

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

RAYSSA BERMUDES NAZARETH DOMINGUES

**ANÁLISE DAS VANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA LAVADA POR PÓ
DE PEDRA EM CONCRETO ESTRUTURAL PARA OBRAS DE PEQUENO PORTE**

Vitória

2022

RAYSSA BERMUDES NAZARETH DOMINGUES

**ANÁLISE DAS VANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA LAVADA POR PÓ
DE PEDRA EM CONCRETO ESTRUTURAL PARA OBRAS DE PEQUENO PORTE**

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Almeida Có.

Vitória

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Nilo Peçanha do Instituto Federal do Espírito Santo)

D671a Domingues, Rayssa Bermudes Nazareth
Análise das vantagens da substituição da areia lavada por pó de pedra em concreto estrutural para obras de pequeno porte / Rayssa Bermudes Nazareth Domingues. – 2022.
36 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Fábio Almeida Có.

Monografia (graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria de Saneamento Ambiental, Curso Superior de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, 2022.

1. Construção civil. 2. Areia . 3. Concreto . 4. Resíduos Industriais – Reaproveitamento. 5 Brita . 6. Engenharia sanitária. I. Có, Fábio Almeida. II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 21 – 690

Elaborada por Bruno Giordano Rosa – CRB-6/ES – 699


RAYSSA BERMUDES NAZARETH DOMINGUES

**ANÁLISE DAS VANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA LAVADA POR
PÓ DE PEDRA EM CONCRETO ESTRUTURAL PARA OBRAS DE
PEQUENO PORTE**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Engenharia Sanitária
e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo,
Campus Vitória, como requisito parcial para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Aprovado em 08 de dezembro de 2022.


COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **FABIO ALMEIDA CO**
Data: 19/12/2022 21:33:21-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Fábio Almeida Có
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **MAURICIO SARTORI**
Data: 16/12/2022 10:08:22-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Maurício Sartori
Instituto Federal do Espírito Santo
Membro interno

Documento assinado digitalmente
 **MARCIO ALMEIDA CO**
Data: 16/12/2022 16:01:41-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Márcio Almeida Có
Instituto Federal do Espírito Santo
Membro externo

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, por me dar as forças necessárias para não desistir do meu sonho, à minha mãe Rosa, ao meu esposo Windson, aos meus sobrinhos Julia e João e à minha irmã Robertha, que foram essenciais para que eu conseguisse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor orientador Fabio Almeida Có por aceitar estar comigo conduzindo esse trabalho, pelos momentos em que me encorajou, ajudou, motivou e inspirou e conseqüentemente por fazer a diferença na minha jornada acadêmica.

À minha amiga Giuliana, que se tornou uma irmã desde o primeiro dia de aula no curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, que me apoiou muito na elaboração desse trabalho e de todos os outros durante o curso.

À banca examinadora, obrigada por aceitarem estarem aqui presentes nesse momento importante avaliando o meu trabalho.

E por fim, agradeço a todos que contribuíram direta e indiretamente na realização desse trabalho.

RESUMO

O setor da construção civil tem gerado diversos impactos ambientais principalmente na extração de matérias primas para confecção de concreto. Esses impactos estão cada vez maiores, e é necessário que se estudem alternativas que possam minimizar esses impactos. A confecção do concreto depende de materiais denominados agregados, que são materiais que agregam volume a mistura, eles podem ser classificados como miúdo ou gráudo. Agregados gráudos são os que apresentam uma granulometria maior, são as britas, já os agregados miúdos apresentam uma granulometria menor, caracterizado pelas areias. Um dos agregados miúdos mais usados para a fabricação do concreto é a areia lavada, ou areia natural, que é a areia extraída dos leitos de rios, mas a extração dessa areia gera diversos impactos ambientais. Uma alternativa que vem sendo estudada como forma de reduzir esses impactos, é a substituição da areia lavada pelo pó de pedra, que é o resíduo resultado da britagem, responsável também por impactos ambientais quando não acondicionado de forma correta. O presente trabalho apresenta uma Revisão Sistemática, comprovando que essa substituição resultou em um concreto com resistência à compressão de 18 Mpa, que é indicado para obras de pequeno porte. A partir de experimentos encontrado na bibliografia foi possível identificar e apresentar as vantagens da substituição da areia lavada pelo pó de pedra, mostrando ser uma alternativa viável e sustentável.

Palavras-chave: Pó de pedra, areia lavada, areia natural, substituição, impactos ambientais.

ABSTRACT

The civil construction sector has generated several environmental impacts mainly in the extraction of raw materials for making concrete. These impacts are increasing, and it is necessary to study alternatives that can minimize these impacts. The making of concrete depends on materials called aggregates, which are materials that add volume to the mixture, they can be classified as small or large. Coarse aggregates are those that present a larger granulometry, they are the gravel, whereas the fine aggregates present a smaller granulometry, characterized by the sands. One of the most used fine aggregates for the manufacture of concrete is washed sand, or natural sand, which is the sand extracted from river beds, but the extraction of this sand generates several environmental impacts. An alternative that has been studied as a way to reduce these impacts is the replacement of washed sand with stone dust, which is the residue resulting from crushing, also responsible for environmental impacts when not properly packaged. The present work presents a Systematic Review, proving that this replacement resulted in a concrete with a compressive strength of 18 Mpa, which is suitable for small works. From experiments found in the bibliography, it was possible to identify and present the advantages of replacing washed sand with stone dust, proving to be a viable and sustainable alternative.

Keywords: Stone dust, natural sand, replacement, environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição do concreto.....	6
Figura 2 - Fluxograma Método ABCP	8
Figura 3 - Curva de Abrams	9
Figura 4 - Representação do molde para realização do teste	10
Figura 5 - Medição do abatimento (<i>slump test</i>)	11
Figura 6 – Draga de extração de areia em leitos de rios	13
Figura 7 – Impacto causado no leito do Rio Santo Antônio pela extração de areia ..	15
Figura 8 – Pilha de pó de pedra	17
Figura 9 – Fluxograma simplificado de etapas da metodologia.....	19
Figura 10 – Modelo para condução da revisão bibliográfica sistemática – RBS <i>Roadmap</i>	22
Figura 11 – Procedimento iterativo da fase de processamento, RBS <i>Roadmap</i>	22
Figura 12 – Resultados do teste de resistência à compressão	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Impactos da extração de areia em leitos de rios	16
Quadro 2 – Descritores em cada idioma	20
Quadro 3 - Equações de busca.....	21
Quadro 4 – Estudos selecionados.....	24
Quadro 5 – Referencial adotado	25
Quadro 6 – Traços de concreto adotados	26
Quadro 7 - Valor de mercado dos agregados miúdos.....	28
Quadro 8 - Dados dos materiais (areia lavada e água doce)	29
Quadro 9 - Valor gasto por material para um metro cúbico de concreto	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 REFERENCIAL TEÓRICO	6
3.1 CONCRETO.....	6
3.1.1 Composição	6
3.1.2 Traço de concreto	8
3.1.2.1 Método ABCP.....	8
3.1.2.2 <i>Slump test</i>	9
3.1.3 Resistência à compressão	11
3.1.3.1 Resistência em obras de pequeno porte.....	12
3.1.4 Impactos ambientais da fabricação do concreto	12
3.2 AREIA LAVADA	13
3.2.1 Lavra da areia em leitos de rios	13
3.2.2 Impactos ambientais da extração da areia lavada	14
3.3 PÓ DE PEDRA.....	16
3.3.1 Impactos ambientais do pó de pedra	17
4 METODOLOGIA	17
4.1 ETAPAS DA REVISÃO SISTEMÁTICA.....	18
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	20
4.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	21
4.4 ANÁLISE DAS VANTAGENS ECONÔMICAS	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	23
5.2 TRAÇOS DE CONCRETO ENCONTRADOS NA LITERATURA	26
5.2.1 Teste dos traços de concreto	26
5.2.2 Resistência à compressão	27
5.3 CONSUMO DE ÁGUA.....	28

5.4 VALOR DE MERCADO DOS AGREGADOS	28
5.5 VANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA LAVADA POR PÓ DE PEDRA ..	29
5.4.1 Vantagens ambientais.....	29
5.4.2 Vantagens econômicas.....	31
6 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que traz benefícios, não apenas de caráter econômico, mas também de âmbito social, contribuindo para o desenvolvimento do país (LARUCCIA, 2014). Em contrapartida é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais, sendo esse consumo de recursos naturais responsável pela crescente preocupação com a preservação do meio ambiente (SÁ, 2006). O setor apresenta atividades altamente degradantes e “os impactos ambientais causados podem ser observados em todas as etapas de sua cadeia produtiva.” (LARUCCIA, 2014, p. 70).

Entre os processos que geram grandes impactos ambientais está a extração dos agregados utilizados na fabricação do concreto. Os processos extrativistas que envolvem lavra de areia para agregados miúdos e britagem para agregados graúdos, geram impactos como o alto consumo de água, alteração na hidrogeologia local e produção de resíduos, como o pó de pedra ou pó de brita que é o resíduo produzido pela britagem de rochas nas regiões onde concentram-se as indústrias de mineração (SOUZA et al., 2016). Existem algumas formas de extração de areia, uma das mais comuns é a retirada de areia do leito de rio, que agride a sua calha natural e acelera o ritmo de erosão das margens. Quanto ao pó de pedra, quando não possui uma destinação já definida, é armazenado ao ar livre, podendo gerar danos ambientais como a poluição atmosférica (SÁ, 2006).

“Agregado é um material natural de propriedades adequadas ou material obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 152 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075mm.” (Duarte, 2013, p. 19). Ainda segundo Duarte (2013), esses agregados apresentam papel importante na fabricação de argamassas e concreto. Dos materiais mais utilizados na construção civil “o concreto depois da água é o material que mais se consome” (DINIZ, 2009, p. 11). O “concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de: aglomerantes, agregados e água.” (PINHEIRO et al., 2016).

Segundo Valverde (2018) a areia é um dos agregados mais utilizados no setor da construção civil. A grande demanda desse agregado vem aumentando os impactos

ambientais, despertando a necessidade do uso de novas alternativas mais sustentáveis. A substituição da areia lavada usada na fabricação do concreto pelo pó de pedra tem sido estudada como alternativa para mitigar os impactos ambientais e conservar a eficiência e usabilidade do material final, ou seja, o concreto. A grande questão ao entorno dessa substituição é a sua viabilidade técnica em relação a resistência do concreto gerado, sua rentabilidade e principalmente se existem benefícios ambientais compensatórios.

Até o momento presente, não foram identificados estudos que foram conduzidos com a finalidade de analisar vantagens econômicas e ambientais da substituição da areia lavada pelo pó de pedra. Sendo assim, o presente trabalho procura preencher essa lacuna respondendo a seguinte questão de pesquisa: **A substituição da areia lavada pelo pó de pedra na confecção do concreto para obras de pequeno porte se apresenta como uma alternativa vantajosa do ponto de vista ambiental e econômico?** A pergunta norteadora será respondida através de uma Revisão Bibliográfica Sistemática sobre o uso do pó de pedra na fabricação do concreto, apresentando impactos ambientais relacionados a produção do concreto convencional com areia lavada como agregado miúdo e realizando um comparativo dos custos envolvidos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa é analisar se existem vantagens econômicas e principalmente ambientais na fabricação de um concreto utilizando pó de pedra em substituição à areia lavada como agregado miúdo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Realizar uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para a identificação de trabalhos científicos que retratam estudos sobre a substituição da areia lavada pelo pó de pedra juntamente com uma busca de trabalhos que abordem os impactos ambientais provocados pela extração das matérias primas que compõem o concreto.
- b. A partir do referencial teórico encontrado, identificar os impactos ambientais causados pela extração da areia lavada.
- c. Identificar dentro do referencial teórico resultados que definem a resistência à compressão do concreto para obras de pequeno porte na realidade brasileira;
- d. Realizar um comparativo dos resultados obtidos com dois traços diferentes de concreto, em que um utiliza areia lavada e o outro, pó de pedra como agregado miúdo.
- e. Levantar dados relacionados aos valores de mercado dos agregados miúdos envolvidos no trabalho e analisar se existem vantagens econômicas na substituição sugerida.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

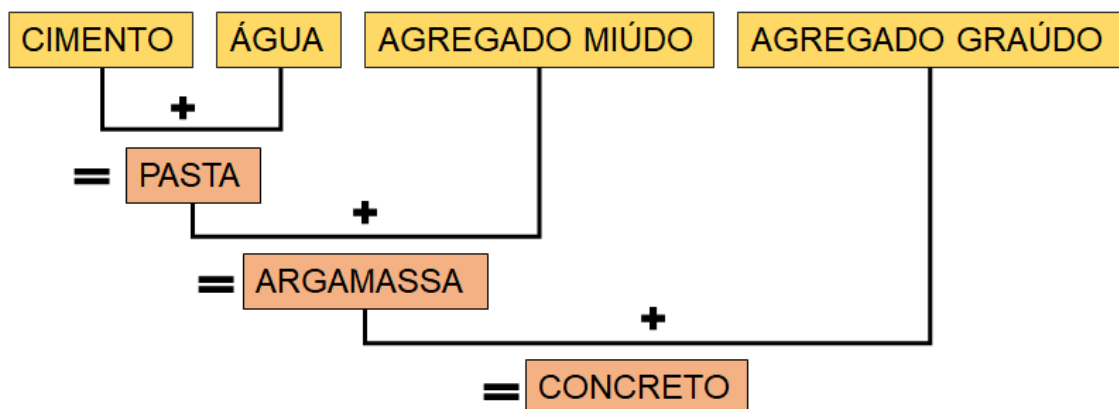
3.1 CONCRETO

A NBR 12655 define o concreto de cimento Portland como uma “mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários” (ABNT, 2015, p. 03), sendo concreto de cimento Portland simplesmente o concreto, para considerações da norma. A composição do concreto é uma mistura de aglomerante hidráulico, que endurece com adição de água, materiais inertes, nesse caso os agregados, e água. O aglomerante mais empregado na construção civil é o cimento Portland (ROMANO, 2004).

3.1.1 Composição

As misturas dos componentes do concreto possuem variações de acordo com os elementos presentes, como é apresentado na Figura 1:

Figura 1 – Composição do concreto



Fonte: Elaborado pela autora

Através da Figura 1 é possível identificar as composições dos componentes, da seguinte forma: cimento juntamente com a água vai formar a pasta, a pasta misturada com agregado miúdo forma a argamassa e a argamassa com o agregado graúdo vai formar o concreto (ROMANO, 2004).

a) Agregados

“Os agregados são materiais com dimensões variadas, que aumentam o volume da mistura” (PINHEIRO et al., 2016, p. 03) e também contribuem para um aumento da resistência do concreto. A classificação dos agregados vai depender da sua granulometria, ou sua origem sendo divididos em agregados graúdos e miúdos e também naturais e artificiais. O agregado graúdo usado frequentemente é a pedra britada, ou simplesmente brita. Já em relação ao agregado miúdo, o mais usado é a areia natural, ou areia lavada (ROMANO, 2004). Ainda segundo Romano (2004) Os agregados naturais são aqueles encontrados na natureza já em sua forma de agregado (areias, pedregulhos) e os artificiais são aqueles que sofrem ação do homem, como a britagem, até chegar à situação de uso como agregado (areias e pedras obtidas por moagem de fragmentos maiores).

A NBR 7211/05 traz a definição de agregado miúdo como “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm ” (ABNT, 2005, p. 03).

O agregado graúdo é definido na NBR 7211/05 como “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm” (ABNT, 2005, p. 03).

b) Cimento

O cimento que geralmente é utilizado na construção civil é o cimento Portland. O cimento Portland é “um aglomerante hidráulico, reage com a água e endurece com o tempo.” (PINHEIRO et al., 2016, p. 01).

A fabricação do cimento depende de três matérias primas básicas: calcário, argila e gesso. As etapas da fabricação envolvem basicamente a dosagem dos componentes, homogeneização, seguida de processos de aquecimento e esfriamento para depois ocorrer a moagem com adição de gesso. Dependendo da resistência do cimento, outros materiais são adicionados junto com o gesso. (ROMANO, 2004).

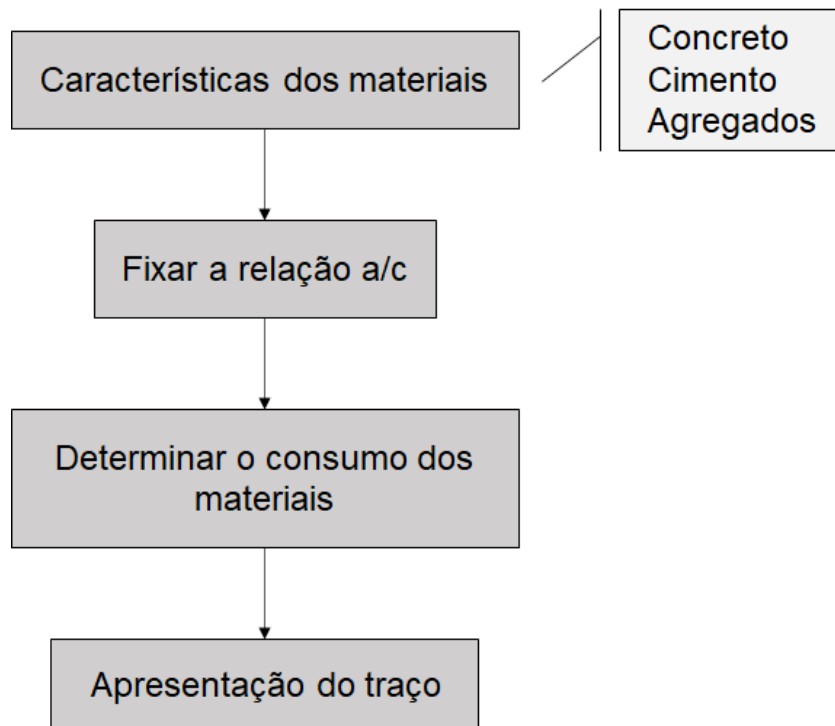
3.1.2 Traço de concreto

O traço de concreto consiste na proporção dos componentes usados na confecção do material. A NBR 12655 define o traço de concreto como “quantidades expressas, em massa ou volume, dos vários componentes do concreto.” (ABNT, 2015, p. 06). Descreve ainda que o traço do concreto “pode ser expresso em quantidades de materiais por metro cúbico de concreto” (ABNT, 2015, p. 06). O traço de concreto é obtido a partir do estudo de dosagem, um procedimento realizado para garantir que o traço do concreto vai atender aos requisitos e condições do projeto (ABNT, 2015).

3.1.2.1 Método ABCP

O método ABCP, publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), foi adaptado do método ACI (American Concrete Institute), trazendo para o contexto brasileiro (BOGGIO, 2000).

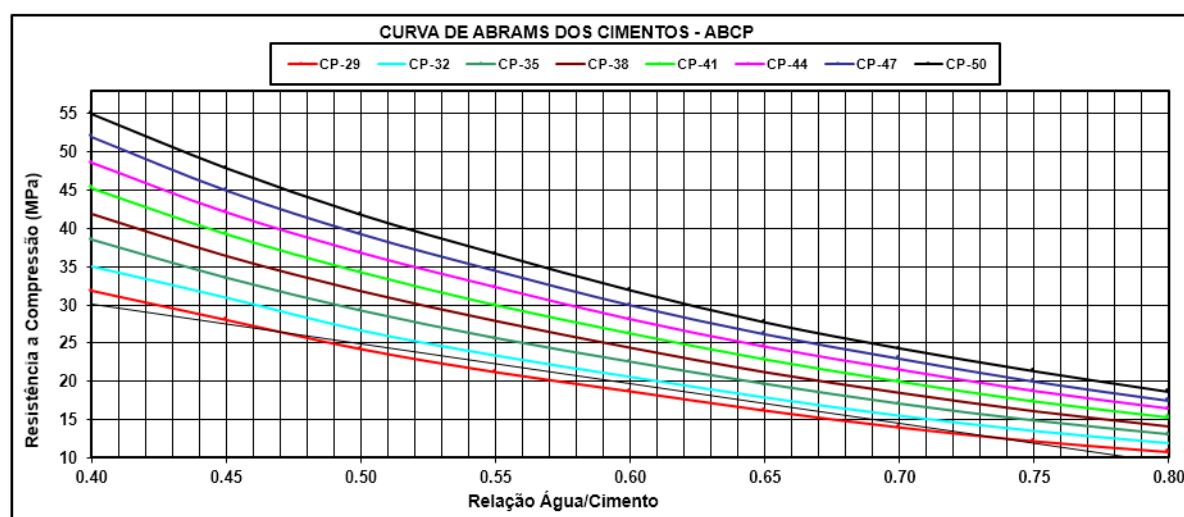
Figura 2 - Fluxograma Método ABCP



Fonte: Elaborado pela autora com base em CURTI (2022)

O fluxograma apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresenta as etapas para desenvolvimento do método ABCP. A primeira etapa é a de caracterização dos materiais: concreto, cimento e agregados, eles serão caracterizados pela resistência, análise granulométrica, massa específica, consistência desejada, entre outros. Em seguida é feita a fixação da relação água/cimento (a/c), onde o principal parâmetro a ser considerado é a resistência à compressão. O valor da relação a/c é estimado pela curva de Abrams (ASSUNÇÃO, 2002).

Figura 3 - Curva de Abrams



Fonte: CLUBE DO CONCRETO (2019)

A Figura 3 mostra os valores da relação a/c , relacionados ao tipo de cimento, e com a resistência à compressão em Mpa.

Na terceira etapa é determinado o consumo dos materiais: cimento, água e agregados (grãos e miúdos). A partir dela é possível apresentar o traço do concreto, concluindo o desenvolvimento do método ABCP.

3.1.2.2 Slump test

- 4- Nivelar a superfície do concreto.
- 5- Limpar a placa base e retirar o molde de concreto; essa operação deve durar de 5 a 10 segundos.
- 6- Após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto, baseado na altura do molde usado (ABNT, 1998).

Figura 5 - Medição do abatimento (*slump test*)



Fonte: JACP (2022)

3.1.3 Resistência à compressão

Uma das principais propriedades mecânicas apresentadas pelo concreto é a resistência à compressão simples (f_c). Os valores da resistência do concreto são obtidos através de ensaios, que são essenciais para verificar o atendimento as especificações da obra (PINHEIRO, 2007).

Para estimá-la [...] são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (PINHEIRO et al., 2007, p.10).

A partir dos resultados dos ensaios é possível obter a resistência à compressão média do concreto (f_{cmj}), que é estabelecida na NBR 12655 como o “valor da resistência

média à compressão do concreto, a j dias.” (ABNT, 2015, p.05). O número de dias j será de 28 dias, quando não houver indicação da idade (ABNT, 2015).

3.1.3.1 Resistência em obras de pequeno porte

De acordo com Pinheiro (2007), uma obra de pequeno porte consiste em uma obra de até quatro pavimentos, geralmente com vãos que não excedem 6 metros.

Segundo notas de aula do professor Fabio Almeida Có (2021), usualmente no Brasil as obras de pequeno porte são realizadas adotando-se uma resistência à compressão de cerca de 15Mpa, sendo esse um valor de resistência satisfatório para garantir a segurança da obra.

3.1.4 Impactos ambientais da fabricação do concreto

A fabricação do concreto começa a gerar impactos ambientais já na extração das matérias primas. A extração de matéria prima para produção do cimento e dos agregados, tanto as pedras britadas quanto a areia, vão gerar impactos significativos no meio ambiente (LARUCCIA, 2014). Um exemplo é a extração de calcário e argila, que “[...] são a matéria-prima do cimento. Assim, o processo produtivo tem início em minas de calcário, sendo essa a principal matéria-prima.” (LARUCCIA, 2014, p. 71).

A mineração é outro processo que traz grandes prejuízos ambientais, independente da forma que é realizada, principalmente a extração de areia, considerando que “a atividade extrativista de areia é uma importante atividade minerária, sendo a areia considera produto básico na construção civil.” (NOGUEIRA, 2016, p. 12). O processo de extração das pedras britadas também vem gerando grandes impactos no cenário natural, já que essas pedras extraídas demoram muito tempo para serem formadas e quando são extraídas geram uma quantidade significativa de resíduos sólidos (LUZ; SAMPAIO, 2012).

3.2 AREIA LAVADA

A areia lavada, que também é conhecida como areia natural, por ser resultante de agentes da natureza, é a mais utilizada no setor da construção civil. Ela é classificada como agregado miúdo e é elemento da fabricação do concreto. A extração da areia lavada é feita do leito dos rios, e sofre um processo de lavagem, por isso o nome. (LUZ; ALMEIDA, 2012).

3.2.1 Lavra da areia em leitos de rios

Segundo o Manual de Agregados CETEM, a extração de areia em leitos de rios corresponde a 70% em comparação aos outros métodos geralmente usados no país. “A lavra em leito de rio usa draga que extrai a areia por sucção e a bombeia, na forma de polpa, para fora do leito do rio” (CETEM, 2012, p. 185). Figura 6 representa a estrutura de uma draga no leito de um rio para a extração da areia.

Figura 6 – Draga de extração de areia em leitos de rios



Fonte: Brasil Mining Site (2019)

Todo o processo de extração envolve o uso de água como veículo para transportar a areia. A areia bombeada tem dois caminhos, dependendo das unidades de operação: ou fica depositada na draga ou é enviada através de tubulações diretamente ao silo, para que a água retirada juntamente com a areia retorne ao rio, mas parte dela fica retida nos poros presentes na areia (NOGUEIRA, 2016). A polpa, mistura de água e de areia, extraída dos leitos dos rios normalmente apresenta em sua composição 60% de água e 40% de areia. A secagem dessa areia realizada posteriormente não remove 100% dessa água, e parte dela é desperdiçada no processo (SOUZA, 2012).

Após o processo de extração, ocorre o transporte da areia lavada. “A areia ao ser transportada sofre uma compactação no volume inicial da carga, que pode atingir até 10%” (CETEM, 2012, p. 185), essa redução no volume corresponde a água perdida presente na areia, que vai se perdendo no transporte devido a trepidação.

3.2.2 Impactos ambientais da extração da areia lavada

A atividade extrativista de areia lavada é causadora de grandes impactos ambientais, “[...] afetando a área lavrada e os seus arredores, causando impactos negativos sobre a água, o ar, o solo, o subsolo, a flora, a fauna, e a paisagem como um todo.” (NOGUEIRA, 2016, p. 12).

Ainda de acordo com Nogueira (2016), o grande problema relacionado a extração dessa matéria prima é quando ela acontece nos leitos dos rios, podendo causar supressão da vegetação, instabilidade de ambientes ribeirinhos, aumento da turbidez da água e até mesmo modificações e desvios no leito do rio. Um desses desvios no leito do rio é representado na Figura 7.

Figura 7 – Impacto causado no leito do Rio Santo Antônio pela extração de areia



Fonte: Jornal das Lajes (2020)

O impacto mostrado na Figura 9 é resultado da extração de areia no leito do Rio Santo Antônio, em Minas Gerais.

Retomando a Nogueira (2016) é possível descrever diversos impactos causado pela extração da areia em leitos de rios, esses impactos estão listados no Quadro 1, e são todos impactos causados na fase de operação da extração.

Quadro 1 – Impactos da extração de areia em leitos de rios

Impactos ambientais negativos causados pela extração de areia
Diminuição da qualidade do ar, devido ao lançamento de gases provenientes dos motores de maquinário em diferentes operações.
Aumento da concentração da turbidez no curso d'água, devido ao revolvimento do material mineral no curso d'água, durante o processo de extração de areia.
Alteração da calha original dos cursos d'água, devido ao uso de equipamentos de extração de areia nos leitos dos rios.
Possibilidade de interferência na velocidade e direção do curso d'água, tendo em vista a eliminação dos bancos de sedimentos presentes nos leitos dos rios.
Contaminação do curso d'água causada pelos resíduos (óleos, graxas, lubrificantes) provenientes do maquinário utilizado.
Estresse da fauna aquática, ocasionado pela geração de turbulência no curso d'água durante a extração de areia.
Comprometimento da vida aquática devido à diminuição da produtividade global do seu ecossistema típico.
Diminuição da possibilidade de usos múltiplos da água, tendo em vista o aumento da sua turbidez e a possibilidade de sua contaminação.

Fonte: Elaborado pela autora com base em NOGUEIRA (2016)

3.3 PÓ DE PEDRA

A NBR 9935/11 define pó de pedra como um “material granular resultante da britagem de rocha, que passa na peneira de malha 6,3 mm” (ABNT, 2011, p. 04). O pó de pedra é um agregado miúdo gerado na obtenção de agregado graúdo, ou como o resíduo gerado no processo de britagem, “que é caracterizada como um processo primário de cominuição e consiste na quebra da rocha, principalmente, pela ação de esforços compressivos ou de impacto.” (NUNES, 2012, p. 21). Esse processo de cominuição vai gerar um resíduo com característica homogênea. Segundo Duarte (2013), o pó de pedra é o resíduo da exploração de pedreiras, que representa de 15 a 20% da produção de uma exploração de britagem.

3.3.1 Impactos ambientais do pó de pedra

Normalmente o pó de pedra gerado em pedreiras são armazenados no próprio local, em pilhas, que ficam expostas as intempéries, podendo sofrer carreamento e conseqüentemente assoreando leitos d'água. Outro impacto desse material que é acumulado de forma livre, sem controle, acaba expondo os trabalhadores e a população ao seu entorno a uma grande poluição do ar, que pode trazer danos ao meio ambiente e a saúde humana (SÁ, 2006).

Figura 8 – Pilha de pó de pedra



Fonte: Moreira (2008, p. 80)

A Figura 8 mostra como o pó de pedra pode alterar a qualidade do ar devido a dispersão de material particulado, e como eles ficam armazenados de forma livre nas pedreiras.

4 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica qualitativa de objetivo exploratório e de natureza básica, que visa apresentar uma revisão bibliográfica sistemática sobre a substituição da areia lavada pelo pó de pedra na confecção do concreto para obras de pequeno porte. A pergunta que deverá ser

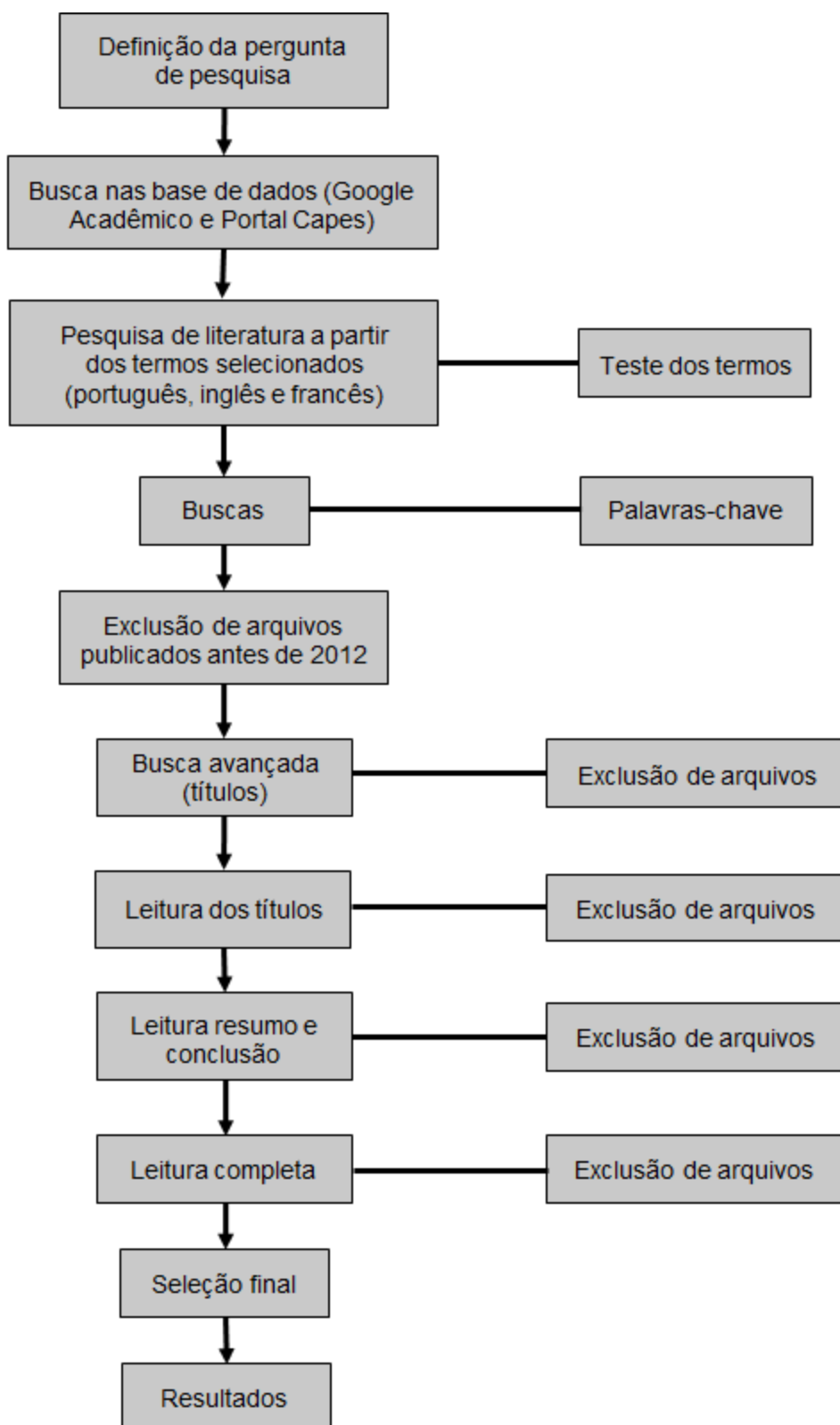
respondida pela revisão sistemática é: **A substituição da areia lavada pelo pó de pedra na confecção do concreto para obras de pequeno porte se apresenta como uma alternativa vantajosa do ponto de vista ambiental e econômico?**

A pesquisa bibliográfica será na forma de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS). A revisão sistemática é um tipo de revisão “baseado na aplicação de métodos com maior rigor científico, podendo alcançar melhores resultados e reduzir erros e o viés do pesquisador responsável pela investigação” (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011, p. 02).

4.1 ETAPAS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

A escolha dos artigos utilizados para a análise sistemática do trabalho aconteceu em etapas de acordo com os critérios que serão estabelecidos, como está representado na Figura 9:

Figura 9 – Fluxograma simplificado de etapas da metodologia



Fonte: Elaborado pela autora

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

As referências bibliográficas foram pesquisadas em três idiomas: português, inglês e francês. Os termos adotados deveriam estar nas palavras chave de cada trabalho pesquisado inicialmente. Foi realizado um teste para o procedimento de seleção das referências nas bases de dados. Foram utilizados para combinação dos descritores os operadores lógicos “AND” e “OR” como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Descritores em cada idioma

IDIOMA	DESCRITORES	OPERADORES LÓGICOS
Português	“Pó de pedra”, “Areia lavada”, “Areia Natural”, “Substituição”, “Compressão”	“AND” e “OR”
Inglês	“Stone dust”, “Replacement”, “Compressive strength”, “Concrete”, “Fine aggregate”	“AND”
Francês	“Sable concassé”, “Sable naturel”, “Resistance à la compression”	“AND”

Fonte: Elaborado pela autora

Os descritores e operadores lógicos apresentados no Quadro 2 foram combinados e pesquisados de acordo com as equações de busca apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Equações de busca

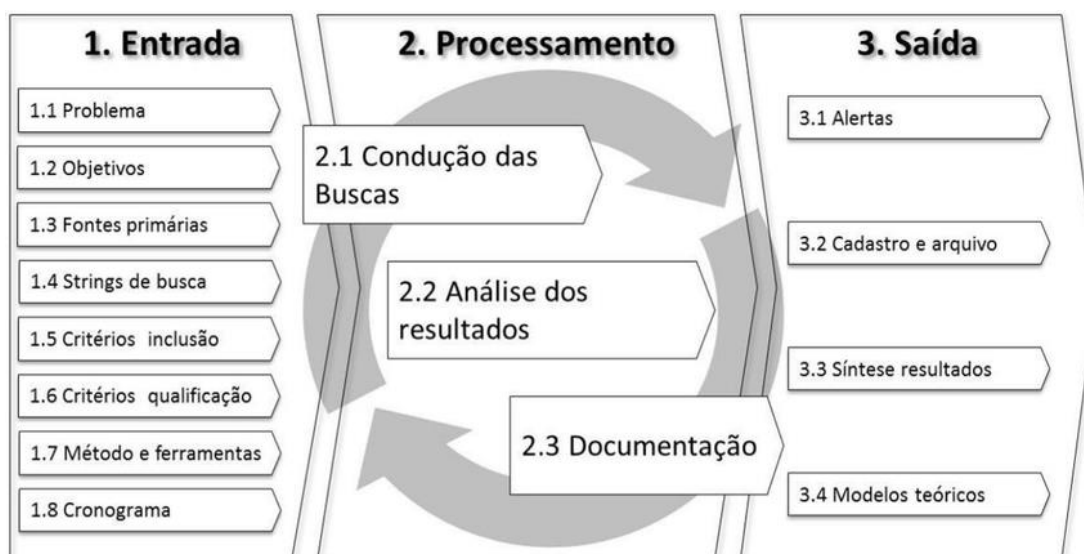
IDIOMA	EQUAÇÕES DE BUSCA
Português	Pó de Pedra AND Areia Lavada
	Pó de Pedra AND Areia Natural
	Pó de Pedra AND Areia lavada AND Substituição OR Compressão
	Pó de Pedra OR Areia Lavada
Inglês	Stone Dust AND Replacement
	Stone Dust AND Fine aggregate
	Stone Dust AND Concrete AND Compressive strength
Francês	Sable concassé AND Sable naturel
	Sable concassé AND Sable naturel AND Resistance à la compressions

Fonte: Elaborado pela autora

4.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

A revisão sistemática foi conduzida pelo método RBS *Roadmap* que consiste em um método que apresenta um roteiro das fases e etapas que devem conduzir a revisão sistemática. A primeira fase é intitulada ENTRADA, que é fase inicial, a segunda PROCESSAMENTO e a terceira SAÍDA, como mostra a Figura 10:

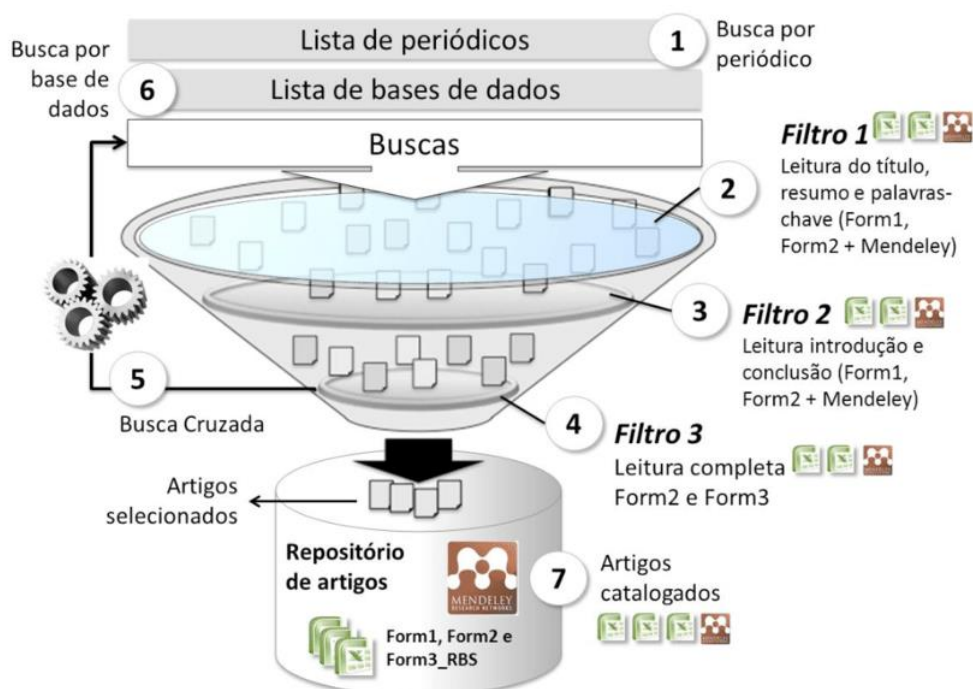
Figura 10 – Modelo para condução da revisão bibliográfica sistemática – RBS *Roadmap*



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011, p. 07)

A fase de processamento apresenta “as etapas de busca, análise de resultados e documentação” (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011, p. 08). Essas etapas englobam um processo iterativo que apresenta 7 passos, que estão representados na Figura 11:

Figura 11 – Procedimento iterativo da fase de processamento, RBS *Roadmap*



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011, p. 08)

A última fase, a de saída, representa a fase onde os trabalhos científicos já foram selecionados e podem ser adicionados em um software de gerenciamento de referências (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011). O software que utilizado nesse trabalho é o Mendeley.

4.4 ANÁLISE DAS VANTAGENS ECONÔMICAS

A metodologia adotada para análise das vantagens econômicas é uma pesquisa simplificada de valores de mercado dos agregados: pó de pedra e areia lavada, realizada através de pesquisa em site de comercialização dos produtos.

Os valores obtidos de cada agregado vão permitir realizar um comparativo para análise da existência de vantagens econômicas à cerca da substituição do material.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados das pesquisas realizadas e as discussões à cerca deles.

5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A RBS apresentou inicialmente um resultado geral de 5.540 resultados, considerando as duas bases de busca, Google Acadêmico e Portal Capes. Essa pesquisa foi refinada considerando estudo a partir do ano de 2012, o que reduziu o número para 3.360. Como esse número ainda estava alto, a busca foi sendo refinada até se obter um resultado mais direcionado ao objetivo da pesquisa.

Então os descritores buscados foram sendo apresentados nos títulos. Dessa forma foi possível atingir um número de 142 estudos. Após leitura dos títulos, foram excluídos 77, e os 65 restantes foram adicionados ao software Mendley para leitura de resumos e conclusões. Após a leitura, foi alcançado um resultado de 23 estudos que foram

lidos na íntegra e o resultado final foi de 10 estudos selecionados, que estão representados no Quadro 4 com os respectivos títulos e autores.

Quadro 4 – Estudos selecionados

Art.	Título	Autores	Ano
1	ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS NATURAIS POR PÓ DE PEDRA EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	JOÃO BATISTA DUARTE	2013
2	AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL (AREIA) PELO AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (PÓ DE PEDRA) QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO	LUCAS FELIPE DE MATOS	2017
3	ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA PELO PÓ DE PEDRA COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA	KARYN FERREIRA ANTUNES RIBEIRO MARCOS PATRIK VIEIRA BRANCO MARCOS DE OLIVEIRA VALIN JR ÉDER SOUSA DE ALMEIDA	2016
4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA NO CONCRETO	RAISSA HAMMES RAQUEL ZYDECK EDER PEDROZO LUIS EDUARDO KOSTESKI	2018
5	SUBSTITUIÇÃO DO PÓ DE PEDRA POR RESÍDUO DE CONCRETO NO TRAÇO DO CONCRETO	VINÍCIUS CÉSAR DE OLIVEIRA SILVA LUCAS CORDEIRO FERREIRA SUZYANNY DIAS GUSMAO	2019
6	ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA NA PRODUÇÃO DE CONCRETO CONVENCIONAL	VALDEIR TAVARES DA SILVA	2018
7	UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA, EM SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL NA FABRICAÇÃO DO CONCRETO	RAÍSSA FRANCIELI HAMMES CAMILA TACIANE ROSSI LUCAS CARVALHO VIER JOICE MOURA DA SILVA EDER CLARO PEDROZO	2017

8	UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA EM SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO	CLÓVES LEÔNIDAS M. DE SOUZA EWAGNER SANTOS AZEVEDO FERNANDO LANGA DIAS SAULO HONORIO ANDRÉ SÁVIO BRITO ROCHA	2016
9	INFLUENCE OF STONE DUST AS FINE AGGREGATE REPLACEMENT ON CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH USING AN ANALYSIS OF VARIANCE (ANOVA)	JAIRO JOSÉ DE OLIVEIRA ANDRADE GUILHERME CAMARGO BOLDO	2018
10	INFLUENCE OF BRICK DUST, STONE DUST, AND RECYCLED FINE AGGREGATE ON PROPERTIES OF NATURAL AND RECYCLED AGGREGATE CONCRETE	MEESALA CHAKRADHARA RAO	2020

Fonte: Elaborado pela autora

Entre os dez estudos selecionados, um deles apresenta experimentos com traços de concreto utilizando apenas pó de pedra como agregado miúdo, e outro usando apenas areia lavada. Esse estudo foi feito por alunos de uma universidade do Estado do Espírito Santo, o que contextualiza a temática com o cenário local, sendo assim, o estudo apresentado no Quadro 5 abaixo será usado como base para análise de resultados e discussões para responder à questão norteadora dessa pesquisa.

Quadro 5 – Referencial adotado

Título do Artigo	Autores
UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA EM SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO	CLÓVES LEÔNIDAS M. DE SOUZA EWAGNER SANTOS AZEVEDO FERNANDO LANGA DIAS SAULO HONORIO ANDRÉ SÁVIO BRITO ROCHA

Fonte: Elaborado pela autora

5.2 TRAÇOS DE CONCRETO ENCONTRADOS NA LITERATURA

Uma das formas de descobrir a usabilidade de um concreto é realizar testes de resistência à compressão, e para a realização desse teste é necessário primeiro adotar dosagens dos elementos do concreto, gerando assim o traço do concreto.

A literatura base para esse estudo utiliza traços de concreto com a mesma quantidade de cimento, brita e agregado miúdo, sendo que o agregado miúdo no Traço 1 é 100% areia lavada e o agregado miúdo no Traço 2 é 100% o pó de pedra. O elemento que sofre alteração, comparando os traços, é a água, como é possível visualizar no Quadro 6.

Quadro 6 – Traços de concreto adotados

MATERIAIS	TRAÇO 1	TRAÇO 2
Cimento (Kg/m ³)	285,71	285,71
Areia (Kg/m ³)	876,00	0,00
Pó de pedra (Kg/m ³)	0,00	876,00
Brita (Kg/m ³)	992,00	992,00
Água (l/m ³)	206,43	228,57

Fonte: Adaptado de SOUZA, *et al.* (2016)

Os valores apresentados são desenvolvidos para a produção de 1 metro cúbico de concreto. O quadro indica as quantidades em Kg/m³ dos elementos “secos” da composição do concreto e em l/m³ a quantidade de água. A dosagem foi baseada no método ABCP, e nenhum tipo de aditivo foi adicionado.

5.2.1 Teste dos traços de concreto

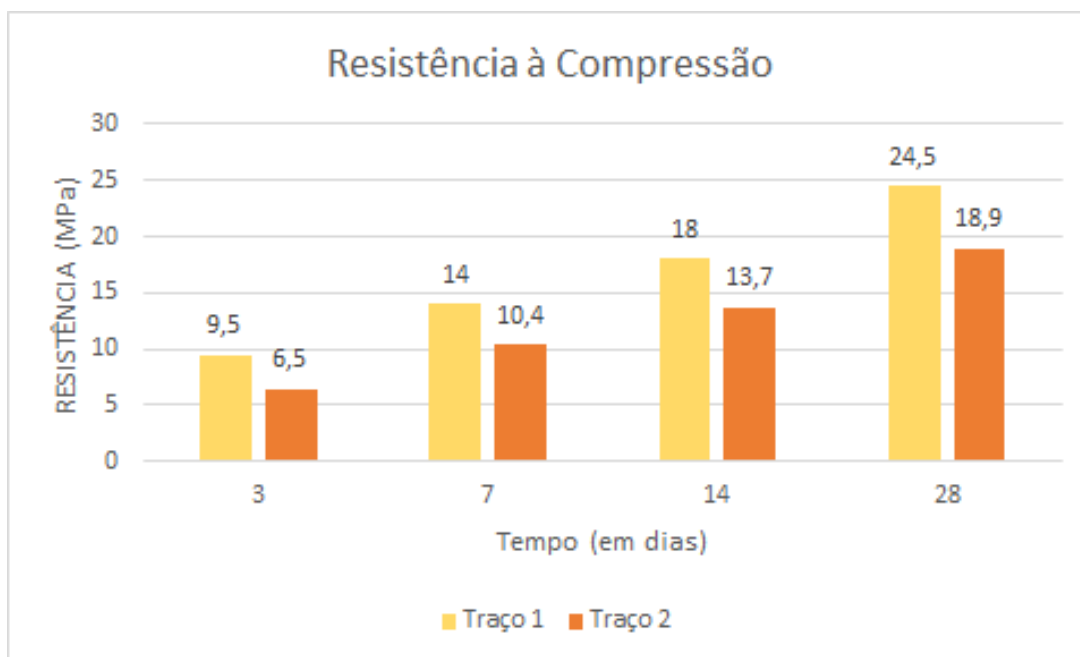
O método que foi usado para analisar a consistência das dosagens de concreto propostas foi o *slump test*, que é utilizado para avaliar a consistência da mistura quando ela ainda está no estado fresco. A partir desse teste chegou-se à conclusão que seria necessário adicionar uma quantidade maior de água no Traço 2 usando a mesma dosagem de elementos secos nas misturas, aumentando a relação a/c (água/cimento).

5.2.2 Resistência à compressão

As amostras foram acondicionadas em um tanque de cura úmida, sem sofrer nenhuma ação de água em movimento ou algum gotejamento. Essas amostras permaneceram até atingirem as idades de 3, 7, 14 e 28 dias, para se obter um melhor resultado e garantir a cura total do concreto.

Em cada uma das idades adotadas, foi realizado um teste de compressão para analisar a resistência do concreto obtido em cada traço. Os resultados dos testes de compressão são apresentados no gráfico da Figura 12.

Figura 12 – Resultados do teste de resistência à compressão



Fonte: Adaptado de SOUZA, *et al.* (2016)

Observando os resultados obtidos para cada traço é facilmente identificado que os resultados de resistência à compressão para o Traço 2, apresentou sempre valores menores em relação ao Traço 1. Apesar de apresentar os valores menores de resistência, com o tempo de cura de 28 dias, o Traço 2, com 100% de agregado miúdo pó de pedra, apresentou uma resistência de 18,9 Mpa, e como já foi exposto anteriormente, está acima do valor usado como referência para esse trabalho, que é

para um concreto que será utilizado em obras de pequeno porte, sendo esse valor igual a 15 Mpa.

5.3 CONSUMO DE ÁGUA

O consumo de água para o Traço 2 foi maior que no Traço 1, sendo essa diferença de 22,14 l/m³. Essa diferença se dá principalmente pelo fato de a areia lavada apresentar um teor de umidade maior que o do pó de pedra, já que é extraída de leitos de rios.

5.4 VALOR DE MERCADO DOS AGREGADOS

Após uma pesquisa realizada em empresas que comercializam os agregados, foram encontrados os valores de venda de cada um. A intenção da pesquisa foi apresentar valores de uma empresa que comercializa ambos, proporcionando assim um melhor comparativo entre os agregados.

A empresa selecionada para referencial de valores de pó de pedra e areia lavada é a Blocos Fantinato, que comercializa os dois produtos, e seus respectivos valores são apresentados em seguida no Quadro 7.

Quadro 7 - Valor de mercado dos agregados miúdos

Agregado	Valor (por 6m³)
Areia Lavada	R\$ 850,00
Pó de Pedra	R\$ 750,00

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da empresa Blocos Fantinato (2022)

Os valores de referência apresentados no Quadro 6 foram acessados pela última vez no dia 14 de setembro de 2022.

5.5 VANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA LAVADA POR PÓ DE PEDRA

Analisando os resultados obtidos para cada traço de concreto adotados, é seguro afirmar que a substituição da areia lavada pelo pó de pedra para confecção de concreto estrutural em obras de pequeno porte é viável.

5.4.1 Vantagens ambientais

Apesar do maior consumo de água quando o agregado miúdo é totalmente substituído pelo pó de pedra, é coerente afirmar que ainda assim essa substituição é uma alternativa sustentável e ambientalmente vantajosa. A análise feita para apresentar tal afirmativa é baseada em dois pontos principais: o comparativo entre o gasto de água com a extração da areia lavada usada normalmente e o uso de um rejeito resultado da britagem que quando não destinado corretamente pode causar impactos ambientais.

A análise em relação ao consumo de água na extração da areia lavada do leito de rios, foi realizada considerando o gasto de água que acontece apenas na extração da areia usada para o traço adotado com apenas areia lavada na composição. Os dados necessários para a realização dos cálculos foram: a massa específica da areia lavada e massa específica da água, apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Dados dos materiais (areia lavada e água doce)

Dado	Valor	Unidade
Massa específica areia lavada	De 1700 a 2300	Kg/m ³
Massa específica água doce (rio)	1000	Kg/m ³

Fonte: Elaborado pela autora com base em Luz (2018) e Archsolo (2017)

As fórmulas para o cálculo da massa específica em ambos os casos, respectivamente, são descritas a seguir:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\mu = \frac{m}{V} \quad (\text{Equação 2})$$

Usando como base os dados citados anteriormente é possível identificar os volumes dos materiais consumidos para os traços de concreto. Cada metro cúbico de concreto do Traço 1 vai usar 876 Kg de areia lavada. O valor que será adotado como massa específica da areia lavada é o valor médio, ou seja, de 2.000 Kg/m³, sendo assim, 876 Kg ocupa um volume de 0,44 m³. Usando os dados da bibliografia, temos que, após extraída, a areia lavada perde cerca de 10% do seu volume, que corresponde a água presente. A massa específica da água do rio (água doce) é de 1.000 Kg/m³. Dez por cento desse volume de 0,44 m³, é 0,04 m³. Transformando para litros, temos um gasto total de 40 litros de água perdidos em 876 Kg de areia lavada. Dessa forma, pode-se dizer que para realizar o Traço 1, o consumo de água equivale a 40 litros (perdidos na extração) mais o consumo de água para a fabricação do concreto, que é de 206,43 litros, totalizando 246,43 litros.

O Traço 2, onde foi utilizado como agregado miúdo apenas o pó de pedra, apresenta um consumo de água de 228,57 litros de águas. Fazendo um comparativo, o gasto de água no Traço 2, é 17,86 litros menor em relação ao Traço 1 para cada metro cúbico de concreto.

Além do consumo de água superior, quando se trata do uso da areia lavada, existe todo o dano ambiental causado em leitos de rios. O uso do pó de pedra além de evitar esses danos, traz usabilidade a um material que anteriormente seria descartado de forma incorreta, ou ficaria acondicionado de forma irregular gerando danos ao meio ambiente e a saúde humana.

5.4.2 Vantagens econômicas

A análise das vantagens econômicas é simples. Tomando como base o quantitativo dos agregados miúdos usados em cada um dos traços apresentados anteriormente, é possível realizar um conta simples para obter valores totais em cada caso.

O Traço 1 consome 876 Kg de areia lavada para fabricação de um metro cúbico de concreto. Usando como referência os resultados obtidos anteriormente, o volume ocupado pela areia é de 0,44 m³. Segundo dados fornecidos pela empresa Britagem Sol Nascente, o peso específico do pó de pedra é de 1.400 kg/m³. Calculando o volume ocupado pelo pó de pedra necessário para a produção de um metro cúbico de concreto temos o valor de 0,62 m³. Transformando os dados do Quadro 6 e calculando de acordo com os valores obtidos:

Quadro 9 - Valor gasto por material para um metro cúbico de concreto

Agregado	Valor (por 6m ³)	Valor por m ³	Volume necessário (para 1 m ³ de concreto)	Valor total
Areia Lavada	R\$ 850,00	R\$ 141,67	0,44 m ³	R\$ 62,33
Pó de Pedra	R\$ 750,00	R\$ 125,00	0,62 m ³	R\$ 77,50

Fonte: Elaborado pela autora

Como é possível observar, quando se usa pó de pedra, mesmo que o valor absoluto por m³ seja menor, o gasto é um pouco maior em relação a areia lavada. Esse gasto acaba sendo compensado quando se observa o consumo de água com o uso da areia lavada.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo visou apresentar além da viabilidade da substituição da areia lavada por pó de pedra para confecção de concreto para obras de pequeno porte, avaliar quais se existiam vantagens ambientais e econômicas relacionadas. A viabilidade foi comprovada, já que é possível obter um concreto com resistência à compressão de 18 Mpa, o suficiente para realizar obras de pequeno porte sem comprometer a estrutura.

Em relação as vantagens econômicas, o custo para a fabricação do metro cúbico desse concreto com apenas pó de pedra é um pouco maior em relação ao concreto com apenas areia lavada.

O principal a ser considerado são as vantagens ambientais apresentadas. Considerando o cenário atual, onde a extração de recursos naturais para a fabricação de concreto está cada vez mais desenfreada e ocorre em muitos lugares de forma irregular, é importante que se pense em alternativas viáveis que minimizem esses impactos ocasionados pelo setor da construção civil, que é muito importante para o cenário econômico.

A substituição da areia lavada pelo pó de pedra regulariza a extração da areia dos leitos de rios, uma atividade que gera impactos muitas vezes irreversíveis, e também cessa a extração de um recurso findável. É importante observar que essa substituição pode não ser viável para obras de grande porte, mas se apresenta como uma alternativa sustentável quando se trata de obras de pequeno porte, colaborando para mitigar impactos ambientais causados pela extração de areia em leitos de rios.

Outro ponto ambientalmente positivo da substituição é a utilização de um resíduo, resultado da britagem, que muitas vezes é acondicionado de forma errada, e gera diversos impactos ambientais.

Então, a substituição da areia lavada por pó de pedra para confecção de concreto para obras de pequeno porte é uma alternativa sustentável e que contribui para que o setor da construção civil possa se desenvolver sem gerar grandes impactos

ambientais, que deve ser uma tendência para os próximos anos, não só para a construção civil, mas para outras atividades grandes geradoras de impacto, mas que são importantes para a economia local e do país.

REFERÊNCIAS

ARCHSOLO. Archsolo Engenharia e Arquitetura. **Pesos específicos de materiais**. Disponível em < <http://archsolo.com.br/wp-content/uploads/2017/02/Peso-espec%C3%ADfico-materiais.pdf> >. Acesso em 14 de set. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935 - Agregados – Terminologia**. São Paulo, p. 12, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. São Paulo, p. 8, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. São Paulo, p. 11, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. São Paulo, p. 23, 2015.

ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da Região Noroeste do Paraná**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

BLOCOS FANTINATO. Blocos Fantinato, 2022. **6 m³ de pó de pedra**. Disponível em: < <https://blocos-fantinato.lojaintegrada.com.br/po-de-pedra-m3> >. Acesso em: 14 de set. de 2022.

BLOCOS FANTINATO. Blocos Fantinato, 2022. **6 m³ de areia grossa**. Disponível em: < <https://blocos-fantinato.lojaintegrada.com.br/areia-grossa-m3> >. Acesso em: 14 de set. de 2022.

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**. 2000.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM. **Manual de Agregados para construção civil**. Rio de Janeiro, 2012.

CÓ, F.A.; **Construção civil no Espírito Santo**. 2021. Notas de aula. Não paginado.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. 2011.

DUARTE, J. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland**. p. 86, Natal, 2013.

LARUCCIA, M. M. **Sustentabilidade E Impactos Ambientais Da Construção Civil**. **ENIAC Pesquisa**, p. 84, 2014.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A. **Operações de beneficiamento de rochas**. Capítulo 9: Manual de Agregados para Construção Civil - CETEM. 2ª Edição, 2012.

LUZ, A. B. DA; ALMEIDA, S. L. M. DE. **Operações de Lavra de Areia**. Capítulo 10: Manual de Agregados para Construção Civil. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2012. p. 13.

Luz, Gelson. **Peso específico da Água**. Materiais por Gelson Luz, [s. l], 2018. Disponível em: < <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/peso-especifico-da-agua.html> >. Acesso em 14 de set. de 2022.

NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação**. Universidade Federal de Juiz de Fora, p. 74, 2016.

NUNES, J. M. G. **Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem**. p. 94, 2012.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Estruturas, p. 24, 2007.

PINHEIRO, L. M. et al. **Estruturas de concreto**. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios, p. 14, 2016.

ROMANO, C. A. **Apostila De Tecnologia Do Concreto**. Manual de Tecnologia do Concreto. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Paraná, 2004.

SÁ, M. D. V. V. A. DE. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos**. p. 141, Natal, 2006.

SOUZA, A. DE. **Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto - SP**. p. 118, 2012.