

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO SECO PARA APLICAÇÃO EM
BLOCOS COM UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS: UMA
ABORDAGEM TEÓRICA**

ANDRESSA CELESTINO ARAUJO DA SILVA

MACEIÓ - AL

2023

ANDRESSA CELESTINO ARAUJO DA SILVA

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO SECO PARA APLICAÇÃO EM
BLOCOS COM UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS: UMA
ABORDAGEM TEÓRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Paulo César Correia Gomes

MACEIÓ - AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Livia Silva dos Santos CRB - 1670

S586e Silva, Andressa Celestino Araújo da.

Estudo de dosagem de concreto seco para aplicação em blocos com utilização de agregados reciclados: uma abordagem teórica / Andressa Celestino Araújo da Silva. – 2023.

73 f.:il.

Orientador: Paulo César Correia Gomes.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 68-73

1. Concreto seco - Sustentabilidade. 2. Resíduos sólidos – Construção civil.
3. Concreto reciclado. 4. Resíduos sólidos – Demolição. I. Título.

CDU: 624:628.4.036

*Dedico este trabalho aos meus pais Celma e Ricardo
Vocês são os melhores pais que alguém poderia
pedir e sou muito grata por ter vocês em minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha imensa gratidão à Deus, por tudo o que tem feito por mim em minha vida. Sou profundamente grata por todas as bênçãos que tem me concedido, desde a minha saúde até as oportunidades que tenho tido na vida.

Gostaria também de agradecer aos meus pais, Celma e Ricardo, meus irmãos, Wanessa e Ricardinho, e meu noivo, Lothar Matheus, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e me orientando em todas as decisões importantes que tive que tomar. Sem o amor e o apoio incondicional deles, eu não seria a pessoa que sou hoje.

Não posso deixar de mencionar meus amigos Bruno, Sérgio e Gabi, que são como uma segunda família para mim. Obrigada por todas as risadas, as conversas, as aventuras e as memórias que compartilhamos juntos. Vocês são uma fonte constante de alegria e apoio em minha vida.

Além disso, gostaria de agradecer demais minha dupla dos 5 anos de graduação, minha querida amiga, Karla Kamila. Obrigada por sempre estar ao meu lado, por sempre compartilhar os momentos de tristeza e felicidade durante todo o curso. Seu apoio foi extremamente essencial nessa jornada acadêmica.

Também gostaria de agradecer ao meu professor orientador, Paulo Gomes, que me guiou e me orientou em minha jornada na produção deste trabalho. Sou muito grata por ter tido a oportunidade de aprender com você.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer ao PEC (Programa Especial de Capacitação Discente) pela oportunidade de aprimorar minhas habilidades profissionais e desenvolver novos conhecimentos. O programa abriu portas para mim e me permitiu crescer pessoal e profissionalmente.

RESUMO

A atividade da construção civil é um indicador significativo do progresso econômico e social de uma nação. No entanto, ela também é responsável pela criação de impactos ambientais consideráveis e os resíduos gerados têm sido um desafio importante para a sociedade. Ademais, o uso desses resíduos na produção de blocos de concreto seco tem se mostrado uma alternativa viável e sustentável para a construção civil no Brasil, todavia, os métodos de dosagem para esse tipo de bloco ainda são considerados lacunas tecnológicas. Por isso, este estudo teve como objetivo analisar diversos trabalhos sobre métodos de dosagens de concreto seco para a produção de blocos utilizando em sua composição agregados reciclados, estes originados de resíduos de construção e demolição (RCD). A revisão bibliográfica foi baseada no levantamento de estudos de referências sobre: concreto seco, agregados reciclados, métodos de dosagem e blocos de concreto. Como resultado deste estudo, foi destacado os principais parâmetros que interferem diretamente na obtenção das dosagens e nas propriedades propostas do concreto seco. Além disso, foram feitas comparações entre os diferentes métodos estudados, focando suas vantagens, desvantagens e principais aplicações. Desse modo, foi possível concluir que, para a escolha do método de dosagem de blocos de concreto seco com agregados reciclados deve ser levado em consideração as características do projeto, dos equipamentos utilizados, dos materiais disponíveis, bem como as vantagens e desvantagens de cada opção de método existente. Por fim, é necessária toda essa avaliação inicial para a escolha de um método específico que se enquadre melhor em cada tipo de produção. Todavia, embora a pesquisa não abranja toda a literatura existente sobre o assunto, os artigos revisados servem como base de conhecimento para esse fim e pode auxiliar futuros estudos sobre o assunto.

Palavras-chave: *concreto seco, agregado reciclado; método de dosagem; bloco de concreto.*

ABSTRACT

The construction industry is a significant indicator of a nation's economic and social progress. However, it is also responsible for considerable environmental impacts, and the waste generated has been a significant challenge for society. Moreover, the use of this waste in the production of dry concrete blocks has been shown to be a viable and sustainable alternative for the construction industry in Brazil. However, the dosing methods for this type of block are still considered technological gaps. Therefore, this study aimed to analyze various works on dosing methods for dry concrete production using recycled aggregates, originating from construction and demolition waste (CDW), in the composition of blocks. The literature review was based on surveys of reference studies on dry concrete, recycled aggregates, dosing methods, and concrete blocks. As a result of this study, the main parameters that directly affect the dosing and proposed properties of dry concrete were highlighted. In addition, comparisons were made between the different methods studied, focusing on their advantages, disadvantages, and main applications. Thus, it was possible to conclude that the choice of dosing method for dry concrete blocks with recycled aggregates should take into account the characteristics of the project, the equipment used, the materials available, as well as the advantages and disadvantages of each existing method option. Finally, this initial evaluation is necessary to choose a specific method that best fits each production type. However, although the research does not cover all the existing literature on the subject, the reviewed articles serve as a knowledge base for this purpose and can assist future studies on the subject.

Keywords: dry concret; recycled aggregate; mixture proportioning; concrete blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resíduos Oriundos do Setor da Construção.....	12
Figura 2: Fluxograma das etapas da metodologia do TCC	16
Figura 3: Elementos produzidos com concreto seco.	17
Figura 4: Resistência à compressão em função da elevação da relação água/cimento	19
Figura 5: Agregado de concreto reciclado (a) e agregado de RCD misto (com cerâmica vermelha) (b).	21
Figura 6: Curvas granulométricas de alguns agregados miúdos reciclados de Maceió	26
Figura 7: Curvas granulométricas de alguns agregados graúdos reciclados de Maceió	26
Figura 8: Condomínio Residencial Construído com Blocos de Concreto.....	28
Figura 9: Máquina Vibro-Prensa Hidráulica	29
Figura 10: Resistência a compressão x Módulo de finura de diferentes tipos de agregados reciclados.	31
Figura 11: Resistência à compressão dos blocos em função do tipo de vibro-prensa.....	32
Figura 12: Faixa granulométrica recomendada para produção de pavimentos pré-moldados de concreto	37
Figura 13: Curva granulométrica de referência em função do tipo de bloco a ser produzido: a) bloco de densidade normal b) bloco leve c) bloco leve de textura lisa e bloco de densidade mediana.....	41
Figura 14: Curva para a determinação da composição entre agregados: menor volume de vazios	45
Figura 15: Diagrama de dosagem IPT adaptado para concreto seco.....	47
Figura 16: Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos (5 x 10 cm) x peso específico no estado verde para as diferentes proporções empregadas.	51
Figura 17: Limite granulométrico de referência proposto e exemplo de uma composição de agregados qualquer.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do RCD encontrado em Maceió	22
Tabela 2: Composição percentual, segundo a Resolução Conama 307 (2002), de RCDs coletados no Lixão de Maceió e em pontos de deposição ilegal dentro da malha urbana da cidade.....	22
Tabela 3: Classificação dos blocos de concreto vazados.	29
Tabela 4: Dimensões Nominais	30
Tabela 5: Exigências para a resistência característica à compressão, absorção e retração.	30
Tabela 6: Retração por secagem em blocos e pisos de pavimentação.....	33
Tabela 7: Metodologias de dosagem para blocos e principais fatores estudados.....	36
Tabela 8: Traços sugeridos em função da resistência à compressão média aos 28 dias para blocos de 14,5 x 19,0 x 29,5 cm.	42
Tabela 9: Condição e tipo de controle a ser avaliado para encontrar o provável coeficiente de variação de uma fábrica.	50
Tabela 10: Síntese dos métodos de dosagem estudados.....	62
Tabela 11: Síntese das recomendações dos métodos de dosagem estudados.....	63
Tabela 12: Composições de concreto seco de diversos autores	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2. OBJETIVOS	13
1.2.1. Objetivo Geral	13
1.2.2. Objetivos Específico.....	13
1.3. JUSTIFICATIVA	13
1.4. ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	15
2. CONCRETO SECO	17
2.1. HISTÓRICO, DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES	17
2.2. MATERIAIS	20
2.2.1. Agregados Reciclados	21
2.2.1.1. Definição e Classificação	21
2.2.1.2. Normatizações e Recomendações	23
2.2.1.3. Processo de Beneficiamento	24
2.2.1.4. Particularidades dos Agregados Reciclados	24
2.3. APLICAÇÕES	27
2.3.1. Blocos de Concreto.....	27
2.3.1.1. Breve Histórico.....	27
2.3.1.2. Processo Produtivo e Equipamentos	28
2.3.1.3. Normatização.....	29
2.3.1.3.1. Resistência à Compressão	30
2.3.1.3.2. Absorção.....	32
2.3.1.3.3. Retração	32
2.3.1.4. Blocos de Concreto com Agregados Reciclados	33
3. MÉTODOS DE DOSAGEM PARA CONCRETO SECO	35
3.1. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR COLUMBIA	36
3.2. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO PELA BESSER COMPANY	40
3.3. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO PELA ABCP	44
3.4. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR IPT/EPUSP.....	47
3.5. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR FRASSON JÚNIOR	49
3.6. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR FERNANDES	53

4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS DIFERENTES MÉTODOS	56
4.1. PRODUÇÃO DE AUTORES UTILIZANDO MÉTODOS DE DOSAGEM	64
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
5.1. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	66
REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O setor de construção teve um aumento significativo no Brasil, desde o início do século XXI, sendo considerado um dos principais setores da economia brasileira. Segundo IBGE (2022) o setor da construção subiu 6,9%, neste ano. Além disso, a construção foi responsável pela geração de 10% dos empregos formais em 2022, contribuindo de forma significativa para a redução do desemprego, que chegou à marca de 9,3% (menor nível desde 2015).

Apesar do desenvolvimento que o setor da construção proporciona, este provoca grandes impactos ao meio ambiente. Segundo SJÖSTRÖM (2000), o setor é considerado um dos maiores agentes de degradação do meio ambiente. Visto que, diariamente são consumidos recursos naturais e energia em quantidades significativas e são gerados resíduos em grande escala, indo desde a aquisição de matérias primas, passando pela montagem do produto até sua utilização e demolição. Em concordância, John (2000), afirma que a construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais de qualquer economia, o que pode ser uma das causas de uma problemática que já existe no século 21, a escassez de matéria-prima (RODRIGUES e FUCALE, 2014).

A geração e o gerenciamento dos resíduos sólidos resultantes de construções e demolições representam um desafio significativo nas áreas urbanas atualmente, impactando diretamente a qualidade ambiental dos municípios (ARAGÃO, 2007). Os impactos provenientes da alta geração de resíduos oriundos das atividades construtivas equivalem a cerca de 70 milhões de toneladas de Resíduos de Construção Civil (RCC) gerados anualmente pelo setor (ANGULO, 2000 *apud* RODRIGUES e FUCALE, 2014). E, em uma realidade mais próxima, o município de Maceió produz atualmente cerca de 120 mil ton/ano de resíduos provenientes de construção, demolição e reforma (GOMES *et al.*, 2005). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), em 2019 no Brasil foram produzidas cerca de 45 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Um cenário nada satisfatório corroborado pelo estudo de Teixeira *et al.* (2020), cujos resultados mostraram que em 2016 apenas 21% desses resíduos foram reciclados no Brasil; em contrapartida, em países como Holanda esse valor chega a 90%. Uma cena comum do descarte inadequado de resíduos é mostrada na Figura 1.

Figura 1: Resíduos Oriundos do Setor da Construção.



Fonte: Site da Abrecon (www.abrecon.org.br)

Nesse sentido, a busca por alternativas mais sustentáveis na construção civil é uma preocupação crescente. Uma dessas alternativas é o concreto seco, cada vez mais utilizado em obras de pequeno e médio porte. O concreto seco consiste em uma mistura de cimento, agregado e aditivos pré-dosados nas fábricas e transportados até o canteiro de obras. Esse tipo de concreto, produzido de acordo com as normas da ABNT, apresenta diversas vantagens em relação ao concreto convencional, ele pode ser produzido em uma central de mistura e, em seguida, transportado diretamente para a obra, eliminando a necessidade de mistura no local, economizando tempo e dinheiro. Além disso, o concreto seco pode ser armazenado por um longo período de tempo antes de ser usado, o que é útil em projetos de grande escala. O processo de cura também é mais rápido em comparação com o concreto convencional, resultando em uma construção mais rápida e eficiente. Além disso, o concreto seco geralmente tem uma maior resistência inicial e é mais durável em ambientes agressivos. O uso de aditivos e pigmentos também pode ser facilmente incorporado ao concreto seco para obter características específicas de cor, textura e desempenho. Por fim, o concreto seco produz menos desperdício de material e, portanto, é mais sustentável em termos ambientais. (RODRIGUES, 1995).

Devido aos impactos ambientais gerados pela construção civil, a utilização de agregados reciclados tem se mostrado uma alternativa sustentável e viável no Brasil. No entanto, ainda é necessário obter mais informações sobre como esse tipo de agregado pode influenciar as características dos concretos secos, especialmente no que diz respeito ao comportamento mecânico dos produtos obtidos a partir dessa mistura. Isso é especialmente importante no caso da produção de blocos de concreto seco, que possui um processo produtivo peculiar e depende fortemente da compactação e vibração durante a etapa de moldagem. Portanto, é crucial

entender e controlar as propriedades físicas e mecânicas dessas unidades de alvenaria para se obter edificações mais seguras e eficientes. (LEAL, 2018).

Sabendo disso, para a produção de blocos de concreto com agregado reciclado, é necessário abordar uma grande quantidade de variáveis e etapas que podem modificar suas características e seu desempenho. O material reciclado utilizado, a quantidade desse material, o traço do concreto, a homogeneidade do material, os equipamentos, a mão de obra e os métodos utilizados podem afetar as propriedades do concreto produzido com agregado reciclado.

Entretanto, outro fator que influencia diretamente nas propriedades dos blocos de concreto seco é a metodologia de dosagem empírica convencional, considerada uma lacuna tecnológica que limita a otimização e o controle sistemático de formulações desenvolvidas para este fim. Desse modo, é necessário analisar a fundo as metodologias de dosagens existentes para esse tipo de bloco com aplicação de agregados reciclados, bem como a influência dos agregados reciclados na fabricação desses blocos.

Diante deste fato, torna-se importante o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a avaliação dos principais fatores do agregado reciclado e sua influência nos blocos de concreto seco paralelamente a uma avaliação global das metodologias de dosagem existentes para blocos de concreto seco com possível aplicação de agregados reciclados.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é estudar metodologias de dosagem de concreto seco para a aplicação em blocos de concreto com utilização de agregados reciclados: análise comparativa e recomendações.

1.2.2. Objetivos Específico

- Apresentar uma análise comparativa entre os métodos de dosagem estudados, apontando as suas vantagens e desvantagens, suas principais aplicações e os principais fatores recomendados pelos métodos como: granulometria, umidade ótima, relação água/cimento, relação cimento/agregado e dosagem de cimento.

1.3. JUSTIFICATIVA

O estudo do concreto seco é de grande relevância para a construção civil no geral, visto que é uma alternativa mais sustentável e energeticamente eficiente ao concreto convencional,

pois sua produção consome menos água e energia. Além disso, o concreto seco tem um processo de mistura mais simples, não requer água para se formar, facilitando o transporte e o armazenamento.

É crucial garantir a qualidade e longevidade dos blocos de concreto por meio de uma dosagem adequada do concreto seco. Ademais, a utilização de uma dosagem adequada pode diminuir o desperdício de materiais e aumentar a eficiência do processo produtivo. Para alcançar tais objetivos, é importante estudar métodos de dosagem de concreto seco para a fabricação de blocos, considerando as propriedades dos agregados e a dosagem apropriada de cimento, areia e aditivos, a fim de obter misturas mais econômicas e eficientes.

Visto isso, estudos sobre a dosagem desse tipo de concreto para fabricação de blocos com a aplicação dos agregados reciclados ainda está muito escasso, visto que tanto o concreto seco, quanto os agregados reciclados possuem carências em suas dosagens ideais para a fabricação dos blocos atrelado a heterogeneidade dos agregados. Porém, os benefícios da utilização do concreto seco para os blocos estão na produção de um concreto com teor de umidade bastante reduzido, com consistência quase seca e reduzida coesão, que é mecanicamente conformado em equipamentos de compactação denominados vibro compressores. Desse modo, a utilização deste processo na produção de artefatos à base de cimento tem como principal motivação a alta produtividade associada com a eficácia na compactação.

Além disso, os blocos de concreto seco, são uma opção mais econômica e eficiente do que os blocos tradicionais, pois exigem menos mão de obra e são mais rápidos e fáceis de fabricar. Outra vantagem dos blocos de concreto está na sua durabilidade, o que os torna uma alternativa conveniente e de alta qualidade para a construção. Portanto, é importante estudar concreto seco para fabricação de blocos para promover uma construção mais sustentável, econômica e eficiente, aliando a qualidade e durabilidade dos materiais com a proteção ambiental. Paralelamente com a utilização de agregados recicláveis, o que proporciona a diminuição do impacto ambiental causado pela extração do agregado natural.

Dessa forma, considerando-se a relevância dos componentes produzidos com concretos secos e com agregados reciclados, é possível inferir que a metodologia de dosagem empírica convencional pode ser considerada uma lacuna tecnológica que limita a otimização e o controle sistemático de formulações desenvolvidas para este fim. Por isso, faz-se necessário o estudo

das metodologias de dosagem existentes e uma avaliação dos principais fatores abordados nos métodos como: teor de umidade, granulometria e dosagem de cimento. Com o objetivo de analisar os métodos que atendam a dosagem para blocos de concreto seco com a possível utilização de agregados reciclados.

1.4. ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

O trabalho se trata de um estudo de cunho teórico baseado nas referências bibliográficas. Para isso, foi desenvolvida uma revisão bibliográfica inicial sobre: concreto seco, agregados reciclados, blocos de concreto e métodos de dosagem acerca de blocos de concreto seco com aplicação de agregados reciclados, que é o foco do estudo. A seguir, serão descritas, com mais detalhes, as etapas do trabalho.

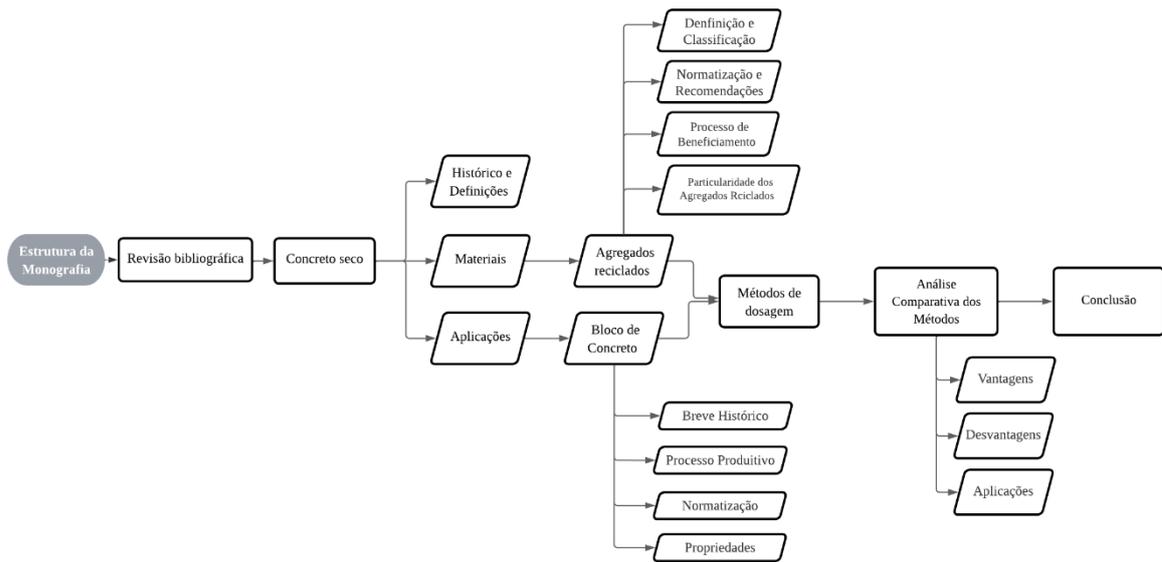
Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica acerca de concreto seco: materiais (agregados reciclados) e aplicações (blocos de concreto), e sobre os métodos de dosagem existentes para fabricação desses blocos de concreto seco com agregados reciclados, para delimitação do estado da arte. Os estudos foram realizados com bases em artigos publicados, livros, teses de doutorado e dissertações de mestrado, através de bibliotecas virtuais como: *Google Scholar*, *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, entre outras.

Como resultado do estudo, foram analisados os principais fatores recomendados pelos métodos de dosagem que influenciam diretamente nas características dos blocos de concreto como: teor de umidade, granulometria, dosagem de cimento, relação cimento/agregado e relação água/cimento. Como também, foram apresentados os resultados obtidos por outros autores em relação à essas propriedades.

Por fim, foi feito com base nos métodos estudados, uma análise comparativa, citando suas vantagens e desvantagens, bem como suas principais aplicações.

Na Figura 2 pode ser observado um modelo esquemático do fluxograma da estrutura do presente trabalho.

Figura 2: Fluxograma das etapas da metodologia do TCC



Fonte: Autor (2023)

2. CONCRETO SECO

2.1. HISTÓRICO, DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES

O concreto seco é um tipo de concreto que também é conhecido como "concreto de farofa", "zero-slump" ou "slump free". De acordo com Ott e Andreas (2006), a utilização desse tipo de concreto teve início após a Segunda Guerra Mundial, quando a escassez e o alto custo dos materiais de construção impulsionaram sua produção.

Segundo Leal (2018), as primeiras tentativas de produzir elementos de concreto seco foram realizadas na Europa no final do século XIX. Em seguida, em 1891, foi patenteado um sistema de vigas pré-fabricadas para construção de pontes na França, e em 1892, foi construída a primeira ponte pré-fabricada em Le Havre. Na Alemanha, em 1903, foi criada a primeira fábrica de elementos pré-fabricados, a "Dyckerhoff & Widmann AG", que se tornou uma das maiores empresas do ramo na Europa.

Com o avanço da construção civil, o uso do concreto seco se difundiu em todo o mundo devido à crescente urbanização e à necessidade de construções mais rápidas e eficientes. Na década de 1930, o desenvolvimento de novas técnicas de protensão permitiu a criação de elementos pré-fabricados mais resistentes e leves, conforme apresentado na Figura 3, o que ampliou ainda mais as possibilidades de utilização desse material (LEAL, 2018).

Figura 3: Elementos produzidos com concreto seco.



Fonte: Leal (2018)

Atualmente, segundo Leal (2018), o concreto seco e os blocos de concreto seco são algumas das principais soluções para a construção de grandes estruturas em todo o mundo. Além de oferecer vantagens em termos de rapidez e eficiência, é uma opção mais sustentável, pois permite reduzir o desperdício de materiais e utilizar tecnologias mais limpas na produção.

Segundo Fernandes (2016), quando se utiliza concreto seco para moldagem de blocos de alvenaria, as características dos agregados utilizados, como tipo de rocha, dimensões

máximas, forma, rugosidade superficial, dureza das partículas, distribuição granulométrica e pureza, são de grande importância. O tipo de agregado utilizado influencia diretamente na durabilidade do molde e a granulometria máxima afeta a durabilidade e o tempo de enchimento do molde, enquanto a forma do agregado controla a trabalhabilidade da mistura, compactação e acabamento da peça. A dureza do agregado é responsável por aumentar a resistência do concreto, enquanto a pureza e a rugosidade da superfície são importantes para garantir a adesão do agregado à pasta de cimento e influenciam na resistência à tração e à compressão da mistura.

Quanto às propriedades do concreto, sabe-se que existe uma relação muito mais pronunciada no concreto seco do que no concreto plástico, tanto no estado endurecido quanto no estado fresco (RODRIGUES, 1984 *apud* LEAL., 2018). Em concretos plásticos, a quantidade de pasta de cimento disponível costuma ser alta e atende facilmente aos requisitos de trabalhabilidade, preenchimento de vazios e acabamento da peça (FERNANDES, 2016). Quanto à quantidade de agregado graúdo, o concreto plástico consome mais do que o concreto seco. A mistura 1:2:3 (cimento:areia:brita) para concreto convencional é de cerca de 30,4% de pasta, enquanto a mistura para blocos de concreto de vedação é 1:12:8 (cimento:areia:brita). areia ou pó de pedra: cascalho) contém apenas 19,1% de volume total de pasta (LEAL., 2018).

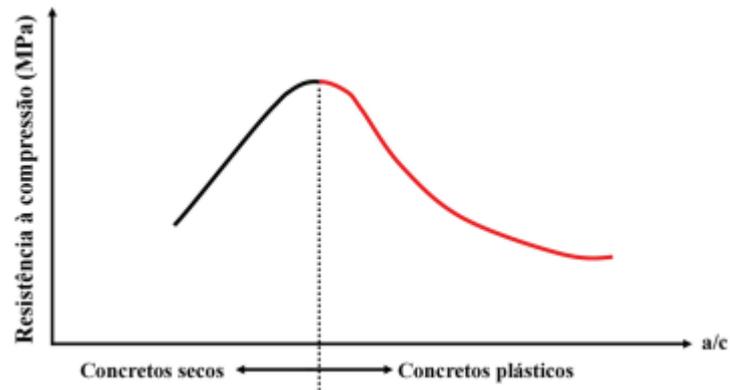
Segundo Rodrigues (1984), o concreto seco, ao contrário do concreto convencional, não segue rigorosamente a conhecida 'lei de Abrams', como pode ser observado na Figura 4.

Lei Abrams: A resistência do concreto é inversamente proporcional à relação água/cimento (a/c).

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \quad (1)$$

Onde, k_1 e k_2 são constantes empíricas obtidas através de ensaios em condições predeterminadas; a/c é a relação água/cimento do concreto; e f_{cj} é a resistência do concreto na idade j dias.

Figura 4: Resistência à compressão em função da elevação da relação água/cimento



Fonte: Oliveira (2004)

De acordo com Fernandes (2016), para o concreto convencional, a resistência à compressão é afetada pela relação água/cimento, enquanto para o concreto seco, a resistência é determinada pela compactação e compressão do equipamento utilizado. Em um estudo de Sulistyana et al. (2014), foram avaliados nove diferentes graus de compressão na produção de concreto seco e descobriu-se que a resistência à compressão tem uma relação direta com a pressão aplicada. Misturas mais coesas necessitam de pressões mais altas para atingir o estado ótimo de compressão. A vibração também auxilia na retirada de ar do material e contribui para o aumento da resistência do concreto seco.

Já em relação a umidade ótima dos concretos secos, Pirola (2011) realizou estudos sobre como a umidade é um dos motivos mais comuns para variações na compacidade das misturas. Segundo Pirola (2011), as flutuações de umidade afetam a eficiência da compactação, o carregamento da fôrma e alteram as propriedades do concreto. Usar mais água do que o necessário pode reduzir sua produtividade. Por outro lado, uma mistura muito seca, facilita o carregamento do molde, mas dificulta a prensagem da peça, e muitas vezes os operadores de máquinas reduzem o tempo de carregamento para conseguir prensar a peça, produzindo peças mais leves e menos resistentes. É importante observar que, diferentemente do concreto plástico, a quantidade de água adicionada ao concreto seco deve ser a mais alta possível, mantendo a trabalhabilidade adequada da peça. Quanto mais água é utilizada, melhora a lubrificação entre as frações de concreto, compactação mais fácil, menos porosidade e maior durabilidade. Cada mistura e tipo de equipamento tem um teor de umidade ideal, conhecido como umidade ótima.

De acordos com experimentos feitos por Pirola (2011), os valores de umidade usados para medições ótimas foram aproximadamente 7,0% de umidade para misturas sem aditivos e 6,0% de umidade para misturas com aditivos. Esses valores dependem do tipo,

tamanho da partícula e quantidade de material utilizado, mas na prática tem sido demonstrado que não ultrapassam 0,5% (PIROLA, 2011).

Além dessas características mais diretas, há outras de difícil avaliação e quantificação, mas que podem fazer diferença significativa no uso do RCD. Uma delas é a presença de partículas de cimento do concreto antigo que não reagiram e que podem reagir com a água de composição do novo concreto. Esse aspecto é positivo e vem sendo observado com frequência. Além disso, vale ressaltar que a presença adicional de ligantes cimentícios pode melhorar características físicas e mecânicas do concreto seco com RCD (XIAO et al., 2012; XIE; GHOLAMPOUR; OZBAKKALOGLU, 2018).

2.2. MATERIAIS

O tipo de cimento utilizado no concreto seco é o mesmo utilizado no concreto convencional, ou seja, o cimento Portland. Além disso, os blocos de concreto são produzidos a partir da mistura do cimento, agregados graúdos e miúdos e água. Além desses materiais, outros podem ser adicionados à mistura, como adições minerais, pigmentos e aditivos, para obter as propriedades desejadas no produto final. É importante que a escolha dos materiais seja feita de acordo com suas características para garantir a qualidade do bloco produzido (SALVADOR FILHO, 2007). Em concordância, segundo a ABNT NBR 6136 (2016), afirma que o concreto deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água.

O cimento Portland é um material pulverulento, composto principalmente de clínquer, gesso e adições, que quando misturado com água forma uma pasta que endurece e se torna resistente. Existem vários tipos de cimento Portland disponíveis no mercado, cada um com características específicas que os tornam mais adequados para diferentes aplicações, como cimento Portland comum (CP I), cimento Portland composto (CP II), cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), entre outros. A escolha do tipo de cimento depende das propriedades desejadas para o concreto seco e das condições de uso. Porém, Frasson Júnior (2000) recomenda a utilização do cimento Portland de alta resistência inicial, pois acelera a desmoldagem do material.

Já em relação aos agregados, devem estar em conformidade com a ABNT NBR 7211. Escórias de alto-forno, cinzas volantes, argila expandida ou outros agregados, leves ou não, podem ser usados desde que o produto final atenda aos requisitos físico-mecânicos prescritos

na norma. A dimensão máxima característica do agregado deve ser inferior à metade da menor espessura da parede do bloco (ABNT NBR 6136, 2016).

Porém, o estudo em questão está sendo realizado com a aplicação de agregados reciclados para a produção de blocos de concreto e, desse modo, serão discutidos no tópico seguinte.

2.2.1. Agregados Reciclados

2.2.1.1. Definição e Classificação

Segundo Angulo (2005), todo e qualquer resíduo oriundo de atividades de construção, sejam eles de novas construções, demolições, reformas e obras de arte são considerados Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Já o agregado reciclado é aquele obtido pela reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) ou de algum outro resíduo que tenha condições de ser utilizado no concreto. Atualmente, a principal fonte de resíduos para a produção destes agregados é a própria construção civil (ANGULO e FIGUEIREDO, 2011).

Os agregados de RCD são constituídos por fragmentos de concretos, argamassas, cerâmicas e outros materiais secundários, obtidos pela britagem e outras operações de descontaminação. Assim, a composição desse agregado é bastante variável, podendo ser constituído quase exclusivamente por concreto, ou misturado com cerâmica vermelha (Figura 5a). Na composição, sempre há teores secundários de madeira, aço, vidro (entre 1-2 %), como pode ser observado na Figura 5b.

Figura 5: Agregado de concreto reciclado (a) e agregado de RCD misto (com cerâmica vermelha) (b).



Fonte: Angulo e Figueiredo (2011).

Mais especificamente na Tabela 1, pode ser observada as composições de RCD em percentuais encontradas na cidade de Maceió.

Tabela 1: Composição do RCD encontrado em Maceió

Materiais	Origem
	Maceió
Concreto e Argamassa	46,5
Cerâmica	48,2
Cerâmica Polida	3,1
Outros	2,3
Total Reciclável	97,7

Fonte: Vieira (2003) *apud* Tenório (2007)

Já em relação a classificação dos RCD, segundo a Resolução no 307 do Conama (2002) é definida a seguir e são apresentados na Tabela 2 os percentuais encontrados em Maceió.

- a) Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados compostos por diversos materiais de origem mineral, tais como produtos à base de cimento (blocos, concretos, argamassas, etc); produtos cerâmicos (como tijolos, telhas etc); rochas e solos entre outros.
- b) Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, asfaltos e outros.
- c) Classe C: resíduos sem tecnologia de reciclagem disponível (Ex: resíduo de gesso).
- d) Classe D: resíduos considerados perigosos, como: tintas, solventes, óleos e outros.

Tabela 2: Composição percentual, segundo a Resolução Conama 307 (2002), de RCDs coletados no Lixão de Maceió e em pontos de deposição ilegal dentro da malha urbana da cidade.

Origem da Amostra	% em massa das classes presentes na amostra			
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Construção, Demolição, reforma, etc.	93,98	3,33	2,66	0,04
Construção	82,89	4,58	12,22	0,31
Demolição	98,56	0,66	0,78	0,00
8 depósitos ilegais na cidade	98,82	0,07	1,11	0,00
Média	93,56	2,16	4,19	0,09

Fonte: Gomes *et al.* (2005) *apud* Tenório (2007)

Com base nisso, é possível afirmar que o agregado reciclado utilizado para a produção de blocos de concreto é classificado como um RCD de classe A e na cidade de Maceió, esse resíduo se apresenta com 97,7% reciclável e composto por Concreto, Argamassa, Cerâmica e Cerâmica Polida. Já em relação aos resíduos encontrados em Maceió, 93,56% são resíduos de Classe A, 2,16% são resíduos da Classe B, 4,19% são resíduos da Classe C e apenas 0,09% são resíduos da Classe D.

2.2.1.2. Normatizações e Recomendações

Além das resoluções do CONAMA, existem um conjunto de normas que fornecem orientações para o projeto, implantação e operação de áreas destinadas ao manejo, beneficiamento e destinação de RCC, bem como para o reuso de agregados reciclados. Essas normas incluem a ABNT NBR 15112:2004, que apresenta diretrizes para as áreas de transbordo e triagem, a ABNT NBR 15113:2004, que trata das diretrizes para projetar, implantar e operar aterros, a ABNT NBR 15114:2004, que fornece diretrizes para áreas de reciclagem, a ABNT NBR 15115:2004, que detalha procedimentos para pavimentação com agregados reciclados de RCC, e a ABNT NBR 15116:2021, que especifica os requisitos para uso de agregados reciclados, obtidos a partir do beneficiamento de resíduos da construção (Classe A), em argamassas e concretos.

Além disso, de acordo com LIMA (1999), a utilização de um agregado no concreto deve seguir algumas especificações gerais para atender às exigências do processo:

- Deve possuir resistência adequada para o uso no tipo de concreto em que será utilizado;
- Deve ser dimensionalmente estável, suportando variações de umidade;
- Não deve reagir com o cimento ou com o aço das armaduras;
- Não deve conter impurezas reativas;
- Deve apresentar forma de partículas e granulometria apropriadas para proporcionar uma boa trabalhabilidade ao concreto.

Paralelamente, para utilização de material reciclado como agregado para concreto devem ser realizadas misturas experimentais do mesmo modo que estas misturas são feitas para concretos convencionais. Deve ser estabelecida a quantidade de água suficiente para garantir a trabalhabilidade da mistura, porém, desde que não haja excesso de água, fato que comprometeria o uso racional de cimento para alcançar a resistência desejada a um custo compatível (LEITE, 2001).

2.2.1.3. Processo de Beneficiamento

O processo de beneficiamento dos RCD envolve várias atividades, iniciando com a coleta do resíduo, seguindo para o transporte até as centrais de reciclagem, a triagem, a britagem, o peneiramento e estocagem (SANTOS, 2007).

Na transformação do RCD em agregados reciclados são utilizadas diversas operações unitárias da Engenharia Mineral com a finalidade de (CHAVES *et al.*, 2006):

- Separar e fragmentar preliminarmente as peças de concreto armado de grandes dimensões, antes da alimentação no britador;
- Eliminar fragmentos grandes de materiais indesejáveis (madeira, aço, papel) ou contaminantes (gesso, cimento amianto) por triagem;
- Cominuir (britar ou moer) o fragmento de RCD como agregado, com ou sem tratamento térmico preliminar, através de britadores como de impacto ou mandíbula;
- Remover a fração metálica ferrosa e pequenos fragmentos de materiais indesejáveis leves (papel, madeira, etc.) remanescentes dos agregados de RCD, melhorando a sua pureza;
- Remover as partículas porosas de cerâmica vermelha, quando se deseja produzir agregado de RCD de alta qualidade.

Vale ressaltar que, segundo Lima (1999), os procedimentos e os equipamentos utilizados para a produção dos agregados exercem influência sobre as principais características dos concretos produzidos como: classificação e composição, teor de impurezas, granulometria, forma e resistência.

2.2.1.4. Particularidades dos Agregados Reciclados

Mehta e Monteiro (2016) destacam algumas características dos agregados que são importantes para a qualidade do concreto como: a porosidade, distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial, módulo de elasticidade, resistência à compressão e presença de substâncias prejudiciais. O autor também afirma que tais características são influenciadas pela composição mineralógica da rocha de origem, pelas condições ambientais a que foram submetidos e pelo processo de produção do agregado.

Em relação aos agregados naturais, a taxa de absorção de água tem pouca ou nenhuma influência nas misturas de concreto, já que esses agregados possuem baixa porosidade. No entanto, quando se utiliza agregados reciclados na produção de concreto, a influência da taxa de absorção se torna um fator importante, uma vez que esses agregados apresentam valores mais elevados de absorção em comparação aos agregados naturais normalmente utilizados (LEITE, 2001).

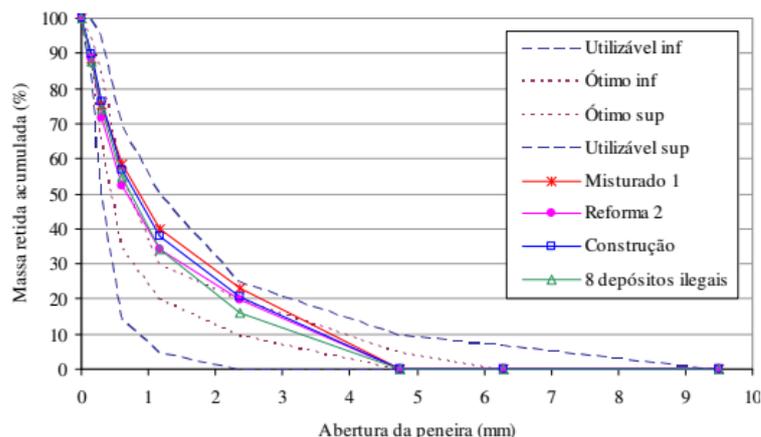
Desse modo, a principal diferença entre a aplicação de um agregado reciclado em vez do agregado natural está na sua porosidade. Segundo Angulo e Figueiredo (2011), a porosidade dos agregados reciclados pode ultrapassar facilmente de 10%. Uma solução proposta em estudos como os de Angulo (2005) e Carrijo (2005) para solucionar essa questão da porosidade foi a separação dos agregados em frações de acordo com sua densidade, em vez de separá-los pela sua composição pois, quanto mais poroso for um agregado, menor será sua densidade.

De acordo com Angulo (2005), ao separar os agregados por densidade, aqueles com massa específica aparente $d > 2,2 \text{ g/cm}^3$ apresentam teores elevados de rochas e baixos teores de cerâmica vermelha, o que os torna adequados para a produção de concreto com comportamento mecânico semelhante ao dos agregados naturais. Além disso, o uso de agregados com $d > 1,9 \text{ g/cm}^3$ garante que materiais muito porosos, como cerâmica vermelha, e contaminantes, como cimento amianto, madeira, plásticos e betume, não estejam presentes.

Segundo Oliveira (2021), ao comparar os resíduos de construção e demolição a agregados naturais há consenso quanto à menor densidade, maior absorção de água, menor resistência e alta porosidade dos RCD. Porém, não há um padrão ou uma faixa que indique a densidade ou absorção de água do RCD, por exemplo. Em cada estudo sobre agregados de resíduos de construção e demolição são relatados valores relativamente distantes entre si mostrando o quão heterogêneo pode ser o agregado de RCD.

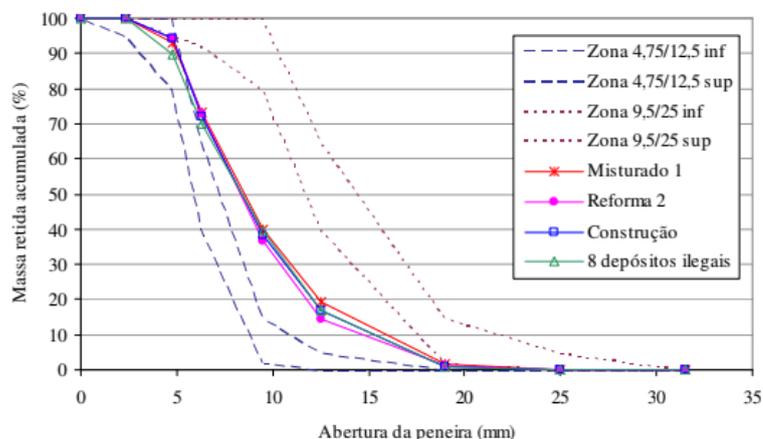
Já em relação a sua granulometria, Lima (1999) *apud* Tenório (2007), afirmam que não apresenta grandes variações em termos de qualidade e pode ter uma curva de distribuição granulométrica semelhante à dos agregados naturais, desde que as partículas finas sejam removidas. As Figura 6 e Figura 7 mostram as respectivas curvas granulométricas dos agregados miúdos e graúdos obtidos na cidade de Maceió.

Figura 6: Curvas granulométricas de alguns agregados miúdos reciclados de Maceió



Fonte: Gomes *et al.* (2005) *apud* Tenório (2007)

Figura 7: Curvas granulométricas de alguns agregados graúdos reciclados de Maceió



Fonte: Gomes *et al.* (2005) *apud* Tenório (2007)

Segundo Tenório (2007), a Figura 6 indica que os agregados miúdos reciclados tendem a ficar na zona superior utilizável da NBR 7211 (2005). Por outro lado, os agregados graúdos (Figura 7) não se ajustaram às zonas especificadas pela NBR 7211 (2005), mas estiveram entre as zonas 4,75/12,5 e 9,5/25 em geral. Apesar de os agregados serem de fontes diferentes, suas curvas foram semelhantes e contínuas.

Um outro fator importante em relação aos agregados de resíduos de construção e demolição é sua rugosidade superficial, agregados de resíduos apresentam maior rugosidade e isso, de forma geral, melhora as propriedades do concreto, pois um agregado mais rugoso reduz a fragilidade da zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado graúdo. Apesar de melhorar as propriedades mecânicas, a maior rugosidade superficial do RCD reduz significativamente a trabalhabilidade do concreto (ANDAL *et al.*, 2016; XIAO *et al.*, 2012; XIE; GHOLAMPOUR; OZBAKKALOGLU, 2018; ANGULO e MUELLER, 2009).

2.3. APLICAÇÕES

Atualmente, segundo Leal (2018), os blocos de concreto seco são algumas das principais soluções para a construção de grandes estruturas em todo o mundo. Além de oferecer vantagens em termos de rapidez e eficiência, é uma opção mais sustentável, pois permite reduzir o desperdício de materiais e utilizar tecnologias mais limpas na produção.

Prudêncio Jr. *et al.* (2007) apontaram algumas vantagens do uso de blocos de concreto em relação a outros tipos de blocos estruturais. Primeiramente, esses blocos possuem um módulo de elasticidade semelhante ao da junta de argamassa, o que proporciona melhor desempenho estrutural. Além disso, os blocos de concreto apresentam melhor desempenho do que os blocos cerâmicos e podem ser produzidos em diferentes resistências, de acordo com a necessidade estrutural. Eles também podem ser fabricados em diferentes formas, cores e texturas, tornando-se uma opção versátil e estética. Por fim, os vazados de grandes dimensões permitem a passagem de tubulações elétricas e hidrossanitárias ou podem ser preenchidos com graute para executar cintas de amarração ou aumentar a resistência à compressão da alvenaria.

Além disso, a alvenaria estrutural apresenta um potencial de economia significativo na construção de edifícios de até quatro pavimentos, podendo chegar a uma média de 30%. Para edifícios de até vinte e cinco pavimentos, essa economia pode chegar a cerca de 10%. Esses fatores fazem da alvenaria estrutural uma opção atrativa para empresas do setor da construção civil (TAUIL, 2010).

2.3.1. Blocos de Concreto

2.3.1.1. Breve Histórico

Segundo Medeiros (1993), os Estados Unidos foram os primeiros a fabricarem e utilizarem os blocos de concreto no final do século XIX. Os blocos de concreto chegaram ao Brasil apenas na década de 50, quando se importou dos Estados Unidos uma máquina para produção desses componentes.

Segundo Araújo (1995) estima-se que tenham sido erguidas mais de dois milhões de unidades habitacionais em alvenaria estrutural no Brasil, no período de 1964 a 1976. Entretanto, os resultados obtidos não atenderam às expectativas em termos de qualidade e durabilidade do produto final, o que levou à necessidade de pesquisas para eliminar as dúvidas existentes em relação a esse tipo de construção.

Desse modo, por um longo período a alvenaria estrutural foi pouco utilizada devido à falta de tecnologia para produzir blocos mais resistentes, sendo restrita a obras habitacionais de baixa renda. Contudo, nos últimos anos, com a evolução tecnológica e o aprimoramento das normas técnicas voltadas para a alvenaria estrutural e os blocos de concreto, grandes obras com esse tipo de construção têm surgido em todo o país, como apresentado na Figura 8 (ARAÚJO, 1995).

Figura 8: Condomínio Residencial Construído com Blocos de Concreto.



Fonte: Pereira (2015)

2.3.1.2. Processo Produtivo e Equipamentos

De acordo com Pirola (2011), as características mais importantes para a produção de blocos de concreto seco são a resistência à compressão, a textura da superfície e a durabilidade da peça, que é geralmente avaliada pela resistência à abrasão. A obtenção dessas propriedades está relacionada com os materiais utilizados na mistura, bem como com o tipo e ajuste dos equipamentos empregados no processo de produção.

A produção de blocos de concreto utilizados na construção de alvenaria é feita com a aplicação de "concreto seco". Esse tipo de concreto é usado para a fabricação de blocos vibroprensados e apresenta consistência superior aos concretos plásticos, pois é produzido com uma quantidade menor de água. Isso permite que as peças sejam desmoldadas imediatamente após a produção (PRUDÊNCIO JR *et al.*, 2007). Porém, para compactar e expulsar o ar da mistura, é necessário o uso de equipamentos especiais, como as máquinas vibro-prensas (Figura 9), que aplicam esforço de compressão e vibração simultaneamente na moldagem dos blocos.

Figura 9: Máquina Vibro-Prensa Hidráulica



Fonte: Site da Menegotti (www.menegotti.net)

Porém, segundo Buttler (2007), grande parte das fábricas no Brasil não possui um controle rigoroso sobre o processo produtivo que confira qualidade e segurança para as unidades produzidas. São poucas as fábricas que possuem o selo de qualidade da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Segundo Frasson Júnior (2000), as metodologias de dosagem existentes são bastante deficientes e dependem fundamentalmente de testes em fábrica.

2.3.1.3. Normatização

Segundo a ABNT NBR 6136 (2016) que trata sobre blocos vazados de concreto simples para a alvenaria, os blocos de concreto são os elementos de alvenaria cuja área líquida (área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas máximas de vazios) é igual ou inferior a 75 % da área bruta (área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios). Essa norma classifica os blocos de acordo com a Tabela 3,

Tabela 3: Classificação dos blocos de concreto vazados.

Classe	Resistência Característica f_{bk} - MPa	Função / Utilização
A	$\geq 8,0$	Estrutural. Acima ou abaixo do nível do solo.
B	$\geq 4,0$	Estrutural. Acima do nível do solo.
C	$\geq 3,0$	Com ou sem função Estrutural. Acima do nível do solo.

Fonte: Adaptação da NBR 6136/2016.

As dimensões nominais dos blocos vazados de concreto, modulares e submodulares devem corresponder às dimensões constantes na (ABNT NBR 6136, 2016).

Tabela 4: Dimensões Nominais

Família	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	7,5x40
Largura	190	140		115			90		65
Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
1/3	-	-	-	-	-	215	-	90	-
Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-
Amarração T	-	540	440	-	365	-	-	290	-
Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016)

De acordo com a ABNT NBR 6136 (2016), para que os blocos vazados de concreto possam ser utilizados com função estrutural, é necessário que atendam a determinados requisitos mínimos estabelecidos na norma. Esses requisitos se referem aos limites de resistência à compressão, absorção e retração linear, os quais devem ser seguidos para garantir a qualidade do produto final, estabelecidos na Tabela 5.

Tabela 5: Exigências para a resistência característica à compressão, absorção e retração.

Classificação	Classe	Resistência à Compressão (a)	Absorção %				Retração % (d)
			Agregado normal (b)		Agregado Leve (c)		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	≤ 9	≤ 8	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} \leq 8,0$	≤ 10	≤ 9			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \leq 3,0$	≤ 11	≤ 10			

(a) Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.
(b) Blocos fabricados com agregado normal (ABNT NBR 9935)
(c) Blocos fabricados com agregado leve (ABNT 9935)
(d) Ensaio facultativo

Fonte: ABNT NBR 6136 (2016)

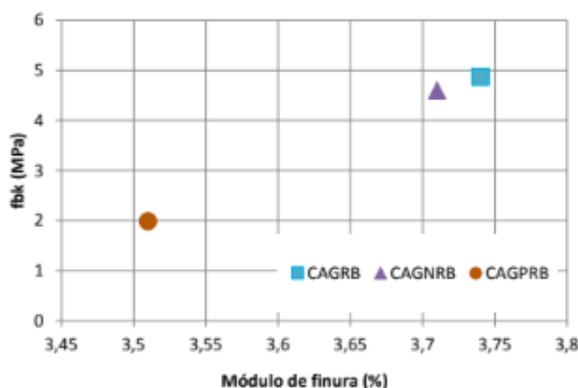
2.3.1.3.1. Resistência à Compressão

Ramalho e Corrêa (2003) afirmam que a utilização da alvenaria estrutural se baseia no conceito de transmissão de ações por meio de tensões de compressão. Duarte (1999) destaca que a resistência à compressão da alvenaria é determinada, em grande parte, pela resistência à compressão das unidades, sendo que o bloco é o elemento chave para elevar a resistência da

alvenaria. Portanto, a resistência à compressão dos blocos é um parâmetro fundamental para o dimensionamento da alvenaria e, conseqüentemente, deve ser uma variável de controle essencial para garantir a qualidade dos blocos.

Segundo os resultados obtidos por Gomes *et al.* (2017), um fator que influencia a resistência a compressão dos blocos de concreto seco é o módulo de finura da mistura, apresentados na Figura 10.

Figura 10: Resistência a compressão x Módulo de finura de diferentes tipos de agregados reciclados.

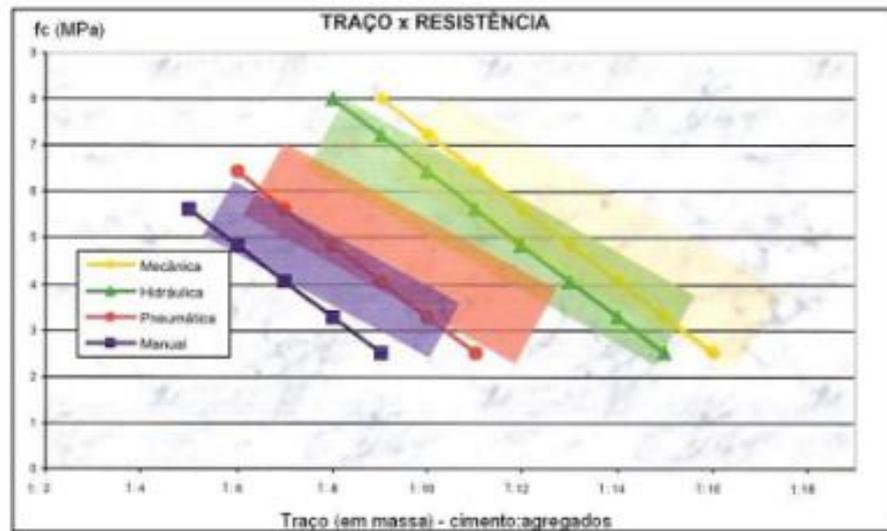


Fonte: Gomes *et al.* (2017)

De acordo com o gráfico obtido por Gomes *et al.* (2017), a resistência à compressão dos traços de concreto contendo agregados reciclados foi satisfatória para CAGR e CAGNR. No entanto, no caso de CAGPR, a resistência teve uma queda significativa, possivelmente devido à presença de agregados reciclados e pó de pedra, que possuem partículas com formato mais irregular do que a areia natural.

Outro fator que pode influenciar a resistência a compressão dos blocos de concreto é a intensidade dos equipamentos utilizados para sua moldagem. Segundo Adriano (2013), constatou-se que os blocos foram produzidos em diferentes acelerações nas vibro-compressoras, resultando em aumento da resistência à compressão dos blocos a uma taxa quase linear com o aumento da vibração. Em concordância, segundo Albuquerque (2005) a resistência dos blocos é diretamente proporcional à eficiência da vibro-prensa e à energia de compactação utilizada na vibração, propriedade que pode ser observada na Figura 11, garantindo a qualidade final das unidades produzidas.

Figura 11: Resistência à compressão dos blocos em função do tipo de vibro-prensa.



Fonte: Albuquerque (2005))

2.3.1.3.2. Absorção

De acordo com Buttler (2007), a aprovação do desempenho das unidades com agregados reciclados depende de limites recomendados para as propriedades de absorção de água, taxa de absorção inicial e absorção capilar, já que esses agregados possuem índices de absorções superiores aos dos naturais. Nepomuceno (2005) afirma que a absorção é um fenômeno que afeta consideravelmente a durabilidade das edificações, especialmente as expostas à chuva e sujeitas a ciclos de umedecimento e secagem. A retração na alvenaria, quando restringida, pode causar fissuras que são as principais responsáveis pelo surgimento de patologias decorrentes da entrada de água.

De modo geral, blocos com baixa absorção tendem a ser mais resistentes e duráveis. A absorção elevada pode acarretar problemas no revestimento, como fissuras e desprendimentos dos blocos, bem como pode aumentar o peso do elemento (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

2.3.1.3.3. Retração

Bastos e Cincotto (2000) afirmam que a retração do concreto é um fenômeno físico que ocorre devido a uma deformação na estrutura da pasta de cimento, causada pela interação de diversos fenômenos. Cada um desses fenômenos contribui para a deformação total externa do composto de cimento, e a retração total é resultado da combinação de vários tipos de retração que podem ocorrer simultaneamente.

Os autores Poon *et al.* (2002) conduziram uma análise da retração por secagem em blocos de concreto maciços e pisos de pavimentação produzidos com a incorporação de agregados reciclados de concreto (com a utilização tanto da fração graúda quanto miúda). Os resultados foram documentados na Tabela 6.

Tabela 6: Retração por secagem em blocos e pisos de pavimentação

Dosagem	Retração por secagem (%)			
	Blocos de Concreto	Relação rec/ref	Pisos de pavimento	Relação rec/ref
Referência	0,040	1,00	0,027	1,00
25% de reciclados	0,042	1,05	-	-
50%	0,044	1,10	0,030	1,11
75%	0,046	1,15	-	-
100%	0,052	1,30	0,038	1,41

Fonte: Poon *et al.* (2002)

Em geral, de acordo com os pesquisadores, as misturas que utilizaram 100% de agregados reciclados (graúdos e miúdos) mostraram uma retração cerca de 35% maior do que a dos blocos de referência. No entanto, todos os blocos cumpriram os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 6136 (2016) que determina valores de retração por secagem inferiores a 0,065%.

2.3.1.4. Blocos de Concreto com Agregados Reciclados

Vários autores, incluindo Albuquerque (2005), Pimienta *et al.* (1998), Patto e Oliveira (2006), Sousa (2001), Farias *et al.* (2005), Buttler (2007), Pollet *et al.* (1997) e Souza *et al.* (2002), conduziram estudos sobre a utilização de agregados reciclados de RCD e RC na produção de blocos de concreto. Embora alguns desses autores tenham obtido resultados positivos com o uso desse tipo de agregado, é importante lembrar que a substituição de agregados naturais por agregados reciclados deve ser realizada com cuidado, pois esse material pode conter contaminantes e propriedades prejudiciais para o concreto, especialmente no caso de RCD, que normalmente é um resíduo com grande variedade de materiais e granulometrias diferentes.

Sousa (2001) realizou uma análise sobre a utilização de agregados reciclados de RCD na produção de blocos de concreto, observando que a resistência dos blocos reduziu em 10% a 40% quando foram utilizados tanto agregados reciclados graúdos quanto miúdos em

comparação aos blocos de referência. Entretanto, quando apenas o agregado graúdo reciclado foi utilizado em substituição ao natural, houve um leve aumento na resistência.

Em seu estudo, Pimenta *et al.* (1998) produziram blocos vazados de concreto utilizando agregados graúdos reciclados de RCD e observaram que a utilização de ambas as frações, graúda e miúda, poderia levar a uma redução de até 50% na resistência à compressão e um aumento de 2,5 vezes na retração por secagem. No entanto, os pesquisadores concluíram que a incorporação de agregados graúdos reciclados é uma alternativa viável na produção de blocos de concreto, desde que haja um aumento no consumo de cimento (cerca de 16%) para equiparar as propriedades dos blocos produzidos com agregados naturais.

Segundo XIAO, et. al. (2005) *apud* ARAGÃO (2007), existe um decréscimo na resistência à medida que se aumenta o teor de agregado reciclado. Comparando os valores da mistura sem agregado reciclado e a com 100%, este decréscimo atinge cerca de 19%.

No geral, os estudos indicaram que a utilização de blocos de concreto seco com agregados de RCD é uma alternativa, desde que sejam realizados testes criteriosos de dosagem e sejam estudadas as propriedades dos blocos produzidos. Paralelamente, ARAGRÃO (2007), afirma que os resultados obtidos em seu trabalho mostram a viabilidade técnica de se empregar agregados graúdos e miúdos reciclados de construção e demolição em concretos estruturais de média resistência.

3. MÉTODOS DE DOSAGEM PARA CONCRETO SECO

Segundo Frasson Júnior (2000), o primeiro passo para a dosagem de concretos secos é realizar a sua composição ideal. Esse procedimento baseia-se na formulação de uma mistura com um mínimo de vazios possíveis, visando alcançar as maiores massas unitárias. Os próximos passos estão na busca de uma proporção adequada entre os agregados, considerando alcançar o menor volume de vazios, e que resulte em uma mistura mais compacta por apresentar uma relação direta com a resistência à compressão. Além disso, as maiores resistências são alcançadas através das maiores umidades da mistura, considerando cada teor de cimento, porém desconsiderando valores excessivos que podem causar problemas na desforma.

Da mesma forma, Pirola (2011) afirma que a busca pelo menor número de vazios deve-se ao fato da relação direta entre a compactidade do concreto e sua resistência à compressão. Portanto, quanto mais compacta a peça, mais resistente ela será. Uma dosagem racional deve levar em conta os seguintes parâmetros:

- Determinação da melhor composição granulométrica para a mistura dos agregados e suas proporções ideais;
- Determinação da quantidade de água adequada a ser empregada na mistura. A quantidade ótima é aquela que proporciona maior compactidade as peças;
- Determinação da quantidade ideal de cimento. A escolha dessa proporção é função, principalmente, da resistência desejada e varia com o tipo de equipamento empregado.

Furnas (1997) cita que a relação pasta/agregado do concreto seco deve ser otimizada, considerando-se o índice de vazios do agregado miúdo, para que se obtenha uma coesão e trabalhabilidade suficientes para uma dada compactação. A relação ideal entre pasta e agregado irá garantir o preenchimento dos vazios do agregado miúdo pela pasta. Nesse procedimento, também deve ser considerado os vazios do agregado graúdo que deverá ser preenchido pela argamassa.

Segundo Hood (2006), não existe uma metodologia consagrada para a dosagem do concreto seco. Diversos autores desenvolveram metodologias para a obtenção de concretos secos baseados em recomendações de fabricantes e em processos de tentativa e erro, como os métodos da Besser Company (PFEIFFENBERGER, 1985), ABCP (FERREIRA, 1990), IPT/EPUSP (TANGO, 1994), da Columbia, por Frasson Júnior (2000) e por Fernandes (2016).

Tais metodologias serão analisadas bem como seus principais fatores, conforme mostra a Tabela 7,

Tabela 7: Metodologias de dosagem para blocos e principais fatores estudados.

Métodos de Dosagem	Principais Fatores Estudados
Besser Company	Granulometria, Teor de Umidade, Relação cimento/agregado
ABCP	Proporção de agregados e massa específica
IPT / EPUSP	Teor de umidade e relação cimento/agregado
Columbia	Granulometria e relação cimento/agregado
Frasson Júnior	Massa específica
Fernandes	Granulometria, Massa unitária e Teor de Umidade.

Fonte: Autor (2022)

Entretanto, o desempenho ótimo do concreto seco está relacionado à granulometria de seus componentes e ao tipo e configuração dos equipamentos utilizados (HOOD, 2006).

Visto isso, serão descritos os principais métodos de dosagem empregados para blocos de concreto e blocos de concreto seco, sugeridos por pesquisadores e por fabricantes de máquinas vibro-prensas, bem como comentários gerais apontando as principais vantagens e limitações dos mesmos.

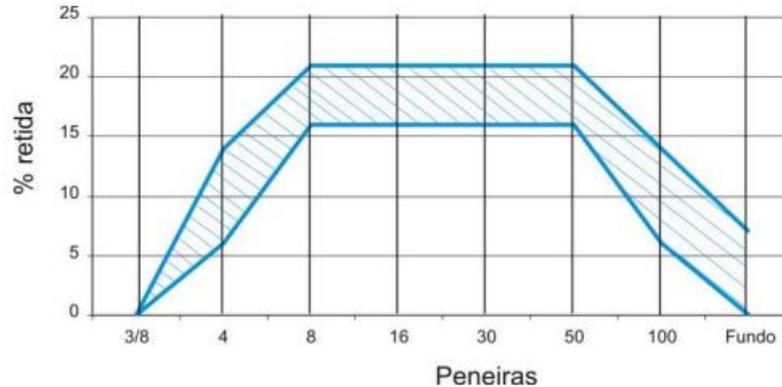
3.1. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR COLUMBIA

A presente metodologia de dosagem proposta pelo fabricante de máquinas vibro-prensas, está relacionada ao ajuste dos agregados graúdo e miúdo, de maneira que a mistura resultante se enquadre em uma faixa pré-estabelecida. Embora o método da Columbia preocupe-se com as características dos agregados e de que forma essas características influenciam na produção e nas características dos blocos, ele pode ser aplicado tanto a agregados reciclados quanto a agregados convencionais. O importante é que sejam selecionados e proporcionados de forma adequada para garantir a qualidade e a homogeneidade da mistura.

Segundo Columbia (1969), a faixa granulométrica recomendada (Figura 12) provém de anos de experiência em seus próprios equipamentos, obtendo-se bons resultados quanto à trabalhabilidade, textura superficial e resistências mecânicas. Este recomenda ainda que os agregados empregados não devem apresentar alterações, principalmente quanto à

granulometria, pois podem comprometer sensivelmente a qualidade final e a produtividade das peças.

Figura 12: Faixa granulométrica recomendada para produção de pavimentos pré-moldados de concreto



Fonte: Columbia (1969)

Definidas as proporções entre os agregados, são feitos testes no próprio equipamento, empregando-se, inicialmente, quantidades de cimento de 14 a 15%, o que resulta em traços variando entre 1:5,5 a 1:6,0 (cimento:agregados). Em função dos níveis de resistência desejados e dependendo dos resultados de resistência à compressão alcançados, estas quantidades poderão sofrer alterações (reduções ou aumentos).

A quantidade de água inicial a ser empregada nos testes no próprio equipamento de vibro-compressão varia de 5,0 a 5,5 %, dependendo fundamentalmente dos agregados utilizados na produção.

Resumidamente, segundo Columbia (1969), o método define as seguintes especificações relacionada a dosagem de concreto seco com a utilização de agregados reciclados.

1. Definir a massa unitária do agregado reciclado seco;
2. Selecionar a granulometria do agregado reciclado seco e da areia artificial;
3. Determinar a relação a/c a partir da resistência à compressão desejada;
4. Calcular a quantidade de cimento, agregado reciclado seco e areia artificial a partir da relação a/c e da massa unitária dos materiais;
5. Misturar todos os materiais secos em um misturador;
6. Adicionar a água gradualmente, misturando continuamente até obter uma mistura homogênea com consistência adequada;
7. Compactar a mistura em moldes para produzir os blocos de concreto seco.

Além disso, segundo Columbia (1969) o método define as seguintes especificações relacionada a dosagem de concreto seco com a utilização de agregados reciclados.

- Relação entre o agregado miúdo e o agregado graúdo deve estar na faixa de 1:1 a 1:3;
- Proporção de agregado reciclado não deve ser superior a 50% em massa do total de agregados;
- Teor de Umidade entre 5% a 5,5%;
- Quantidade de cimento entre 14% a 15%;
- A relação cimento/agregado de 1:5,5 a 1:6;
- Módulo de finura: 2,3 a 3,1.

Ao contrário das abordagens anteriores, o método empregado pela Columbia enfatiza as propriedades dos agregados e sua influência na produção e características dos blocos, incluindo resistência à compressão, textura, porosidade, trabalhabilidade e disponibilidade de agregados que serão comentados a seguir (FRASSON JÚNIOR, 2000).

A resistência à compressão dos blocos é influenciada pela granulometria dos agregados, o que pode afetar o consumo de cimento necessário para obter a mesma resistência. A textura dos blocos depende dos agregados utilizados, sendo que agregados mais grosseiros resultam em texturas mais grossas e agregados mais finos resultam em texturas mais lisas. A porosidade dos blocos também é influenciada pela granulometria dos agregados e deve ser considerada devido às suas implicações na resistência, isolamento térmico e acústico. A trabalhabilidade das misturas é afetada pela granulometria, forma e características de superfície dos agregados, o que pode impactar na estabilidade dos blocos recém-produzidos e na velocidade de produção. Finalmente, a disponibilidade de agregados miúdos e graúdos e a capacidade de estocagem e fornecimento pela fábrica devem ser consideradas para manter a homogeneidade das misturas e controlar o processo de produção e a qualidade final dos blocos (FRASSON JÚNIOR, 2000).

O método proposto pela Columbia apresenta algumas vantagens, como a preocupação com as características dos agregados e a influência destes na produção e nas características dos blocos, o que pode levar a uma melhora na qualidade final do produto. Além disso, a recomendação de combinação de agregados graúdos e miúdos e a quantidade mínima de finos pode resultar em misturas mais homogêneas, com boa trabalhabilidade, facilidade de compactação e produção.

Entretanto, o método não possibilita a previsão da resistência, coesão e propriedades de textura sem a produção de amostras e moldagem por meio de uma máquina para verificar tais propriedades. O procedimento proposto pelo método é um tanto empírico, já que os ajustes são feitos com base em tentativas, bem como no tempo de uso da máquina e na alta demanda de material. Por exemplo, caso esse método seja utilizado e haja muitos agregados a serem testados, será necessário produzir uma grande quantidade de mistura e realizar testes de compressão em uma quantidade significativa de blocos. Esse tipo de metodologia, que se baseia na avaliação das características da máquina para estudar as características mencionadas anteriormente, geralmente não produz resultados ideais, pois encontrar uma característica ideal que atenda a todas as características desejadas pode ser um processo difícil e demorado (FRASSON JÚNIOR, 2000).

De acordo com o método, a maioria dos fabricantes utiliza agregados grossos com diâmetro menor que 12,7mm. Isso ocorre porque o tamanho do agregado não pode ser maior que a espessura da parede dos blocos, que geralmente varia de 1,5 a 3 cm. Uma das recomendações do método é na combinação de agregados graúdos e miúdos o qual devem produzir uma mistura que passe completamente pela peneira de 9,5mm e retenha 20 a 30% na peneira de 4,8mm, visto que quando maior o Módulo de Finura, maior a resistência a compressão do bloco (FRASSON JÚNIOR, 2000).

Outra recomendação é para garantir uma mistura com boa trabalhabilidade e facilidade de compactação, a qual é importante que haja uma quantidade mínima de finos. Geralmente, cerca de 12-15% de finos passantes na peneira 0,3mm em relação à mistura total (incluindo o cimento) proporcionam resultados satisfatórios. No entanto, em alguns casos, pode ser necessário fazer ajustes dependendo do tipo de areia e forma do agregado graúdo, e esses teores podem variar até 18 e 20%. Quantidades menores aumentam a porosidade, absorção e permeabilidade e diminuem a estabilidade do bloco verde, enquanto quantidades maiores podem afetar negativamente a resistência mecânica dos blocos (FRASSON JÚNIOR, 2000).

Depois da recomendação de boas graduações, tipos de agregados, suas composições a serem utilizadas nos concretos “secos”, a metodologia Columbia para dosagem de blocos diz que o único modo de testar realmente a mistura adequada é produzindo concretos que variam o agregado graúdo (passante na peneira #9,5mm e retido na #4,8mm) de 25% a 55%, misturando-o com agregado fino e diferentes proporções de cimento (1:6; 1:7; 1:8; 1:9; 1:10; 1:11). Geralmente, segundo a metodologia, não mais que 40% de agregado graúdo na mistura é

necessário para o alcançar a máxima resistência mecânica das peças produzidas com uma certa quantidade de cimento, mas em alguns casos isto pode ser conseguido com apenas 25%. Misturas com excesso de finos demandarão mais pasta de cimento porque possuem maior superfície específica, então misturas que tem maior quantidade de agregados graúdos tendem a ter mais resistência mecânica (FRASSON JÚNIOR, 2000).

Portanto, para garantir a qualidade e segurança do material produzido, é importante aplicar os métodos de dosagem proposto por Columbia com cautela e sempre de acordo com as normas técnicas e recomendações dos fabricantes de concreto.

3.2. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO PELA BESSER COMPANY

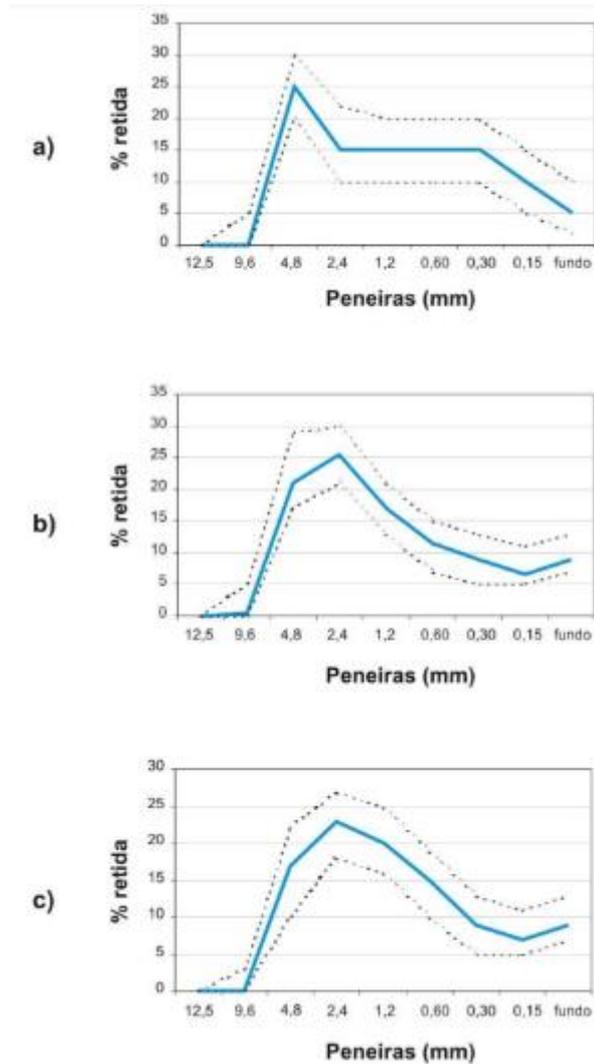
O método proposto pela Besser Company não é específico para agregados reciclados, podendo ser utilizado tanto com agregados naturais quanto reciclados. No entanto, a empresa destaca a importância de realizar testes prévios com os materiais utilizados, a fim de ajustar a dosagem de cimento e outros parâmetros de acordo com as características específicas de cada tipo de agregado.

O método de dosagem foi desenvolvido por Lucas E. Pfeifferberger, para blocos de concreto seco e adotado pelo fabricante de máquinas vibro-prensas, BESSER COMPANY. No entanto, Medeiros (1993), elaborou um procedimento similar mais adequado para as situações dos fabricantes do Brasil, utilizando equipamentos nacionais. A seguir serão comentados mais a fundo sobre o passo a passo da dosagem recomendada por esse método.

1. Proporcionamento entre os agregados:

Os agregados devem ser proporcionados de tal forma que a mistura resultante se enquadre nos limites práticos sugeridos por Pfeifferberger, em função do tipo de bloco a ser produzido (Figura 13).

Figura 13: Curva granulométrica de referência em função do tipo de bloco a ser produzido: a) bloco de densidade normal b) bloco leve c) bloco leve de textura lisa e bloco de densidade mediana.



Fonte: Pfeiffenberger (1985).

2. Determinação do traço piloto

Definidas as proporções entre os agregados, deve-se determinar o traço piloto a ser empregado no próprio equipamento, em função da resistência à compressão requerida. Segundo Medeiros (1993), os traços propostos estão sujeitos a influências de inúmeros fatores, tais como: o tipo de máquina vibro-prensa, as características dos materiais utilizados (cimento, areia e pedrisco), o emprego de cura a vapor, entre outros. Na Tabela 8, são apresentados valores sugeridos por Medeiros (1993), como um primeiro indicativo do traço a ser utilizado, em função da resistência média dos blocos.

Tabela 8: Traços sugeridos em função da resistência à compressão média aos 28 dias para blocos de 14,5 x 19,0 x 29,5 cm.

Resistência à compressão média	4,5 MPa	6,0 MPa	8,0 MPa	9,0 MPa
Traço seco (cimento:agregados)	1:9 a 1:12	1:8 a 1:10	1:7 a 1:9	1:6 a 1:8

Fonte: Medeiros, 1993.

Como o estudo em questão é voltado para blocos de concreto seco, sem a necessidade de ser estrutural, o traço a ser utilizado seria o 1:9 a 1:12 para blocos com resistência a compressão média até 4,5 Mpa.

3. Quantidade de água a ser empregada:

A quantidade de água utilizada na produção de blocos de concreto gira em torno de 6,0 a 7,5%, devendo ser definida na própria máquina vibro-prensa, quando da produção do traço piloto, dependendo dos materiais utilizados, do equipamento e do uso ou não de aditivos.

Em resumo, o método de dosagem proposto pela Besser Company é um método utilizado para a dosagem de concreto que se baseia na relação entre o tamanho máximo dos agregados e o teor de cimento. Segundo Medeiros (1993), o método define as seguintes especificações relacionada a dosagem de concreto.

1. Relação água/cimento: não especifica
2. Relação cimento/agregado: 1:9 a 1:12 para blocos sem função estrutural.
3. Teor de umidade máximo dos agregados reciclados: 6% a 7,5%;
4. Granulometria dos agregados: 0,15 -4,75 mm para agregados miúdos e 0,6 – 12,5mm para agregados graúdos.
5. A dosagem de cimento deve ser ajustada de acordo com a umidade do agregado;
6. Módulo de Finura: 3,60 a 3,75.

No método proposto pela Besser Company, é indicada a utilização de agregados miúdos e graúdos reciclados com granulometrias controladas, sendo que a faixa granulométrica recomendada é de 0,6 a 12,5 mm para os agregados graúdos e de 0,15 a 4,75 mm para os agregados miúdos.

O método também define as especificações necessárias para os agregados usados, bem como uma proporção inicial pré-determinada. Essa proporção geralmente é de 40% para pedrisco e 60% para areia média em peso, mas pode variar dependendo da análise

granulométrica dos materiais. Se houver uma falta de granulometria adequada, pode ser adicionado um terceiro material, como areia fina, para ajustar o M.F. da mistura, que deve estar entre 3,60 e 3,75 (FRASSON JÚNIOR, 2000)

Segundo Frasson Júnior (2000), o método proposto é simples e fácil de executar, consistindo em separar a mistura em grupos de peneiras com porcentagens retidas específicas para obter uma mistura compacta e uma textura fechada nos blocos. No entanto, é necessário ter agregados com granulometrias adequadas para o método funcionar corretamente. Caso não estejam disponíveis, é preciso adicionar um terceiro tipo de material que se enquadre nas faixas granulométricas dos grupos de peneiras propostos. É importante notar que o método não considera a contribuição do cimento como material fino, especialmente em traços mais ricos, para melhorar a compactidade da mistura, nem leva em conta os coeficientes de forma dos agregados. Sabe-se que estes dois fatores irão influenciar tanto a trabalhabilidade do bloco produzido quanto a compactidade que ele irá alcançar.

Segundo Neville (2013), o método de dosagem de Besser Company produz blocos de concreto seco com precisão e permite um controle rígido da sua resistência, permitindo flexibilidade no ajuste das proporções dos materiais para atender a requisitos específicos. No entanto, este método pode ser complexo e requer experiência, bem como investimento significativo em equipamentos e materiais.

Entre as vantagens, o método de dosagem proposto por Besser Company, a partir de proporções bem definidas dos materiais constituintes e aplicadas corretamente é capaz de produzir concretos com uma precisão satisfatória. Além disso, esse processo permite um controle mais rígido da resistência do concreto, resultando em propriedades mais consistentes e previsíveis do material produzido. Outra vantagem desse processo é a flexibilidade para ajustar as proporções dos materiais constituintes para atender aos requisitos específicos de resistência e durabilidade.

No entanto, como qualquer método, o método de dosagem proposto pela Besser Company também apresenta algumas desvantagens, como a sua complexidade, tornando o método mais demorado em comparação aos outros existentes, o que pode torná-lo menos conveniente para a produção de concreto em pequena escala. Como também, requer conhecimento especializado em relação aos materiais componentes e aos parâmetros de dosagem, o que pode dificultar sua implementação por operadores sem treinamento adequado.

Por fim, o método pode requerer um investimento mais elevado em equipamentos e materiais do que outros métodos de dosagem, o que pode resultar em um aumento de custos para a produção de concreto.

Em resumo, o método de dosagem proposto pela Besser Company pode ser uma opção viável para a produção de concreto seco em grande escala, especialmente quando se requer um controle rigoroso da resistência do material. No entanto, sua complexidade, a necessidade de conhecimento especializado e o custo podem ser desvantagens em relação a outros métodos de dosagem mais simples e acessíveis.

O método da Besser Company também enfatiza a importância da qualidade dos agregados reciclados, que devem ser limpos e isentos de impurezas para garantir a resistência e durabilidade dos blocos produzidos. Além disso, o método destaca a necessidade de ajustar a dosagem de acordo com as condições climáticas e o teor de umidade do agregado reciclado, a fim de garantir uma boa trabalhabilidade e resistência do concreto seco.

3.3. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO PELA ABCP

O método da ABCP para a produção de blocos de concreto seco com aplicação de agregados reciclados, proposto por Ferreira (1990) consiste basicamente em selecionar a proporção de agregados que possuam a máxima compactação possível, ainda que seja feita de forma empírica. De acordo com o método, as características do bloco vão depender do equipamento utilizado pelo fabricante e das variações das características dos agregados.

Para esse método, a formulação do concreto seco segue três passos: inicialmente, tem-se a determinação da melhor composição e proporção de agregados que em seguida são secos e são determinadas suas massas unitárias no estado seco, posteriormente com a determinação da quantidade de água e determinação da quantidade de cimento. O método propõe a comparação de massas que podem ser contidas em um recipiente padronizado e de volume conhecido.

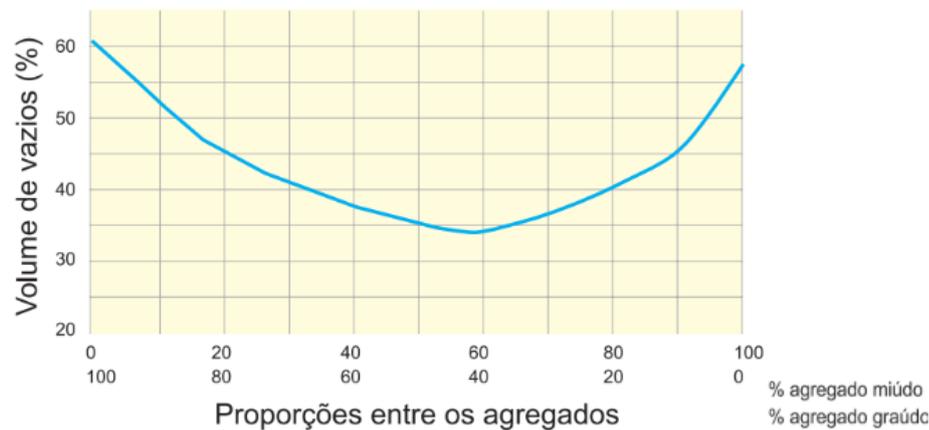
Procedimento de dosagem - identificação da mistura com maior massa:

- O procedimento envolve colocar os agregados previamente misturados no recipiente com quadro metálico já adaptado (com uma boca de 40x40 cm) e de volume conhecido, compactá-lo, remover o quadro, nivelar a superfície e pesar.

A composição que apresentar maior massa de acordo com a NBR 7810 (1983) será considerada a ideal;

- Com base nos resultados encontrados no referido ensaio, pode-se traçar uma curva semelhante à apresentada na Figura 14, determinando-se o ponto ótimo entre os dois agregados (ponto da mistura que apresenta o menor volume de vazios).

Figura 14: Curva para a determinação da composição entre agregados: menor volume de vazios



Fonte: Ferreira (1995)

- Caso haja mais de dois agregados, a composição com os dois agregados mais grossos deve ser determinada primeiro e, em seguida, a composição resultante com o agregado mais fino (PIOROTTI,1989).

Após a escolha da proporção ideal entre os agregados, é recomendado realizar testes em escala real utilizando equipamento de vibro-compressão para determinar a proporção adequada de cimento e agregados. De acordo com Ferreira (1995), a proporção cimento:agregados deve ser em torno de 1:6 para traços utilizados em blocos com maior resistência à compressão e de 1:10 a 1:15 para blocos com menor resistência. É sugerido que a quantidade de água utilizada seja a máxima possível, até que os blocos comecem a perder coesão e/ou aderir às paredes dos moldes, dificultando a desmoldagem. Para regular os tempos de produção, Ferreira (1995) recomenda que o tempo ideal de vibro-compressão seja o mínimo necessário para proporcionar blocos com máxima compactação e menor volume de vazios. O autor também oferece orientações para uma melhor mistura e cura adequada dos produtos neste manual de produção de blocos.

Entre as vantagens, o método de dosagem proposto pela ABCP é bastante simplificado e de fácil utilização quando se trata em produzir blocos de concreto seco com agregados reciclados em pequena escala e com altas resistências por ter como objetivo a máxima compactação. De acordo com Ferreira (1990), o processo requer menos equipamentos e materiais do que outros métodos existentes, resultando em uma economia de custos. Além disso, o método é rápido e pode ser aplicado em poucos minutos, aumentando a produtividade da produção de concreto.

Entretanto, como qualquer método, o método ABCP também apresenta algumas desvantagens como a limitação da precisão, onde pode não ser tão preciso quanto outros métodos de dosagem mais complexos, o que pode afetar a uniformidade e previsibilidade das características do concreto produzido. A limitação do controle de resistência, ou seja, não oferece um controle tão rigoroso sobre a resistência do concreto quanto outros métodos de dosagem, o que pode limitar sua aplicação em alguns casos. Por último, é sensível às características dos materiais utilizados, o que pode afetar a consistência e a resistência do concreto produzido (MALHOTRA, 2004).

No entanto, segundo Frasson Júnior (2000), em alguns casos a compactação máxima é alcançada sem a devida coesão exigida na mistura ao produzir os artefatos. Este método não leva em consideração a granulometria ou propriedades específicas dos agregados, e não é dado nenhum valor de referência para adoção, resultando muitas vezes em misturas compactas, mas pouco coesas. Outra desvantagem comprovada deste método é que o cimento adicionado à mistura não é usado para estudos de composição. Se o cimento for um fino que reduz o volume de vazios e é primordialmente importante para a coesão da mistura, há uma falha grave no processo.

Apesar das limitações, o método ABCP pode ser uma opção viável para a produção de concreto seco em pequena escala, especialmente quando se requer simplicidade, economia e rapidez na produção. Como destacado pela ABCP (2016), o método é amplamente utilizado no Brasil e tem se mostrado eficaz para atender às demandas da indústria da construção civil.

No método da ABCP, a granulometria dos agregados reciclados é controlada por meio de peneiras, sendo recomendado o uso de agregados graúdos com tamanho máximo de 9,5 mm e miúdos com tamanho máximo de 4,8 mm.

3.4. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR IPT/EPUSP

Método IPT/EPUSP proposto por Tango (1994) é uma adaptação para produção de concretos secos, cujo desenvolvimento pode ser verificado nos seguintes itens:

1. Definição do traço em massa e quantidade de cimento.

Para a formulação do concreto utilizando esta massa e quantidades relativas ao cimento, no seguinte formato:

1 : a : p : x (cimento : areia : pedra : água)

Onde a é o teor de agregado, p é o teor de agregado graúdo e x a relação a/c.

De acordo com o método proposto, a proporção de argamassa é estabelecida e o teor de água/materiais secos (H), são determinados pelas equações abaixo.,

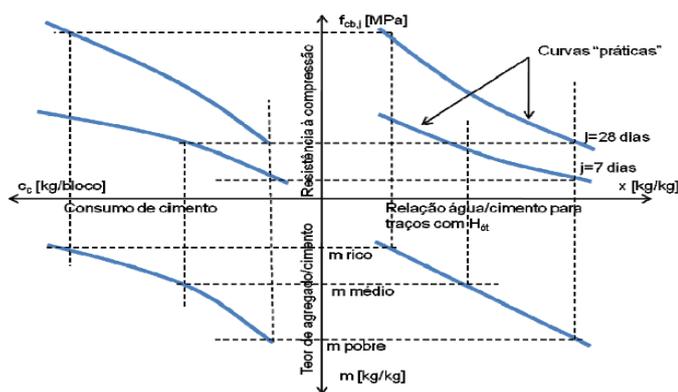
$$\alpha = \frac{(1+a)}{(1+a+p)} = \frac{(1+a)}{(1+m)} \quad (1)$$

$$H = \frac{x}{(1+a+p)} = \frac{x}{(1+m)} \quad (2)$$

O método desenvolvido por Tango (1994) para dosagem de concreto seco envolve seis etapas: ajuste dos agregados utilizados, determinação da resistência média almejada, estimativa da relação agregado/cimento, estabelecimento da proporção adequada de argamassa e umidade ótima, realização de misturas experimentais e elaboração do diagrama de dosagem.

Por fim, com os dados de resistência mecânica à compressão obtidos com os experimentos, é possível traçar o diagrama de dosagem como a Figura 15 abaixo e, desse modo, facilitar a obtenção de outros traços, mantendo as condições pesquisadas.

Figura 15: Diagrama de dosagem IPT adaptado para concreto seco.



Fonte: Tango (1994)

De acordo com a literatura, o método de dosagem desenvolvido pelo IPT/EPUSP é bastante utilizado na produção de elementos pré-moldados e pré-fabricados de concreto seco. No entanto, esse método não apresenta uma especificação específica para a utilização de agregados reciclados. De acordo com Tango (1994), o método baseia-se em diversos fatores, como a relação água-cimento, a consistência e a densidade dos agregados miúdos e graúdos, bem como outras propriedades relevantes para a produção de concreto.

Entre as vantagens, o método de dosagem proposto pelo IPT/EPUSP apresenta alta precisão na dosagem do concreto seco, produzindo blocos com alta qualidade e resistência do material, isso é possível devido a utilização de equações matemáticas complexas para o cálculo das dosagens dos materiais utilizados levando em consideração fatores como a resistência do concreto necessária e a sensibilidade dos materiais utilizados (TANGO, 1994) Além disso, o método IPT/EPUSP permite um controle rigoroso da resistência do concreto produzido, conforme destacado por (TANGO, 1994) Isso se deve ao fato de que as proporções dos materiais são calculadas com base em ensaios de caracterização dos agregados e do cimento, além de testes de resistência do concreto em diferentes idades. Ademais, o método possibilita a utilização de diversos tipos de agregados, o que aumenta sua flexibilidade.

No entanto, conforme destacado por Frasson Júnior (2000) o método do IPT/EPUSP requer alto grau de expertise e equipamentos especializados para sua aplicação. Além disso, esse método pode ser mais complexo e demorado do que outros métodos de dosagem, o que pode afetar a produtividade da produção de concreto.

Apesar das limitações, o método IPT/EPUSP é amplamente utilizado na indústria da construção civil brasileira, especialmente para a produção de concreto com alta resistência e durabilidade. Como destacado por Frasson Júnior (2000) o método é considerado referência em qualidade na produção de concreto seco.

Em resumo, o método IPT/EPUSP é uma opção viável para a produção de blocos de concreto seco em grande escala, especialmente quando se requer precisão e controle rigoroso da resistência do concreto produzido. Entretanto, mesmo não sendo especificado a utilização de agregado reciclado no método de dosagem, este se aplica bem para qualquer tipo de agregado, considerando todos os testes para a aplicação da equação matemática adequada e considerando as propriedades dos agregados utilizados.

Para esse método é indicado a utilização de agregados reciclados com granulometria controlada, sendo que a faixa granulométrica recomendada é de 0,15 a 9,5 mm para os agregados miúdos e de 9,5 a 19 mm para os agregados graúdos. Já a relação a/c recomendada varia de 0,35 a 0,45.

3.5. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR FRASSON JÚNIOR

Frasson Júnior (2000) propõe uma metodologia de dosagem para blocos de concreto seco com agregados reciclados com base na moldagem, em laboratório, de corpos-de-prova cilíndricos 5 x 10 cm, buscando-se alcançar a mesma massa específica (volume de vazios) dos blocos moldados no próprio equipamento de vibro-compressão. Segundo o referido autor, através destes corpos-de-prova, consegue-se prever, com boa segurança, características importantes como coesão, textura superficial e, até mesmo, resistência à compressão.

A seguir, serão descritos os procedimentos básicos para aplicação da referida metodologia.

1. Proporcionamento entre os agregados:

O agregado miúdo a ser empregado ou o proporcionamento entre agregados miúdos deve apresentar um módulo de finura entre 2,20 a 2,80 e uma percentagem passante na peneira 0,3 mm em torno de 25 a 35%, para obter uma coesão adequada à produção.

As proporções entre agregados graúdo e miúdo são definidas por tentativas, mediante a moldagem de corpos-de-prova cilíndricos de 5 x 10 cm, empregando-se um traço médio (1: 9), avaliando-se as características superficiais dos corpos-de-prova e determinando-se seus respectivos valores de coesão, segundo o ensaio proposto por Frasson Júnior (2000). Geralmente, as proporções entre agregados encontram-se por volta de 20 a 40% de agregado graúdo para 80 a 60% de agregado miúdo, dependendo dos materiais empregados, das características superficiais exigidas pelo mercado e do tipo de equipamento de vibro-compressão empregado.

2. Moldagem dos corpos-de-prova empregando-se traços com diferentes consumos de cimento:

Após a determinação do proporcionamento entre os agregados, deve-se definir uma umidade média a ser empregada (entre 6 e 7%) na moldagem dos corpos-de-prova. Estes são moldados em quatro camadas equivalentes, em um molde tripartido de 5 x 13 cm, empregando-

se 20 golpes por camada com auxílio de um martelo de borracha, de modo que a altura fique em torno de 10,3 cm. O acabamento e compactação final dos corpos-de-prova, para que os mesmos alcancem a altura de 10 cm, é feito através de um tarugo de nylon, comprimido por golpes empregando-se um martelo de borracha. O valor da massa dos corpos-de-prova, segundo o método proposto, é definido antecipadamente para que, após a compactação, consiga-se um concreto com uma dada massa específica.

A fim de se abranger a faixa de resistência comumente empregada para blocos de concreto (4,5 a 12 MPa), a metodologia preconiza que sejam moldados 4 corpos-de-prova para três massas específicas distintas, compreendidas entre 1,9 a 2,25 Kg/m³, e nas proporções de 1:7, 1:9 e 1:11(cimento: agregados), resultando em um total de 36 corpos-de-prova.

3. Cura dos corpos-de-prova:

A cura dos corpos-de-prova pode ser executada juntamente com os blocos (câmara de cura), quando o estudo de dosagem for realizado na própria fábrica, ou em caixas de isopor, para evitar a perda excessiva de umidade, o que comprometeria a hidratação do cimento. Após 24 horas, os corpos-de-prova são retirados para identificação e devidamente armazenados (cura ao ar) até o momento do ensaio.

4. Estimativa da resistência média dos blocos em função da resistência característica:

Quando não se dispuser de valores de coeficiente de variação para a fábrica em questão, Frasson Júnior (2000) propôs alguns coeficientes, apresentados na Tabela 9, em função do tipo de proporcionamento (massa, vazão ou volume), dos equipamentos disponíveis, do controle do processo produtivo e da experiência do pessoal encarregado da produção.

Tabela 9: Condição e tipo de controle a ser avaliado para encontrar o provável coeficiente de variação de uma fábrica.

Tipo de controle / equipamento na produção	Condição (valores de coeficiente de variação %)		
	Bom	Médio	Ruim
1 - Controle do processo e pessoal treinado	5	15	25
2 - Equipamentos: máquinas vibroprensas e sensores de unidade	5	15	25
3 - Dosagem em massa	5	10	15
4 - Dosagem em volume	10	15	20

Fonte: Frasson Júnior (2000)

Definidos os valores de cada item apresentado na Figura 4, é feita uma média aritmética para determinação do coeficiente de variação a ser aplicado na expressão abaixo:

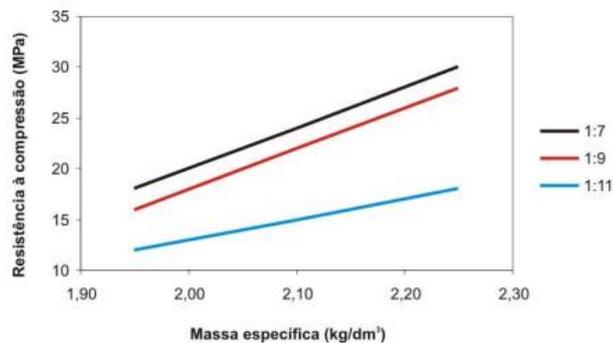
$$F_{bm} = F_{bk} / (1 - 1,65 * CV) \quad (3)$$

Onde: F_{bm} = Resistência média dos blocos na idade de interesse (considerando a área bruta); F_{bk} = Resistência característica na idade de interesse; CV = Coeficiente de variação.

5. Determinação do traço a ser empregado:

Com os resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos de 5 x 10 cm, são traçadas curvas de resistência em função das massas específicas, para cada proporção empregada (1:7, 1:9 e 1:11), conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16: Resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos (5 x 10 cm) x peso específico no estado verde para as diferentes proporções empregadas.



Fonte: Frasson Júnior (2000)

Determinando-se a massa específica, alcançada para os blocos de concreto no próprio equipamento de vibro-compressão, e com auxílio das curvas de resistência x massa específica referidas anteriormente (Figura 16), consegue-se definir o nível de resistência dos corpos-de-prova cilíndricos (5 x 10 cm). Com a resistência dos corpos-de-prova cilíndricos, consegue-se prever a resistência média dos blocos através da seguinte expressão.

$$F_{bm} = \frac{f_{cp}}{\beta} * \frac{A_{liq.}}{A_{brut.}} \quad (4)$$

Onde, f_{cp} = Resistência média dos corpos-de-prova cilíndricos 5 x 10 cm; $A_{liq.}$ = Área líquida dos blocos; $A_{brut.}$ = Área bruta dos blocos; β = Coeficiente de proporcionalidade = 0,8 para blocos de 14x19x39 cm.

Em função da resistência característica desejada e, conseqüentemente, da resistência média definida anteriormente, define-se o traço a ser empregado em escala real de produção, avaliando-se, posteriormente, a resistência à compressão real dos blocos para eventuais ajustes.

O método define as seguintes especificações relacionada a dosagem de concreto seco com a utilização de agregados reciclados e naturais:

1. Módulo de finura: entre 2,6 e 3,1 para agregados reciclados e entre 2,2 e 2,8 para agregados naturais.
2. Massa específica do agregado: entre 1,3 e 2,2 g/cm³ para agregados reciclados e entre 2,4 e 2,8 g/cm³ para agregados naturais.
3. Porcentagem de material fino: no máximo 2% para agregados reciclados e no máximo 1% para agregados naturais.
4. Porcentagem de material pulverulento: no máximo 5% para agregados reciclados e no máximo 1% para agregados naturais.
5. Porcentagem de impurezas orgânicas: no máximo 0,2% para agregados reciclados e no máximo 0,1% para agregados naturais.
6. Além disso, o método utiliza uma relação água-cimento de 0,35 a 0,45 e um teor de umidade entre 6% e 7% para o agregado reciclado
7. Faixa granulométrica para o agregado miúdo entre 0,15 mm e 4,8 mm, e para o agregado graúdo entre 4,8 mm e 25 mm;

O método de dosagem desenvolvido por Frasson Júnior apresenta diversas vantagens, incluindo a possibilidade de utilizar agregados reciclados, o que resulta em menor impacto ambiental e redução de custos. Além disso, os blocos de concreto produzidos apresentam boa resistência mecânica e durabilidade. A dosagem é simples e de baixo custo, baseada apenas na análise granulométrica dos agregados e na determinação da massa unitária, sem a necessidade de equipamentos especializados para a produção dos blocos de concreto seco.

No entanto, assim como qualquer método de dosagem, ele também apresenta algumas desvantagens, como a variação da qualidade e homogeneidade do concreto produzido por não levar em consideração as características químicas do agregado reciclado e pela variabilidade da qualidade do agregado reciclado, respectivamente.

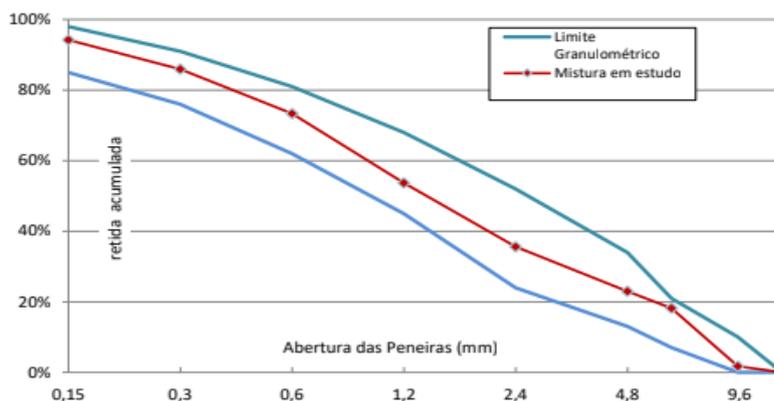
Por fim, o método proposto por Frasson Junior apresenta uma alternativa interessante para a produção de concreto seco com agregado reciclado, especialmente para aplicações em que a

resistência mecânica e durabilidade são requisitos importantes. No entanto, é importante considerar suas limitações e adequar a dosagem às necessidades específicas de cada obra.

3.6. MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR FERNANDES

Esse método é adotado pela fábrica de vibro-prensas Menegotti e é bastante simples e empírico. Sua metodologia baseia-se em combinação de agregados graúdo e miúdo a fim de se obter uma curva granulométrica que esteja dentro dos limites das curvas utilizadas como referência. Esse método é semelhante ao de Pfeiffenberger (1985), sendo que os limites granulométricos são diferentes. Por exemplo, para composição do traço pode-se usar uma areia fina, uma areia grossa e pedrisco, caso a mistura resultante se enquadre na faixa granulométrica pré-estabelecida (Figura 17), a mistura de agregados pode ser considerada adequada para produção de blocos estruturais. A umidade da mistura deve ser determinada em fábrica no momento da produção dos blocos e, geralmente, depende da sensibilidade do operador. Para dosagem do cimento é necessário variar a quantidade de cimento para que relação cimento: agregados variam entre 1:4 a 1:20, a depender da resistência à compressão desejada. Segundo o autor, as resistências para essas proporções devem variar de 3,0 MPa a 20,0 MPa.

Figura 17: Limite granulométrico de referência proposto e exemplo de uma composição de agregados qualquer.



Fonte: Fernandes (2016)

O método de dosagem proposto por Fernandes (2016), para a produção de blocos de concreto seco com agregados reciclados pode ser descrito a partir dos seguintes passos:

1. Seleção dos agregados reciclados: os agregados reciclados devem ser selecionados com base nas suas características físicas e mecânicas, como densidade, absorção de água, teor de impurezas, entre outros.

2. Dosagem dos materiais: a dosagem dos materiais é feita com base em um estudo prévio das características dos agregados reciclados, definindo-se as proporções de cimento, areia, água e aditivos necessários para a obtenção de um concreto de qualidade.
3. Mistura dos materiais: a mistura dos materiais é feita em um misturador, seguindo as proporções definidas na etapa anterior, até que a mistura esteja homogênea.
4. Moldagem dos blocos: a moldagem dos blocos é feita em uma prensa hidráulica, utilizando-se moldes com as dimensões desejadas. Os blocos são compactados com uma determinada pressão para garantir a sua resistência mecânica.
5. Cura dos blocos: os blocos são mantidos em uma câmara de cura com temperatura e umidade controladas por um período de tempo determinado para garantir a sua resistência e durabilidade.
6. Teste de resistência: após a cura, são realizados testes de resistência dos blocos para avaliar a sua qualidade e conformidade com as normas técnicas.

O método de dosagem proposto por Fernandes para a fabricação de blocos de concreto seco com agregados reciclados é um método bastante utilizado na indústria da construção civil, devido à sua simplicidade e eficiência (FERNANDES, 2016).

Entre as vantagens, o método de dosagem proposto por Fernandes apresenta a capacidade de utilizar agregados reciclados, o que contribui para a redução do impacto ambiental, além de reduzir o custo do material. Além disso, o método utiliza uma mistura seca, o que diminui o tempo de cura do concreto, permitindo uma maior rapidez na produção dos blocos. O método é simples e empírico, o que facilita sua aplicação em larga escala. Além disso, não é necessário o uso de equipamentos ou cálculos complexos, o que pode reduzir os custos de produção.

No entanto, assim como qualquer método de dosagem, ele também apresenta algumas desvantagens, como a necessidade de uma mistura homogênea e uma cura adequada para garantir a resistência e durabilidade dos blocos. Além disso, o método é baseado em experiências práticas, o que pode levar a uma variação na qualidade dos blocos produzidos, dependendo da experiência do operador e das características dos agregados utilizados. Não há um controle rigoroso da dosagem, o que pode afetar a resistência e durabilidade do concreto

produzido. Por fim, a curva granulométrica obtida pode não ser ideal para todos os tipos de concreto, o que pode limitar a aplicação do método em algumas situações.

Em resumo, o método de dosagem desenvolvido por Fernandes é uma alternativa adequada para a produção de blocos de concreto seco utilizando agregados reciclados, desde que sejam seguidos os procedimentos adequados. É importante destacar que esse método é específico para essa finalidade e que as normas técnicas e de segurança devem ser rigorosamente respeitadas em todas as fases da produção.

No método de dosagem proposto por Fernandes, é indicada a utilização de agregados reciclados com granulometria controlada, sendo que a faixa granulométrica recomendada é de 4,75 a 19 mm para os agregados graúdos e de 0,15 a 4,75 mm para os agregados miúdos (FERNANDES, 2016). Além disso, sua recomendação em relação a/c varia de 0,40 a 0,45, e cimento/agregado de 1:4 a 1:20.

4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS DIFERENTES MÉTODOS

Como visto no tópico anterior, existem diferentes métodos de dosagem utilizados para a preparação de concreto ou blocos de concreto seco. Cada método tem suas próprias características, vantagens e desvantagens que serão descritas a seguir.

No entanto, as metodologias convencionais utilizadas na dosagem de concretos secos são baseadas principalmente em abordagens empíricas para minimizar a porosidade da mistura. Isso é feito por meio de ensaios diretos que buscam maximizar a massa de partículas capazes de preencher um volume fixo, ou por meio da adaptação da curva granulométrica utilizando materiais locais para se adequar a curvas padronizadas fornecidas por fabricantes de equipamentos.

Além disso, para avaliar a eficiência das formulações, geralmente são necessários testes na linha de produção. Isso ocorre devido à dependência entre a capacidade de compactação do equipamento e a compactidade das peças produzidas. No entanto, essa necessidade de testes na linha de produção acaba criando obstáculos para a realização de pesquisas nessa área. Cada novo teste implica em custos associados à parada da produção e também aumenta os riscos de falhas relacionadas às formulações experimentadas.

O método de dosagem de Columbia tem como principais fatores estudados a Granulometria, Teor de umidade, Resistência a Compressão, Trabalhabilidade e Porosidade, e estão diretamente relacionadas as características dos materiais que serão utilizados e nas propriedades desejáveis nos blocos de concreto. Algumas vantagens que podem ser observadas é que este método proporciona uma dosagem precisa, levando em consideração as características dos agregados. Ele resulta em misturas mais homogêneas, com boa trabalhabilidade e facilidade de compactação. Por outro lado, as desvantagens do método estão relacionadas a um grande gasto de material, por ser baseado em princípios empíricos e não oferece controle direto sobre a resistência. Além disso, pode ser um processo demorado. Por fim, vale ressaltar que o método é recomendado para a produção de concreto com boa resistência, trabalhabilidade e capacidade de compactação e pode ser aplicado na fabricação de blocos de concreto seco com qualquer tipo de agregado.

Algumas recomendações que o método faz em relação a composição da mistura para a produção dos blocos que se adequem as recomendações da NBR 6136/2016, são apontados a seguir: Teor de Umidade Ótima: Varia entre 5% a 5,5%. Isso significa que para obter as

melhores propriedades de mistura, o teor de umidade do concreto deve ser mantido nessa faixa específica. Granulometria Miúdo: A granulometria do material miúdo, como areia, é dividida em três faixas de tamanho de partícula: 0-2,36 mm, 2,36-4,75 mm e 4,75-9,5 mm. Essa distribuição de tamanho ajuda a obter uma mistura adequada. Granulometria Graúdo: A granulometria do material graúdo, como pedras britadas, também é dividida em três faixas de tamanho de partícula: 9,5-19 mm, 19-25 mm e 25-37,5 mm. Essa variedade de tamanhos contribui para a resistência e trabalhabilidade do concreto. Relação Cimento/Agregado: A relação cimento/agregado recomendada varia de 1:5,5 a 1:6. Isso significa que, para cada parte de cimento, são utilizadas de 5,5 a 6 partes de agregados. Essa proporção influencia nas características finais do concreto. Módulo de Finura: O módulo de finura recomendado está na faixa de 2,3 a 3,1. O módulo de finura é uma medida da distribuição do tamanho das partículas dos agregados e afeta diretamente as propriedades do concreto.

O método de dosagem de Besser Company tem como principais fatores estudados o módulo de finura e máxima compactação, como visto no método de Columbia, o método também se preocupa com as características dos agregados utilizados na composição da mistura e nas características dos blocos a serem produzidos. Algumas vantagens que podem ser citadas é que esse método oferece precisão na dosagem e controle da resistência, por apresentar uma curva granulométrica na sua proporção de agregados e é simples e fácil de ser testado. Já em relação às desvantagens, o método não considera o teor de cimento como um material fino que pode influenciar na trabalhabilidade do concreto. Por fim, vale ressaltar que o método é adequado para a produção em larga escala de concreto seco, especialmente quando se deseja obter concretos com altas resistências e pode ser aplicado na fabricação de blocos de concreto seco com qualquer tipo de agregado.

As recomendações que este método faz em relação a composição da mistura para a produção dos blocos se adequem as recomendações da NBR 6136/2016, e são apontados a seguir: Teor de Umidade Ótima: Recomenda-se um teor de umidade ótima entre 6% e 7,5%. Granulometria Miúdo: A granulometria do material miúdo deve estar na faixa de 0,15 a 4,75 mm. Granulometria Graúdo: A granulometria do material graúdo deve variar de 0,6 a 12,5 mm. Relação Cimento/Agregado: A relação cimento/agregado recomendada varia de 1:9 a 1:12. Módulo de Finura: O módulo de finura indicado está na faixa de 3,60 a 3,75.

O método de dosagem de ABCP tem como os principais fatores estudados a proporção de agregados e massa específica, com proporções de máxima compactação, característica com

grande preocupação com a composição dos materiais utilizados. As vantagens observadas neste método são caracterizadas pela sua simplicidade e economia. Já em relação as desvantagens, sabe-se que sua precisão pode ser comprometida, pois não oferece um controle direto da resistência e é sensível às características dos materiais utilizados. As misturas tendem a ser compactas e pouco coesas. Por fim, vale ressaltar que é indicado para produção em pequena escala, sendo adequado para a fabricação de blocos de concreto seco com qualquer tipo de agregado.

Já em relação as recomendações, o método explica em relação a composição da mistura para a produção dos blocos que se adequem as recomendações da NBR 6136/2016, que são apontados a seguir: Teor de Umidade Ótima: A faixa recomendada para o teor de umidade ótima é de 5% a 6%. Granulometria Miúdo: O tamanho máximo do material miúdo deve ser de 4,8 mm. Granulometria Graúdo: O tamanho máximo do material graúdo deve ser de 9,5 mm. Relação Cimento/Agregado: A relação cimento/agregado varia de 1:6 para altas resistências a 1:10 a 1:15 para resistências menores.

O método de dosagem de IPT / EPUSP tem como principais fatores estudados o Teor de Umidade e a Relação Cimento/Agregado. As vantagens observadas neste método é a precisão e permite um controle rigoroso da massa. É flexível e utiliza equações complexas para a dosagem. Já em relação as desvantagens, o método apresenta custos mais elevados, complexidade e limitações de aplicação. Vale ressaltar que o método é recomendado para a produção em larga escala de concreto com alta resistência e durabilidade e pode ser aplicado na fabricação de blocos de concreto seco com qualquer tipo de agregado.

Com isso, algumas recomendações são feitas pelo método em relação a composição da mistura para a produção dos blocos que se adequem as recomendações da NBR 6136/2016, que são apontados a seguir: Teor de Umidade Ótima: Não foi especificado um valor específico para o teor de umidade ótima. Granulometria Miúdo: A granulometria do material miúdo deve variar de 0,15 a 9,5 mm. Granulometria Graúdo: A granulometria do material graúdo deve estar na faixa de 9,5 a 19 mm. Relação Cimento/Agregado: A relação cimento/agregado recomendada varia de 1:6 a 1:11.

O método de dosagem de Fernandes tem como principais fatores estudados a Granulometria, Massa unitária e Teor de Umidade. As vantagens desse método estão na simplicidade, custos reduzidos e adaptabilidade. Já em relação as desvantagens, o método

podem apresentar variação na qualidade dos resultados, ausência de controle direto e limitações relacionadas à granulometria. Vale ressaltar que é adequado para a produção em larga escala, com controle rigoroso da resistência e é recomendado para a dosagem de concretos com agregados reciclados.

O autor faz algumas recomendações em relação a composição da mistura para a produção dos blocos que se adequem as recomendações da NBR 6136/2016, que são apontados a seguir: Teor de Umidade Ótima: Não foi especificado um valor específico para o teor de umidade ótima. Granulometria Miúdo: A granulometria do material miúdo deve variar de 0,15 a 4,75 mm. Granulometria Graúdo: A granulometria do material graúdo deve estar na faixa de 4,75 a 19 mm. Relação Cimento/Agregado: A relação cimento/agregado varia de 1:4 a 1:20.

Por fim, o método de dosagem de Frasson Júnior tem como principais fatores estudados a massa específica, coesão, textura e resistência a compressão. Algumas vantagens que podem ser avaliadas é a resistência mecânica, durabilidade, simplicidade, rapidez e economia. Já em relação às desvantagens, o método não apresenta a precisão da resistência do bloco devido à ausência de controle direto. Vale ressaltar que o método é adequado para a dosagem de concretos com agregados reciclados, priorizando a resistência mecânica e durabilidade.

Assim como os demais, o método também aponta algumas recomendações em relação a composição da mistura para a produção dos blocos que se adequem as recomendações da NBR 6136/2016, que são apontados a seguir: Teor de Umidade Ótima: Recomenda-se um teor de umidade ótima entre 6% e 7%. Granulometria Miúdo: A granulometria do material miúdo deve variar de 0,15 a 4,8 mm. Granulometria Graúdo: A granulometria do material graúdo deve estar na faixa de 4,8 a 25 mm. Relação Cimento/Agregado: As relações cimento/agregado recomendadas são 1:7, 1:9 e 1:11. Módulo de Finura: O módulo de finura varia de 2,20 a 2,80.

Com isso, é fácil perceber que os métodos aqui estudados foram propostos para a produção de blocos de concreto seco com agregados naturais, com exceção dos métodos de Frasson Júnior e Fernandes que, por serem mais atuais, apresentam algumas especificações para os agregados reciclados, como o melhor proporcionamento.

Visto isso, é possível concluir que todos os métodos contêm recomendações para granulometria de agregados reciclados, mas a faixa de tamanho dos agregados (miúdos e graúdos) difere entre eles. A seleção adequada de agregados deve levar em conta as propriedades mecânicas e físicas exigidas para o concreto seco com agregados reciclados.

Outros métodos também consideram o teor de umidade dos agregados reciclados na dosagem do concreto seco. Por exemplo, um método sugerido pela Besser Company recomenda secar os agregados antes de misturar e medir a umidade ao misturar o concreto. No entanto, o método proposto pela ABCP indica que é necessário medir o teor de umidade do agregado e ajustar o teor de umidade da mistura em conformidade. O método IPT também leva em consideração o teor de umidade dos agregados durante a dosagem.

Bem como, vê-se que todos os métodos estudados são empíricos e dependem fundamentalmente de testes como mencionado na introdução deste trabalho. Porém, à medida que alguns métodos fazem recomendações de faixas granulométricas, onde afirmam que suas misturas darão boas resistências e texturas superficiais, como o Método de Columbia, Besser Company e Fernandes, os outros (Frasson Jr., IPT/EPUSP e ABCP) se baseiam na proporção dos agregados que apresentam a maior massa unitária possível, considerando essa como composição ideal, e tornando esses métodos mais empíricos em comparação aos 3 citados anteriormente e resultando em misturas mais compactas, porém não garantem a máxima coesão. Além disso, o método IPT/EPUSP se destaca por possuir equações mais complexas para as suas dosagens, bem como pela utilização de corpos de prova para os testes de composição ideal e, desse modo, garantir que não precise ser produzido o bloco para concluir se a mistura funcionou ou não, o que proporciona um menor gasto de material para os testes.

Cada método de dosagem tem sua própria formulação e procedimento para atingir a resistência desejada do concreto. Em geral, todos os métodos visam garantir a proporção adequada de cimento, agregado reciclado e água para obter resistência suficiente. Alguns métodos, como o método de Besser Company, concentram-se na produção de blocos de concreto resistentes e duráveis. Outros, como Columbia e IPT/EPUSP, podem ajustar as proporções de material de acordo com a qualidade e quantidade de agregado RCD disponível para acomodar diferentes resistências. Finalmente, o método Frasson Junior visa alcançar resistência mecânica e durabilidade suficientes. Em resumo, cada método aborda a resistência do concreto de uma maneira diferente, mas tenta garantir que a mistura resultante atenda aos requisitos de resistência de sua aplicação específica.

Com base na análise comparativa, todas as observações citadas é apresentada na Tabela 10 com principais fatores estudados pelos métodos de dosagem e suas vantagens e desvantagens para escolha final da produção de blocos de concreto seco e, em seguida, é apresentada a Tabela 11 com as recomendações de todos os métodos de dosagem estudados em relação as

propriedades que influenciam as características dos blocos de concreto seco com a aplicação de agregados reciclados.

Tabela 10: Síntese dos métodos de dosagem estudados

Métodos de Dosagem	Principais Fatores Estudados	Vantagens	Desvantagens	Observações	Especificações
Columbia	Granulometria, Teor de umidade, Resistência a Compressão, Trabalhabilidade e Porosidade	Precisão, Preocupação com as características do agregados. Misturas mais homogêneas e com boa trabalhabilidade. Facilidade de Compactação	Grande gasto de material, Empírico, Ausência de controle sobre a resistência, Demorado.	Concreto com boa resistência, trabalhabilidade e compactação.	Blocos de concreto seco com qualquer tipo de agregado
Besser Company	Módulo de Finura, Teor de Cimento e Máxima Compacidade	Precisão, Controle de resistência, simples e fácil de ser testada.	Não prevê o cimento como material fino que irá influenciar na trabalhabilidade do concreto.	Concreto seco em larga escala. Concretos com altas resistências	Blocos de concreto seco com qualquer tipo de agregado
ABCP	Proporção de Agregados e Massa Específica	Simplicidade, Economia.	Precisão, Controle de Resistência e Sensibilidade aos Materiais. Misturas Compactas e pouco Coesas.	Produção em pequena escala.	Blocos de concreto seco com qualquer tipo de agregado
IPT / EPUSP	Teor de Umidade e Relação Cimento/Agregado	Precisão, Controle Rigoroso da massa, Flexibilidade, Utilização de Equações Complexas para Dosagem.	Custos, Complexibilidade, Limitações de Aplicação.	Alta resistência e durabilidade, produção em larga escala.	Blocos de concreto seco com qualquer tipo de agregado
Fernandes	Granulometria, Massa unitária e Teor de Umidade.	Simplicidade, Custos Reduzidos e Adaptável.	Variação de qualidade, Ausência de Controle, Granulometria	Produção em larga escala, controle rigoroso da resistência.	especifico para agregados reciclados
Frasson Júnior	Massa específica, coesão, textura e resistência a compressão	Resistência mecânica e durabilidade, Simplicidade, Rapidez e Economia.	Precisão de resistência do bloco, Ausência de Controle.	Resistência Mecânica e durabilidade como requisitos importantes.	especifico para agregados reciclados

Fonte: Autor (2023)

Tabela 11: Síntese das recomendações dos métodos de dosagem estudados

Métodos de Dosagem	Teor de Umidade Ótima	Granulometria		Relação Cimento/Agregado	Módulo de Finura
		Miúdo	Graúdo		
Columbia	5% a 5,5%	0-2,36 mm, 2,36-4,75 mm e 4,75-9,5 mm	9,5-19 mm, 19-25 mm e 25-37,5 mm	1:5,5 a 1:6	2,3 a 3,1
Besser Company	6% - 7,5%	0,15 - 4,75 mm	0,6 - 12,5 mm	1:9 a 1:12	3,60 a 3,75
ABCP	5% - 6%	máx. 4,8 mm	máx. 9,5 mm	1:6 para altas resistências e 1:10 a 1:15 resistências menores	Não Especifica
IPT / EPUSP	Não Especifica	0,15 - 9,5 mm	9,5 - 19 mm	1:6 a 1:11	Não Especifica
Fernandes	Não Especifica	0,15 - 4,75 mm	4,75 - 19 mm	1:4 a 1:20	Não Especifica
Frasson Júnior	6% - 7%	0,15 - 4,8 mm	4,8 - 25 mm	1:7, 1:9 e 1:11	2,20 a 2,80

Fonte: Autor (2023)

4.1. PRODUÇÃO DE AUTORES UTILIZANDO MÉTODOS DE DOSAGEM

Com base nos métodos estudados, foram reunidos na Tabela 12, algumas produções de outros autores que utilizaram concretos seco e seguiram algum tipo de metodologia de dosagem, bem como a composição ideal das misturas utilizadas.

Tabela 12: Composições de concreto seco de diversos autores

Autor	Método de dosagem	Aplicação	Proporções	Umidade ótima da mistura	Traço	Cimento	Módulo de Finura
Pirola (2011)	Frasson Júnior	Intertravado	20 a 40% de agregado graúdo e 80 a 60% de agregado miúdo	7%	1:5	CP V	2,20 a 2,80
Sipres (2019)	IPT	Intertravado	areia natural de quartzo, pó de pedra natural, e RCD.	Não específica	Não específica	CP V	2,90 a 3,50
Simieli et al. (2007)	Não específica	Intertravado	Pedrisco, areia média e fina lavada, e agregado reciclado de concreto	4%	1:2,36:1,81	CP V	2,60
Leal (2018)	Oliveira (2004)	Intertravado	Areia Natural, Areia de RCD e Pó de pedra e Pedrisco. (10%, 20% e 30%)	7%-8%	Não específica	CP V	2,90 a 3,50
Pereira (2015)	Fernandes, Besser Company e Frasson	Bloco de concreto	pó-de-pedra, da areia natural, Agregado reciclado	8%	1:8,35 e 1:8,79, 1:8,84	CP III RS	3,0 a 4,0

Fonte: Autor (2023)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de abordagem teórica realizada neste estudo analisou os métodos de dosagem utilizados na produção de blocos de concreto seco com a incorporação de agregados reciclados, e buscou-se apresentar as vantagens, desvantagens e recomendações dessas metodologias. De acordo com as análises dos estudos, pode-se afirmar que a produção desses blocos é influenciada por diversos fatores que precisam ser avaliados de forma integrada para que a dosagem seja bem sucedida e confiável, como a eficiência do máquina vibro-prensa utilizada, pois como visto no decorrer do trabalho, a eficiência do equipamento na confecção dos blocos afeta diretamente na resistência a compressão desse material e as características dos materiais que serão escolhidos para a mistura, pois afetam diretamente as propriedades dos blocos de concreto.

Além disso, através da análise comparativa, foi possível afirmar que todos os métodos são válidos, ou seja, todos eles apresentam características únicas ou introduzem importantes conceitos para a fabricação de blocos de concreto seco. Porém, no processo de fabricação de blocos de concreto seco, além das variáveis que influenciam as características dos blocos, os agregados de RCD também possuem grande variabilidade e heterogeneidade que alteram de forma significativa os blocos produzidos, sejam elas características de resistência, textura, coesão, massa específica, etc.

Visto isso, também foi possível concluir, após a análise comparativa, que alguns intervalos recomendados pelos métodos foram similares. Em relação a umidade ótima da mistura, esse intervalo ficou entre 5% a 7,5% na grande maioria dos métodos estudados, com exceção dos métodos de Fernandes e IPT/EPUSP que não recomendaram um intervalo específico de umidade ótima nas suas dosagens. Em concordância, é possível afirmar que estes valores estão em conformidade com estudos realizados por outros autores, como apresentado na Tabela 12 visto que em suas misturas encontram-se umidades ótimas variando entre 7% a 8%. Isso sugere que essa faixa de umidade ótima na mistura é considerada adequada para a maioria dos métodos.

No que diz respeito à granulometria do material miúdo, observamos que há uma certa consistência entre os métodos, com faixas de tamanho de partícula geralmente dentro de 0,15 mm a 4,75 mm. Isso sugere que uma distribuição de tamanho de partícula nessa faixa é considerada adequada para a maioria dos métodos.

Já a granulometria do material graúdo apresenta uma variação maior entre os métodos. As faixas de tamanho de partícula variam de 0,6 mm a 37,5 mm, demonstrando diferentes preferências em relação ao tamanho dos agregados graúdos utilizados. Essa variação também pode ser explicada pela variação das propriedades dos agregados reciclados, pois são bastante heterogêneas, e varia de acordo com a localidade de sua fonte.

Já o módulo de finura apresentados pelos autores obteve uma variação entre 2,20 e 4,00 e, dessa forma, apresentando conformidade entre as recomendações dos métodos de dosagem estudados, visto que Columbia sugere uma variação entre 2,3 a 3,1, Besser Company entre 3,60 e 3,75 e Frasson Júnior entre 2,20 a 2,80.

Em relação ao tipo de cimento utilizado para a confecção das aplicações de concreto seco, o cimento mais utilizado pelos autores foi o CP-V-ARI, devido à sua rapidez para a reutilização de formas. Porém, os métodos de dosagem não fazem nenhuma indicação ou recomendação sobre o tipo de cimento que deve ser utilizado nas suas dosagens.

A relação cimento/agregado também varia significativamente entre os métodos. Enquanto alguns métodos indicam uma proporção fixa, como 1:6 ou 1:9, outros sugerem uma faixa mais ampla, dependendo da resistência desejada. Isso reflete diferentes abordagens na determinação da proporção ideal de cimento e agregados para atingir as propriedades desejadas do concreto.

Desse modo, não é possível afirmar qual é o melhor método de dosagem para utilização em blocos de concreto seco com agregado reciclado, pois cada método apresenta suas vantagens e desvantagens, e a escolha deve levar em consideração as características do projeto, dos materiais disponíveis e dos equipamentos utilizados na formação dos agregados e na compactação dos blocos. Porém, foram apresentados neste trabalho, as características de todos os métodos estudados, bem como suas vantagens, desvantagens e recomendações. E, por fim, foi possível observar na prática, de acordo com a produção de alguns autores, que os métodos, apesar de empíricos, garantem boas produções e suas recomendações foram seguidas pelas literaturas posteriores que foram analisadas.

5.1. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Verificar a durabilidade do concreto produzido com agregados reciclados.
- Avaliar a obtenção de dosagens em relação a densidade e umidade ótima de blocos concreto produzido com agregados reciclados.

- Realizar a produção de blocos de concreto com agregado reciclado e verificar experimentalmente qual melhor método que se encaixa na mistura.
- Estudar o método de dosagem que garante melhores qualidades aos blocos de concreto produzidos com agregados reciclados.
- Verificar a influência dos equipamentos de compactação e dos parâmetros de vibração na resistência dos blocos de concreto produzidos com agregados reciclados.

REFERÊNCIAS

ADRIANO, V.S.R., **Análise experimental da influência da vibração na resistência de blocos de concreto produzidos em máquinas vibro-compactadoras.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica), Universidade Nacional de Brasília, Brasília, 2013. <https://bdm.unb.br/handle/10483/7631>.

ALBUQUERQUE, S. M. **Estudo para uso de agregado de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria.** 2005. 104f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANDAL, J.; SHEHATA, M.; ZACARIAS, P. **Properties of concrete containing recycled concrete aggregate of preserved quality.** Construction and Building Materials, v. 125, p. 842–855, 2016.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos.** 2005. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, S. C.; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto: Ciência e Tecnologia;** Concreto com Agregados Reciclados. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2011.

ANGULO, S. C.; MUELLER, A. **Determination of construction and demolition recycled aggregates composition, in considering their heterogeneity.** Materials and Structures/Materiaux et Constructions, v. 42, n. 6, p. 739–748, 2009.

ARAGÃO, H. G. **Análise estrutural de lajes pré-moldadas produzidas com concreto reciclado de construção e demolição.** Maceió. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2007.

ARAÚJO, H. N. **Intervenção em uma obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural: um estudo de caso.** Florianópolis, 117 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Método de dosagem de concreto para peças pré-moldadas e concreto pré-fabricado.** São Paulo, SP: ABCP

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6136: Blocos Vazados De Concreto Simples Para Alvenaria: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

_____ **NBR 7211:2005: Agregados para concreto** - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____ **NBR 7810 – Agregados em estado compactado seco – Determinação de massa unitária**. Rio de Janeiro, 1983.

_____ **NBR 15112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

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

_____ **NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____ **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____ **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. 145 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CHAVES, A. P. *et al.* **Tecnologia Mineral e suas aplicações na reciclagem de resíduos de construção e demolição**. In: 61 Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Anais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

COLUMBIA MACHINE, INC. Instruction Manual. Vancouver, 1969.

FARIAS, R. S.; LIMA, F. B.; VIEIRA, G. L. ; BARBOSA, A. S.; GOMES, P. C. **Análise das propriedades de resistência à compressão e módulo de elasticidade em prismas de blocos de concreto produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Olinda. Anais. Pernambuco: IBRACON, 2005. p. 139-152.

FERNANDES, I., **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade**. 7 ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, 2016. 200 p.

FERREIRA JUNIOR, S. **Produção de blocos de concreto para alvenaria** – Prática recomendada. ABCP – Boletim Técnico 103. São Paulo, 3ª edição, 1995a.

FERREIRA, S. J. **Produção de blocos de concreto para alvenaria: prática recomendada**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1990. (Boletim Técnico 107).

FRASSON JR., A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2000. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FURNAS. **Concretos (massa, estrutural, projetado e compactado com rolo) – ensaios e propriedades**. São Paulo: Pini, 1997.

GOMES, P. C. C. *et al.* **Projeto desentulho para a cidade de Maceió**. Maceió: SEBRAE, FUNDEPES, UFAL, 2005. Relatório Técnico.

GOMES; P. C. C.; PEREIRA, F. A.; UCHÔA, S. B. B.; OLIVEIRA, F. C. de; ALMEIDA, L. H. **Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 267-280, jul./set. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300175>

HOOD, R. DA S. S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102 p. Tese (livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LEAL, C. E. F. **Peças para pavimento intertravado de concreto: estudo de viabilidade técnica na incorporação de agregado reciclado**. São Carlos, SP. Dissertação; Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados resíduos de construção e demolição**. 2001. 289 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. São Carlos, 246p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

- MALHOTRA, V. M. (2004). High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories. Ottawa: Canadian Building Digest.
- MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. São Paulo. 1993. 449f. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: LTC, 2016.
- NEPOMUCENO, A. A. **Mecanismo de transporte de fluidos no concreto**. In: ISAIA, G. C. Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005, v. 2, cap. 26, p.723-828.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 2013.
- OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. 2004. 296 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- OLIVEIRA, T. M., **Análise estatística da resistência à compressão e módulo de elasticidade de concretos com agregados de resíduos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.
- OTT, J., ANDREAS, A.B., “**Hi-tec solutions to molding problems encountered in the manufacture of “zero slump” concrete products**”, In: 8th International Conference on Concrete Block Paving, San Francisco, 2006.
- PARSEKIAN, G. A e SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2010. 238 p.
- PATTO, A. L.; OLIVEIRA, M. J. E. **Produção de blocos de concreto com agregado reciclado e minimização de impactos ambientais**. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 7., 2006, São Paulo. Anais. São Paulo: ComitêTécnico CT-206 MeioAmbiente (IBRACON), 2006.
- PEREIRA, C. **Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas-construtivos/>. Acesso em: 28 de abril de 2023.
- PFEIFFENBERGER, L. E. **Aggregate graduations used for various products formed on the block machine**. Besser Block. Alpena, 1985. p. 3-5.
- PIROLA, F. C. **Contribuição para o estudo de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação de 50 MPa**. Florianópolis, 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

- PIMIENTA, P.; DELMOTTE, P., TRAN, T.; COLOMBARD-PROUT, M. **Recycled aggregate used for making building blocks**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: 119 “SUSTAINABLE CONSTRUCTION: USE OF RECYCLED CONCRETE AGGREGATE”, 1998, Londres. Proceedings. Grã Bretanha: Thomas Telford, 1998, p. 297-307.
- PIOROTTI, J. L. **Pavimentação intertravada**. 2ª ed. Rio de Janeiro, Montana, 1989.
- POLLET, V.; LOUTZ, S.; FONTAINE, R.; GHODSI, A. **Recycled aggregates: alternative resources for the construction industry**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 1997, Paris. Proceedings. França, 1997, p. 635-642.
- POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. **Use of recycled aggregates in moulded concrete bricks and blocks**. *Construction and Building Materials*, v. 16, n. 5, p. 281-289, jul, 2002.
- PRUDÊNCIO JR, L.R.; OLIVEIRA, A.L.; FRASSON JR, A. **Metodologia de dosagem para blocos de concreto empregados em alvenaria estrutural**, Caderno Técnico Alvenaria Estrutural (Revista Prisma). Santa Catarina, 2007.
- RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S.. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. . São Paulo: PINI. . Acesso em: 02 maio 2023. , 2003
- RODRIGUES, C. R. DE SÁ; FUCALE, S. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, jan./mar. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- RODRIGUES, P.P.F., “**Recomendações para a fabricação de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação**”, In: Reunião Anual IBRACON, São Paulo, 1984.
- RODRIGUES, P. P. F. **Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação – Prática recomendada**. 2a ed. São Paulo, ABCP, 1995a, 15p.
- SALVADOR FILHO, J. A. A., **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. São Carlos, 2007. Tese – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.
- SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 173p. 2007.
- SJÖSTRÖM, C. **Durability of building materials and components**. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings... [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. 9p.
- SOUSA, J.G.G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado**

reciclado. 124p. Dissertação de Mestrado, Publicação E.D.M 009A/2001, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2001.

SOUZA, J. G.; BAUER, E.; SPOSTO, R. M. (2002). **Blocos de concreto produzidos com agregados provenientes da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 002, Foz do Iguaçu. Anais... Paraná: ANTAC, 2002. CD-ROM.

SULISTYANA, PURWANTO, WIDOANINDYAWATI, V., *et al.*, “**The influence of compression applied During production to the compression strength of dry concrete: an experimental study**”, *Procedia Engineering*, v. 95, pp. 465–472, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.206>.

TANGO, C. E. **Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais**. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. Anais... Santa Catarina, 1994.

TAUIL, C. A. **Autor desmistifica a alvenaria estrutural**. *Téchne*, São Paulo, n. 158, 2010.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. Maceió. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

TEIXEIRA, E. DA C. *et al.* **Estudo De Concretos Preparados Com Rcd E Metacaulim**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 63407–63414, 2020.

VIEIRA, Geilma Lima. **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**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

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, 2012.

XIE, T.; GHOLAMPOUR, A.; OZBAKKALOGLU, T. **Toward the development of sustainable concretes with recycled concrete aggregates: Comprehensive review of studies on mechanical properties**. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 30, n. 9, 2018.