1,92      | 2              | 2,31      | 2              | 1,33      | 1              |
| 1,18     | 14,62     | 16             | 15,14     | 16             | 16,34     | 17             | 16,00     | 18             | 17,91     | 19             | 13,71     | 16             | 23,19     | 25             | 17,14     | 18             |
| 0,6      | 16,66     | 32             | 14,07     | 31             | 12,42     | 30             | 13,75     | 31             | 16,86     | 36             | 11,67     | 27             | 12,53     | 38             | 15,02     | 34             |
| 0,3      | 22,76     | 55             | 27,44     | 58             | 26,11     | 55             | 26,26     | 58             | 33,71     | 70             | 34,76     | 62             | 24,39     | 62             | 27,16     | 61             |
| 0,15     | 29,86     | 85             | 29,10     | 87             | 29,94     | 86             | 28,65     | 86             | 27,15     | 97             | 32,36     | 94             | 30,35     | 93             | 27,48     | 88             |
| Fundo    | 14,67     | 100            | 12,66     | 100            | 13,30     | 100            | 13,56     | 100            | 2,54      | 100            | 5,19      | 100            | 6,94      | 100            | 11,64     | 100            |
| Dim. Max | 2,36 mm   |                |
| M.F.     | 1,89      |                | 1,94      |                | 1,89      |                | 1,94      |                | 2,24      |                | 2,01      |                | 2,21      |                | 2,02      |                |

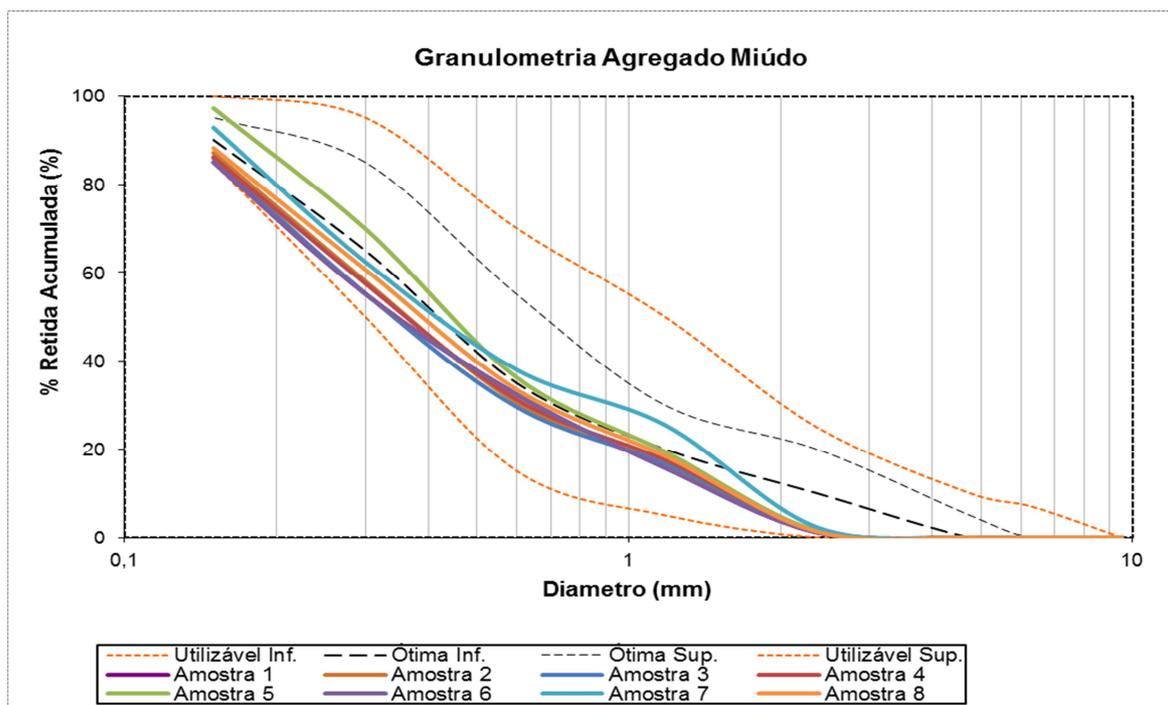


Figura 48: Gráfico da composição granulométrica do agregado miúdo

A fração graúda fica retida na sua maior parte na peneira de 2,36mm e passa totalmente na peneira 6,3mm. Os resultados desta análise estão apresentados na Tabela 6, sendo a curva granulométrica apresentada na Figura 49, em conjunto com os limites de distribuição granulométrica apresentados na NBR 7211 (ABNT, 2009) para agregados graúdos na zona granulométrica de 4,75/12,5mm.

Tabela 6: Composição granulométrica dos agregados graúdos

| Peneiras | Amostra 01 |                | Amostra 02 |                | Amostra 03 |                | Amostra 04 |                | Amostra 05 |                | Amostra 06 |                | Amostra 07 |                | Amostra 08 |                |
|----------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|
|          | % retida   | % retida acum. |
| 12,5     | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              |
| 9,5      | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              |
| 6,3      | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              | 0,00       | 0              |
| 4,75     | 9,97       | 10             | 13,74      | 14             | 13,25      | 13             | 16,58      | 17             | 11,72      | 12             | 14,47      | 14             | 13,99      | 14             | 14,15      | 14             |
| 2,36     | 80,13      | 90             | 78,34      | 92             | 78,97      | 92             | 75,46      | 92             | 61,51      | 73             | 65,69      | 80             | 76,03      | 90             | 76,22      | 90             |
| 1,18     | 3,72       | 94             | 4,64       | 97             | 4,27       | 96             | 3,69       | 96             | 7,58       | 81             | 5,76       | 86             | 4,81       | 95             | 4,91       | 95             |
| 0,6      | 0,79       | 95             | 0,19       | 97             | 0,20       | 97             | 0,44       | 96             | 3,46       | 84             | 0,76       | 87             | 0,44       | 95             | 0,58       | 96             |
| 0,3      | 0,83       | 95             | 0,54       | 97             | 0,58       | 97             | 0,87       | 97             | 6,17       | 90             | 3,20       | 90             | 1,01       | 96             | 1,42       | 97             |
| 0,15     | 2,16       | 98             | 0,99       | 98             | 1,21       | 98             | 1,38       | 98             | 7,76       | 98             | 6,69       | 97             | 2,17       | 98             | 1,96       | 99             |
| Finos    | 2,29       | 100            | 1,20       | 100            | 1,40       | 100            | 1,31       | 100            | 1,23       | 99             | 3,25       | 100            | 1,42       | 100            | 0,68       | 100            |
| Dim. Max | 4,75mm     |                |
| M.F.     | 4,82       |                | 4,95       |                | 4,94       |                | 4,96       |                | 4,39       |                | 4,54       |                | 4,89       |                | 4,92       |                |

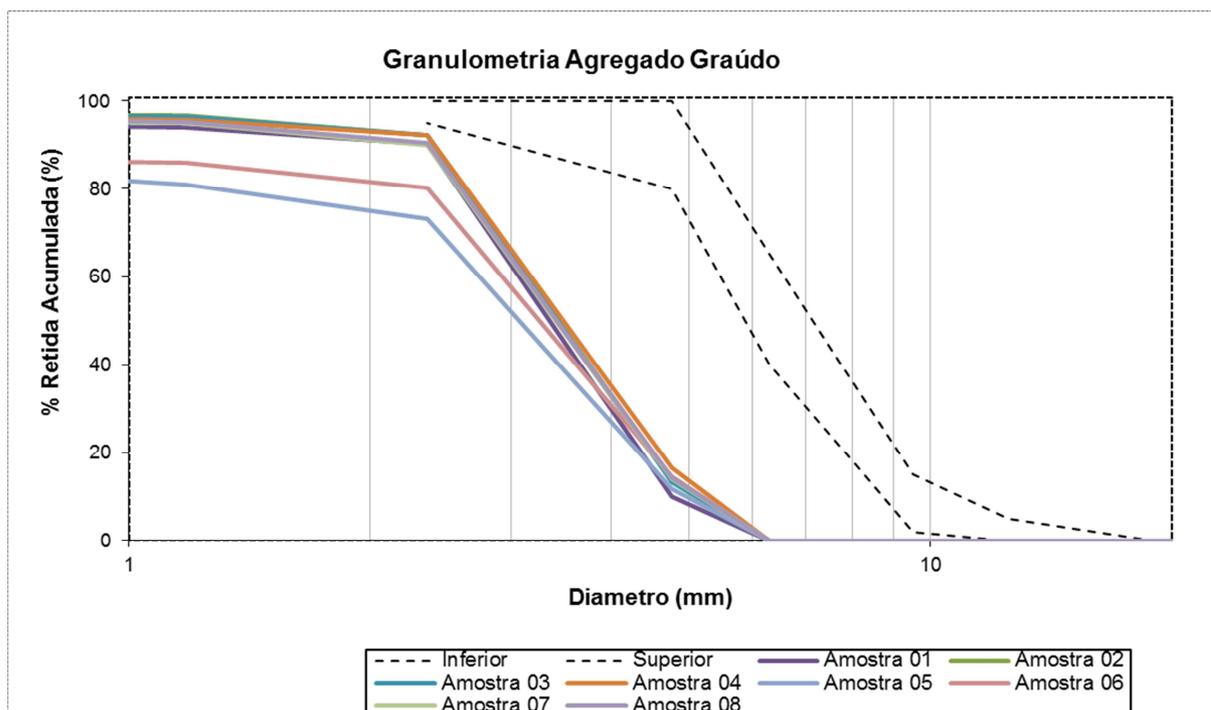


Figura 49: Gráfico da composição granulométrica do agregado graúdo

Os resultados demonstraram que a distribuição granulométrica não apresentou variação significativa perante as diferentes coletas. O diâmetro máximo não apresentou variação, delimitando-se em 2,36mm para os agregados miúdos e 4,75mm para os agregados graúdos, tal invariabilidade era esperada, pois a granulometria é controlada através de peneiras na própria cooperativa. A distribuição granulométrica dos agregados graúdos obteve em média mais que 75% do seu diâmetro maior que 2,36mm e menor que 4,75mm com exceção das amostras 05 e 06 que apresentaram menos que 75% e maior teor de diâmetros mais finos. Percebe-se que quando comparado aos limites da norma para agregados NBR 7211 (ABNT, 2009) (Figura 49), as amostras dos agregados possuem granulometria fora dos intervalos permitidos pela especificação, já que não apresenta os diâmetros maiores (9,5mm e 12,5mm) e possui grande quantidade de material entre 4,75mm e 2,36mm.

Já o agregado miúdo, apresentou aproximadamente 50% do diâmetro compreendido entre 0,6mm e 0,15mm, faixa que envolve as areias médias e finas. Quando comparado a granulometria dos agregados com os intervalos permitidos pela especificação da norma NBR 7211 (ABNT, 2009), percebe-se que as amostras encontram-se dentro dos limites utilizáveis (Figura 48). Entretanto, ressalta-se que há uma pequena presença de teores abaixo do 0,15mm, tal fato exige a adequação da granulometria para utilização em concretos não estruturais, exigindo-se assim, mais uma etapa para a separação dos agregados mais finos.

Pode-se perceber que as amostras 05 e 06 possuem maior quantidade de materiais finos na fração graúda e comportamento que se destaca das demais. Isso pode ser explicado, pois as duas amostras recebidas pelo laboratório para este ensaio encontravam-se úmidas. Sendo assim, foram britados e peneirados os RCDs na cooperativa estado úmido, assim, pode-se inferir que os materiais finos ficaram aderidos às partículas maiores, diminuindo a porcentagem de finos na amostra de agregados miúdos. Apesar de as amostras 05 e 06 serem secas e reduzidas de acordo com NBR NM 27 (ABNT, 2001), os materiais finos permaneceram nas amostras, diferentes das outras amostras cujo material fino, possa ter permanecido na própria cooperativa.

#### 4.2.2 Teor de material fino que passa na peneira de 75 $\mu\text{m}$

O ensaio de teor de material fino que passa na peneira de 75  $\mu\text{m}$  foi realizado também com as duas frações de agregados, como uma forma complementar para entender melhor a composição das amostras. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR NM 46 (ABNT, 2003). Com este ensaio é possível verificar todo o teor de materiais finos da composição, já que é realizado com peneiramento por via úmida retirando todo o material fino que pode ficar preso nas partículas maiores. Somado a isso, a norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) estabelece limites de teores para o uso. É importante ressaltar que os valores de comparação com a norma são estabelecidos para agregados reciclados mistos. Na Tabela 7 é possível visualizar os resultados de teores de material fino encontrados para cada uma das amostras de agregado miúdo comparando com o limite especificado na norma. O gráfico com a comparação visual dos teores entre as amostras pode ser verificado na Figura 50.

Tabela 7: Teor de material fino dos agregados miúdos

| Amostra | Teor de Material Fino (%) | Limite especificado na NBR 15.116 (ABNT, 2004) (%) |
|---------|---------------------------|--|
| 1       | 9,61                      | <20,0  |
| 2       | 8,69                      |  |
| 3       | 9,42                      |  |
| 4       | 9,56                      |  |
| 5       | 9,14                      |  |
| 6       | 7,79                      |  |
| 7       | 10,47                     |  |
| 8       | 7,54                      |  |

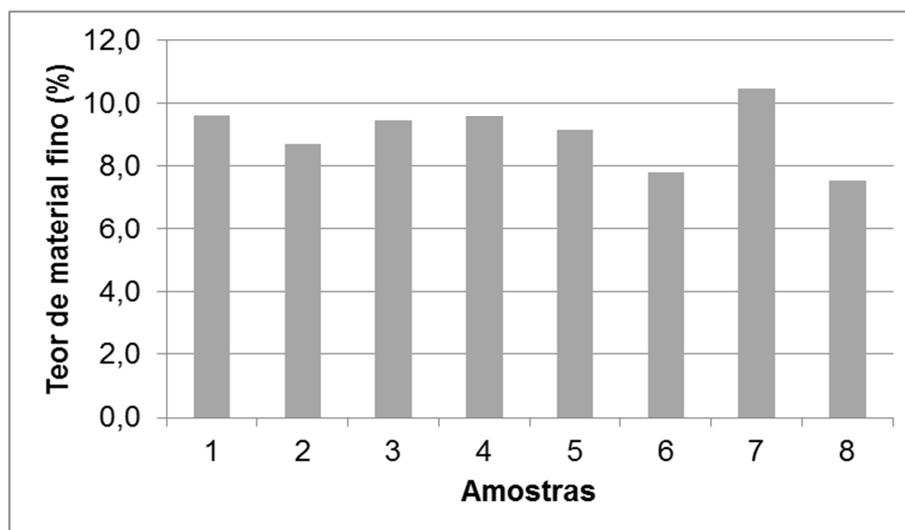


Figura 50: Gráfico do teor de material fino dos agregados miúdos

As amostras de agregado miúdo apresentaram comportamento semelhante entre elas com relação ao teor de materiais finos. Ao comparar com os limites estipulados pela norma NBR 15.116 (ABNT, 2004), verifica-se que esses estão consideravelmente abaixo do limite. A amostra 07 que possui a maior quantidade de cerâmica vermelha foi a que apresentou o maior teor, explicado pelo tipo de material da composição. As amostras 02, 03 e 04, do topo, meio e base do monte respectivamente, apresentaram teores crescentes de material fino, como o esperado neste tipo de situação. Para os agregados graúdos os resultados de teores de material fino encontrados para cada uma das amostras são apresentados na Tabela 8, na qual ainda pode se comparar com o limite especificado na norma. O gráfico com a comparação visual dos teores entre as amostras pode ser verificado na Figura 51.

Tabela 8: Teor de material fino dos agregados graúdos

| Amostra | Teor de material Fino (%) | Teor especificado na NBR 15.116 (ABNT, 2004) (%) |
|---------|---------------------------|--|
| 1       | 1,99                      | <10,0  |
| 2       | 1,52                      |  |
| 3       | 1,64                      |  |
| 4       | 3,53                      |  |
| 5       | 9,08                      |  |
| 6       | 8,13                      |  |
| 7       | 3,00                      |  |
| 8       | 0,94                      |  |

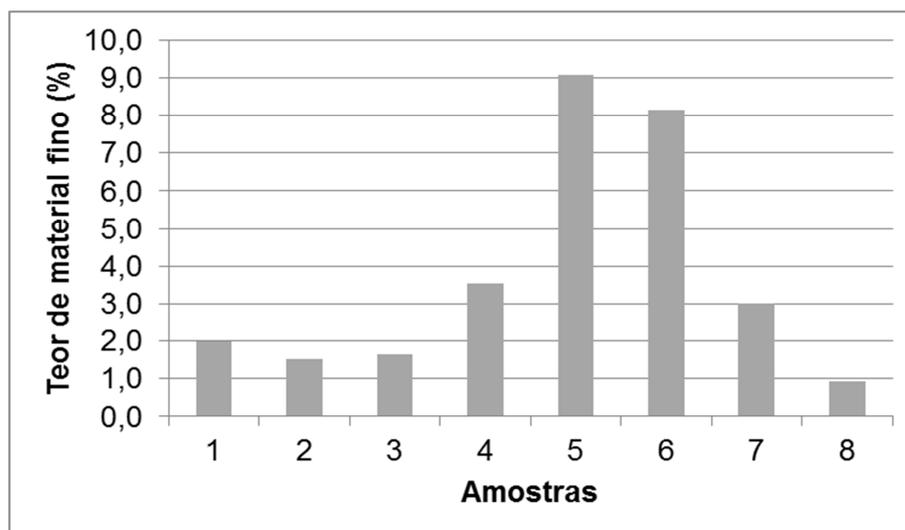


Figura 51: Gráfico do teor de material fino dos agregados graúdos

Os resultados do teor de materiais finos para o agregado graúdo corroborou com os resultados apresentados na granulometria, na qual as amostras 05 e 06 apresentaram teor significativamente maior que as outras amostras, justificando-se também pelo fato de as duas amostras serem britadas e peneiras úmidas. As amostras 02, 03 e 04, apresentaram mesmo comportamento crescente de teores de material fino, que as amostras do agregado miúdo. Ainda é possível verificar que a amostra 07 (maior quantidade de cerâmica vermelha) também se destacou com maior teor de material fino. No entanto, todas as amostras, inclusive, as amostras 05 e 06 que apresentaram resultados alterados devido ao processo, apresentaram teores dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR 15.116 (ABNT, 2004).

#### 4.2.3 Absorção de água

A absorção de água do material é de fundamental importância para expansibilidade do agregado, como também tem influencia na compactação (DELONGUI, 2012). A absorção de água é intimamente ligada à massa específica, mas a norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) especifica somente limites e sugere ensaios para a absorção de água. A absorção de água é um fator muito importante quando se considera agregados reciclados, pois esses apresentam taxas muito mais elevadas de absorção quando comparados com agregados naturais, influenciando assim, nas dosagens de concretos (LEITE, 2001). As taxas de absorção de água para agregados reciclados são mais comumente encontradas na literatura entre 8% e 12% para agregados miúdos. Segundo Quebaub (apud LEITE, 2001, p. 73) as taxas de absorção média para agregado miúdo foram de 12,2 % e 5,8 % para agregados graúdos reciclados.

Assim, as taxas de absorção de água encontradas estão de acordo com outros trabalhos e foram consideradas válidas. Assim, as amostras do agregado miúdo da cooperativa foram também ensaiados de acordo com a norma NBR NM 30 (ABNT, 2001). Os resultados dos ensaios das amostras encontram-se na Tabela 9, e na Figura 52 podem-se visualizar comparativamente as taxas de absorção das amostras ensaiadas.

Tabela 9: Absorção de água

| Amostra | Absorção de água (%) | Limite especificado na NBR 15.116 (ABNT, 2004) (%) |
|---------|----------------------|--|
| 1       | 8,20                 | <17,0  |
| 2       | 8,89                 |  |
| 3       | 9,45                 |  |
| 4       | 9,85                 |  |
| 5       | 8,58                 |  |
| 6       | 9,28                 |  |
| 7       | 8,67                 |  |
| 8       | 10,03                |  |

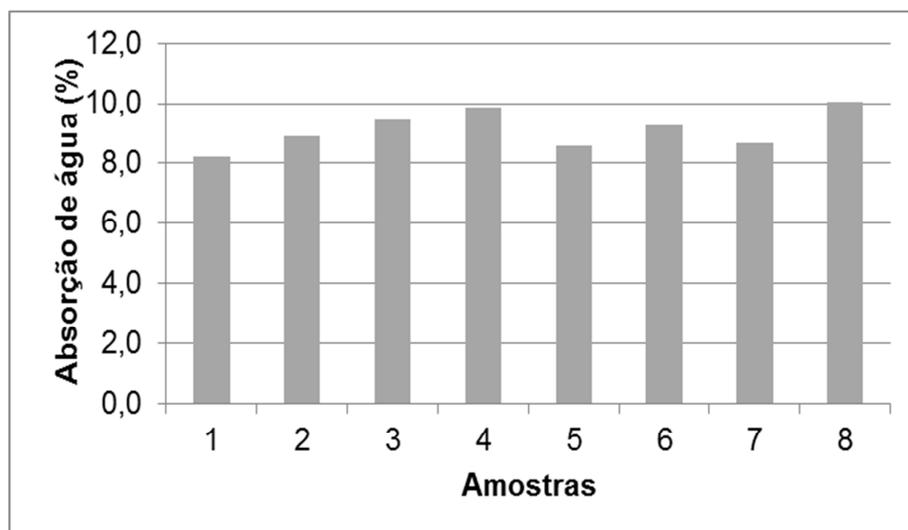


Figura 52: Gráfico da absorção de água

Os resultados mostram uma homogeneidade das taxas de absorção das amostras ensaiadas, e todas apresentaram resultados inferiores aos limites estabelecidos pela NBR 15.116 (ABNT, 2004), para agregados reciclados mistos e da fração miúda. As taxas de absorção das amostras 02, 03 e 04 aumentam respectivamente conforme aumento a proporção de finos nas amostras.

Este aumento é sensível, mas é verificado na literatura que quanto menor o material maior a absorção de água (LEITE, 2001). Van der Wegen e Haverkort (1998) indicam que o processo de lavagem dos agregados diminui o teor de materiais finos de 10% nos agregados não lavados para 0,8% nos agregados lavados, diminuindo também o a absorção de água de 13 % para 6 % para os agregados não lavados e lavados.

#### 4.2.4 Contaminantes: cloretos e sulfatos

Entre os ensaios para detectar presença de contaminantes determinados pela norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) está o que avalia teores de íons solúveis cloretos e sulfatos. Os cloretos são um grande problema para o concreto armado, pois são os principais responsáveis pela corrosão das armaduras e são mais comuns em ambientes marinhos. Como os agregados reciclados foram recolhidos na cidade de Porto Alegre, seria plausível esperar valores baixos para este contaminante. Assim, os resultados dos teores de cloretos encontrados através da análise química estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Teor de cloretos

| Amostra | Teor de cloretos (%) | Limite especificado na NBR 15.116 (ABNT, 2004) (%) |
|---------|----------------------|--|
| 1       | 0,0010               | 1  |
| 2       | 0,0010               |  |
| 3       | 0,0010               |  |
| 4       | 0,0010               |  |
| 5       | 0,0015               |  |
| 6       | 0,0010               |  |
| 7       | 0,0010               |  |
| 8       | 0,0010               |  |

Os teores de cloretos encontrados são consideravelmente aproximados e muito abaixo do limite especificado em norma, não sendo assim, fator de preocupação, mesmo nas amostras que estavam expostas às intempéries durante um bom período de tempo. A outra análise feita foi quanto aos teores de sulfatos. Os sulfatos podem ser oriundos de contaminantes como o gesso e provocam redução na durabilidade dos concretos. Como o gesso é um componente que pode estar em misturado ao RCD, o teor de sulfato deve ser analisado e ganha grande

importância. A Tabela 11 apresenta os resultados do ensaio realizado para detecção do teor de sulfatos, juntamente com o limite especificado na NBR 15.116 (ABNT, 2004).

Tabela 11: Teor de sulfatos

| Amostra | Teor de sulfatos (%) | Limite especificado na NBR 15.116 (ABNT, 2004) (%) |
|---------|----------------------|--|
| 1       | 0,0034               | 1  |
| 2       | 0,0011               |  |
| 3       | 0,0016               |  |
| 4       | 0,0017               |  |
| 5       | 0,0007               |  |
| 6       | 0,0010               |  |
| 7       | 0,0008               |  |
| 8       | 0,0014               |  |

Os teores de sulfatos são variáveis entre as amostras, porém de maneira geral estão abaixo do limite especificado na norma. Mesmo quando se compara os resultados obtidos com os teores de cloretos e sulfatos com normas mais exigentes que estabelecem requisitos para o uso de RCD junto a concretos estruturais, como o caso da Alemanha (cloretos 0,04% e sulfatos 0,8%) constata-se que os teores obtidos ainda se enquadrariam para utilizações mais exigentes. Porém, é importante ressaltar aqui que a norma brasileira determina a fração solúvel em água e a alemã em meio ácido.

#### 4.2.5 Contaminantes: materiais não minerais

O ensaio para determinar o teor de materiais não minerais foi realizado segundo o Anexo B da própria NBR 15.116 (ABNT, 2004), que acontece através da separação densitária por líquidos densos. A separação acontece pelo meio da imersão em líquido de densidade definida e assim, as partículas mais leves flutuam possibilitando sua retirada, permitindo a separação das partículas mais pesadas que afundam. As partículas não minerais são os contaminantes que para a norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) são definidos como “madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos” e são as partículas que flutuam. Neste ensaio foi utilizado em laboratório cloreto de zinco solubilizado em água com densidade de  $1,90 \text{ g/cm}^3$ . Os resultados obtidos com as amostras são apresentados na Tabela 12, que

também compara com o limite especificado em norma e na Figura 53 é possível verificar o gráfico comparativo das amostras.

Tabela 12: Teor de materiais não minerais

| Amostra | Teor de partículas leves (%) | Limite especificado na NBR 15.116 (ABNT, 2004) (%) |
|---------|------------------------------|--|
| 1       | 0,104                        | 2  |
| 2       | 0,116                        |  |
| 3       | 0,105                        |  |
| 4       | 0,085                        |  |
| 5       | 0,189                        |  |
| 6       | 0,139                        |  |
| 7       | 0,084                        |  |
| 8       | 0,111                        |  |

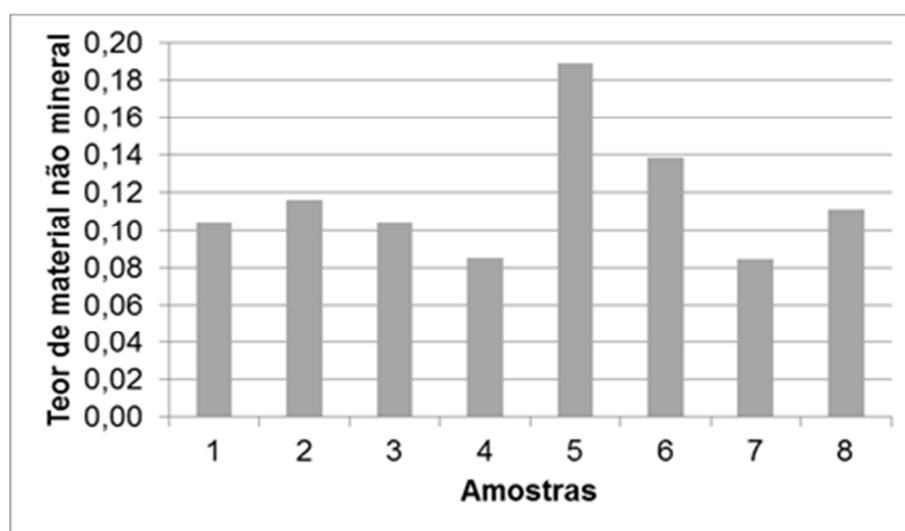


Figura 53: Gráfico dos teores de materiais não minerais

Os teores de materiais não minerais das amostras encontram-se dentro dos limites especificados pela norma. Os resultados apresentaram uma considerável regularidade, apenas a amostra 05 destaca-se das outras, porém ainda dentro dos limites. A Figura 54 apresenta as partículas de material não mineral encontrado nas amostras de RCD. Os materiais flutuantes encontrados foram principalmente pequenos pedaços de madeira (a). Também foram encontrados partículas de material carbonizado, pequenos pedaços de papel e películas de tinta (b).

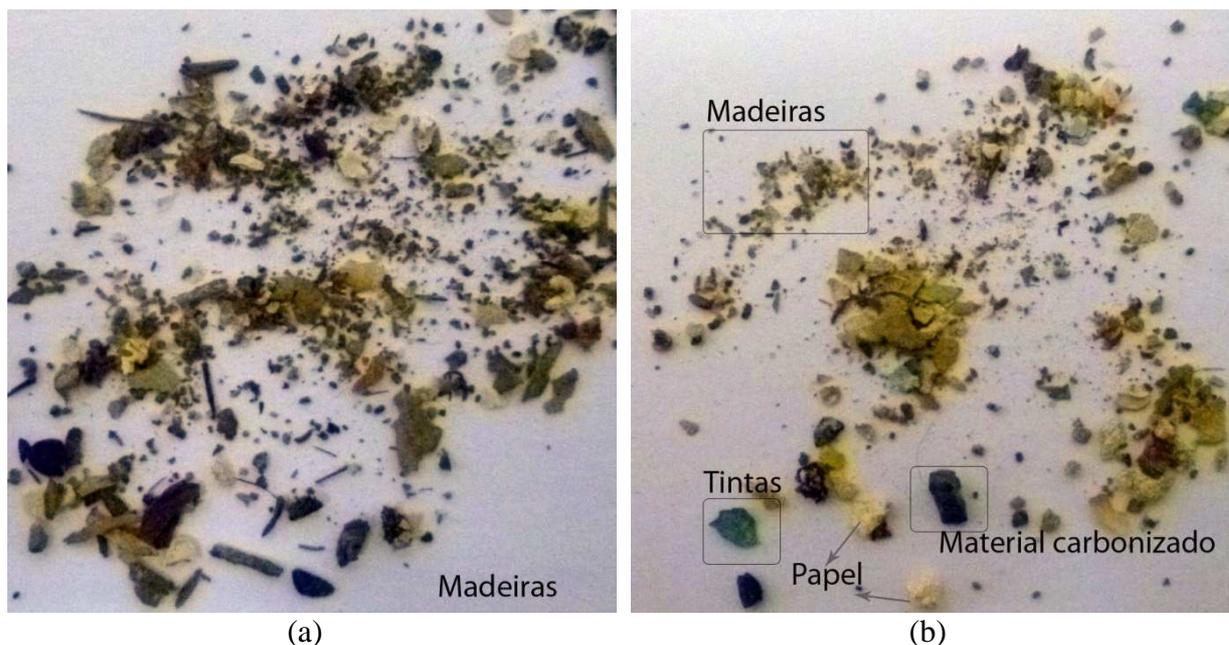


Figura 54: Materiais não minerais encontrados

#### 4.2.6 Contaminantes: argila em torrões e materiais friáveis

O último ensaio realizado sugerido pela norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) foi o ensaio para identificar argila em torrões e materiais friáveis. O ensaio foi realizado segundo a Norma NBR 7218 (ABNT, 2010). O intervalo utilizado para a avaliação foi o que ficou entre 1,18mm e 4,75mm. Os resultados dos ensaios realizados são apresentados na Tabela 13 e na Figura 55 são exibidos em formato de gráfico para a comparação entre as amostras

Tabela 13: Teor de torrões de argila

| Amostra | Teor de argila da amostra (%) | Limite especificado na NBR 15.116 (ABNT, 2004) (%) |
|---------|-------------------------------|--|
| 1       | 11,31                         | $\leq 2,0$   |
| 2       | 10,59                         |  |
| 3       | 9,97                          |  |
| 4       | 9,02                          |  |
| 5       | 40,57                         |  |
| 6       | 23,86                         |  |
| 7       | 17,50                         |  |
| 8       | 10,19                         |  |

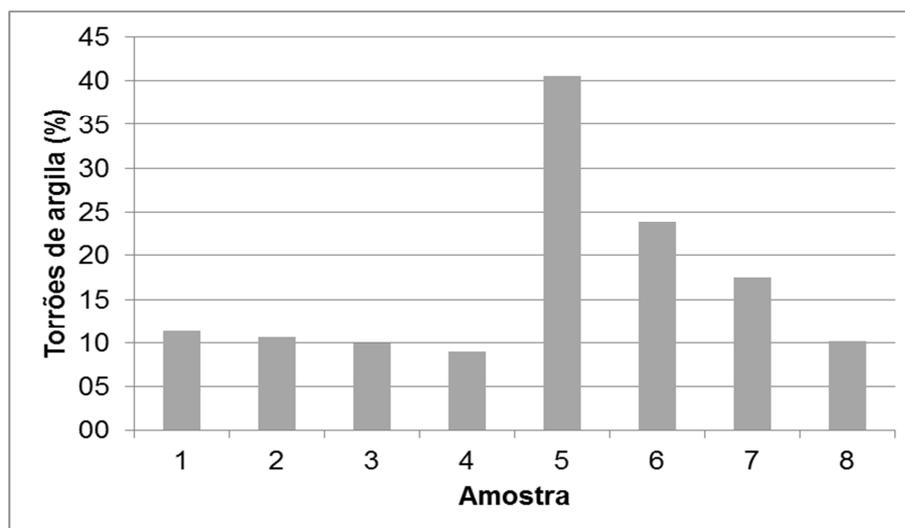


Figura 55: Gráfico dos teores de torrões de argila.

As amostras dos estoques internos da cooperativa ensaiadas apresentaram resultados semelhantes. Enquanto que as amostras do estoque disposto ao tempo apresentaram valores maiores para os teores de torrões de argila, sendo que a amostra 05, que é a resultante do RCD mais antigo estocado apresentou teor consideravelmente maior que as outras amostras.

No entanto, os resultados deste ensaio foram os únicos que não respeitaram os limites especificados pela norma NBR 15.116 (ABNT, 2004). Nenhuma das amostras se aproximou do limite mínimo estipulado. Segundo Angulo, 2005 isso pode em parte ser explicado, pois a norma brasileira tem limites relativamente menos restritivos quanto aos teores de materiais finos quando comparados com outras normas, entretanto, para limitar o teor de argilominerais presentes nos solos que podem ser misturar no momento da reciclagem, os torrões de argilas presentes nesses agregados estão na norma limitados em 2% em massa. Como componentes argilominerais o autor entende como “argilominerais provenientes de solos, cerâmicas vermelhas mal queimadas, abaixo de 500°C, ou rochas naturais”.

No entanto, o ensaio indicado pela norma para realização do ensaio não parece se adaptar adequadamente para agregados reciclados, já que também a norma não é específica para este fim. De acordo com o ensaio deve se identificar as partículas com aparência de torrões de argila e materiais friáveis e esmagar entre os dedos. Para agregados naturais cujas partículas diferenciadas são facilmente identificadas, o ensaio parece funcionar melhor. Quando o material ensaiado é o agregado reciclado a tarefa torna-se mais difícil, além de totalmente empírica.

Isso porque, quando as partículas são esmagadas entre os dedos, mesmo quando não se esfacelam totalmente elas perdem massa da superfície. Também se perde material fino quando realizado o peneiramento por via úmida, ocasionando assim vários prejuízos na massa que não é necessariamente originada de materiais friáveis ou torrões de argila. Sugere-se assim, que a norma que estabelece os requisitos para uso do RCD como agregados reciclados para concretos não estruturais, indique outro ensaio para os teores de torrões de argila, ou como alternativa este último deveria ser revisado.

### 4.3 ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE OS REQUISITOS

Por fim, para relacionar as características de controle de qualidade dos RCDs com as características dos BCVs foi proposta uma matriz para mapear estas relações. Foram selecionados das características dos BCVs apenas as que mantinham relação com questões de desempenho mecânico, durabilidade ou composição do bloco. Características relacionadas à aparência e logística, que não tem ligações com as propriedades dos agregados, foram retiradas da lista. A matriz foi preenchida respondendo e analisada par a par e foi verificada uma relação de dependência entre elas, avaliando apenas se as características dos RCDs estando satisfatórias atendem positivamente ou não as características dos BCVs, o inverso não foi avaliado. Assim, as relações foram avaliadas em positivas forte (2), positiva fraca (1) ou negativa forte (-2) ou negativa fraca (-1).

Os resultados dessas relações são apresentados na Figura 56. Assim, pode-se verificar que na primeira linha encontram-se os itens relacionados às características de controle de qualidade do agregado reciclado de RCD especificadas pela norma NBR 15.116 (ABNT, 2004) e na coluna as características relacionadas ao controle de qualidade dos BCVs levantadas através das demandas dos clientes, do meio ambiente e os normativos.

É possível notar que existe grande número de relações positivas entre as características dos RCDs e dos BCVs. Isso indica que a qualidade do RCD tem bastante influencia no controle de qualidade dos BCVs. Assim, nota-se a importância de se atingir bons índices para os agregados reciclados e não menos importante, manter constantemente estes índices de qualidade para não prejudicar as características dos BCVs.

|   | Características de Qualidade                  | Características do RCD |                  |                  |                  |                                |                           |                               |
|---|---|------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|   |   | Granulometria          | Absorção de água | Teor de cloretos | Teor de sulfatos | Teor de materiais não minerais | Teor de torrões de argila | Teor de material pulverulento |
| ⊙ |   |                        |                  |                  |                  |                                |                           |                               |
| ↓ |   |                        |                  |                  |                  |                                |                           |                               |
| ↓ |   |                        |                  |                  |                  |                                |                           |                               |
| ↓ |   |                        |                  |                  |                  |                                |                           |                               |
| ↓ |   |                        |                  |                  |                  |                                |                           |                               |
| ↑ | Densidade                                     | 2                      | 2                |                  |                  | 2                              | 2                         | 1                             |
| ↑ | Resistência à tração                          | 2                      | 1                |                  |                  | 1                              | 2                         | 2                             |
| ↓ | Profundidade de carbonatação                  |                        | 2                |                  |                  | 1                              | 1                         | 2                             |
| ↓ | Módulo de deformação do bloco                 | 2                      | 2                | 1                | 1                | 1                              | 2                         | 2                             |
| ↓ | Massa em KG                                   |                        | -1               |                  |                  |                                |                           |                               |
| ⊙ | Superfície regular                            | 2                      |                  |                  |                  |                                | 2                         |                               |
| ↑ | Porcentagem de uso de agregados reciclados    |                        | 2                | 2                | 2                | 2                              | 2                         | 2                             |
| ↓ | Porcentagem de cimento no traço               | 2                      | 2                |                  |                  | 1                              | 2                         | 2                             |
| ↓ | Consumo de água na produção                   | 1                      | 2                |                  |                  |                                | 1                         | 2                             |
| ↓ | Porcentagem de materiais tóxicos              |                        |                  | 1                | 1                | 2                              |                           |                               |
| ↑ | Resistência à compressão                      | 2                      | 2                |                  |                  | 2                              | 2                         | 2                             |
| ↓ | Permeabilidade máxima                         | 2                      | 2                |                  |                  | 1                              | 2                         | 2                             |
| ↓ | Retração máxima admitida                      | 2                      | 2                |                  | 2                | 2                              | 2                         | 2                             |
| ↓ | Absorção média                                | 1                      | 2                |                  |                  |                                | 2                         | 1                             |
| ↑ | Resistência à solicitações de peças suspensas | 2                      | 2                |                  |                  | 1                              | 1                         | 2                             |
| ↓ | Índice de propagação de chama                 | 2                      | 2                |                  |                  |                                |                           | 1                             |
| ↓ | Índice de redução sonora ponderado            |                        | -1               |                  |                  |                                |                           |                               |
| ↓ | Transmitância térmica máxima                  | 2                      | 2                |                  |                  | 1                              | 1                         | 1                             |
| ↑ | Capacidade térmica mínima                     | 2                      | 2                |                  |                  | 1                              | 1                         | 1                             |
| ↑ | Resistência aos impactos de corpo duro        | 2                      | 2                |                  |                  | 1                              | 1                         | 2                             |

Figura 56: Matriz das relações

A análise das relações na matriz indica que a característica de absorção de água dos agregados é a característica que mais possui relações positivas com as características dos blocos. Isso quer dizer que está é a característica do agregado que deve se ter mais controle para não prejudicar as propriedades dos blocos. Absorção de água é importante já que esta tem relação com a massa específica do agregado e quando menor a absorção de água mais resistente é o agregado e confere melhores resultados para as características de desempenho mecânico e durabilidade.

Na Figura 57 pode-se analisar o gráfico de Pareto que soma o número de relações. Apesar de a absorção ter maior valor na soma, outras características como a granulometria e teor de material pulverulento também ficam muito próximas, revelando a necessidade de controle destas características de igual maneira.

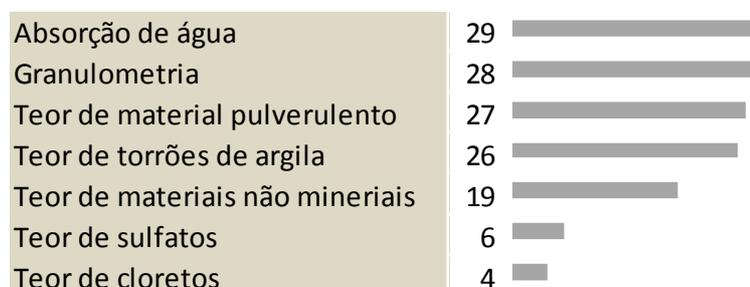


Figura 57: Gráfico de Pareto das características dos RCDs

Por fim, após todas as análises e relações pode-se finalmente chegar à listagem de características de qualidade ou indicadores que devem ser controlados de maneira prioritária dentro do ambiente da cooperativa. Podendo-se levar em consideração que os agregados reciclados hoje existentes na cooperativa já atendem de forma parcial aos requisitos estabelecidos em norma. É importante ressaltar aqui, que os indicadores listados podem ser controlados em um ambiente de cooperativa desde que associados a um laboratório, já que são ensaios diferenciados que exigem diversos equipamentos que, além de alto custo de obtenção também exigem pessoal capacitados para o uso e operação. Sendo assim, é bastante custoso para uma cooperativa em estágio inicial, manter um laboratório como este sob sua coordenação.

Na Figura 58 estão listados, juntamente com as respectivas especificações meta, os indicadores de desempenho para os BCVs bem como para os agregados reciclados de RCD. Esta pode ser considerada a listagem com os principais indicadores de qualidade que devem ser controlados pela cooperativa. Nesta listagem optou-se por retirar o item de ‘resistência à tração’, já que esta é relacionada à resistência à compressão e pode-se inferi-la através da última. Para os indicadores dos agregados de RCDs mantiveram-se todos os requisitos especificados pela norma NBR 15.116 (ABNT, 2004), com a respectiva especificação limite da norma, mesmo para o item de teor de argila, já que se sugeriu a alteração no ensaio para a identificação dos materiais friáveis e argila e não na especificação limites destes contaminantes.

| <b>Blocos de concreto de vedação</b>       |   |
|--|---|
| <b>Indicadores</b>                         | <b>Especificação</b>  |
| Resistência à compressão                   | $\geq 2,0$ MPa  |
| Permeabilidade                             | Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade: máx. de 10% |
| Densidade (massa específica)               | $>2,00$ (g/cm <sup>3</sup> )  |
| Dimensional do furo                        | $>98$ mm (D=Lbloco-2(e min+6)) (Família 15)                             |
| Espessura da parede do bloco               | $>15$ mm (tolerância -1,0mm) (Família 15)                               |
| Resistência à tração                       | $> 0,2$ MPa (10% da compressão)   |
| Índice de propagação de chama              | $I_p \leq 25$   |
| Densidade ótica máxima de fumaça           | $D_m \leq 450$  |
| Profundidade de carbonatação               | Não ultrapassar a parede do bloco                                       |
| Raio das mísulas de acomodação             | $>20$ mm (Família 15)   |
| Porcentagem de uso de agregados reciclados | $>90\%$   |
| Proporção de cimento no traço              | $I_c < 12,5$ kg.m <sup>3</sup> .MPa                                     |
| <b>RCD (agregados)</b>                     |   |
| <b>Indicadores</b>                         | <b>Especificação</b>  |
| Absorção de água                           | Miúdo: $\leq 12\%$ /Graúdo: $\leq 17\%$                                 |
| Granulometria                              | De acordo com norma NBR 7211 (ABNT, 2009)                               |
| Teor de material pulverulento              | Miúdo: $\leq 10\%$ /Graúdo: $\leq 20\%$                                 |
| Teor de torrões de argila                  | $\leq 2\%$  |
| Teor de materiais não minerais             | $\leq 2\%$  |
| Teor de cloretos                           | $\leq 1\%$  |
| Teor de sulfatos                           | $\leq 1\%$  |

Figura 58: Indicadores de desempenho

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como escopo principal de estudo o levantamento de todas as características de qualidade que uma cooperativa deve controlar para a produção de BCVs a partir de RCD. Para tanto, foi proposta uma sistemática para levantamento de requisitos de uma forma mais ampla que a tradicional, na qual abarcou três matrizes consideradas importantes. Considerou-se também que, como o diferencial do produto era o uso do RCD, este também deveria ser controlado e monitorado em relação as suas características. Este capítulo apresenta um resumo das conclusões da pesquisa e algumas recomendações para trabalhos futuros envolvendo requisitos mais sustentáveis e RCD.

### 5.1 CONCLUSÕES

A discussão da sustentabilidade ambiental dos produtos é uma das mais correntes nos dias atuais. A reciclagem de resíduos dentro da construção é considerada um importante aspecto sustentável e, muitas vezes, negligencia-se outros requisitos ambientais. Considera-se a reciclagem como principal forma de garantir benefícios ambientais, porém, em alguns casos para viabilizá-la causa-se danos ainda maiores ao meio ambiente, e estes muitas vezes não são discutidos.

A cooperativa estudada tem o interesse de posicionar-se no mercado como uma empresa sustentável. Por isso, buscou-se responder que características de qualidade deveriam ser atendidas para o desenvolvimento de um BCV com uso de RCD, dentro da lógica ambiental, em um ambiente de uma pequena cooperativa. Sendo assim, o produto tem como essência ter conteúdo reciclado, porém foram levantados os outros requisitos ambientais necessários de que modo eles afetaria o produto. Para responder esta questão, foi necessário assim, o desdobramento de três matrizes distintas: uma do cliente, uma ambiental e uma normativa.

Assim, foi adaptado o modelo de desdobramento da qualidade de Ribeiro, Echeveste e Danilevicz (2001) para levantar e priorizar os requisitos das três matrizes, bem como a lógica de relação entre as estas baseada no modelo de Abele, Anderl e Birkhofer (2005). O método adaptado destes dois modelos demonstrou-se adequado para a tarefa proposta. Apesar de ser um método demorado, gerou importantes resultados com sua aplicação e estes são amplos e

duradouros. A aplicação do método permitiu algumas constatações e considerações relevantes:

- a) **Cliente:** os requisitos levantados junto aos clientes apresentaram uma grande preocupação com o atendimento às normas, bem como com a homogeneidade e regularidade do produto, sendo assim, o controle de qualidade. Por ser um produto de baixa complexidade, já era esperado um reduzido número de requisitos. Vários dos requisitos levantados pelos clientes são também requisitos normativos.
- b) **Ambiental:** os requisitos ambientais que ganharam maior importância são condizentes com os conceitos de sustentabilidade ambiental mais recentes, nos quais, os requisitos relativos a obtenção de matéria-prima e transformação foram considerados mais importantes do que soluções remediadoras de fim de tubo.
- c) **Normas:** os requisitos da norma de desempenho NBR 15.575-4 (ABNT,2013) apresentaram uma considerável dificuldade na sua interpretação, uma vez que, para alguns tópicos, não fica claro a que parte de um sistema construtivo está associado cada um dos requisitos. Desta maneira, como o produto bloco de concreto faz parte do sistema construtivo parede de alvenaria, tornou-se difícil identificar que características e que especificações eram relativas ou poderiam ser atribuídas ao produto.
- d) **Requisitos do cliente e normativos:** de maneira geral os requisitos das duas abordagens não entraram em conflito, gerando assim, uma maior facilidade para atendimento das demandas destas duas fontes de informação.
- e) **Reciclagem do RCD, cimento e sustentabilidade:** a questão que mais se destacou no desenvolvimento do método foi o *trade-off* necessário para o controle das características de qualidade de ‘resistência à compressão’, ‘menor consumo de cimento’ e ‘maior proporção de agregados reciclados utilizados’. As duas últimas apresentaram-se no final das análises com importâncias semelhantes entre as demandas ambientais, indicando que é necessário um equilíbrio entre elas. Conclui-se que, o principal requisito a ser controlado é a resistência à compressão mínima normativa, uma vez que essa característica é mandatória, devendo-se assim, trabalhar a dosagem do concreto para um melhor equilíbrio entre proporção de agregados reciclados e consumo de

cimento, que é dos produtos da construção civil, um dos mais impactantes. Outra solução que pode vir a ser estudada e implantada é a incorporação de outros resíduos em adição ao cimento, como, por exemplo, a cinza de casca de arroz.

Com relação às características de qualidade do RCD, utilizado como agregado reciclado ressaltam-se algumas considerações importantes:

- a) **Granulometria:** a granulometria deve ser monitorada e possivelmente alterada. Adicionar a etapa de retirada de materiais mais finos que 0,15mm dos agregados miúdos pode ajudar na melhoria de características importantes dos BCVs. A composição granulométrica dos agregados graúdos, embora fora dos limites especificados, apresenta homogeneidade e quando complementada pelo agregado miúdo parece bem proporcionada ao uso junto aos BCVs.
- b) **Condições de estocagem:** as condições de estocagem não pareceram ser limitadores para o uso do agregado. Tanto os agregados protegidos das intempéries, quanto os expostos, tiveram comportamento semelhante na maioria dos ensaios, não indicando esse ser um fator agravante da qualidade do agregado.
- c) **Tempo de estocagem:** O tempo de estocagem demonstrou alterar negativamente as características do agregado, embora não inviabilizando o uso na maioria dos ensaios, ainda se enquadrando assim, aos limites da norma. Porém, como suas características mostraram-se destacadamente diferenciadas das demais, perde-se o controle da qualidade e regularidade dos agregados reciclados. Com um maior tempo de estoque seria necessário uma nova verificação para a comprovação da viabilidade.
- d) **Processo de britagem e peneiramento:** o processo de britagem e peneiramento também pareceram alterar resultados de suas características. A britagem e peneiramento do agregado em estado úmido facilita que uma maior quantidade de material fino fique incorporado ao grão. Indicando-se assim, realizar e padronizar este processo utilizando o agregado no estado seco. É importante ressaltar aqui, que se está avaliado o estado úmido no momento da peneira e não a possibilidade de lavagem dos agregados, uma vez que esta medida apresentaria outro comportamento.

- e) **Resultados dentro dos parâmetros normativos:** em uma primeira análise com relação à caracterização dos agregados, os resultados indicaram que o material coletado não apresenta contaminação por cloretos, sulfatos e materiais não minerais acima dos parâmetros normativos. Da mesma maneira, os ensaios de teor de material fino, absorção de água, obtiveram resultados que satisfazem nos limites especificados na norma NBR 15.116 (ABNT, 2004).
- f) **Torrões de argila e materiais friáveis:** este ensaio foi o qual se obteve os piores resultados, não sendo possível alcançar resultados próximos aos limites da norma. Porém, constatou-se, que o ensaio indicado para a verificação deste parâmetro não se adequa aos agregados reciclados. O ensaio por ser empírico e no caso de agregados reciclados difícil de detectar as partículas de argila frágeis acaba por perder massa pelo manuseio e desgaste da superfície das partículas, além da perda de material fino incorporado que se perde no processo da lavagem. O ensaio não se mostra assim, fiel ao objetivo de identificar somente as partículas de materiais frágeis, e sim se perde a massa da própria amostra.

Por fim, as análises dos requisitos dos blocos e da adequação do RCD possibilita que se responda que existe a viabilidade de produção de BCVs em ambiente de uma pequena cooperativa, dentro de uma lógica legitimamente ambiental e a partir de RCD. Desde que se controle um determinado número de características do produto e da matéria-prima, para que se mantenha um adequado controle de qualidade e regularidade do produto oferecido. É importante assim, estabelecer um adequado e padronizado processo de manufatura do produto, o qual deve ser conhecido e compreendido por todos os membros da cooperativa. No entanto, é importante enfatizar que a parceria com um laboratório, torna-se fundamental para uma pequena cooperativa, já que a grande maioria das formas de controle só é possibilitada com testes mais complexos que não permitiriam se desenvolver dentro do ambiente da cooperativa.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, estão apontadas algumas das lacunas que surgiram ao longo deste trabalho, ou que permaneceram abertas por não fazerem parte do escopo deste trabalho. Assim, outros trabalhos poderão:

- a) Desenvolver as matrizes de processo, produto e recursos de acordo com o andamento das atividades da cooperativa, para ser possível mapear também estas características;
- b) Testar de forma experimental, os *trade-offs* propostos neste trabalho, a fim de quantificar e verificar a viabilidade das propostas;
- c) Utilizar a análise do ciclo de vida como uma forma de mapear outros requisitos ambientais que devem ser controlados;
- d) Buscar outras ferramentas para controle de qualidade para aplicação na cooperativa;
- e) Desenvolver e testar um processo padronizado para todas as etapas da manufatura dos produtos da cooperativa.
- f) Fazer o controle de qualidade de forma temporal dos agregados recebidos pela cooperativa, ou seja, controlar mensalmente os recebimentos para verificar as variabilidades;
- g) Buscar outro método para a verificação do ensaio de teor de argila em torrões e materiais friáveis, ou propor um novo limite para especificação da norma; e,
- h) Buscar um método mais eficiente e condizente com as condições de uma pequena cooperativa para separação e controle de qualidade dos agregados reciclados.

## REFERÊNCIAS

ABELE, E.; ANDERL, R.; BIRKHOFFER, H, G. **Environmentally-friendly product development: methods and tools**. London: Springer, 2005.

AJDUKIEWICZ, A.; KLISZCZEWICZ, A. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. **Cement and Concrete Composites**, v. 24, n. 2, p. 269–279, abr. 2002.

AKAO, Y.; MAZUR, G. H. The leading edge in QFD: past, present and future. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 20, n. 1, p. 20–35, 2003.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

ANGULO, S C, FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com agregados reciclados**. In: Isaia Geraldo C. (Org.) **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. cap 47, p. 1731-1767

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro: 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7218**: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro: 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 8949**: Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio. Rio de Janeiro: 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 9917**: Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis. Rio de Janeiro: 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 14321**: Paredes de alvenaria estrutural – Determinação da resistência ao cisalhamento. Rio de Janeiro: 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 14322**: Paredes de alvenaria estrutural - Verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão. Rio de Janeiro: 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 15112**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15961-1**: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro: 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 15961-2**: Alvenaria estrutural - Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro: 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro: 2013

\_\_\_\_\_. **NBR NM 26**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro: 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro: 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: 2003.

BIGNOZZI, M. C. Sustainable Cements for Green Buildings Construction. **Procedia Engineering**, v. 21, p. 915–921, jan. 2011.

BIOLCHINI, J. et al. Systematic Review in Software Engineering. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005

BRASIL. Decreto lei nº 5.764, de 16 de dezembro de 1971. define a Política Nacional de Cooperativismo, institui o regime jurídico das sociedades cooperativas, e dá outras providências. Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L5764.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5764.htm)> Acesso em: 04 de set de 2012.

BRASIL. Decreto lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8078.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078.htm)> Acesso em: 26 de ago de 2013.

BRASIL. Decreto lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)> Acesso em: 04 de set de 2012.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DALMOLIN, D. C. C. D. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 55, p. 448-460, 2009.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; MOLIN, D. C. C. D.; RIBEIRO, J. L. D. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 4, p. 421-430, abr 2010.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; MOLIN, D. C. C. DAL; RIBEIRO, J. L. D. Modelagem da Resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD. **Minerva**, v. 4, n. 1, p. 75-84, 2000.

CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. C. Review, analysis and classification of the literature on QFD—Types of research, difficulties and benefits. **International Journal of Production Economics**, v. 114, n. 2, p. 737–754, ago. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução** Nº 307. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 24 out. 2013.

CORINALDESI, V. Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 9, p. 1616–1620, set. 2010.

DAGNINO, R (Org.). Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade. 2º ed. rev. e ampl. Campinas: Komedi, 2010.

DEBIEB, F.; COURARD, L.; KENAI, S.; DEGEIMBRE, R. Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 6, p. 421-426, jul 2010.

DELONGUI, L. **Caracterização e adequação dos resíduos da construção civil produzidos no município de Santa Maria-RS para aplicação em pavimentação**. Dissertação (Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

DOSHO, Y. Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System -Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 5, n. 1, p. 27–42, 2011.

DURAN, X.; LENIHAN, H.; O'REGAN, B. A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling—the case of Ireland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 46, n. 3, p. 302–320, mar. 2006.

EGUCHI, K. et al. Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 7, p. 1542–1551, jul. 2007.

ELKINGTON, John. **Enter the triple bottom line. The triple bottom line: Does it all add up**, [s.n.], p. 1-16, 2004.

ENGELSEN, C. J. et al. Leaching characterisation and geochemical modelling of minor and trace elements released from recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 40, n. 12, p. 1639–1649, dez. 2010.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. DE. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, n. 5, p. 397–401, maio. 2007.

FATHIFAZL, G.; ABBAS, A.; RAZAQPUR, A. G. New Mixture Proportioning Method for Concrete Made with Coarse Recycled Concrete Aggregate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 21, n. October, p. 601-612, 2009.

FONSECA, F. B. DA. **Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2002.

GIL, A C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4 Ed.** São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A C. **Métodos e Técnicas de pesquisa Social. 6 Ed.** São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, P. C. M. **Betão com agregados reciclados. Análise comentada da legislação existente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

GUERRA, I.; VIVAR, I.; LLAMAS, B.; JUAN, A; MORAN, J. Eco-efficient concretes: the effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. *Waste management (New York, N.Y.)*, v. 29, n. 2, p. 643-6, fev 2009.

GULL, I. Testing of Strength of Recycled Waste Concrete and Its Applicability. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 137, n. January, p. 1-6, 2011.

- HOCHMAN, S. D.; O'CONNELL, P. A. Quality function deployment: using the customer to outperform the competition on environmental design. *Proceedings of the 1993 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, p. 165–172, 1993.
- ISMAIL, S.; RAMLI, M. Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications. *Construction and Building Materials*, v. 44, p. 464–476, jul. 2013.
- JABAREEN, Y. A New Conceptual Framework for Sustainable Development. *Environment, Development and Sustainability*, v. 10, n. 2, p. 179–192, 9 jul. 2006.
- JANKOVIC, K.; NIKOLIC, D.; BOJOVIC, D. Concrete paving blocks and flags made with crushed brick as aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 28, n. 1, p. 659–663, mar. 2012.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre docência), Departamento de Engenharia da Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
- JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. **Selo casa azul - Boas práticas para habitação mais sustentável**. 1. ed. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.
- JUNG, C. F.; TEN CATEN, C. S. Métodos para sustentabilidade : revisão e síntese conceitual. 5th Americas International Conference on Production Research. Anais [s.l.], 2010.
- KAEBERNICK, H.; KARA, S.; SUN, M. Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 19, n. 6, p. 461–468, dez. 2003.
- KHATIB, J. M. Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. *Cement and Concrete Research*, v. 35, n. 4, p. 763–769, abr. 2005.
- KOU, S.C.; POON, C.S.; WAN, H.W. Properties of concrete prepared with low-grade recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, v. 36, p. 881–889, nov. 2012.
- KREBS, L. F.; PAULETTI, C.; SCHWETZ, P.; FILHO, L. C. P. DA S. **Critérios ambientais para seleção de materiais**. Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. Porto Alegre: Mai, 2012
- KREBS, Lisandra F. **Critérios para a seleção de soluções construtivas, baseados em sustentabilidade ambiental**. Rede FINEP Morar. TS, Subprojeto 3. Relatório de atividades de pesquisa. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 2013. Não publicado. Digitado.
- KWAN, W. H. et al. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. *Construction and Building Materials*, v. 26, n. 1, p. 565–573, jul. 2011.

LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A. C.; VAN ERCK, R. P. G. Assessing the sustainability performances of industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 4, p. 373–385, mar. 2005.

LEACH, M. A.; BAUENT, A.; LUCAS, N. J. D. A Systems Approach to Materials Flow in Sustainable Cities : A Case Study of Paper. *Journal of Environmental Planning and Management*, v. 40, n. 6, p. 705-723, 1997.

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Tese (Doutorado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LEITE, M. B.; DALMOLIN, D. C. C. Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de c & d. **Sitientibus**, n. 26, p. 111–130, 2002.

LEIVA, C. et al. Recycled blocks with improved sound and fire insulation containing construction and demolition waste. **Waste management** (New York, N.Y.), v. 33, n. 3, p. 663–71, mar. 2013.

LEVY, S. M.; HELENE, P. Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 11, p. 1975–1980, nov. 2004.

LI, X. Recycling and reuse of waste concrete in China. Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 1-2, p. 36–44, dez. 2008.

LI, X. Recycling and reuse of waste concrete in China. Part II. Structural behaviour of recycled aggregate concrete and engineering applications. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 3, p. 107-112, jan 2009.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

LOVATO, P. S. et al. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. **Construction and Building Materials**, v. 26, n. 1, p. 437–447, jan. 2012.

MANZINI, E; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 2.º.ed. São Paulo: Editora da USP, 2005.

MARINKOVIC, S. et al. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. **Waste Management**, v. 30, p. 2255–2264, 2010.

MARTÍN-MORALES, M.; ZAMORANO, M.; RUIZ-MOYANO, A.; VALVERDE-ESPINOSA, I. Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for

concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 2, p. 742-748, fev 2011.

MARTÍNEZ-LAGE, I. et al. Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 171–176, dez. 2012.

MARX, Â. M. **Proposta de método de gestão de requisitos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

MAS, B.; CLADERA, A.; OLMO, T. D.; PITARCH, F. Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. **Construction and Building Materials**, v. 27, n. 1, p. 612-622, fev 2012.

MASUI, K. et al. **Quality Function Deployment for Environment: QFDE (1st Report) - A Methodology in Early Stage of DfE**-Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. Anais[s.l.], 2001

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. Design for the Triple Top Line : New Tools for Sustainable Commerce. **Corporate Environmental Strategy**, v. 9, n. 3, p. 251–258, 2002.

MENARD, Y. et al. Innovative process routes for a high-quality concrete recycling. **Waste management** (New York, N.Y.), v. 33, n. 6, p. 1561–5, jun. 2013.

MOURA, Eduardo C. **As sete ferramentas gerenciais da qualidade - implementando a melhoria contínua com maior eficácia**. São Paulo: Makron Books, 1994.

OIKONOMOU, N. D. Recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 2, p. 315–318, fev. 2005.

OLORUNSOGO, F. .; PADAYACHEE, N. Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. **Cement and Concrete Research**, v. 32, n. 2, p. 179–185, fev. 2002.

ONU Agenda 21. Disponível em <<http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/>>. Acesso em 13 de ago de 2013.

PICCININI, V. C. Cooperativas de trabalho de Porto Alegre e flexibilização do trabalho. **Sociologias**, n. 12, p. 68-105, dez 2004.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.

POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. **Construction and Building Materials**. v. 16, n. April, p. 281–289, 2002.

PORTO ALEGRE. Lei nº10.531, de 10 de setembro de 2008. Institui, no Município de Porto Alegre, o **Programa de Redução Gradativa do Número de Veículos de Tração Animal e**

**de Veículos de Tração Humana e dá outras providências.** Disponível em: <<http://www.camarapoa.rs.gov.br/>>. Acesso em: 04 de set de 2012.

PORTO ALEGRE. Lei Municipal N° 10.847, de 9 de março de 2010. Institui o **Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil do Município de Porto Alegre**. Disponível em: < <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/> >. Acesso em: 24 de out de 2013

PRADO, D. M. **Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

RAHAL, K. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p. 407-415, jan 2007.

RAO, A.; JHA, K. N.; MISRA, S. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n. 1, p. 71–81, mar. 2007.

REMBISKI, F. D. **Análise multimétodo de percepções de agentes intervenientes na pesquisa e no gerenciamento de agregados reciclados de resíduos da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

RIBEIRO, J. L. D.; ECHEVESTE, M.; DANILEVICZ, A. M. F. **A utilização do QFD na otimização de produtos, processos e serviços**. Série Monográfica Qualidade. Fundação Empresa Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, Porto Alegre.

RICHARDSON, A.; ALLAIN, P.; VEUILLE, M. Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement. **Structural Survey**, v. 28, n. 2, p. 142-148, 2010.

RILEM RECOMMENDATION. Specification for concrete with recycled aggregates. **Materials and Structures**, n.27, p.557-59, 1994.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Revista brasileira fisioterapia, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SCHUBERT, S.; HOFFMANN, C.; LEEMANN, A.; MOSER, K.; MOTAVALLI, M. Recycled aggregate concrete: Experimental shear resistance of slabs without shear reinforcement. **Engineering Structures**, v. 41, p. 490-497, ago 2012.

SEBRAE. Disponível em <<http://www.sebrae.com.br/momento/quero-abrir-um-negocio/quero-negocio-abrir/tipos/cooperativas>>. Acesso em 3 de ago. de 2013.

SANI, D.; MORICONI, G. F.; CORINALDESI, V. Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates. **Waste management** (New York, N.Y.), v. 25, n. 2, p. 177–82, jan. 2005.

SHEEN, Y.-N. et al. Assessment on the engineering properties of ready-mixed concrete using recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 45, p. 298–305, ago. 2013.

SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G. Concrete building blocks made with recycled demolition aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 2, p. 726–735, fev. 2011.

SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G. Use of recycled demolition aggregate in precast products, phase II: Concrete paving blocks. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 7, p. 3131-3143, jul 2011.

SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G. The use of recycled demolition aggregate in precast concrete products – Phase III: Concrete pavement flags. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 674–680, nov. 2012.

TABSH, S. W.; ABDELFAH, A. S. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 1163-1167, fev 2009.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. Assessment of durability of recycled aggregate concrete produced by two-stage mixing approach. **Journal of Materials Science**, v. 42, n. 10, p. 3592-3602, 30 jan 2007.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. Parameters for assessing recycled aggregate and their correlation. **Waste management & research**, v. 27, n. 1, p. 52-8, fev 2009.

TOPÇU, I. B. Physical and Mechanical Properties of Concretes Produced with Waste Concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 12, p. 1817-1823, 1997.

TOPÇU, İ. B.; CANBAZ, M. Properties of concrete containing waste glass. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 2, p. 267–274, fev. 2004.

TU, T.-Y.; CHEN, Y.-Y.; HWANG, C.-L. Properties of HPC with recycled aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 5, p. 943-950, maio 2006.

VALDÉS, G. A. Propiedades Físicas y Mecánicas de Bloques de Hormigón Compuestos con Áridos Reciclados Physical and Mechanical Properties of Concrete Bricks Produced with Recycled Aggregates. **Informacion Tecnologica**, v. 18, n. 3, p. 81-88, 2007.

VAN DER WEGEN, G; HAVERKORT, R. **Recycled construction and demolition wastes as a fine aggregate for concrete**. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.) Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub, 1998, p.333-345.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

VIEIRA, G. L.; DALMOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 4, p. 47–63, 2004.

WCED- World Commission on Environmental Development. Our Common Future, 1987. Disponível em <<http://www.un-documents.net>> . Acesso em: 13 de ago de 2012

WEENEN, J. C. VAN. Towards sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 3, n. 1-2, p. 95-100, jan 1995.

ULSEN, C. et al. Production of recycled sand from construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 1168–1173, mar. 2013.

UTNE, I. B. Improving the environmental performance of the fishing fleet by use of Quality Function Deployment (QFD). **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 8, p. 724–731, maio. 2009.

XIAO, J. et al. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 364–383, jun. 2012.

XIAO, Z. et al. Use of wastes derived from earthquakes for the production of concrete masonry partition wall blocks. **Waste management** (New York, N.Y.), v. 31, n. 8, p. 1859–66, ago. 2011.

YANG, J.; DU, Q.; BAO, Y. Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 4, p. 1935–1945, abr. 2011.

YILMAZ, A.; DEGIRMENCI, N. Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials. **Waste management** (New York, N.Y.), v. 29, n. 5, p. 1541–6, maio. 2009.

YIM, H.; HERRMANN, C. **Eco-Voice of Consumer (VOC) on QFD**. Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. In. Anais, Toquio: 2003

YIN, R K.. **Case Study Research: Design and Methods**. 3<sup>o</sup>. ed. USA: Sage Publications, 2003.

ZAHARIEVA, R. et al. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 2, p. 223–232, fev. 2003.

ZAIN, M. F. M. et al. Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 2, p. 798–805, fev. 2011.

ZEGA, C. J.; MAIO, A. A. A. DI. Recycled Concretes Made with Waste Ready-Mix Concrete as Coarse Aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, n. 3, p. 281–286, 2011.

ZEGA, C. J.; MAIO, A. A. D. Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigon. **IMME**, v. 45, n. 2, p. 1-10, 2007.

ZEGA, C. J.; MAIO, A. A. D. Recycled Concretes Made with Waste Ready-Mix Concrete as Coarse Aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, n. March, p. 281-287, 2011.

ZEGA, C. J.; MAIO, A. A. D. Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. **Waste management**, v. 31, n. 11, p. 2336-40, nov 2011.

ZEGA, C. J.; TAUS, V. L.; MAIO, A. A. D. Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado. **IMME**, v. 44, n. 3, p. 1-8, 2006.

ZHANG, W.; INGHAM, J. M. Using Recycled Concrete Aggregates in New Zealand Ready-Mix Concrete Production. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 22, n. 5, p. 443-450, maio 2010.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado , na confecção do concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1997.

## **APÊNDICE A – Tabela resumo revisão sistemática**

Tabela que resume os resultados da análise dos artigos referentes ao estudo de RCD e classificados de acordo com a metodologia escolhida para o desenvolvimento de novos materiais com componentes reciclados oriundos da construção civil.

| Artigos  | Quantificação dos resíduos  | Caracterização do resíduo  | Custos associados aos resíduos                                  | Seleção das aplicações a                                      | Avaliação do produto  | Desempenho ambiental                                 | Desenvol. do produto                        | Transferência de tecnologia |
|--|---|--|---|---|---|--|---|-----------------------------|
| AJDUKIEWICZ, A.; KLISZCZEWICZ, A. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. <b>Cement and Concrete Composites</b> , v. 24, n. 2, p. 269-279, abr 2002.  | não apresenta   | resistência à compressão, módulo de elasticidade, densidade volumétrica média  | não apresenta   | agregado junto ao concreto de alto desempenho                 | resistência à compressão, tração, aderência, retração, fluência, congelamento descongela.   | não apresenta  | não apresenta                               | não apresenta               |
| CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DALMOLIN, D. C. D. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. <b>Cerâmica</b> , v. 55, p. 448-460, 2009.  | quantificação baseada em outros estudos   | absorção de água, massa específica massa unitária  | não apresenta   | agregado junto ao concreto                                    | resistência à compressão, módulo de deformação e porosimetria   | não apresenta  | não apresenta                               | não apresenta               |
| CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; MOLIN, D. C. C. D.; RIBEIRO, J. L. D. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 24, n. 4, p. 421-430, abr 2010.  | quantificação baseada em outros estudos   | absorção de água, massa específica massa unitária  | não apresenta   | agregado junto ao concreto                                    | módulo de elasticidade, resistência à compressão  | não apresenta  | não apresenta                               | não apresenta               |
| CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; MOLIN, D. C. C. DAL; RIBEIRO, J. L. D. Modelagem da Resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD. <b>Minerva</b> , v. 4, n. 1, p. 75-84, 2000.  | quantificação baseada em outros estudos   | absorção de água, massa específica e a massa unitária,   | não apresenta   | agregado junto ao concreto                                    | resistência à compressão  | não apresenta  | não apresenta                               | não apresenta               |
| CORINALDESI, V. Mechanical and elastic behaviour of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 24, n. 9, p. 1616-1620, set 2010.   | não apresenta   | massa específica, absorção de água, porosimetria   | não apresenta   | agregado junto ao concreto                                    | resistência à compressão, módulo de elasticidade, retração  | não apresenta  | não apresenta                               | não apresenta               |
| DEBIEB, F.; COURARD, L.; KENAI, S.; DEGEIMBRE, R. Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. <b>Cement and Concrete Composites</b> , v. 32, n. 6, p. 421-426, jul 2010.                                      | não apresenta   | massa específica, massa unitária, absorção de água, módulo de finura, impurezas, abrasão "Los Angeles",  | não apresenta   | agregado junto ao concreto não estrutural                     | resistência à compressão, permeabilidade ao oxigênio, corrosão, absorção de água, porosidade, resistência ao congelamento descongelamento | não apresenta  | não apresenta                               | não apresenta               |
| DOSHO, Y. Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System -Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method-. <b>Journal of Advanced Concrete Technology</b> , v. 5, n. 1, p. 27-42, 2011.                   | quantificação baseada em outros estudos, quantificação de duas obras analisadas | absorção de água   | apresenta gráfico que demonstra redução de custo com uso do RCD | foi utilizado em duas construções, como agregado em concretos | resistência à compressão, retração, profundidade de carbonatação  | apresenta resultado da diminuição de CO <sub>2</sub> | apresenta plano para controle da qualidade. | não apresenta               |
| EGUCHI, K.; TERANISHI, K.; NAKAGOME, A. Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 21, n. 7, p. 1542-1551, jul 2007.  | quantificação baseada em outros estudos   | massa específica, massa unitária módulo de finura, absorção de água, teor de materiais frágeis, perda por lavagem, teor de contaminantes orgânicos | apresenta como é separado o agregado                            | agregado junto ao concreto                                    | resistência à compressão, módulo de elasticidade, massa específica, resistência ao fogo, aderência, trabalhabilidade                      | cálculo para emissão de CO <sub>2</sub>              | cálculo do custo para o uso do RCD          | não apresenta               |
| ENGELSEN, C. J.; SLOOT, H. A. VAN DER; WIBETOE, G. Leaching characterisation and geochemical modelling of minor and trace elements released from recycled concrete aggregates. <b>Cement and Concrete Research</b> , v. 40, n. 12, p. 1639-1649, dez 2010. | não apresenta   | tamanho de partícula, total de carbono, substancia sólida húmicas, óxido férrico hidratado, solubilidade do ácido                                  | não apresenta   | agregado junto ao concreto                                    | modelagem geoquímica  | lixiviação   | não apresenta                               | não apresenta               |

| Artigos  | Quantificação dos resíduos              | Caracterização do resíduo   | Custos associados aos resíduos | Seleção das aplicações a   | Avaliação do produto  | Desempenho ambiental | Desenvol. do produto | Transferência de tecnologia |
|--|---|---|--------------------------------|--|---|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| EVANGELISTA, L.; BRITO, J. DE. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. <b>Cement and Concrete Composites</b> , v. 29, n. 5, p. 397-401, maio 2007.   | não apresenta                           | massa específica, massa específica com superfície seca, massa unitária, absorção de água e módulo de finura | não apresenta                  | agregado fino junto ao concreto  | resistência a compressão, resistência a tração, módulo de elasticidade, abrasão,                                | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| FATHIFAZL, G.; ABBAS, A.; RAZAQPUR, A. G. New Mixture Proportioning Method for Concrete Made with Coarse Recycled Concrete Aggregate. <b>Journal of Materials in Civil Engineering</b> , v. 21, n. October, p. 601-612, 2009.  | não apresenta                           | não apresenta   | não apresenta                  | agregado junto ao concreto   | massa específica do concreto fresco e endurecido, resistência à compressão e módulo de elasticidade             | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| GUERRA, I.; VIVAR, I.; LLAMAS, B.; JUAN, A.; MORAN, J. Eco-efficient concretes: the effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. <b>Waste management (New York, N.Y.)</b> , v. 29, n. 2, p. 643-6, fev 2009. | quantificação baseada em outros estudos | massa específica, massa unitária  | não apresenta                  | agregado junto ao concreto   | resistência a compressão e tração   | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| GULL, I. Testing of Strength of Recycled Waste Concrete and Its Applicability. <b>Journal of Construction Engineering and Management</b> , v. 137, n. January, p. 1-6, 2011.   | quantificação baseada em outros estudos | não apresenta   | não apresenta                  | agregado junto ao concreto   | resistência à compressão  | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| JANKOVIC, K.; NIKOLIC, D.; BOJOVIC, D. Concrete paving blocks and flags made with crushed brick as aggregate. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 28, n. 1, p. 659-663, mar 2012.  | não apresenta                           | absorção de água, massa específica, massa unitária  | não apresenta                  | utilizado como agregado em blocos e placas de concreto para pavimentação | envelhecimento, tensão para os blocos e flexão para as placas, e resistência à abrasão.                         | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| KHATIB, J. M. Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. <b>Cement and Concrete Research</b> , v. 35, n. 4, p. 763-769, abr 2005.   | não apresenta                           | Módulo de finura, absorção de água, densidade   | não apresenta                  | agregado fino junto ao concreto  | resistência à compressão, ultrassom, massa específica, módulo de elasticidade                                   | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| KOU, S.-C.; POON, C.-S.; WAN, H.-W. Properties of concrete prepared with low-grade recycled aggregates. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 36, p. 881-889, nov 2012.  | quantificação baseada em outros estudos | composição, massa específica, absorção de água, teor de sulfato, teor de finos                              | não apresenta                  | agregado junto ao concreto   | resistência à compressão e tração, ultrassom, módulo de elasticidade, teste de retração, penetração de cloretos | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| KWAN, W. H.; RAMLI, M.; KAM, K. J.; SULIEMAN, M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 26, n. 1, p. 565-573, jul 2011.   | não apresenta                           | massa específica, massa unitária, absorção de água  | não apresenta                  | agregado junto ao concreto   | resistência a compressão, ultrassom retração e expansão, absorção de água, permeabilidade                       | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| LEITE, M. B.; DAL MOLIN, D. Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo C e D. <b>Sitientibus</b> , v. 26, n. 75, p. 111-130, 2002.   | não apresenta                           | absorção de água, massa específica, massa unitária,   | não apresenta                  | resíduo utilizado como agregado graúdo e miúdo na produção de concretos  | a atividade pozolânica foi avaliada tanto com a cal, quanto com o cimento                                       | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| LEVY, S. M.; HELENE, P. Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development. <b>Cement and Concrete Research</b> , v. 34, n. 11, p. 1975-1980, nov 2004.   | não apresenta                           | absorção de água, resistência à compressão e carbonatação do concreto de origem do agregado                 | não apresenta                  | agregado junto ao concreto   | resistência a compressão, absorção de água, carbonatação acelerada  | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |

| Artigos   | Quantificação dos resíduos              | Caracterização do resíduo   | Custos associados aos resíduos                                      | Seleção das aplicações a  | Avaliação do produto   | Desempenho ambiental | Desenvol. do produto | Transferência de tecnologia |
|---|---|---|---|---|--|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| LI, X. Recycling and reuse of waste concrete in China. <b>Resources, Conservation and Recycling</b> , v. 53, n. 1-2, p. 36-44, dez 2008.  | quantificação baseada em outros estudos | Massa específica, absorção de água, porcentagem de alvenaria, teor de argila, teor de sulfato, teor de cloretos, teor de material orgânico, densidade, teor de impurezas, teor de asfalto, teor de metal, teor de areia | apresenta processo de produção resumidamente                        | agregado junto ao concreto  | resistência à compressão, tensão e tração, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, aderência, energia de fratura, retração, congelamento e descongelamento carbonatação, resistência a sulfatos, resistência a penetração de íons, resistência ao fogo | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| LI, X. Recycling and reuse of waste concrete in China. <b>Resources, Conservation and Recycling</b> , v. 53, n. 3, p. 107-112, jan 2009.  | não apresenta                           | não apresenta   | não apresenta   | agregado junto a elementos de concreto da construção civil e pavimentação | flexão, cisalhamento de vigas, compressão de pilares, propriedades sísmicas  | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| LOVATO, P. S.; POSSAN, E.; MOLIN, D. C. C. D.; MASUERO, Á. B.; RIBEIRO, J. L. D. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 26, n. 1, p. 437-447, jan 2012.  | quantificação baseada em outros estudos | dimensão dos agregados, massa específica, massa unitária, absorção de água  | analisa o custo ao m <sup>2</sup> com relação ao consumo de cimento | agregado junto ao concreto  | resistência a compressão, módulo de elasticidade, absorção de água carbonatação acelerada  | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| MARTÍN-MORALES, M.; ZAMORANO, M.; RUIZ-MOYANO, A.; VALVERDE-ESPINOSA, I. Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 25, n. 2, p. 742-748, fev 2011. | não apresenta                           | Módulo de finura, teor de finos, massa específica, absorção de água, resistência a fragmentação, teor de cloretos, teor de sulfatos, teor de matéria orgânica   | não apresenta   | agregado junto ao concreto  | não faz avaliação do produto   | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| MAS, B.; CLADERA, A.; OLMO, T. D.; PITARCH, F. Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 27, n. 1, p. 612-622, fev 2012.   | não apresenta                           | teor de sulfato, teor de cloretos, abrasão, absorção de água, forma,  | apresenta fluxo de tratamento do resíduo                            | agregado junto ao concreto  | absorção de água, massa específica, resistência à compressão, tração, penetração de água sob pressão, abrasão  | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| OLORUNSOGO, F.; PADAYACHEE, N. Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. <b>Cement and concrete Research</b> , v. 32, n. 2, p. 179-185, fev 2002.   | não apresenta                           | composição, absorção de água, módulo de finura, massa específica e massa unitária   | não apresenta   | agregado junto ao concreto  | Penetração de íons de oxigênio, teor de cloretos, absorção de água,  | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| POON, C. S.; SHUI, Z. H.; LAM, L.; FOK, H.; KOU, S. C. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. <b>Cement and Concrete Research</b> , v. 34, n. 1, p. 31-36, jan 2004.  | quantificação baseada em outros estudos | Módulo de finura, massa específica, absorção de água, porosimetria  | não apresenta   | agregado junto ao concreto  | resistência à compressão   | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |
| RAHAL, K. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. <b>Building and Environment</b> , v. 42, n. 1, p. 407-415, jan 2007.  | quantificação baseada em outros estudos | absorção de água, massa específica, massa unitária, teor de cloretos  | não apresenta   | agregado junto ao concreto  | resistência à compressão e módulo de elasticidade  | não apresenta        | não apresenta        | não apresenta               |

| Artigos   | Quantificação dos resíduos              | Caracterização do resíduo   | Custos associados aos resíduos | Seleção das aplicações a  | Avaliação do produto   | Desempenho ambiental | Desenvol. do produto   | Transferência de tecnologia |
|---|---|---|--------------------------------|---|--|----------------------|--|-----------------------------|
| RAO, A.; JHA, K. N.; MISRA, S. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. <b>Resources, Conservation and Recycling</b> , v. 50, n. 1, p. 71-81, mar 2007.                                   | quantificação baseada em outros estudos | dimensão dos agregados, abrasão, absorção de água   | não apresenta                  | agregado junto ao concreto                                      | resistência à compressão, flexão e tração; aderência, módulo de elasticidade, fluência e retração, carbonatação, resistência ao congelamento | não apresenta        | verifica as dificuldades de implantar o uso do RCD como agregado | não apresenta               |
| RICHARDSON, A.; ALLAIN, P.; VEUILLE, M. Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement. <b>Structural Survey</b> , v. 28, n. 2, p. 142-148, 2010.            | quantificação baseada em outros estudos | não apresenta   | não apresenta                  | agregado junto ao concreto                                      | Resistência à compressão, massa específica   | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta               |
| SANI, D.; MORICONI, G.; FAVA, G.; CORINALDESI, V. Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates. <b>Waste management</b> , v. 25, n. 2, p. 177-82, jan 2005.                              | não apresenta                           | composição, massa específica, absorção de água, lixiviação  | não apresenta                  | agregado junto ao concreto                                      | resistência à compressão, penetração de mercúrio, difração de raio X, análise térmica diferencial, lixiviação                                | lixiviação           | não apresenta  | não apresenta               |
| SCHUBERT, S.; HOFFMANN, C.; LEEMANN, A.; MOSER, K.; MOTAVALLI, M. Recycled aggregate concrete: Experimental shear resistance of slabs without shear reinforcement. <b>Engineering Structures</b> , v. 41, p. 490-497, ago 2012. | não apresenta                           | composição, massa específica, massa unitária, absorção de água  | não apresenta                  | agregado junto ao concreto                                      | resistência à compressão, tração   | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta               |
| SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G. Concrete building blocks made with recycled demolition aggregate. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 25, n. 2, p. 726-735, fev 2011.                                      | não apresenta                           | massa específica, massa unitária, absorção de água  | não apresenta                  | agregado junto a blocos e placas de concreto para pavimentação, | resistência à compressão e tensão, resistência ao deslizamento, absorção de água   | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta               |
| SOUTSOS, M. N.; TANG, K.; MILLARD, S. G. Use of recycled demolition aggregate in precast products, phase II: Concrete paving blocks. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 25, n. 7, p. 3131-3143, jul 2011.          | quantificação baseada em outros estudos | massa específica, massa unitária, absorção de água  | não apresenta                  | agregado junto a blocos e placas de concreto para pavimentação  | resistência à compressão, massa específica   | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta               |
| TABSH, S. W.; ABDELFAH, A. S. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. <b>Construction and Building Materials</b> , v. 23, n. 2, p. 1163-1167, fev 2009.                                   | quantificação baseada em outros estudos | não apresenta   | não apresenta                  | agregado junto ao concreto                                      | resistência à compressão e tração  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta               |
| TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. Assessment of durability of recycled aggregate concrete produced by two-stage mixing approach. <b>Journal of Materials Science</b> , v. 42, n. 10, p. 3592-3602, 30 jan 2007.                         | não apresenta                           | não apresenta   | não apresenta                  | agregado junto ao concreto                                      | Deformação, retração e fluência, e permeabilidade de água, ar, e cloretos  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta               |
| TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. Parameters for assessing recycled aggregate and their correlation. <b>Waste management &amp; research</b> , v. 27, n. 1, p. 52-8, fev 2009.   | quantificação baseada em outros estudos | Módulo de finura, massa específica, porosimetria, absorção de água, forma das partículas, teor de sulfato e cloreto | não apresenta                  | agregado junto ao concreto                                      | não apresenta  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta               |
| TOPCU, I. B. Physical and Mechanical Properties of Concretes Produced with Waste Concrete. <b>Cement and Concrete Research</b> , v. 27, n. 12, p. 1817-1823, 1997.  | não apresenta                           | massa específica, absorção de água, abrasão "Los Angeles"   | não apresenta                  | agregado junto ao concreto                                      | trabalhabilidade, resistência à compressão, (martelo de Schmidt)   | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta               |

| Artigos  | Quantificação dos resíduos                | Caracterização do resíduo  | Custos associados aos resíduos  | Seleção das aplicações a                      | Avaliação do produto  | Desempenho ambiental | Desenvol. do produto   | Transferência de tecnologia              |
|--|---|--|---|---|---|----------------------|--|--|
| TOPÇU, ILKER BEKIR; SENGEL, S. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. <b>Cement and concrete research</b> , v. 34, p. 1307-1312, 2004.  | não apresenta                             | massa específica, absorção de água, abrasão "Los Angeles"  | não apresenta   | agregado junto ao concreto                    | resistência a compressão, resistência a tração  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |
| TU, T.-Y.; CHEN, Y.-Y.; HWANG, C.-L. Properties of HPC with recycled aggregates. <b>Cement and Concrete Research</b> , v. 36, n. 5, p. 943-950, maio 2006.   | quantificação baseada em outros estudos   | massa específica, massa unitária, absorção de água, teor de solo, abrasão "Los Angeles"                    | não apresenta   | agregado junto ao concreto de alto desempenho | resistência a compressão, resistividade de concreto, ultrassom, penetração de cloretos  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |
| VALDÉS, G. A. Propiedades Físicas y Mecánicas de Bloques de Hormigón Compuestos con Áridos Reciclados Physical and Mechanical Properties of Concrete Bricks Produced with Recycled Aggregates. <b>Informacion Tecnologica</b> , v. 18, n. 3, p. 81-88, 2007. | quantificação baseada em outros estudos   | massa específica, massa unitária, absorção de água   | não apresenta   | agregado junto ao concreto                    | resistência à compressão, absorção de água, teor de umidade   | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |
| VIEIRA, G. L.; MOLIN, D. C. D. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. <b>Ambiente Construído</b> , v. 4, n. 4, p. 47-63, 2004.   | quantificação baseada em outros estudos   | composição, composição granulométrica, massa específica e absorção de água                                 | analisa os procedimentos necessários para a melhora das características | agregado junto ao concreto                    | corrosão, resistência a polarização, resistência à compressão   | não apresenta        | analisa a viabilidade técnica e econômica para a venda do agregado | analisa o papel do poder público somente |
| XIAO, Z.; LING, T.-C.; KOU, S.-C.; WANG, Q.; POON, C.-S. Use of wastes derived from earthquakes for the production of concrete masonry partition wall blocks. <b>Waste management</b> , v. 31, n. 8, p. 1859-66, ago 2011.                                   | quantificação baseada em outros estudos   | massa específica, massa unitária, absorção de água   | não apresenta   | agregado junto ao concreto                    | massa específica, absorção de água, resistência à compressão, resistência à flexão, retração  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |
| ZEGA, C. J.; MAIO, A. A. D. Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigon. <b>IMME</b> , v. 45, n. 2, p. 1-10, 2007.   | não apresenta                             | tamanho máximo, massa específica, absorção "Los Angeles", granulometria                                    | não apresenta   | agregado junto ao concreto                    | ultrassom, módulos de elasticidade dinâmico e estático, resistência à compressão  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |
| ZEGA, C. J.; MAIO, A. A. D. Recycled Concretes Made with Waste Ready-Mix Concrete as Coarse Aggregate. <b>Journal of Materials in Civil Engineering</b> , v. 23, n. March, p. 281-287, 2011.   | quantificações baseadas em outros estudos | tamanho máximo, módulo de finura, massa específica, absorção de água, teor de finos, abrasão "Los Angeles" | não apresenta   | agregado junto ao concreto                    | resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade estático, penetração de água sob pressão  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |
| ZEGA, C. J.; MAIO, A. A. DI. Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. <b>Waste management</b> , v. 31, n. 11, p. 2336-40, nov 2011.  | não apresenta                             | módulo de finura, massa específica, absorção de água, teor de material pulverulento                        | não apresenta   | agregado junto ao concreto                    | resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade massa específica, penetração de ar, absorção de água, penetração de água carbonatação, retração | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |
| ZEGA, C. J.; TAUS, V. L.; MAIO, A. A. D. Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado. <b>IMME</b> , v. 44, n. 3, p. 1-8, 2006.   | não apresenta                             | tamanho máximo, densidade em estado saturado e superfície seca, absorção de água, desgaste "Los Angeles"   | não apresenta   | agregado junto ao concreto                    | absorção de água, massa específica, porosimetria, resistência à compressão, tração, módulo de elasticidade  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |
| ZHANG, W.; INGHAM, J. M. Using Recycled Concrete Aggregates in New Zealand Ready-Mix Concrete Production. <b>Journal of Materials in Civil Engineering</b> , v. 22, n. 5, p. 443-450, maio 2010.   | não apresenta                             | massa específica absorção de água  | não apresenta   | agregado junto ao concreto                    | resistência a compressão, flexão  | não apresenta        | não apresenta  | não apresenta                            |

## APÊNDICE B – Questionário utilizado na pesquisa qualitativa

Roteiro para o questionário utilizado nas entrevistas para levantamento dos requisitos dos clientes.

| <b>PESQUISA DE MERCADO<br/>ROTEIRO DE PESQUISA QUALITATIVO</b>   |  |
|--|--|
| <b>Quanto às questões gerais:</b>  |  |
| 1) Quais características você considera importante no momento de escolher/selecionar um elemento para parede de alvenaria? |  |
| 2) Quais características de execução são relevantes no momento de escolher/selecionar o elemento para parede de alvenaria? |  |
| 3) Quais os principais problemas que você detecta hoje nos produtos oferecidos para paredes de alvenaria?                  |  |
| <b>Quanto ao produto:</b>  |  |
| 4) Que fatores fariam você optar por blocos de concreto ao invés de tijolos ou blocos cerâmicos?                           |  |
| 5) Que aspectos você valoriza em uma parede de bloco de concreto?  |  |
| <b>Quanto à melhoria:</b>  |  |
| 6) Quanto às características e benefícios do bloco de concreto, quais os pontos valorizados em relação a:                  |  |
| Desempenho   |  |
| Aparência  |  |
| Entrega  |  |
| Questões ambientais  |  |
| <b>Quanto às questões ambientais:</b>  |  |
| 7) Qual a relevância você vê em relação as questões ambientais desse produto?  |  |
| 8) Sugira quais os requisitos ambientais você incorporaria num produto como esse   |  |

## APÊNDICE C - Questionário aplicado pesquisa quantitativa

Questionário enviado por email para os respondentes utilizado para avaliação dos pesos dos requisitos dos clientes.

Por favor, responda o questionário a seguir. Sua opinião é muito importante para o desenvolvimento deste trabalho.

Desde já, agradeço pela sua colaboração!

Esta pesquisa tem por objetivo identificar quais são as características que os profissionais consideram importantes para blocos de concreto para paredes de alvenaria, considerando essas características em quatro dimensões: Desempenho mecânico, Aparência, Aplicação e uso e Durabilidade. Nos itens de 1 a 5 avalie cada um dos itens como pouco importante ou muito importante, sendo nota 1 algo com pouca importância e 10 algo muito importante.

### 1) Avalie a importância quanto ao DESEMPENHO MECÂNICO: \*

Maior resistência à compressão

|       | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ----- | <input type="checkbox"/> |

Maior resistência à tração

|       | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ----- | <input type="checkbox"/> |

\*Maior rigidez

|       | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ----- | <input type="checkbox"/> |

\*Menor retração

|       | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ----- | <input type="checkbox"/> |

\*Maior compacidade

|       | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ----- | <input type="checkbox"/> |

**2) Avalie a importância quanto à APARÊNCIA: \***

Maior variedade de texturas de acabamento

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

Maior variedade de cores

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

\*Menor variação dimensional

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

\*Boa aparência (mais densa e homogênea)

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

\*Boa garantia de prumo e alinhamento

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

**3) Avalie a importância quanto ao USO E APLICAÇÃO: \***

Menor peso

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

\*Bom acondicionamento dos blocos recebidos

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

\*Melhor aderência do reboco

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

\*Maior versatilidade (meio bloco, canaleta...)

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

\*Maior rastreabilidade do lote

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        | 10                       |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| — | <input type="checkbox"/> |

## **APÊNDICE D – Matriz da qualidade**

Quadro referente à matriz da qualidade completa com as relações entre as demandas da qualidade e as características de qualidade.



## **APÊNDICE E – Especificações meta para as características de qualidade**

Quadro com o resumo de todas as demandas e características de qualidade com as respectivas especificações meta.

| TRANSLADO DA QUALIDADE DEMANDADA EM CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE E ESPECIFICAÇÕES |  |   |                |             |           |       |     |  |  |  |  |                           |
|---|--|---|----------------|-------------|-----------|-------|-----|--|--|--|--|---------------------------|
| Demandas de qualidade   | Qualidade demandada (Requisitos do cliente)      | Usuários/Especialistas                                  | Artigos/Livros | Normas/Leis | Casa Azul | LEED™ | LBC | Concorrência                               | Características de Qualidade (Requisitos do Produto)       | Especificações meta  | Fontes das Especificações                        |                           |
|   |  |   |                |             |           |       |     |  |  |  |  |                           |
| Cliente   | Desempenho Mecânico                              | Maior resistência à compressão (3)                      | x              | x           | x         |       |     |  | Resistência à compressão                                   | > 2,0 Mpa  | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Maior resistência à tração                              |                | x           |           |       |     |  | Resistência a tração                                       | > 0,2 Mpa (10% da compressão)  | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Maior rigidez   |                | x           |           |       |     |  | Módulo de deformação do bloco                              | > 5600 √2,0 Mpa  | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Menor retração (5)                                      |                | x           | x         |       |     |  | Retração   | < 0,065%   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Maior compactidade                                      |                | x           |           |       |     |  | Densidade (massa específica)                               | >2,00 (g/cm³)  | (Fonseca, 2002)                                  |                           |
|   | Aparência  | Maior variedade de texturas de acabamento               | x              |             |           |       |     | x  | Número de variações de texturas                            | 2 texturas   | Pesquisa concorrência                            |                           |
|   |  | Maior variedade de cores                                | x              |             |           |       |     | x  | Número de variações de cores                               | 5 cores  | Pesquisa concorrência                            |                           |
|   |  | Menor variação dimensional (6)                          | x              |             | x         |       |     |  | Tolerância dimensional largura e altura                    | 2,0 mm para largura e 3,0 mm para altura   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Boa aparência (mais densa e homogênea)                  | x              |             |           |       |     |  | Escala visual de uniformidade da cor (1 a 5)               | Visual   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Bom assentamento (1)                                    | x              |             | x         |       |     |  | Ângulo da aresta   | 90° =ou- 2°  | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   | Aplicação e Uso                                  | Menor peso  | x              |             |           |       |     |  | Massa em KG  | 10 KG (bloco 14x19x39)   | Definição de projeto                             |                           |
|   |  | Bom acondicionamento dos blocos recebidos               | x              |             |           |       |     |  | Percentual de blocos com quebras na entrega                | Menor que 3% de blocos quebrados na entrega  | Definição de projeto                             |                           |
|   |  | Melhor aderência do reboco (4)                          | x              |             | x         |       |     |  | Absorção média   | < 10% (agregado normal)  | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Maior versatilidade (meio bloco, canaleta...) (9)       | x              |             |           | x     |     |  | Número de variações dentro da família                      | Mínimo de 3 (meio bloco, canaleta, bloco p/ contrafiar). Usando múltiplos e submúltiplos de módulo básico internacional (1M=10cm)  | Definição de Projeto/Selo Casa Azul              |                           |
|   |  | Maior rastreabilidade dos lotes                         | x              |             |           |       |     |  | Quantidade de informações do lote                          | As dimensões nominais, em centímetros, na sequência: largura, altura e comprimento; designação; classe da espessura; número de unidades e o nome que identifique o fabricante. | Portaria Inmetro nº 15, de 05 de janeiro de 2011 |                           |
|   | Durabilidade                                     | Boa estanqueidade (2)                                   | x              |             | x         |       |     |  | Permeabilidade   | Conforme ACI 530.1   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Menor necessidade de acabamentos para a parede          | x              |             |           |       |     |  | Escala visual de regularidade de superfície (1 a 5)        | Visual   | Definição de projeto                             |                           |
|   |  | Baixa incidência de blocos com quebras                  | x              |             |           |       |     |  | Percentual de blocos com quebras na obra                   | Menor que 3% de blocos quebrados   | Definição de projeto                             |                           |
|   |  | Boa segurança contra incêndio (7)                       | x              |             | x         |       |     |  | Índice de propagação de chama                              | Ip≤25  | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)                        |                           |
|   |  | Menor taxa de carbonatação                              |                | x           |           |       |     |  | Profundidade de carbonatação                               | Não ultrapassar a parede do bloco  | Fonseca, 2002                                    |                           |
| Ambiental   | Matéria-prima                                    | Utilize resíduos na composição                          |                |             |           | x     |     | Porcentagem de uso de agregados reciclados | >90%   | Definição de projeto   |  |                           |
|   |  | Menor consumo de cimento                                |                |             |           | x     |     | Porcentagem de cimento no traço            | Ic < 12,5 kg.m³..MPa                                       | Selo Casa Azul   |  |                           |
|   |  | Utilize materiais regionais                             |                |             |           |       | x   |  | Distância máxima da origem dos componentes                 | < 800 KM   | Green Building LEED™                             |                           |
|   | Transformação                                    | Menor consumo de recursos naturais (água)               |                |             |           |       |     | x  | Consumo de água na produção                                | Redução do uso da água em 20%  | Green Building LEED™                             |                           |
|   |  | Menor consumo energético agregado (energia elétrica)    |                |             |           |       |     |  | Consumo energético (energia elétrica) na produção          | <0,1383 kW.h/ bloco  | Rosa, 2010                                       |                           |
|   |  | Menor consumo de recursos naturais (agregados naturais) |                |             |           |       | x   |  | Porcentagem de uso de agregados naturais                   | < 10%  | Definição de projeto                             |                           |
|   |  | Menor geração de resíduos e emissões                    |                |             |           |       | x   |  | Porcentagem de geração de resíduos                         | < 1%   | Definição de projeto                             |                           |
|   | Usuário  | Não possuir materiais tóxicos                           |                |             |           |       |     | x  | Porcentagem de materiais tóxicos                           | 0%   | Living Building Challenge™                       |                           |
|   |  | Modularidade  |                |             |           | x     |     |  | Número de variações dentro da família de blocos            | Mínimo de 3 (meio bloco, canaleta, bloco p/ contrafiar)/usando múltiplos e submúltiplos de módulo básico internacional (1M=10cm)   | Definição de Projeto/Selo Casa Azul              |                           |
|   |  | Maior potencial de reuso ou reciclagem                  |                |             |           |       | x   |  | Variedade de componentes para a fabricação do bloco        | Máximo de quatro componentes diferentes  | Definição de Projeto                             |                           |
| Normas  | NBR 6136   | Concreto homogêneo e compacto                           |                |             | x         |       |     |  | Escala visual de homogeneidade                             | Inspeção visual  | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Bom assentamento (1)                                    | x              |             | x         |       |     |  | Ângulo da aresta   | 90° =ou- 2°  | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Atendimento à espessura mínima da parede do bloco       |                |             | x         |       |     |  | Espessura da parede  | >15mm (tolerancia -1,0mm) Família 15   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Atendimento à dimensão mínima do furo                   |                |             | x         |       |     |  | Dimensional do furo  | >98mm (D=Lbloco-2(e min+6)) Família 15   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Atendimento à dimensão mínima da mísula                 |                |             | x         |       |     |  | Dimensional da mísula                                      | >20mm Família 15   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Boa estanqueidade (2)                                   |                |             | x         |       |     |  | Permeabilidade máxima                                      | Conforme ACI 530.1   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Maior resistência à compressão (3)                      |                |             | x         |       |     |  | Resistência a compressão                                   | ≥ 2,0 Mpa  | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Boa absorção e aderência da argamassa (4)               |                |             | x         |       |     |  | Absorção média   | ≤10% (agregado normal)   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   |  | Menor retração (5)                                      | x              |             | x         |       |     |  | Retração máxima admitida                                   | ≤ 0,065%   | NBR 6136 (ABNT, 2007)                            |                           |
|   | Menor variação dimensional (largura, altura) (6) | x   |                | x           |           |       |     | Tolerância dimensional largura e altura    | 2,0 mm para largura e 3,0mm para altura                    | NBR 6136 (ABNT, 2007)  |  |                           |
|   | NBR 15575 - 4                                    | Boa resistência à fixação de objetos                    |                |             | x         |       |     |  | Resistência à solicitações de peças suspensas              | 0,4 kN para 1 ponto e 0,8kN para dois pontos ( carga)  | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)                        |                           |
|   |  | Boa resistência aos impactos de corpo mole              |                |             | x         |       |     |  | Resistência aos impactos de corpo mole                     | Energia de impacto de corpo mole. Não ruína até 720 J  | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)                        |                           |
|   |  | Boa resistência a ações transmitidas por portas         |                |             | x         |       |     |  | Resistência a ações transmitidas por portas                | Não ocorrência de falhas após testes   | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)                        |                           |
|   |  | Boa resistência aos impactos de corpo duro              |                |             | x         |       |     |  | Resistência aos impactos de corpo duro                     | Não ocorrência de ruína com pelo menos 20 J  | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)                        |                           |
|   |  | Boa segurança contra incêndio (7)                       | x              |             | x         |       |     |  |  | Índice de propagação de chama  | Ip≤25  | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) |
|   |  |   |                |             | x         |       |     |  |  | Densidade óptica máxima de fumaça  | Dm≤450   | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) |
|   |  | Boa estanqueidade (2)                                   | x              |             | x         |       |     |  | Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade | máx. de 10%  | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)                        |                           |
|   |  | Bom desempenho térmico                                  |                |             | x         | x     | x   |  |  | Transmitância térmica máxima   | U ≤ 2,5 W/m².K                                   | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) |
|   |  |   |                |             |           |       |     |  |  | Capacidade térmica mínima  | CT ≥ 130 kJ /m².K                                | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013) |
|   |  | Bom desempenho acústico                                 |                |             | x         |       |     |  | Índice de redução sonora ponderado (Rw)                    | Rw entre 50 e 54   | NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)                        |                           |

### **APÊNDICE F – Matriz das correlações**

Figura representando a matriz com as correlações entre as características de qualidade da abordagem do cliente, ambiental e normativas.

