



**LEVANTAMENTO DA QUANTIDADE E SUGESTÃO DE
DESTINAÇÃO DO RESÍDUO DE MARMORARIA PRODUZIDO NO
DISTRITO FEDERAL**

**EDUARDO DE SOUZA BISPO
LEANDRO SOARES DE ARAUJO**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASLIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

LEVANTAMENTO DA QUANTIDADE E SUGESTÃO DE
DESTINAÇÃO DO RESÍDUO DE MARMORARIA
PRODUZIDO NO DISTRITO FEDERAL

EDUARDO DE SOUZA BISPO
LEANDRO SOARES DE ARAUJO

ORIENTADORA: VALDIRENE MARIA SILVA CAPUZZO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
CIVIL

BRASÍLIA – DF: NOVEMBRO/2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**LEVANTAMENTO DA QUANTIDADE E SUGESTÃO DE
DESTINAÇÃO DO RESÍDUO DE MARMORARIA
PRODUZIDO NO DISTRITO FEDERAL**

**EDUARDO DE SOUZA BISPO
LEANDRO SOARES DE ARAUJO**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

**Valdirene Maria Silva Capuzzo, DSc. (UnB)
(ORIENTADORA)**

**Cláudia Márcia Coutinho, DSc. (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Mara Monaliza Linhares Pereira, MSc. (UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 16 de NOVEMBRO de 2021.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e de forma especial, à Deus, por nos conceder vida, saúde e todas as condições necessárias para realizar mais um sonho. Pedimos a ele que nos conceda sabedoria e graça para a excelência no exercício da profissão.

Aos nossos pais e familiares pelo carinho, compreensão e apoio físico e emocional. Sem eles seria impossível chegar até aqui.

Aos nossos amigos que nos propiciaram momentos de descontração em meio às dificuldades e lutas, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional, pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

À nossa orientadora Valdirene por proporcionar, mais que qualquer um, carinho, paciência e disposição. Existem poucos professores como a senhora, só Deus pode recompensá-la.

Às pessoas com as quais tivemos convívio ao longo desses anos de curso, que se fizeram presentes através de qualquer suporte, tornando essa trajetória mais leve e divertida.

À Universidade de Brasília pelo ensino de qualidade e pela estrutura que possibilitou nossa permanência até a etapa final da graduação.

RESUMO

O uso de resíduo de marmoraria na construção civil se mostra uma alternativa promissora, pois possui características físicas e químicas adequadas para ser usado na área e cada vez mais o mundo atual está ávido por alternativas que conciliem ganhos técnicos e de produtividade de modo que não agridam o meio ambiente, e que esteja atrelado ao conceito de sustentabilidade. Este trabalho objetiva colher informações acerca do tema, por meio de uma pesquisa de levantamento realizada com empresas que atuam no setor de rochas ornamentais no Distrito Federal e Entorno. A pesquisa de levantamento se deu pela aplicação de um questionário, em que foi feito um refinamento com a ajuda de um profissional da área, para que a abordagem do tema fosse a mais sucinta possível. A aplicação da pesquisa contou com a participação de cinco empresas que representam uma boa quantidade de geração de resíduos nesta região. Com os dados obtidos, foram descobertos os estados que mais enviam matéria-prima para a região em questão, assim como a mensuração da geração de resíduo das empresas e vários outros detalhes inerentes ao tratamento da matéria-prima até que esta esteja acabada e disponível para o consumidor final. Um levantamento bibliográfico foi realizado usando como base a metodologia da teoria do enfoque meta analítico consolidado (TEMAC), em que foi possível verificar os estudos produzidos com maior relevância, com o intuito de dar uma destinação final para o resíduo de marmoraria. Foi verificado que há trabalhos que visam obter resultados acerca da reutilização dos resíduos para diversas áreas, não ficando restrito apenas ao campo da construção civil. Entretanto, objetivando restringir o espectro das pesquisas de modo a não fugir do tema proposto, foram considerados apenas os estudos na área de Engenharia Civil e com mais de 5 citações de 2010 em diante, a fim de filtrar resultados recentes e relevantes. Assim, a literatura mostra que os resíduos de marmoraria são alvo de estudo de reaproveitamento em situações corriqueiras da construção civil, com destaque para as produções de concreto convencional, autodescendentes, argamassas e tijolos, além de serem objeto de estudo para a pavimentação de estradas.

Palavras-chave: Resíduo de marmoraria. Construção Civil. Sustentabilidade. Rochas Ornamentais.

ABSTRACT

The use of marble waste in civil construction is a promising alternative, as it has adequate physical and chemical characteristics to be used in the area and the current world is increasingly hungry for alternatives that combine technical and productivity gains in a way that does not harm the environment, and that is linked to the concept of sustainability. This work aims to gather information about the subject, through a survey carried out with companies that work in the sector of ornamental stones in the Federal District and surroundings. The survey research was carried out through the application of a questionnaire, in which a refinement was carried out with the help of a professional in the area, so that the approach to the topic was as brief as possible. The application of the survey had the participation of five companies that represent a good amount of waste generation in this region. With the data obtained, the states that send the most raw material to the region in question were discovered, as well as the measurement of the companies' waste generation and several other details inherent to the treatment of the raw material until it is finished and available for the end consumer. A bibliographic survey was carried out using as a basis the methodology of the consolidated meta-analytical approach theory (TEMAC), in which it was possible to verify the studies produced with greater relevance, in order to provide a final destination for the waste marble. It was verified that there are works that aim to obtain results regarding the reuse of waste for different areas, not being restricted to the field of civil construction. However, aiming to restrict the research spectrum so as not to escape the proposed theme, only studies in the area of Civil Engineering and with more than 5 citations from 2010 onwards were considered, in order to filter recent and relevant results. Thus, the literature shows that marble residues are the subject of reuse studies in common situations of civil construction, with emphasis on the production of conventional, self-compacting concrete, mortar and bricks, in addition to being the object of study for the paving of roads.

Keywords: Marble waste. Civil Construction. Sustainability. Ornamental Rocks.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Importância do tema	1
1.2. Motivação	2
1.3. Objetivo geral	2
1.4. Objetivos específicos	2
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1. Resíduo de marmoraria	4
2.1.1. <i>Resíduos de marmoraria na cadeia produtiva</i>	6
2.2. Cenário mundial de rochas ornamentais	9
2.3. Cenário das rochas ornamentais na economia brasileira	11
2.4. Utilização do resíduo de marmoraria na construção civil.....	15
2.4.1. <i>Resistência à compressão do concreto com substituição parcial do agregado miúdo</i> 17	
2.4.2. <i>Influência da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de marmoraria na absorção de água</i>	19
2.5. Outras possibilidades de aplicações.....	23
2.5.1. <i>Utilização do resíduo de marmoraria em pavimentação asfáltica</i>	23
2.5.2. <i>Utilização do resíduo de marmoraria na estabilização de solos</i>	23
3. METODOLOGIA	24
3.1. Primeira etapa – levantamento de empresas existentes na região.....	25
3.2. Segunda etapa – elaboração e aplicação do questionário	26
3.3. Tratamento dos dados obtidos com a pesquisa de levantamento.....	26
4. RESULTADOS.....	28
4.1. Origem da matéria prima	28

4.2. Etapas de transformação da matéria prima e tecnologia empregada na serrada de blocos	29
4.3. Relação entre o volume de matéria-prima útil e o volume de resíduos	32
4.4. Controle do resíduo gerado	35
4.5. Destinação da matéria-prima útil	38
4.6. Sugestão de utilização do resíduo gerado com base nas literaturas	38
5. CONCLUSÃO	45
6. REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE A – Questionário aplicado.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Aspecto visual do resíduo de marmoraria	4
Figura 2.2 - Cadeia produtiva das rochas ornamentais	7
Figura 2.3 - Maciço rochoso para extração da matéria-prima	7
Figura 2.4 - Detalhe do corte de bloco realizado por um tear de fio diamantado	8
Figura 2.5 - Detalhe de um dispositivo para polimento do tipo prato	9
Figura 2.6 - Evolução da produção mundial de rochas ornamentais ao longo dos anos	9
Figura 2.7 - Resistência à compressão para misturas de concreto com porcentagem variável de resíduo	17
Figura 2.8 - Comparativo entre teores de substituição ótimos de agregado miúdo por resíduo de marmoraria observado por diferentes autores para a resistência à compressão	18
Figura 2.9 - Comparativo entre teores de substituição ótimos de agregado miúdo por resíduo de marmoraria observado por diferentes autores para a absorção de água	21
Figura 3.1 - Organograma da metodologia.....	24
Figura 3.2 - Marmorarias da região do DF e Entorno	25
Figura 4.1 - Estados que enviam matéria prima para o Distrito Federal e Entorno	28
Figura 4.2 - Percentual de participação de cada estado no abastecimento de rochas	29
Figura 4.3 - Etapas da cadeia produtiva das rochas ornamentais	30
Figura 4.4 - Tecnologia usada pelas Empresas no processo produtivo	31
Figura 4.5 - Bloco de rocha sendo preparado para o corte	31
Figura 4.6 - Volume de produção útil e de resíduos mensal	32
Figura 4.7 - Exemplo de casqueiro	33
Figura 4.8 - Exemplo de caco de rocha	33
Figura 4.9 - Resíduo na forma de lama.....	34
Figura 4.10 – Percentagem total de resíduo gerado pelas empresas.....	34

Figura 4.11 - Produção x Resíduos.....	35
Figura 4.12 - Lagoa de sedimentação	36
Figura 4.13 - Resíduo na forma de lama após passar por um tratamento preliminar	37
Figura 4.14 - Cacos de rochas usados no estacionamento.....	37
Figura 4.15 - Destino do Produto Final	38
Figura 4.16 - Percentual de participação de cada estado	38
Figura 4.17 - Tecnologia empregada pelas Empresas	38
Figura 4.18 - Casqueiros usados no estacionamento.....	38
Figura 4.19 - Destino do Produto Final	38
Figura 4.20 - Áreas do conhecimento populares com <i>Marble waste</i>	40
Figura 4.21 - Áreas do conhecimento populares com <i>Graite waste</i>	40
Figura 4.22 - Quantidade de Aplicações encontradas por área	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição química dos resíduos de marmoraria.....	5
Tabela 2.2 - Propriedades físicas dos resíduos	6
Tabela 2.3 - Principais produtores mundiais entre os anos 2013-2016.....	10
Tabela 2.4 - Principais exportadores mundiais no ano de 2016	11
Tabela 2.5 - Estimativa da produção bruta de rochas ornamentais por região	12
Tabela 2.6 - Produções quantitativa e qualitativa por estado brasileiro	13
Tabela 2.7 - Empregos formais nas etapas de extração e beneficiamento.....	14
Tabela 2.8 - Geração de empregos formais por atividades setoriais	14
Tabela 2.9 - Distribuição do consumo interno	15
Tabela 2.10 - Valores de absorção em função dos teores de substituição do agregado miúdo	20
Tabela 2.11 - Resumo das literaturas apresentadas	22
Tabela 4.1 - Desperdício de cada empresa	35
Tabela 4.2 - Relação do tratamento dado de cada empresa ao resíduo gerado na produção.....	36
Tabela 4.3 - Quantitativo de publicações	39
Tabela 4.4 - Quantitativo de citações	41
Tabela 4.5 - Resultados da aplicação do resíduo de mármore na produção de concreto autoadensável.....	42
Tabela 4.6 - Resultados da aplicação do resíduo de granito na produção de concreto.....	43
Tabela 4.7 - Publicações sobre os temas	44

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de rochas ornamentais são majoritariamente compostos por partículas finas de pó e lama residual. Quando estas partículas finas provenientes dos resíduos atingem o solo, há uma redução da sua permeabilidade e porosidade, causando problemas como alagamentos, rebaixamento do lençol freático, além de se constituir uma ameaça à saúde pública, ocasionando doenças respiratórias. A lama residual é um grande inconveniente pela quantidade produzida e dificuldade de descarte, sendo prejudicial aos reservatórios de água quando levada com água de drenagem (SINGH, NAGAR e AGRAWAL, 2016). Souza *et al* (2010) concluíram que 20 a 25% do bloco de rocha é transformado em lama somente no processo de desdobramento da rocha. Assim, é necessário que seja fomentado o uso de resíduos de marmoraria na construção civil em substituição aos materiais convencionalmente utilizados neste setor, algo que gera sustentabilidade e menor agressão ao meio ambiente (HOLTZ, 2011).

1.1.Importância do tema

É de estimada importância estudos que viabilizem a harmonização entre o desenvolvimento da construção civil e a sustentabilidade através do reaproveitamento dos resíduos gerados. A reutilização dos resíduos gerados na cadeia produtiva é uma via de mão dupla, tendo em vista que este reaproveitamento propicia uma destinação socioambiental adequada para o resíduo e uma alternativa para a construção civil, com a utilização de materiais de alto desempenho e custos reduzidos. Angulo (2000) expressa que a construção civil é uma grande geradora de impactos ambientais, pela representatividade que tem no consumo de recursos naturais, sendo necessário, portanto, que sejam viabilizados materiais alternativos para este setor. Silva (2006) ressalta que a extração desordenada de recursos naturais, sobretudo a retirada da areia natural de rios, gera impactos significativos, como a degradação de leitos de rios, sendo, portanto, necessário o uso de matérias primas alternativas, tais como resíduos de marmoraria. Silva Júnior (2014) expressa que há uma necessidade crescente em se buscar meios alternativos que substituam os materiais tradicionalmente usados, e que isso tem como consequência a redução no descarte inadequado de resíduos de marmoraria. Novas formas de utilização dos resíduos contribuem para que sejam utilizadas cada vez menos matérias-primas não renováveis e para a redução da degradação de jazidas naturais, pela remoção de matéria prima e pela redução de áreas de disposição final, como “bota-foras” clandestinos (ALVES, 2008).

Esse trabalho pretende trazer uma estimativa da quantidade de resíduos de marmoraria produzidos no Distrito Federal e Entorno, valendo-se de uma pesquisa de levantamento que

abordará questões pertinentes, tais como, composições física e química do resíduo e descarte do resíduo gerado no processo de beneficiamento de rochas ornamentais. As questões abordadas nesta pesquisa trarão indicativos dos possíveis impactos ambientais gerados pelo descarte incorreto dos resíduos e alternativas de reutilização destes materiais.

1.2.Motivação

Quando se fala em rochas ornamentais, instantaneamente vem na cabeça os belos produtos que podem ser gerados através do acabamento destas rochas e que são amplamente usados na construção civil. Entretanto, pouco se fala nos resíduos que são gerados até que seja atingido o produto acabado e pronto para uso. Este trabalho tem como motivação mostrar a importância e os riscos dos resíduos de rochas ornamentais comumente gerados em uma marmoraria.

Foram consultadas diversas literaturas que tratam de questões relevantes sobre este tema a fim de obter embasamento teórico sobre a cadeia produtiva das rochas ornamentais. Como também, foram abordados temas que falam desde a sua produção e importância na economia, até o objetivo central deste trabalho, que é a geração de resíduos no Distrito Federal e suas implicações na sociedade, assim como o horizonte de possibilidades que estes resíduos trazem para a construção civil e que é pouco explorado.

1.3. Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral realizar um levantamento de informações através de um questionário, a respeito dos resíduos de marmoraria que são gerados no Distrito Federal e Entorno com o intuito de propor possíveis aplicações dos resíduos na cadeia produtiva da construção civil.

1.4. Objetivos específicos

O objetivo geral foi obtido pelos seguintes objetivos específicos:

- Elaborar uma pesquisa de levantamento, que com a ajuda de um profissional da área, seja possível abordar todo o tema de forma relevante, para que a aplicação da mesma seja compreendida pelos empresários do setor.
- Realizar o tratamento dos dados para a elaboração de gráficos e relatórios que ilustrem os resultados obtidos a partir da pesquisa de levantamento, com o intuito de identificar características de origem da matéria-prima, como o resíduo é gerado e tratado ao longo da sua cadeia produtiva até chegar de fato ao produto final.

- Propor soluções para reintroduzir o resíduo de marmoraria na cadeia produtiva usando como base a metodologia da teoria do enfoque meta analítico consolidado (TEMAC).

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta etapa será feita a revisão da literatura do tema proposto, não se limitando a tratar unicamente dos resíduos de marmoraria e suas aplicações, sendo abordada também a cadeia produtiva das rochas ornamentais e o impacto desta na economia brasileira e mundial, com a sua evolução ao longo das décadas.

2.1. Resíduo de marmoraria

As rochas ornamentais são classificadas como: granito, mármore, quartzito, arenito etc. As rochas ornamentais mais utilizadas são o granito e o mármore, pois estes dois correspondem à 90% da produção mundial de rochas ornamentais (SPÍNOLA *et al*, 2004). O termo “resíduo de marmoraria” abordado nesta pesquisa, refere-se ao resíduo gerado no processo de corte e polimento de rochas ornamentais, principalmente granito e mármore. Resíduos de marmoraria, conforme a Figura 2.1, são gerados pelo processo de beneficiamento de rochas ornamentais que podem ser extraídas da natureza em blocos ou placas, cortados em variados formatos e beneficiadas por meio de esquadrejamento, polimento etc.

Figura 2.1 – Aspecto visual do resíduo de marmoraria



Fonte: Revista de Arquitetura IMED, V.6, n.2 (2017)

Negredo (2018) evidencia que ao longo do processo de formação da rocha, o mineral adquire propriedades inertes em razão da sua estabilidade, que faz com que o resíduo gerado a partir de rochas ornamentais contenha essas características. Outros estudos também classificaram como inertes os resíduos de marmoraria (CHICON, 2019). Dessa forma, a necessidade de ensaios de reatividade mais específicos se torna desnecessária, sendo mais importantes os ensaios que determinam a composição mineralógica e a composição química destes resíduos, para que seja

verificada a presença de impurezas ou de algum teor de material orgânico. Na Tabela 2.1, estão evidenciados os resultados acerca da composição química de diferentes rochas, obtidos por diversos autores.

Tabela 2.1 - Composição química dos resíduos de marmoraria

Autores (ano)	Rocha	SiO₂ (%)	CaO (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	MgO (%)	Na₂O (%)	K₂O (%)	SO₃ (%)
Aysousef <i>et al.</i> (2019)	M	3,00	54,28	0,14	0,39	0,50	-	-	-
Ashish (2019)	M	8,38	41,83	0,67	0,65	10,36	0,60	0,07	0,33
Boukhelkal <i>et al.</i> (2016)	M	0,42	56,01	0,13	0,06	0,12	0,43	0,01	0,01
Dietrich (2015)	M e G	66,80	3,44	13,50	3,79	0,93	3,50	3,83	0,06
Ma <i>et al.</i> (2019)	M	3,84	37,48	1,45	0,73	13,75	-	0,24	0,08
Mashaly <i>et al.</i> (2018)	G	58,17	3,27	11,96	13,35	-	4,69	3,84	-
Negredo (2018)	M e G	53,63	19,34	11,76	6,36	2,59	-	3,04	0,21
Rodrigues (2018)	M e G	67,11	2,62	23,42	1,53	1,50	-	3,36	0,05
Sadel, El- attar e Ali (2016)	M e G	52,50	18,01	9,95	5,34	5,65	2,62	3,00	0,39
Singh <i>et al.</i> (2016)	G	72,57	-	15,63	-	0,83	4,21	6,76	-
Tennich, Ouezdou e Kallel (2017)	M	7,36	49,46	0,46	0,66	0,23	-	0,11	0,07
Vieira (2017)	M e G	62,31	5,19	14,06	5,83	2,29	3,11	5,08	0,08
M - Mármore; G- Granito									

Fonte: Pereira (2021)

Na Tabela 2.1 é possível verificar que há um padrão na composição química dos resíduos a partir do tipo de rocha ornamental que foi gerado. O granito é composto em sua grande parte por cristais de feldspato, plagioclásio, quartzo e mica (biotita e/ou muscovita), sendo assim ele apresenta em sua composição mineral uma predominância de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3). Em contrapartida, o mármore é composto basicamente por calcita e/ou dolomita e sua composição mineral predominante é o óxido de cálcio (CaO). Ainda assim, é possível identificar a presença de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) tanto no mármore quanto no granito

em menores proporções. Espera-se que o resíduo proveniente da mistura destes materiais tenha predominância do material que está misturado em maior quantidade, apresentado, portanto, quantidades de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e cálcio (CaO) (PEREIRA, 2021). Já a Tabela 2.2 investiga os resultados acerca das propriedades físicas do resíduo.

Tabela 2.2 - Propriedades físicas dos resíduos

Autores (ano)	Rocha	Massa Específica (g/m³)	Finura (m³/Kg)
Ashish (2019)	M	2,71	332,0
Aysousef <i>et al.</i> (2019)	M	2,69	9459,0
Dietrich (2015)	M e G	2,52	6179,3
Mashaly <i>et al.</i> (2018)	G	2,78	450,0
Negredo (2018)	M e G	2,53	7321,4
Rodrigues (2018)	M e G	2,45	6890,0
Sadel, El- attar e Ali (2016)	M e G	2,74	-
Singh, Srivastasa e Bhunia (2019)	M	2,67	350,0
Singh <i>et al.</i> (2016a)	G	2,62	-
Vazzoler (2015)	M e G	2,34	4024,7
Vieira (2015)	M e G	2,78	5406,0
M - Mármore; G- Granito			

Fonte: Pereira (2021)

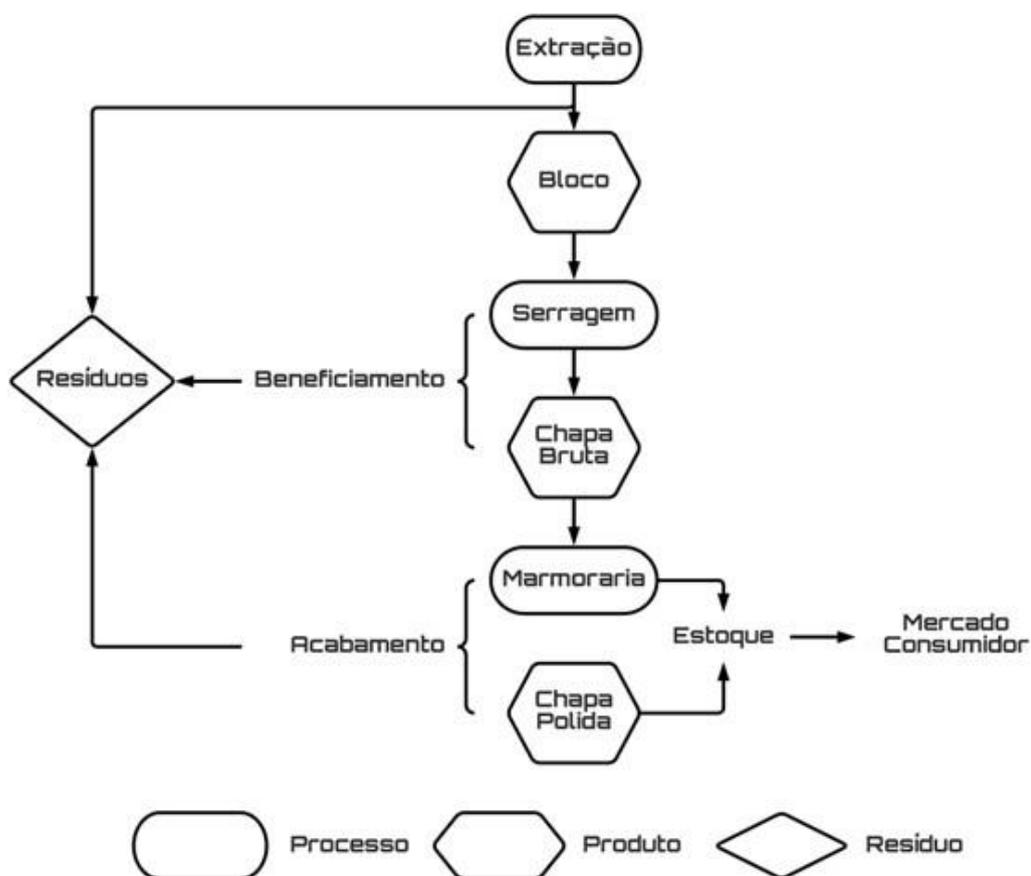
Na Tabela 2.2 não é possível observar uma relação entre os valores da massa específica e da finura quanto a característica da rocha ornamental que originou o resíduo, não seguindo nenhuma tendência ou confluência de resultados. Este resultado já era esperado, pelo fato de o resíduo ser originado a partir de diferentes jazidas.

2.1.1. Resíduos de marmoraria na cadeia produtiva

No setor de mineração é gerada uma grande quantidade de resíduos no processamento de rochas ornamentais, decorrente do baixo aproveitamento que é apresentado na cadeia produtiva dessas rochas. A fase inicial da cadeia produtiva das rochas ornamentais consiste na extração da matéria-prima em pedreiras em seu desdobramento por serragem, que gera um produto semiacabado. Este produto passa por processos de beneficiamento e acabamento até que esteja em condições de ser comercializado. O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo. Em 2020, o Brasil foi responsável pela exportação de mais de 2,12 milhões de toneladas de rochas ornamentais, e concomitantemente gerou uma quantidade significativa de resíduos neste processo (ABIROCHAS, 2020).

Na Figura 2.2 são sintetizados os processos da cadeia produtiva de rochas ornamentais, desde a sua extração até o beneficiamento e acabamento, que culmina na geração de resíduos.

Figura 2.2 - Cadeia produtiva das rochas ornamentais



Fonte: Elaboração Própria

A primeira etapa da cadeia produtiva é a extração que ocorre nas jazidas ou pedreiras, que consiste na retirada de blocos em maciços rochosos ou matacões, conforme Figura 2.3.

Figura 2.3 - Maciço rochoso para extração da matéria-prima



Fonte: (alfagraniti.com.br/produção, 2016)

A jazida em questão é uma das maiores do Brasil em extração de rochas para revestimentos. A mina “Asa Branca” no Ceará é única no Brasil, e uma das maiores do mundo na produção de granito branco, abrangendo uma área de 565 hectares com reserva medida em 100 milhões de metros cúbicos (ALIGRAN CORPORATION, 2016).

Depois que os blocos são extraídos, eles passam por um processo de beneficiamento (corte, esquadrejamento e polimento) para a devida adequação do material às exigências do mercado. O beneficiamento (também pode ser chamado de processo de transformação) consiste em três fases: levigamento, polimento, lustração e recorte das chapas (FRAZÃO, 2002). Este processo é dividido em duas etapas, em que beneficiamento primário (desdobramento ou serragem) é responsável pela transformação dos blocos em chapas semiacabadas e é executado por um tear de fio diamantado e espaçadores que garantirão a qualidade da espessura das chapas, conforme Figura 2.4.

Figura 2.4 - Detalhe do corte de bloco realizado por um tear de fio diamantado



Fonte: (www.saolucasgranitos.com.br/galeria-de-fotos, 2016)

No beneficiamento secundário ocorrem os procedimentos operacionais que originarão os produtos que serão armazenados para posterior comercialização interna ou externa. Este procedimento é realizado por um dispositivo de polimento do tipo prato, que dá acabamento ao produto e é ilustrado através da Figura 2.5. Convém salientar que este dispositivo contém material abrasivo com granulometria compatível para a etapa de polimento em questão.

Figura 2.5 - Detalhe de um dispositivo para polimento do tipo prato

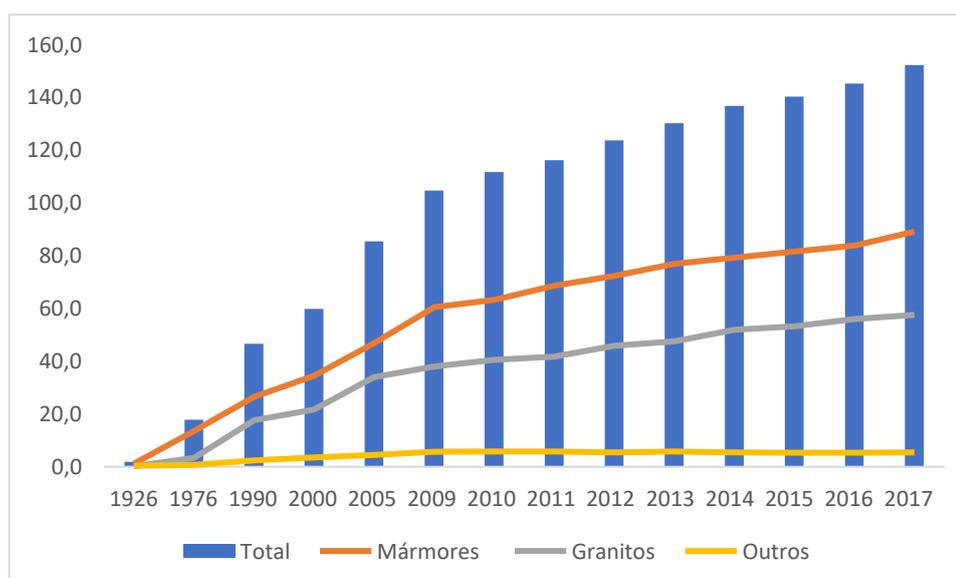


Fonte: (www.saolucasgranitos.com.br/galeria-de-fotos, 2016)

2.2.Cenário mundial de rochas ornamentais

A atividade de mineração das rochas ornamentais vem crescendo continuamente no mundo. Desde 1990, o setor experimentou em média um crescimento de 4,5% ao ano no mundo todo (BEZERRA, 2018). Esse crescimento se intensificou a partir da década de 2000 com a multiplicação de feiras setoriais internacionais, modernização das tecnologias de lavra, beneficiamento e acabamento, diversificação de produtos de rochas e pela grande expansão chinesa no mercado internacional (FILHO, 2018). A Figura 2.6 a seguir destaca o panorama histórico da evolução da produção mundial.

Figura 2.6 - Evolução da produção mundial de rochas ornamentais ao longo dos anos



Fonte: Bezerra (2018)

A produção mundial de rochas ornamentais evoluiu de um patamar de 1,8 milhões de toneladas na década de 1920 para 152 milhões de toneladas em 2017, segundo levantamento de 2018. Nos últimos 5 anos, entre 2013 e 2017, a indústria mundial de rochas ornamentais cresceu a uma taxa de 4,0 % ao ano (BEZERRA, 2018).

A Tabela 2.3 destaca os principais produtores mundiais entre os anos de 2013 e 2016, sendo notável a predominância da China no mercado mundial de produção de rochas ornamentais. Com relação ao Brasil, este aparece como um dos cinco maiores produtores mundiais deste mercado.

Tabela 2.3 - Principais produtores mundiais entre os anos 2013-2016

Países x Ano (Peso)	2013		2014		2015		2016	
	Mt	%	Mt	%	Mt	%	Mt	%
China	39,5	30,4%	42,5	31,1%	45	32,1%	46	31,7%
Índia	19,5	15,0%	20	14,7%	21	15,0%	23,5	16,2%
Turquia	12	9,2%	11,5	8,4%	10,5	7,5%	10,75	7,4%
Brasil	9	6,9%	8,75	6,4%	8,2	5,9%	8,5	5,9%
Irã	6,5	5,0%	7	5,1%	7,5	5,4%	8	5,5%
Itália	7	5,4%	6,75	4,9%	6,5	4,6%	6,25	4,3%
Egito	3	2,3%	4,2	3,1%	5	3,6%	5,25	3,6%
Espanha	5	3,8%	4,85	3,6%	4,75	3,4%	5	3,4%
EUA	2,75	2,1%	2,65	1,9%	2,7	1,9%	2,8	1,9%
Portugal	2,65	2,0%	2,75	2,0%	2,7	1,9%	2,6	1,8%
França	1,05	0,8%	1,2	0,9%	1,25	0,9%	1,3	0,9%
Arábia Saudita	1,2	0,9%	1,3	1,0%	1,2	0,9%	1,25	0,9%
Grécia	1,25	1,0%	1,3	1,0%	1,25	0,9%	1,2	0,8%
Paquistão	1	0,8%	1	0,7%	1,05	0,8%	1,1	0,8%
Subtotal	111,4	85,7%	115,75	84,8%	118,6	84,7%	123,5	85,2%
Outros	18,6	14,3%	20,75	15,2%	21,4	15,3%	21,5	14,8%
Total	130	100%	136,5	100%	140	100%	145	100%

Fonte: Montani (2018)

A Tabela 2.4 traz os principais exportadores mundiais de rochas ornamentais no ano de 2016, que ratifica a China como o maior expoente do setor. O Brasil se encontra entre os maiores exportadores mundiais, como visto na Tabela 2.4, denotando a importância deste setor na economia nacional.

Tabela 2.4 - Principais exportadores mundiais no ano de 2016

Países x SH4*	2515**	2516***	6801****	6802*****	6803*****	Total
China	76	1.107	919	9.085	417	11.604
Índia	165	7.268	313	1.970	52	9.768
Turquia	4.367	101	115	2.046	1	6.630
Egito	2.470	2	2	1.433	1	3.908
Itália	1.181	126	115	1.365	10	2.797
Brasil	13	1.024	36	1.239	98	2.410
Espanha	771	189	27	744	486	2.217
Portugal	453	345	334	411	20	1.563
Grécia	590	15	2	241	6	854
Irã	608	0	0	117	0	725
Subtotal	10.694	10.177	1.863	18.651	1.091	42.476
Outros	1.926	3.539	1.869	3.582	153	11.069
Total	12.620	13.716	3.732	22.233	1.244	53.545

SH4* - Código de exportação do produto.

2515** - Blocos e chapas brutas de mármore e chapas carbonáticas correlatas.

2516*** - Blocos e chapas brutas de granitos e rochas silicáticas correlatas.

6801**** - Rochas processadas simples, representadas por produtos obtidos a partir de quartzitos micáceos, gnaisses foliados, calcários plaqueados e outros.

6802***** - Rochas processadas especiais, envolvendo, sobretudo, chapas polidas e lajotas padronizadas de granitos e mármore, além de seus congêneres (quartzitos, travertinos, calcários, pedra-sabão).

6803***** - Produtos de ardósia, abrangendo telhas (roofing states) e peças de revestimento.

Fonte: Montani (2018)

Há uma relação intrínseca entre o mercado de produção, apresentado na Tabela 2.3, e a exportação de rochas ornamentais, apresentado na Tabela 2.4, em que o dinamismo da produção dita o ritmo de exportação, de tal forma que os maiores produtores mundiais são também os maiores exportadores.

2.3. Cenário das rochas ornamentais na economia brasileira

A partir da década de 1990, o Brasil vem denotando crescimento qualitativo e quantitativo do setor de exploração de rochas ornamentais. Esse aumento se deu pelo maior número de empresas interessadas no beneficiamento dessas rochas, resultando em uma maior quantidade litológica já processada para a comercialização e a exportação (DNPM, 2011). Desde então, o

Brasil experimentou um notável crescimento de atividades da cadeia produtiva de rochas ornamentais, decorrente do aumento das exportações (Filho, 2018).

Montani (2018) mostra que a mineração de rochas ornamentais foi de 8,25 milhões de toneladas em 2017, e se concentrou preponderantemente na Região Sudeste, de onde estima-se que sejam extraídos aproximadamente 65% da produção nacional. A Tabela 2.5 traz essa distribuição.

Tabela 2.5 - Estimativa da produção bruta de rochas ornamentais por região

Região	Produção (mil toneladas)	Participação (%)
Sudeste	5,35	64,8
Nordeste	1,63	19,8
Sul	1,11	13,4
Centro-Oeste	0,13	1,6
Norte	0,03	0,4
Brasil	8250	100

Fonte: Montani (2018)

Fica clara a enorme disparidade da região Sudeste em relação as outras e sua dominância no setor de produção de rochas ornamentais. Apesar disso, a região Sudeste apresentou ao longo da última década uma tendência de queda, assim como em quase todo o país. Na contramão surge o Nordeste, que vem se solidificando e ampliando cada vez mais sua participação neste setor, tanto na extração, quanto no beneficiamento (BEZERRA, 2018).

O Espírito Santo surge como o maior produtor em toneladas de rochas ornamentais do Brasil, ao passo que o estado de Minas Gerais apresenta a maior diversidade de produção. A Tabela 2.6 traz a produção em toneladas e o(s) tipo(s) de rocha(s) produzido(s) majoritariamente em cada estado brasileiro, destacando as produções qualitativa e quantitativa por estado.

Tabela 2.6 - Produções quantitativa e qualitativa por estado brasileiro

Região	UF	Produção (mil t)	Tipo de Rocha
Sudeste	Espírito Santo	3400	Granito e mármore
Sudeste	Minas Gerais	1900	Granito, pegmatito, ardósia, quartzito foliado, quartzito maciço, pedra-sabão, Pedra-talco, serpentinito, mármore e basalto
Sudeste	Rio de Janeiro	200	Granito, mármore e pedra paduana (gnaisse)
Sudeste	São Paulo	80	Granito, quartzito foliado
Sul	Paraná	200	Granito e mármore
Sul	Rio Grande do Sul	140	Granito, basalto e quartzito
Sul	Santa Catarina	120	Granito, ardósia e mármore
Centro-Oeste	Goiás	200	Granito quartzito foliado, serpentinito
Centro-Oeste	Mato Grosso	50	Granito
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	60	Granito e mármore
Nordeste	Bahia	850	Granito, pegmatito, mármore, travertino
Nordeste	Ceará	900	Granito, pegmatito, limestones e pedra cariri (calcário plaqueado)
Nordeste	Paraíba	430	Granito e conglomerado
Nordeste	Pernambuco	140	Granito e quartzito
Nordeste	Alagoas	160	Granito
Nordeste	Rio Grande do Norte	170	Granito e mármore
Nordeste	Piauí	100	Pedra morisca (arenito arcossiano) e ardósia
Norte	Rondônia	50	Granito
Norte	Roraima	10	Granito e anortosito
Norte	Pará	30	Granito
Norte	Tocantins	10	Granito, cherte (quartzito), serpentinito

Fonte: Filho (2018)

Bezerra (2018) afirma que o setor de rochas ornamentais, compreendendo as etapas de extração e beneficiamento, ocupa de maneira formal, aproximadamente 60000 pessoas trabalhando. Em relação ao número de estabelecimentos com licença para funcionar, estima-se que seja aproximadamente 7500 unidades. A tabela 2.7 mostra a divisão de postos de trabalho formais em relação às etapas de extração e beneficiamento.

Tabela 2.7 - Empregos formais nas etapas de extração e beneficiamento

Atividade	Quantidade de empregos formais
Extração de ardósia	1204
Extração de granito	8164
Extração de mármore	964
Extração de basalto	2888
Beneficiamento	42409

Fonte: Bezerra (2018)

Estima-se que os negócios brasileiros do setor, incluindo serviços, comercialização de máquinas, equipamentos e insumos tenham movimentado cerca de 5 bilhões de dólares em 2017. São cerca de 10000 empresas gerando centenas de milhares de empregos diretos e indiretos, conforme distribuição da Tabela 2.8 (FILHO, 2018).

Tabela 2.8 - Geração de empregos formais por atividades setoriais

Segmento	Nº Estimado de empregos	Participação (%)
Marmoraria	60000	50,0
Beneficiamento	32000	26,7
Lavra	18000	15,0
Ensino e serviços	3000	2,5
Exportadoras	2400	2,0
Depósitos e chapas	1800	1,5
Indústrias de máquinas,	2400	2,0

Fonte: Filho (2018)

Assim, tem-se o levantamento da geração de empregos formais e informais, por segmento das diferentes etapas da cadeia produtiva dos resíduos de marmoraria, em que o espaço físico da marmoraria é quem acumula a maior quantidade de postos de trabalho.

As exportações brasileiras de rochas ornamentais brutas e processadas somaram, em 2017, US\$ 1,107 bilhão, correspondentes à comercialização de 2,36 milhões de toneladas de rochas brutas e processadas (MDIC, 2018). Filho (2018) evidencia que em 2017, as rochas processadas compuseram 80,45% do total do faturamento e 55,62% do volume físico das exportações de rochas ornamentais, totalizando uma arrecadação da ordem de US\$ 1,1 bilhões com 2,36 milhões de toneladas de rochas, apresentando uma retração frente ao ano de 2016.

Após um período de retração, as exportações brasileiras de rochas ornamentais voltaram, em 2019, a atingir a emblemática marca de US\$ 1 bilhão no faturamento, resultado 2,06% maior do que em 2018. Ainda que tímido, o saldo positivo evidencia uma mudança de curso e possível recuperação do setor nos próximos anos. O impulso veio, principalmente, pelo crescimento da

participação do Espírito Santo no cenário internacional. De 79,9% em 2018, passou para 81,8% em 2019, evidenciando o protagonismo do Estado neste segmento econômico (FINDES, 2020).

Anualmente é divulgado pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS um panorama mundial da produção e comércio internacional de rochas ornamentais por meio de vários relatórios. Em um balanço realizado em setembro de 2020, observou-se uma variação negativa das exportações brasileiras de rochas, condicionada pela pandemia de coronavírus. As exportações de agosto e setembro foram as maiores do ano em curso, que contabilizou um total de 1,6 milhões de toneladas.

Filho (*apud* BEZERRA, 2018) traz informações concernentes ao consumo interno, e evidencia a região Sudeste novamente como o destaque, sendo responsável por 67% do consumo, vindo logo em seguida a região Sul com 14% e as demais regiões com 19% do consumo interno total, conforme Tabela 2.9. Filho (*apud* BEZERRA, 2018).

Tabela 2.9 - Distribuição do consumo interno

Distribuição do consumo interno por estados e regiões		
UF/ Região	Consumo (10⁶ m²) *	Participação (%)
SP	30,1	45
RJ, ES, MG	14,7	22
Região Sul	9,4	14
Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste	12,7	19

Fonte: Filho (*apud* Bezerra, 2018)

O fato de a região Sudeste consumir quase 70% das rochas ornamentais produzidas no Brasil está arraigado a essa região ser também a maior produtora, ou seja, o mercado consumidor está muito próximo à produção. Além disso, está relacionada também a grande disponibilidade de matéria-prima presente nessa região.

2.4. Utilização do resíduo de marmoraria na construção civil

No decorrer dos últimos anos houve um crescimento vertiginoso no número de pessoas e instituições empenhadas em estudar maneiras de reutilização para os resíduos que são descartados de maneira imprópria. Isso ocorre devido à escassez de matéria-prima, aumento dos custos dos materiais e está em consonância com a elaboração de leis específicas que limitam a disposição final desses resíduos no meio ambiente, gerando novos nichos de oportunidades na engenharia.

Diante da necessidade de reaproveitamento dos resíduos de corte de marmoraria, uma alternativa extremamente viável é a sua utilização em processos de engenharia civil, como na

estabilização de solos, substituição de componentes do concreto, utilização em misturas asfálticas, como componente de concretos de alto desempenho etc. A viabilidade dessas aplicações é verificada através de ensaios intrínsecos ao tipo de utilização dos resíduos, de acordo com o que é preconizado pelas normas brasileiras.

De acordo com trecho contido na dissertação de mestrado da autora Pereira (2021),

Tunc (2019) realizou uma revisão de literatura, a partir de estudos após 2010, em que de forma detalhada indicou diferentes campos em que o resíduo de marmoraria já vem sendo aplicado. De forma breve e detalhada, o autor apresentou as seguintes opções para o resíduo: substituição do agregado e do cimento em concreto convencional, incorporação em concreto autoadensável, uso em concreto asfáltico, estabilização de solos, e produção industrial de diferentes materiais tais como tijolos, compósitos e painéis isolantes. Na literatura, o maior número de estudos focou o uso deste resíduo em substituição aos agregados (aproximadamente 35% dos estudos revisados), enquanto o menor número de estudos focou em seu uso na produção de asfalto (6% de estudos revisados). O autor concluiu também através da revisão, que aproximadamente 15% de lucro econômico pode ser obtido através da reciclagem de resíduos de marmoraria. Os resultados sugerem que a utilização deste resíduo na produção do concreto é vantajosa em termos de obtenção de concreto barato e durável, além de ser uma solução ecológica (PEREIRA, 2021, p. 44).

Relacionando as vantajosas propriedades dos resíduos de rochas ornamentais à necessidade de utilização de matéria-prima renováveis na indústria da construção civil, que é a que mais degrada o meio ambiente, surge então a possibilidade de utilizar resíduo de marmoraria na produção de concretos sustentáveis. Em se tratando da pedra ornamental, esta pode ser inserida nos traços de concreto como agregado miúdo, graúdo ou como fíler (CORRÊA, WAGNER e SEIDLER, 2020).

Vardhan, Siddique e Goyal (2018) afirma que há uma vantagem dupla em usar pó de resíduo de marmoraria como agregado miúdo. Em primeiro lugar, como a fração de agregado miúdo no concreto é muito maior do que a fração de cimento, uma grande quantidade de resíduo de marmoraria pode ser incorporada no concreto como substituição do agregado miúdo. Em segundo lugar, o resíduo é um material inerte, portanto, mais adequado como substituto de agregado miúdo do que como substituto de cimento.

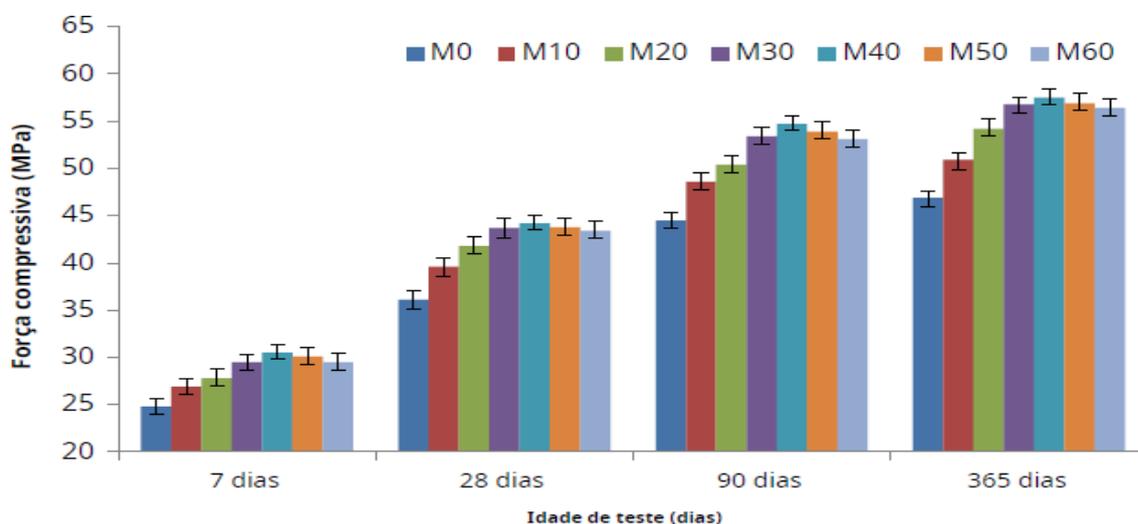
Arel (2016) afirma que a utilização do resíduo de marmoraria como agregado miúdo, a depender da taxa de substituição, propicia uma redução significativa na emissão de CO₂, além

de baratear o custo de produção do concreto. Portanto será evidenciada a utilização do resíduo de marmoraria como substituto parcial do agregado miúdo na produção do concreto, avaliando os efeitos que esta adição causa nas propriedades mecânicas do concreto.

2.4.1. Resistência à compressão do concreto com substituição parcial do agregado miúdo

Em estudo preconizado por Vdkardhan, Siddique e Goyal (2018), foi investigado o comportamento da resistência à compressão de um concreto produzido a partir de diferentes teores de substituição do agregado miúdo por resíduo de marmoraria. Os teores adotados foram de 10-60% de resíduo de marmoraria, com incrementos de 10%. Os resultados para diferentes idades do corpo de prova são apresentados na Figura 2.7.

Figura 2.7 - Resistência à compressão para misturas de concreto com porcentagem variável de resíduo



Fonte: Vardhan, Siddique e Goyal (2018)

A resistência à compressão da mistura aumenta à medida em que se aumenta a quantidade de resíduo de mármore na mistura até o nível ótimo de substituição de 40%, a partir do qual há uma redução gradativa da resistência à compressão. Ressalta-se que mesmo observando uma redução de resistência para teores de substituição superiores a 40%, os resultados ainda são superiores ao de referência.

Olaniyan *et al.* (2012) avaliaram os efeitos da substituição parcial do agregado miúdo e obteve como valor ótimo 15%, isto é, valor para o qual a resistência à compressão apresenta valor máximo. A partir deste valor houve uma diminuição gradativa nos valores de resistência à compressão.

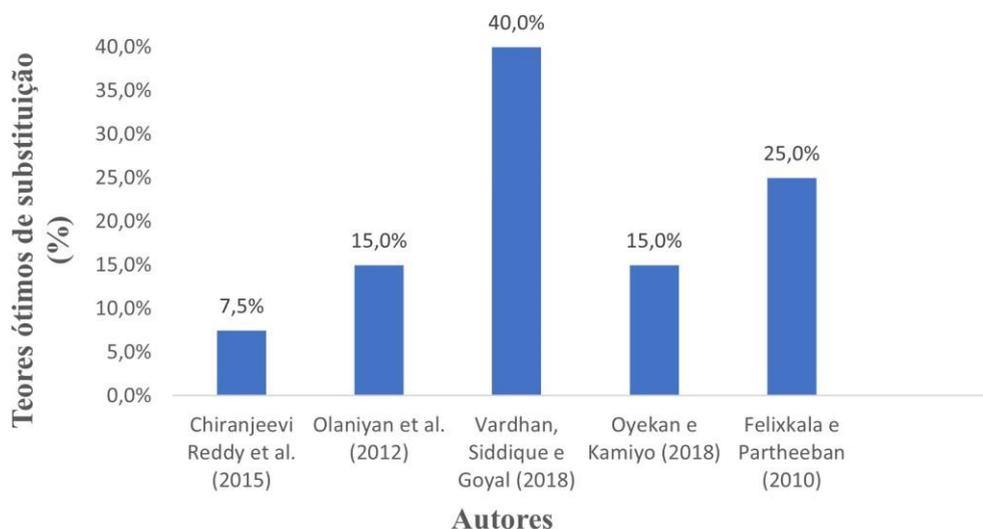
Chiranjeevi Reddy *et al.* (2015) investigaram os efeitos da substituição do agregado miúdo por resíduo de marmoraria nas propriedades mecânicas do concreto, em que para o teor de 10% de substituição houve uma redução na resistência à compressão e o teor ótimo foi de 7,5%.

Oyekan e Kamiyo (2008) obtiveram em seus resultados um teor de substituição de 15% para a resistência à compressão máxima. A partir deste valor houve uma redução paulatina nos valores de resistência à compressão.

Felixkala e Partheeban (2010) conseguiram resistência à compressão máxima para um teor de substituição de 25%, ao passo que houve uma redução na resistência para valores superiores ao teor ótimo.

A Figura 2.8 traz uma análise comparativa para diferentes autores acerca da substituição do agregado miúdo por uma porcentagem ótima de resíduo de marmoraria, para a qual se obtém a máxima resistência à compressão.

Figura 2.8 - Comparativo entre teores de substituição ótimos de agregado miúdo por resíduo de marmoraria observado por diferentes autores para a resistência à compressão



Fonte: Elaboração Própria

No que concerne a resistência à compressão, o comportamento apresentado está em consonância com o que é normalmente encontrado na literatura acerca das propriedades do concreto.

De acordo com Singh, Nagar e Agrawal (2015), a resistência do concreto é influenciada pela relação água-cimento e pela ligação na interface da pasta de cimento hidratada com os agregados. Os concretos com pó de resíduo de marmoraria apresentam matriz mais densa e

melhor dispersão dos grãos do cimento, tendo como consequência uma maior resistência à compressão para determinados teores de substituição, com posterior redução conforme o teor de substituição vai aumentando.

Vardhan, Siddique e Goyal (2015) enfatizaram que a utilização de resíduo de marmoraria como agregado miúdo contribui para o refinamento da estrutura dos poros, gerando uma melhor microestrutura da matriz de concreto. Arraigado a isso, as formas arredondas dos resíduos de mármore propiciam uma melhoria na zona de transição intersticial da mistura resultante. A redução da resistência pode estar atrelada à redução da trabalhabilidade do concreto, a medida em que se aumenta a quantidade de resíduo.

Khan *et al.* (2015) afirmam que até um determinado teor de substituição confere ao concreto maior resistência à compressão, devido a formação de uma matriz densa e compacta, que preenche os vazios e confere maior fator de empacotamento. Em contrapartida, o excesso de resíduo de mármore na mistura afeta adversamente a ação de ligação da matriz e tende a reduzir a resistência à compressão.

Peixoto da Matta *et al.* (2013) afirmam que a diminuição da resistência para determinado teor de substituição pode estar condicionada pela formação de aglomerados de partículas do resíduo, devido à sua dispersão inadequada durante a mistura. De acordo com Castro e Pandolfelli (2009), no estado endurecido os aglomerados tendem a se comportar como partículas vazias, e consequentemente perdem resistência mecânica devido à falta de coesão.

2.4.2. Influência da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de marmoraria na absorção de água

Os resultados do estudo de Vardhan, Siddique e Goyal (2018) para a absorção de água com diferentes teores de substituição do agregado miúdo são apresentados na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Valores de absorção em função dos teores de substituição do agregado miúdo

Mistura	Coeficiente de absorção (mm/t _{0,5})		Absorção de água (%)	
	28 dias	365 dias	28 dias	365 dias
M0	0,013	0,012	5,1	2,68
M10	0,012	0,012	4,97	2,56
M20	0,012	0,011	4,44	2,48
M30	0,011	0,008	4,02	2,3
M40	0,009	0,007	3,79	2,12
M50	0,01	0,008	3,94	2,26
M60	0,01	0,008	4,05	2,29

Fonte: Vardhan, Siddique e Goyal (2018)

O menor valor de absorção de água é observado na mistura M40, na qual 40% dos agregados finos são substituídos por resíduos de mármore. É importante salientar que mesmo com um aumento da absorção de água para valores de substituição acima do teor ótimo, ainda assim são inferiores ao do concreto de referência.

Bhandari e Munnur (2015) investigaram a absorção de água e a porosidade do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de marmoraria. O valor ótimo de substituição, ou seja, que propicia o valor mínimo de absorção de água corresponde ao percentual de 15%. A partir deste valor foi observado um aumento gradual da absorção de água.

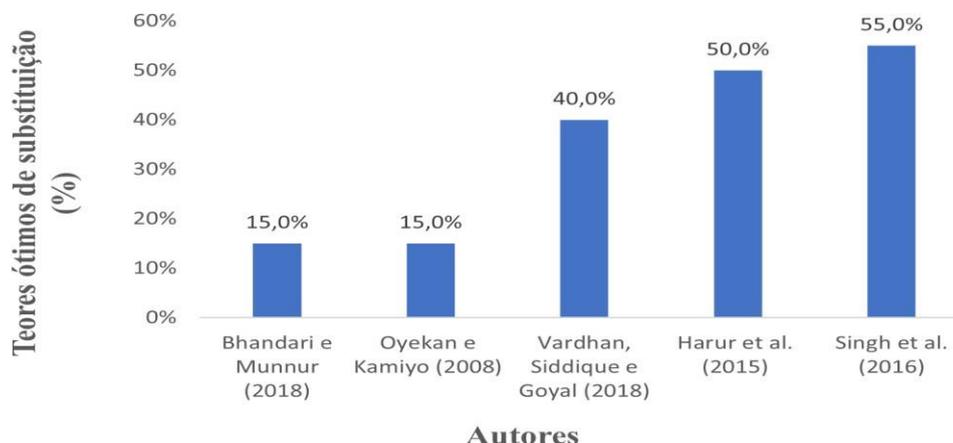
Harur *et al.* (2015) demonstraram que um teor de substituição de 50% do agregado miúdo pelo resíduo de marmoraria é responsável pela mínima absorção de água, ao passo que para valores superiores a este a absorção de água passa a diminuir.

Singh *et al.* (2016) observou que a absorção de água reduziu até um nível de substituição de 55% do agregado miúdo pelo resíduo de marmoraria, com posterior aumento para valores superiores ao teor de substituição ótimo.

Oyekan e Kamiyo (2008) estudaram o efeito da inclusão do resíduo de marmoraria como agregado miúdo e obtiveram o menor valor de absorção de água para um teor de substituição de 15%.

A Figura 2.9 apresenta uma análise comparativa para diferentes autores acerca da substituição do agregado miúdo por uma porcentagem ótima de resíduo de marmoraria, para a qual se obtém a mínima absorção de água, e conseqüentemente a melhor durabilidade do concreto.

Figura 2.9 - Comparativo entre teores de substituição ótimos de agregado miúdo por resíduo de marmoraria observado por diferentes autores para a absorção de água



Fonte: Elaboração Própria

No que tange a este ensaio, os resultados estão em confluência com o comportamento esperado para a absorção de água quando se substitui parcialmente o agregado miúdo por resíduo de marmoraria. A tendência, inicialmente, é que os valores de absorção diminuam com a adição do resíduo de marmoraria, até o teor ótimo de substituição, a partir do qual os valores de absorção passam a crescer gradativamente.

Vardhan, Siddique e Goyal (2015) afirmam que a diminuição da absorção de água com o aumento da idade de cura se deve a uma matriz de concreto mais densa devido à hidratação do concreto. Essa redução com a adição de resíduos de marmoraria está relacionada a diminuição dos poros estruturais, efeito este causado pela adição do resíduo de marmoraria até o teor ótimo de substituição, resultando na melhoria da durabilidade geral da mistura.

Em estudos realizados por Gameiro *et al*, (2014); Talah *et al*, (2015); Beachia e Hebhou, (2011), foi verificado que a utilização de resíduo de marmoraria atua preenchendo a base do concreto, causando uma diminuição considerável na absorção de água e porosidade, o que resulta em um aumento substancial da resistência à compressão.

Na Tabela 2.11 são sintetizadas as literaturas utilizadas e os resultados obtidos para as propriedades de resistência mecânica e durabilidade do concreto com seus respectivos teores de substituição do agregado pelo resíduo de marmoraria.

Tabela 2.11 - Resumo das literaturas apresentadas

Resistência à compressão		
Autores (ano)	Adição mineral utilizada	Resultados
Olaniyan <i>et al.</i> (2012)	Substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de marmoraria em percentagem.	Resistência à compressão máxima para teor de 15%
Chiranjeevi Rudy <i>et al.</i> (2015)		Resistência à compressão máxima para teor de 7,5%
Oyekan e Kamiyo (2008)		Resistência à compressão máxima para teor de 15%
Felixkala e Partheeban (2010)		Resistência à compressão máxima para teor de 25%
Absorção de água		
Bhandari e Munnur (2015)	Substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de marmoraria em percentagem.	O valor ótimo de substituição, ou seja, o valor mínimo de absorção de água corresponde ao percentual de 15%
Harur <i>et al.</i> (2015)		O valor ótimo de substituição, ou seja, o valor mínimo de absorção de água corresponde ao percentual de 50%.
Singh <i>et al.</i> (2016)		O valor ótimo de substituição, ou seja, o valor mínimo de absorção de água corresponde ao percentual de 55%.
Oyekan e Kamiyo (2008)		O valor ótimo de substituição, ou seja, o valor mínimo de absorção de água corresponde ao percentual de 15%.

Fonte: Elaboração Própria

2.5.Outras possibilidades de aplicações

2.5.1. *Utilização do resíduo de marmoraria em pavimentação asfáltica*

A pavimentação asfáltica utiliza em sua mistura cerca de 95% de agregados minerais, como britas e basaltos, e 5% de cimentos asfálticos de petróleo. O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) tem a capacidade de aglutinar os agregados minerais, sendo assim ele é utilizado como um ligante, responsável por unir os elementos da mistura. Já os agregados são responsáveis por suportar o peso do tráfego na via e oferecer estabilidade mecânica ao pavimento (ELPHINGSTONE, 1997).

São encontrados na literatura estudos em que foi verificada a aplicabilidade dos resíduos de marmoraria (RM) como substituição ao conjunto de agregados minerais que são utilizados na mistura asfáltica. CETEM (2007) realizou um estudo com diversos ensaios, análises químicas e mineralógicas estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, para a caracterização do material. Chegou-se à conclusão de que a substituição atendeu todas as normas estabelecidas pelo órgão, com os resultados mostrando que a mistura asfáltica com o resíduo de marmoraria apresentou um comportamento similar ao do basalto, que é amplamente usado em pavimentação.

2.5.2. *Utilização do resíduo de marmoraria na estabilização de solos*

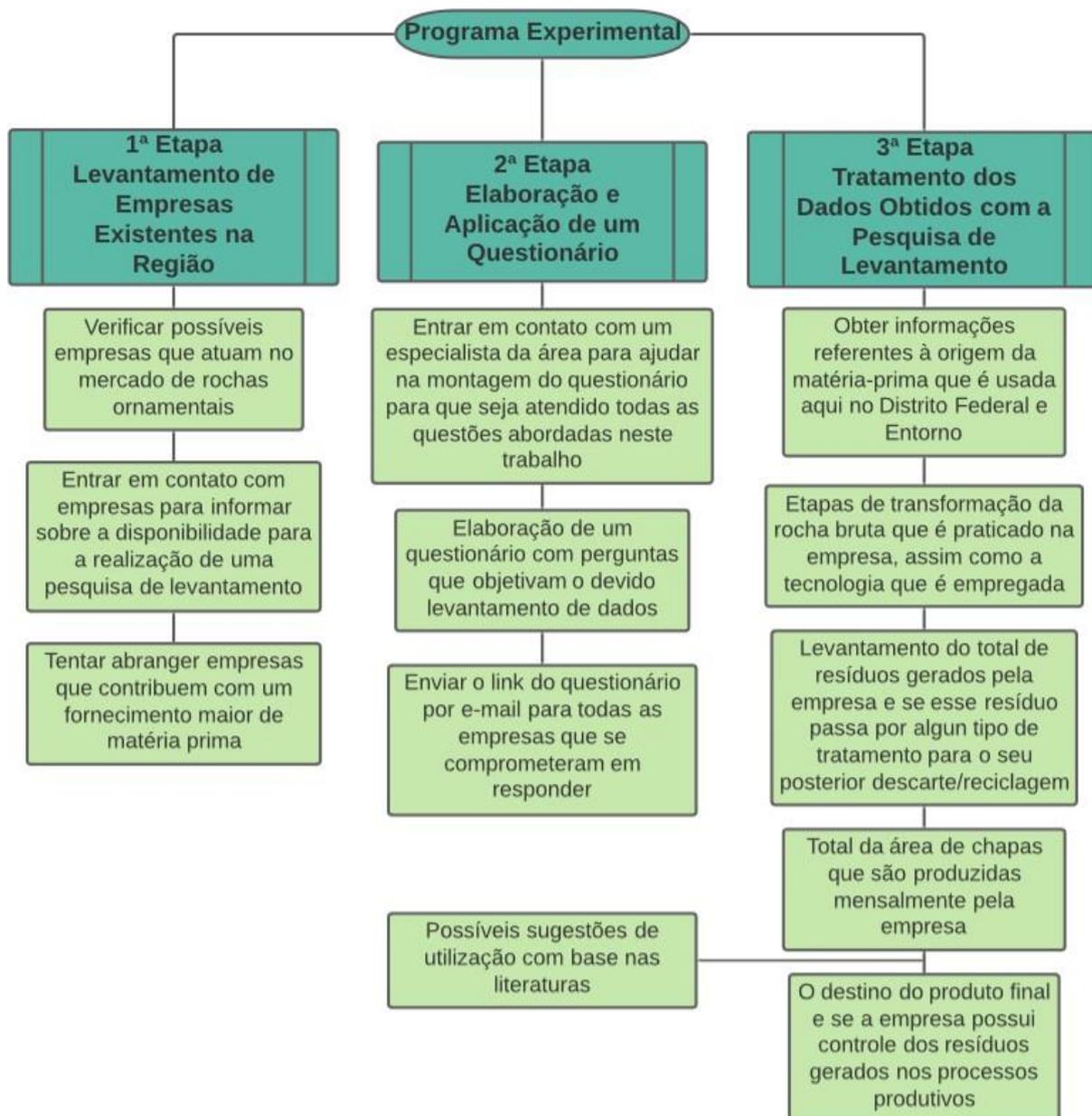
Métodos que visam a melhoria dos solos são essenciais para a solução de problemas, seja pelas restrições ambientais, pelo custo excessivo do transporte devido à escassez de jazidas próximas de solos adequados para rodovias, dentre outros (FERREIRA e ROSA, 2006). Estabilizar um solo consiste em alterar suas propriedades, visando sempre melhorias em termos geotécnicos, ao aumentar sua resistência à esforços, erosão e desgastes relacionados ao tráfego. Esta técnica é aplicada para modificar as características do solo natural que são inadequados para determinadas obras da engenharia (SOUZA, 2014).

Meise (2018) preconizou um estudo em que foi utilizada uma concentração de 2% com resíduo de marmoraria para a estabilização de um solo proveniente da cidade de Caraúbas/RN. Para isso, foram realizados diversos ensaios, como o de granulometria, limite de plasticidade, limite de liquidez, de compactação e *California Bearing Ratio* (CBR). Os resultados se mostraram satisfatórios para àquela porcentagem de resíduo de marmoraria, que propiciou um aumento significativo em sua capacidade de suporte, sendo, portanto, passível de ser aplicado em reforço de subleito, na camada de sub-base e revestimento primário.

3. METODOLOGIA

Este tópico tem como objetivo apresentar o procedimento que foi desenvolvido, com o intuito de adquirir dados que tornassem plausível a estimativa da quantidade gerada de resíduos de marmoraria no Distrito Federal e Entorno. Para isso, foi elaborado um organograma dividido em três etapas, conforme a Figura 3.1.

Figura 3.1 - Organograma da metodologia



Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 3.2 tem-se um exemplo de como foi feita a sondagem das empresas atuantes no segmento, com empresas que atuam na região do DF e Entorno. O objetivo foi encontrar empresas que trabalhassem com uma maior quantidade de matéria prima, para que fosse possível levantar uma quantidade maior de dados sobre todo o processo de resíduos gerados. Portanto, esta etapa compreendeu o mapeamento das empresas que atuam no mercado de rochas ornamentais no Distrito Federal e Entorno.

Para que as empresas se dispusessem a participar, foi necessário detalhar o processo de levantamento dos dados e como se objetivava usá-los, a fim de convencer as empresas a participarem, mostrando as possíveis alternativas que este estudo poderia trazer para o setor ou quem sabe até criando nichos de mercado.

3.2.Segunda etapa – elaboração e aplicação do questionário

Para a elaboração da pesquisa de levantamento, foram usadas como base as informações encontradas neste trabalho, a fim de abranger o máximo possível de questões pertinentes sobre o processo de geração de resíduos na produção de rochas ornamentais. Foi realizado um intercuro de ideias com um profissional da área com experiencia no setor, com o intuito que ele ajudasse na complementação do questionário com questões relevantes acerca do tema. Segue um esboço do que se pretendia com a aplicação do questionário.

- ✓ Origem da matéria-prima
- ✓ Etapas de transformação da matéria prima e tecnologia empregada na serrada de blocos
- ✓ Relação entre o volume de matéria prima útil e o volume de resíduos
- ✓ Controle do resíduo gerado
- ✓ Destinação da matéria-prima útil
- ✓ Possíveis sugestões de utilização do resíduo gerado com base nas literaturas

A ideia do questionário era que ele fosse bastante sucinto, para que qualquer profissional do setor conseguisse respondê-lo sem maiores dificuldades, de modo que fossem geradas as informações buscadas para posterior tratamento. Nas sugestões de utilização, foram abordadas maneiras de reintrodução do resíduo de marmoraria na cadeia produtiva da construção civil.

3.3.Tratamento dos dados obtidos com a pesquisa de levantamento

Com esta etapa, esperava-se obter informações sobre a origem das matérias primas que são usadas nas marmorarias do Distrito Federal e Entorno. Identificando o local onde ocorre a

extração das rochas ornamentais que são comercializadas neste mercado, chegou-se em um quantitativo referente ao estado que mais produz para consumo interno nessa região.

Em uma indústria, os resíduos se apresentam em tamanhos variados, sendo os tipos majoritários casqueiros, cacos de rocha e lama. O que determina a forma que os resíduos irão assumir é o processo de transformação da rocha, que depende da finalidade da empresa. Empresas de maior porte, que fazem a serrada do bloco, geram resíduos de todas as formas, ao passo que empresas de menor porte, que recebem as chapas brutas, geram basicamente resíduos na forma de lama. No que tange ao processo de serrada do bloco, este pode ser com granalha de aço ou não.

Para que seja possível chegar em uma quantidade estimada de resíduos gerados no Distrito Federal e Entorno, foi necessário reunir todas as informações colhidas com o questionário e fazer um adequado tratamento de dados, beneficiando-se de ferramentas estatísticas, tais como o *Excel* e *Power BI*. Portanto, conseguiu-se gerar relatórios que mostrassem as características das indústrias que operam no setor de rochas ornamentais da região em estudo, e com isso, obter-se informações importantes acerca do seu processo produtivo, tais como o total de resíduo gerado pelas indústrias, a relação entre o volume de resíduo e o volume útil processado, o controle do resíduo gerado, a destinação das chapas acabadas e prontas para consumo etc.

O levantamento bibliográfico foi realizado usando a metodologia da teoria do enfoque meta analítico consolidado (TEMAC), com o intuito de filtrar informações relevantes a respeito do tema, em que o número de citações de cada artigo foi levado em conta para determinar a sua relevância. A filtragem por área permitiu selecionar engenharia civil e verificar todas as publicações realizadas e de maiores relevância no decorrer do período selecionado, sendo assim a proposta de utilização seguiu com base nessa investigação.

4. RESULTADOS

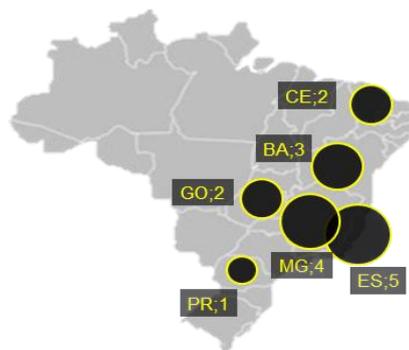
Neste item serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com a aplicação da pesquisa de levantamento. As seções serão divididas em relação a origem da matéria prima, etapas de transformação da matéria prima assim como a tecnologia empregada na serrada de blocos, relação do volume de matéria prima útil e seu volume de resíduos, controle de resíduos gerados, devida destinação final da matéria prima útil e possíveis maneiras de se reintroduzir o resíduo gerado na cadeia produtiva da construção civil com base nas literaturas.

Participaram do questionário cinco empresas, as quais são chamadas de empresas A, B, C, D e E. Com essa quantidade de participantes, foi possível levantar os dados necessários para a real abordagem do tema, ilustrando como se comporta o setor de rochas ornamentais no Distrito Federal e Entorno, de tal forma que foi seguido todos os questionamentos descritos no item 3.

4.1. Origem da matéria prima

Com a pesquisa de levantamento, foi possível observar que as regiões do DF e Entorno recebem matéria prima basicamente dos maiores produtores de rochas ornamentais de cada região do país. Espírito Santo e Minas Gerais são respectivamente os maiores produtores brasileiros e foram os estados que mais aparecerem na nossa pesquisa, os estados do Ceará e da Bahia são os maiores produtores da Região Nordeste e possuem importante relevância no abastecimento das regiões da pesquisa em questão. O estado de Goiás é o maior produtor do centro-oeste e figura como um importante fornecedor. O estado do Paraná é o maior produtor da Região Sul e aparece também, com menos relevância. Com base nos resultados obtidos na pesquisa, é possível verificar que estes estão em consonância com a Tabela 2.6 – Produções quantitativa e qualitativa por estado brasileiro. Na Figura a seguir, são apresentados os estados predominantes no envio de matéria-prima para o DF e Entorno, obtidos através da pesquisa.

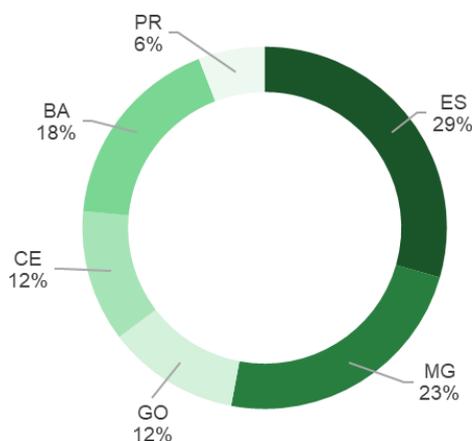
Figura 4.1 - Estados que enviam matéria prima para o Distrito Federal e Entorno



Fonte:Elaboração Própria

Na partir da Figura 4.2 é possível visualizar o percentual de participação dos estados obtidos na pesquisa, no que concerne ao abastecimento de rochas para o DF e Entorno e tomar algumas conclusões.

Figura 4.2 - Percentual de participação de cada estado no abastecimento de rochas



Fonte:Elaboração Própria

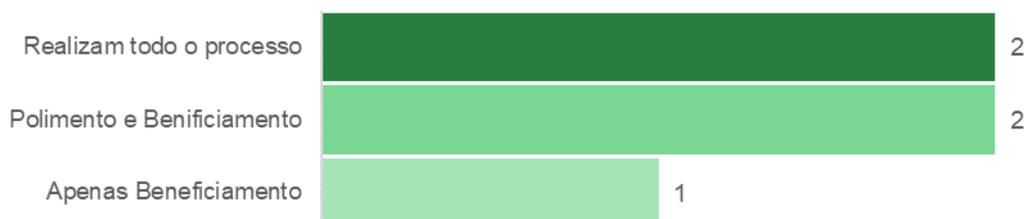
Os estados do Espírito Santo e Minas Gerais são disparadamente os mais produtores em quantitativos e em diversidade de rochas, por este motivo lideram o número de aparições na pesquisa e representam mais de 50% do abastecimento. O estado de Goiás tem uma participação de aproximadamente 12% no fornecimento de matéria prima para a região em estudo, assim como o Ceará. Entretanto, quando se compara a produção em toneladas de ambos os estados, conforme a tabela 2.6 – produções quantitativas e qualitativas por estado brasileiro, há uma discrepância muito grande, em que o Goiás produz apenas cerca de 22% do que é produzido do Ceará. Isso pode ser explicado pelo fato de que o Goiás estar muito mais próximo do destino da matéria prima, somado ao fato de que as rochas de cada estado têm suas particularidades e diferentes possibilidades de aplicação na construção civil e, portanto, pode ocorrer de um estado com menor produção ter maior abastecimento do que um estado com maior produção. O Paraná além de ser o menor produtor quantitativo dos estados levantados, possui uma baixa variedade de rochas ornamentais, além de estar muito distante da região em estudo, e por isso aparece com o menor percentual.

4.2.Etapas de transformação da matéria prima e tecnologia empregada na serrada de blocos

A indústria de marmoraria no DF e Entorno é muito pequena quando comparada a outras regiões. O foco da indústria nesta região é de abastecimento da demanda interna, por isso há

pouquíssimas empresas que realizam todo o processo de transformação da rocha. Em geral, as empresas da região em estudo recebem a chapa bruta e transformam em produto final, que será comercializado. Isso é evidenciado na Figura 4.3, que mostra quantas das cinco empresas fazem determinada etapa da cadeia produtiva das rochas ornamentais.

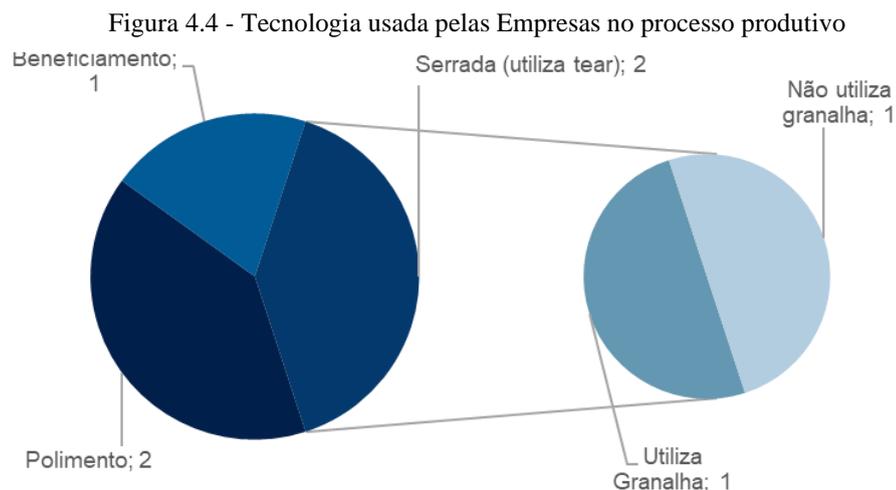
Figura 4.3 - Etapas da cadeia produtiva das rochas ornamentais



Fonte: Elaboração Própria

Apenas duas empresas que responderam ao questionário fazem todo o processo de transformação da rocha, desde o recebimento da rocha bruta, oriunda da pedreira, até o produto acabado e pronto para ser comercializado. Outras duas empresas recebem a chapa bruta e fazem polimento e beneficiamento, e apenas uma empresa realiza somente o beneficiamento. Isso ajuda a explicar o porquê de no DF e Entorno a geração de resíduos de marmoraria ser baixa. As empresas de pequeno porte dominam o mercado e fazem apenas os processos finais, onde a geração de resíduos é bem baixa, tendo em vista que a etapa de serrada do bloco é a maior responsável pela geração do resíduo.

Como consequência disso, poucas empresas de marmoraria do DF e Entorno utilizam teares em sua linha de produção, já que estes são utilizados na serrada dos blocos oriundos das pedreiras. A Figura 4.4 mostra quantas das empresas que participaram da pesquisa utilizam teares e se no processo é utilizado ou não a gralha de aço.



Fonte: Elaboração Própria

A Figura 4.4 nos mostra que apenas uma empresa das cinco que participaram da pesquisa utiliza a granalha de aço. Esse dado é extremamente benéfico no que diz respeito à reutilização dos resíduos na construção civil, como por exemplo na produção de concreto, tendo em vista que resíduos que contém granalha de aço podem induzir pontos de oxidação e com isso comprometer a qualidade do concreto e conseqüentemente impossibilitar o seu reaproveitamento.

Na Figura 4.5 pode ser observado a rocha sendo preparada para o processo de serrada em uma das empresas que participaram da pesquisa e que foi visitada, a fim de ficar a par da dinâmica de funcionamento de uma marmoraria de grande porte e de todo o seu processo produtivo.

Figura 4.5 - Bloco de rocha sendo preparado para o corte

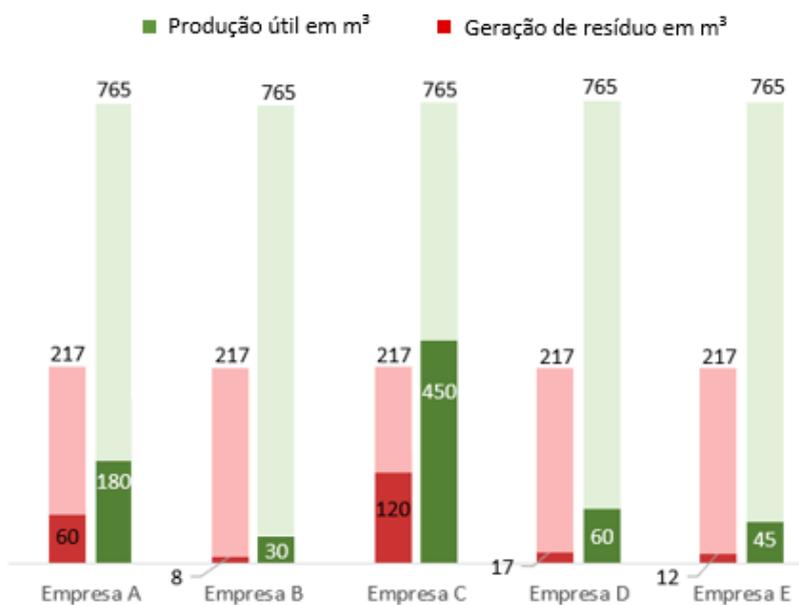


Fonte: Elaboração Própria

4.3. Relação entre o volume de matéria-prima útil e o volume de resíduos

Ao longo da cadeia produtiva das rochas ornamentais, em cada etapa de transformação da rocha bruta, são gerados resíduos. A pesquisa aplicada obteve informações de empresas com características variadas. Há empresas de grande porte, que fazem todo o processo de transformação da rocha bruta, assim como há empresas de pequeno porte, que fazem apenas o beneficiamento da chapa e a transforma em produto comercializável. Ou seja, as empresas que participaram do questionário possuem finalidades diferentes. Algumas atuam de forma mais ampla, objetivando abastecer todo o mercado interno da região em estudo, desde construtoras até pequenas marmorarias e outras. Devido a isso, há uma enorme discrepância na produção de matéria-prima e geração de resíduos de uma empresa para a outra. O total de resíduo gerado pelas cinco empresas foi de 217 m³, ao passo que a produção útil mensal foi em torno de 765 m³, conforme apresentado na Figura 4.6.

Figura 4.6 - Volume de produção útil e de resíduos mensal



Fonte: Elaboração Própria

O levantamento numérico do volume de resíduo gerado é uma tarefa muito complicada, haja visto que ele não tem valor comercial, e por isso, não faz sentido para as empresas quantificá-lo. A maioria das empresas responderam de forma indireta, através do número de caçambas necessárias para carregar o resíduo gerado. Assim, para chegar a um valor razoável, adotamos a metragem cúbica padrão de uma caçamba de caminhão, que é 9 m³. Além disso, a grande maioria das empresas misturam o resíduo na forma de lama com o resíduo na forma de pedaços de rocha, tornando difícil a tarefa de separar o valor de cada tipo de resíduo. A empresa que foi

visitada trabalha de forma extremamente profissional, e realiza a separação dos resíduos, que podem ser vistos nas figuras 4.7, 4.8 e 4.9.

Na Figura 4.7 é possível observar a primeira forma de resíduo gerado em uma empresa que realiza a serragem da rocha, que é o casqueiro. Este resíduo é gerado pelo corte das aparas superior e inferior da rocha, para que esta seja encaminhada ao tear e seja desdobrada em chapas.

Figura 4.7 - Exemplo de casqueiro



Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 4.8 é observada a outra forma de resíduo na forma sólida, que é o caco de rocha. Este resíduo é gerado pelo esquadrejamento da chapa bruta que sai do tear, a fim de deixá-lo o mais uniforme possível em suas dimensões para que caiba na máquina de polimento.

Figura 4.8 - Exemplo de caco de rocha



Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 4.9 tem o resíduo preponderante no processo de transformação da rocha, que é o resíduo na forma de lama. Este resíduo aparece em todas as etapas da cadeia produtiva, com maior significância no processo inicial, de serragem da rocha. Por este motivo esta é a forma mais abundante de resíduo gerada.

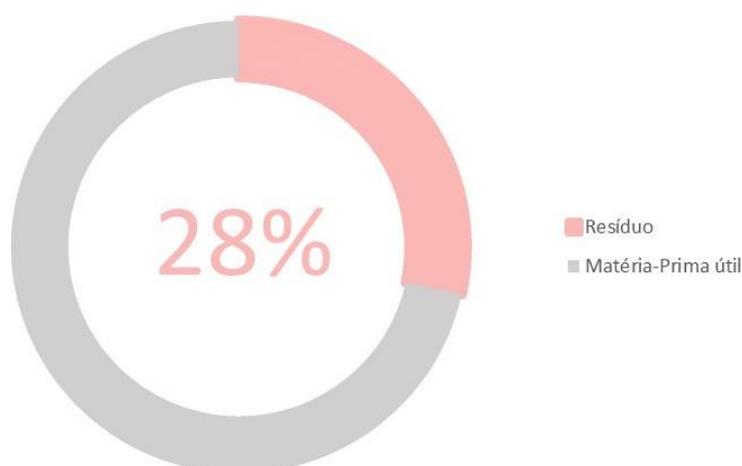
Figura 4.9 - Resíduo na forma de lama



Fonte: Elaboração Própria

No que concerne à quantidade de matéria prima gerada mensalmente pelas empresas, esta é quantificada em área total de chapas produzidas. Para chegar ao volume mensal, foi adotada uma espessura média de 3 cm para as chapas. Assim, foi possível chegar ao coeficiente de desperdício, através do quociente do volume de resíduo pelo volume de matéria-prima útil. Esta relação pode ser verificada na Figura 4.10. Convém salientar que este é o coeficiente de desperdício médio entre todas as empresas que participaram do questionário.

Figura 4.10 – Percentagem total de resíduo gerado pelas empresas



Fonte: Elaboração Própria

Na Tabela 4.1, são mostradas as empresas, e os seus respectivos valores de produção, geração de resíduo e coeficiente de desperdício (CD).

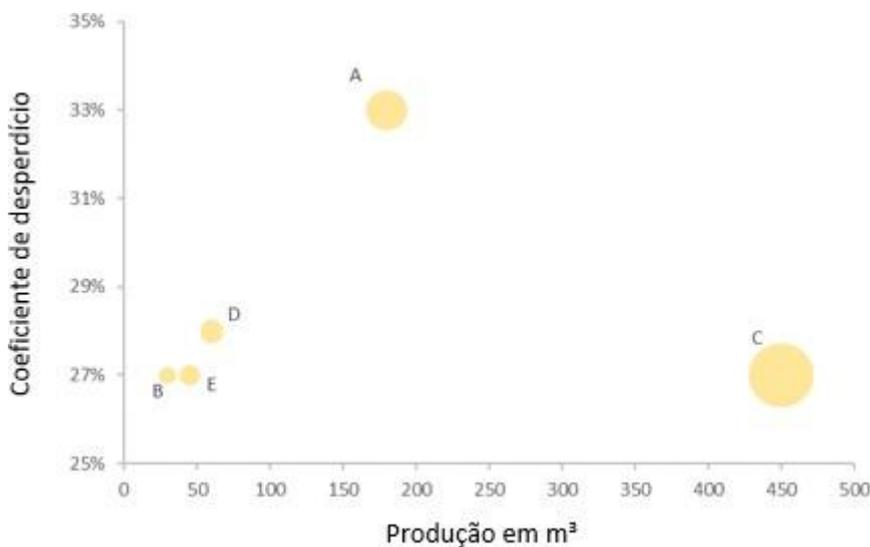
Tabela 4.1 - Desperdício de cada empresa

Empresas	Produção útil (m³)	Resíduo (m³)	CD
Empresa A	180	60	33%
Empresa B	30	8	27%
Empresa C	450	120	27%
Empresa D	60	17	28%
Empresa E	45	12	27%
Total	765	217	28%

Fonte: Elaboração Própria

A partir da tabela pode-se inferir que o coeficiente de desperdício não possui relação com o volume de produção, isto é, não depende do porte da empresa, e sim da qualidade de processamento da rocha. A seguir, tem-se a Figura 4.11, que foi obtida pelo lançamento gráfico da produção útil no eixo X, e do coeficiente de desperdício no eixo Y, a fim de verificar a dependência entre ambos. Com isso, fica claro que o coeficiente de desperdício não depende do volume produzido, e sim da qualidade de processamento da rocha realizado pela empresa.

Figura 4.11 - Produção x Resíduos



Fonte: Elaboração Própria

4.4. Controle do resíduo gerado

Concernente ao cuidado com o resíduo gerado na cadeia de produção, a região em estudo segue a tônica nacional. Ou seja, as empresas que se preocupam em tratar e reaproveitar o resíduo são minoria, conforme apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Relação do tratamento dado de cada empresa ao resíduo gerado na produção

Empresa	Tratamento preliminar	Armazenamento	Armazenamento em local isolado	Controle da destinação final
A	Sim	Sim	Sim	Não
B	Não	Não	-	Não
C	Sim	Sim	Sim	Sim
D	Não	Não	-	Não
E	Não	Não	-	Não

Fonte: Elaboração Própria

Em relação ao tratamento preliminar, este é feito apenas pelas Empresas A e C, ou seja, de modo geral, o resíduo na forma de lama é prontamente descartado após o fim da cadeia produtiva. O tratamento preliminar geralmente é feito por lagoas de sedimentação e filtro prensa. Na empresa que foi visitada, todos os ambientes possuíam canaletas que conduziam a água utilizada no processo produtivo para uma lagoa de sedimentação, de modo a fazer a recirculação da água para posterior reaproveitamento, conforme apresentado na Figura 4.12. Depois de passar pela lagoa de sedimentação, a água volta para a caixa d'água com o auxílio de bombas, para que seja reutilizada, até que não seja mais possível utilizá-la.

Figura 4.12 - Lagoa de sedimentação



Fonte: Elaboração Própria

Apenas duas empresas realizam o armazenamento do resíduo gerado para posterior descarte, sendo que ambas o armazenam em local isolado de elementos externos. Isso é importante quando se fala em reaproveitamento do resíduo na construção civil, haja vista que elementos externos podem comprometer a qualidade do resíduo. Como por exemplo, vegetações em torno do local de armazenamento podem causar a contaminação do resíduo por matéria orgânica. A Figura 4.13 mostra como o resíduo na forma de lama é armazenado na empresa visitada. O

armazenamento é feito em piso cimentado sob filtro prensa e isolado de elementos externos, e, portanto, o resíduo gerado tem pouca chance de ser contaminado.

Figura 4.13 - Resíduo na forma de lama após passar por um tratamento preliminar



Fonte: Elaboração Própria

Apenas a Empresa C possui controle da destinação dada ao resíduo gerado, sendo que o resíduo na forma de lama é enviado para um aterro sanitário local. Esse tipo de resíduo é muito requisitado por aterros sanitários, por fazer a proteção das camadas do aterro contra a chuva e ataque de insetos e aves. Além disso, o resíduo na forma de pedaços de rocha também é reaproveitado pela Empresa C. Os casqueiros são solicitados por moradores das proximidades para serem usados como muro de contenção, ao passo que os cacos de rocha são usados na própria empresa para fazer a pavimentação do solo, de acordo com a Figura 4.14. Todo o piso externo da Empresa C é constituído de cacos de rocha, a fim de promover um adequado descarte para esta forma de resíduo.

Figura 4.14 - Cacos de rochas usados no estacionamento



Fonte: Elaboração Própria

4.5. Destinação da matéria-prima útil

As empresas que participaram da pesquisa de levantamento têm importante participação no abastecimento do setor de rochas ornamentais do DF e Entorno. Sendo assim, foi possível verificar que as empresas fecham negócios com pessoas e também com outras empresas, devido ao fato de que quando se busca comprar o produto diretamente do fabricante, mesmo que seja em menor proporção, é obtido um desconto maior, por não haver um intermediador que encareça o valor do produto. As construtoras fazem isso e adquirem o produto no atacado, o que possibilita conseguir um desconto ainda maior por estar comprando um volume significativo de material.

Na visita em que foi realizada em uma das empresas, foi observado que a linha de produção de semanas estava voltada para um enorme pedido de uma construtora localizada no Distrito Federal – DF, em que foi solicitado para um determinado empreendimento a produção de todas as bancadas, pias e soleiras, do prédio inteiro, de acordo com a Figura 4.15 em que mostra a destinação que é dada ao produto gerado na linha de produção das empresas participantes da pesquisa.

Figura 4.15 - Destino do Produto Final



Fonte: Elaboração Própria

4.6. Sugestão de utilização do resíduo gerado com base nas literaturas

Com o advento da internet, a quantidade de informações que é possível obter aumentou significativamente, contudo, entre todos os trabalhos que são publicados, a dificuldade para encontrar um material representativo a respeito de um determinado tema fica cada vez mais

complicado. Sendo assim, se tornou uma tarefa trabalhosa encontrar pesquisas expressivas e suas respectivas interconexões em uma era da informação que proporciona uma quantidade cada vez maior de publicações (Albrecht , Gurzki & Woisetschläger, 2017).

Precisão, robustez, validade, funcionalidade, tempo e custos, são características importantes que fornecem os atributos relevantes no momento de uma avaliação de documento científico (Abramo e D'Angelo, 2011). Com isso, a Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado – TEMAC, tem como objetivo garantir que as particularidades importantes para uma avaliação de qualidade sejam respeitadas, isso tudo com a possibilidade de ampliar o raio de atuação, com a inserção de várias bases de dados necessárias ao pesquisador.

Abramo e D'Angelo (2011) aponta alguns atributos que seriam importantes no momento de uma avaliação de documento científico, separando algumas características importantes como precisão, robustez, validade, funcionalidade, tempo e custos. Com essas diferentes abordagens surge a Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado – TEMAC.

A etapa 1 da realização do TEMAC constituiu-se da determinação dos termos a serem utilizados e as bases de dados pesquisadas que foram a *Web of Science* e a *Scopus*, ambas escolhidas pelo critério de impacto de revistas, citações de autores e frequência de artigos publicados.

Foi realizada uma primeira busca utilizando os dois termos (palavras-chave) selecionados: *Marble waste* e *Granite waste*. Uma segunda busca com o mesmo termo foi realizada, dessa vez utilizando um filtro de tempo que compreende o período entre 2010 e 2021, em que os resultados podem vistos na Tabela 4.3 a seguir:

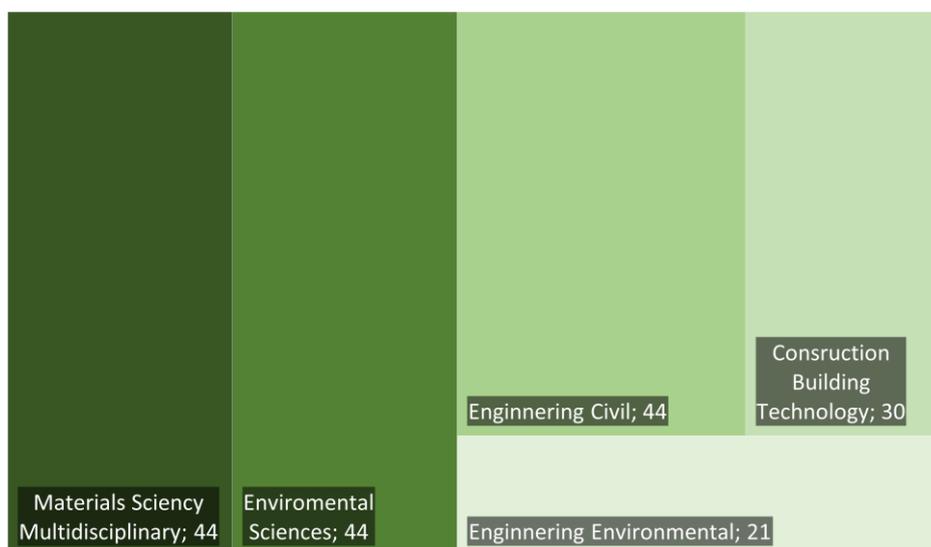
Tabela 4.3 - Quantitativo de publicações

<i>Termo</i>	<i>Scopus</i>		<i>Web of Science</i>	
	Quantidade de artigos	Quantidade entre 2010 - 2021	Quantidade de artigos	Quantidade entre 2010 - 2021
Marble Waste	338	338	226	211
Granite Waste	151	151	107	99

Fonte: Elaboração Própria

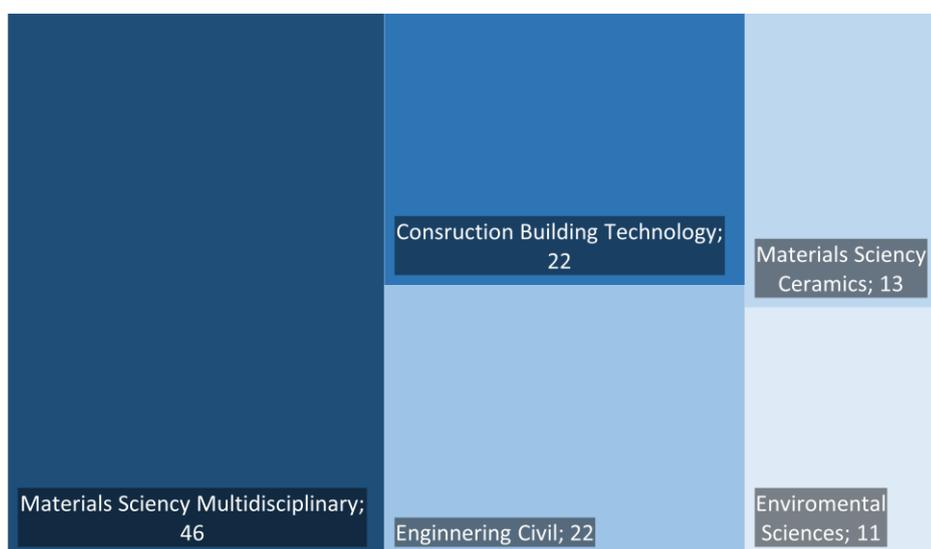
As Figuras 4.20 e 4.21 apresentadas a seguir, representam as áreas de conhecimento mais populares na publicação de artigos com os termos *Marble waste* e *Granite waste* no intervalo de tempo entre 2010 a 2021 , obtidas na base *Web of Science*.

Figura 4.20 - Áreas do conhecimento populares com *Marble waste*



Fonte: *Web of Science*

Figura 4.21 - Áreas do conhecimento populares com *Graite waste*



Fonte: *Web of Science*

Verificando a identificação das áreas de conhecimento em que a produção de publicações sobre o tema foi significativa, é possível realizar uma classificação de acordo com o número de

citações de cada área, entretanto foi escolhido como critério apenas artigos em que apresentem de 5 ou mais citações na área de engenharia civil, conforme a Tabela 4.4.

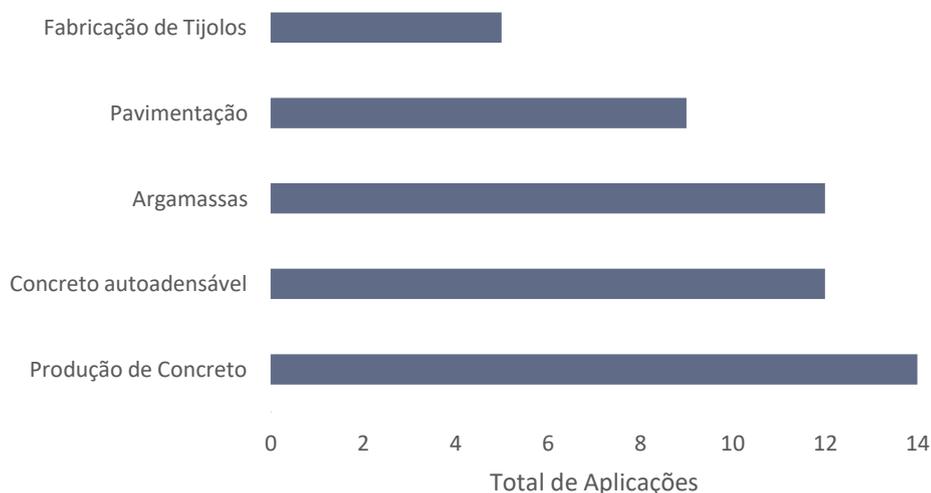
Tabela 4.4 - Quantitativo de citações

<i>Termo</i>	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>
	Quantidade de artigos com 5 ou mais citações entre 2010 - 2021	Quantidade de artigos com 5 ou mais citações entre 2010 - 2021
<i>Marble Waste</i>	73	22
<i>Granite Waste</i>	30	12

Fonte: Elaboração Própria

O total de artigos que foram encontrados com mais de 5 citações na área de engenharia civil foi de 137. Analisando as aplicações que cada um aborda, é possível separar as destinações que o resíduo de marmoraria pode ser inserido em todo o setor de engenharia civil, conforme apresentados na Figura 4.22, em que são destacadas as aplicações que mais foram identificadas em todos os dados levantados do período de 2010 a 2021.

Figura 4.22 - Quantidade de Aplicações encontradas por área



Fonte: Elaboração Própria

Sendo assim, a utilização do resíduo de marmoraria na produção de concreto, concreto auto adensável, argamassas, em pavimentação e fabricação de tijolos, se destacam como as principais formas encontradas na literatura, que geram estudos com o intuito de dar uma aplicação ao resíduo gerado na cadeia produtiva de rochas ornamentais. Reunindo todas as

informações foi possível identificar, com a metodologia TEMAC, as sugestões de utilização do resíduo de marmoraria para as aplicações em:

- ✓ Concreto
- ✓ Concreto Autoadensável
- ✓ Argamassas
- ✓ Pavimentação
- ✓ Fabricação de Tijolos

Pois, esses métodos para usar o resíduo são os que mais geram pesquisa para a área de engenharia civil, mostrando o grande interesse nesse material para que seja usado para um desses fins. Como as aplicações na produção de concreto e concreto autoadensável foram os temas mais encontrados, elaborou-se a Tabela 4.5 e 4.6 em que mostra os resultados encontrados para a aplicação do resíduo em cada uma das áreas. Na Tabela 4.7, é possível verificar algumas publicações em que abordam cada tema proposto com o seu respectivo autor, ano de editoração e a quantidade de citações de cada um.

Tabela 4.5 - Resultados da aplicação do resíduo de mármore na produção de concreto autoadensável

Autores (ano)	Título	Resultados
Djebien, <i>Ret al.</i> (2018)	Incorporação de resíduo de mármore como areia na formulação de concreto autoadensável.	<p>Consiste em introduzir o resíduo de mármore na forma de areia na formulação do concreto autoadensável, com porcentagens variáveis (25%, 50%, 75% e 100%) e estudar o desenvolvimento de suas propriedades tanto no estado fresco (teor de ar, densidade, slump flow, funil em V, L-box e estabilidade da peneira), bem como o estado endurecido (resistência à compressão e à flexão).</p> <p>Os resultados obtidos nos mostraram que os resíduos de mármore podem ser utilizados como areia na fabricação de concretos autoadensáveis.</p>

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 4.6 - Resultados da aplicação do resíduo de granito na produção de concreto

Autores (ano)	Título	Resultados
Sharma N.K. <i>et al.</i> (2017)	Propriedades do concreto contendo resíduo de granito polido como substituição parcial do agregado graúdo.	Este trabalho revela o uso de resíduos de granito polido de telhas descartadas como uma substituição parcial de agregados graúdos em concreto de cimento. Observou-se que a incorporação do resíduo de granito polido no concreto diminui a resistência à compressão, tração à flexão e pull-off, enquanto melhores resultados foram observados para absorção de água, abrasão e permeabilidade à água. O concreto contendo resíduo de granito polido, substituído em até 20% de agregado graúdo natural pode ser recomendado para todas as aplicações e a substituição de 20% a 40% pode ser recomendada para aplicações não estruturais, pavimento etc.

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 4.7 - Publicações sobre os temas

Autores (ano)	Título	Nº de Citações
Produção de Concreto		
Hebhoub H. <i>et al.</i> (2011)	Uso de resíduos de agregados de mármore em concreto.	195
Sharma N.K. <i>et al.</i> (2017)	Propriedades do concreto contendo resíduo de granito polido como substituição parcial do agregado graúdo.	33
Produção de Concreto Auto Adensável		
Djebien, R. <i>et al.</i> (2018)	Incorporação de resíduo de mármore como areia na formulação de concreto autoadensável.	5
Jain, A <i>et al.</i> (2020)	Desenvolvimento sustentável de concreto autoadensável usando resíduos de granito e cinzas volantes.	10
Produção de Argamassas		
Kabeer K.I.S.A. e Vyas A.K. (2018)	Utilização de pó de mármore como agregado fino em misturas de argamassa.	66
Buyuksagis, IS. <i>et al.</i> (2017)	Investigação sobre o uso de pó de mármore residual em argamassa colante à base de cimento	35
Fabricação de Tijolos		
Bilgin N. <i>et al.</i> (2012)	Uso de pó de mármore residual na indústria de tijolos.	152
Monteiro, SN. e Vieira, CMF (2014)	Sobre a produção de tijolos de argila cozidos a partir de resíduos: uma atualização crítica.	114
Pavimentação		
Gurbuz, A. (2015)	Pó de mármore para estabilizar solos argilosos em sub-bases para construção de estradas.	19
Eisa, M.S. <i>et al.</i> (2018)	Efeito do uso de vários materiais residuais como enchimento mineral nas propriedades da mistura asfáltica	6

Fonte: Elaboração Própria

5. CONCLUSÃO

Neste item serão apresentadas as conclusões relacionadas à pesquisa de levantamento que foi desenvolvida e aplicada, a qual teve como objetivo quantificar a geração de resíduo de marmoraria gerado na região do Distrito Federal e Entorno visando propor possíveis possibilidades de destinação final para esse material, com base em um levantamento realizado com a metodologia da teoria do enfoque meta analítico consolidado (TEMAC).

Se tratando da origem da matéria prima em si, os dados obtidos com o levantamento realizado, mostrou que o setor de rochas ornamentais da região, recebe a matéria prima dos maiores produtores nacionais e que boa parte do mercado também busca o estado do Goiás, sendo ele o principal na produção do centro-oeste.

Foi possível concluir que a tecnologia empregada na serrada de blocos, para a devida transformação da matéria-prima ficou distribuída de forma igualitária na relação de empresas que participaram do levantamento de informações, pois de cinco empresas que participaram da pesquisa três não chegam a fazer todo o processo de transformação em que se inicia dês de o bloco de rocha até seu respectivo produto final, por começar suas atividades somente após o processo de cerrada de bloco. Já as outra duas, uma adota o tear com multifios diamantados para a cerrada de blocos e o outro utiliza a granalha de aço.

A mensuração da relação entre o volume de resíduos gerados e a matéria prima usada no processo, foi executada com o devido questionamento na pesquisa realizada, a respeito da quantidade de caminhões que são retirados de resíduos assim como a metragem quadrada de chapas produzidas mensalmente. Com um pequeno ajuste para encontrar o volume, foi possível estabelecer o total de resíduos gerados na região e também a quantidade do produto final e todas as relações e correlações dessas duas características.

Em geral, é observado que com relação aos cuidados com os resíduos gerados ao longo da produção, poucas empresas se preocupam em tratar ou reaproveitar o resíduo gerado, sendo este prontamente descartado. As empresas que realizam o tratamento, usam lagoas de sedimentação e filtro prensa.

Com relação a destinação do produto final que é gerado ao longo da cadeia produtiva na região do Distrito Federal e Entorno, é observado que as grandes empresas negociam mais com um

consumidor final do que com outras empresas, pois dessa forma se consegue uma gama superior de materiais e ainda um desconto maior, já que se está comprando diretamente da fábrica.

O levantamento bibliográfico utilizando a metodologia de teoria do enfoque meta analítico consolidado (TEMAC), conseguiu identificar um número considerável de artigos voltados para a devida aplicação do resíduo de marmoraria, mostrando como o tema está relevante atualmente, com o intuito de reinsserir esse material novamente na cadeia produtiva da construção civil. Assim, foi possível sugerir possíveis aplicações para a devida utilização desse resíduo, que é praticamente descartado no meio ambiente pelas empresas que o geram.

Com isso, o levantamento realizado com a aplicação do questionário no intuito de estimar a quantidade total de resíduos de marmoraria gerado no Distrito Federal e sua reintrodução na cadeia produtiva da construção civil, com suas várias maneiras de aplicabilidade em que ilustra bem que esse material pode sim ser reaproveitado e não descartado no meio ambiente, bastando para isso uma boa vontade de empresas. Este trabalho mostra que, a falta de informação do setor sobre o que fazer com o resíduo, gera o descarte desse material que como mostrado pode sim, ter outras formas de destinação.

6. REFERÊNCIAS

Alfa Graniti, 2016. Disponível em: <<http://www.alfagraniti.com.br/producao.html>>. Acesso em: 2 abr. 2021.

Aligran Corporation, 2016. Disponível em: <<https://www.facebook.com/aligranltda/posts/1736510399940578/>>. Acesso em: 05 abr. 2021.

ALVES, M. S. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. Universidade federal de Minas Gerais - UFMG. Belo Horizonte, p. 133. 2008.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2000, 155 p.

ARAÚJO, M. L. **Estabilização de solo com adição de resíduo de mármore**. UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Caraúbas, p. 43. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação– Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15894-3: **Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta; Parte 3: Determinação da finura por meio da peneira 45 µm**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2001.

Belachia, M., Hebhouh, H., 2011, maio. **Aproveitamento dos resíduos de mármore no concreto hidráulico**. In: **6º Simpósio Internacional de Tecnologias Avançadas (IATS'11)**, pp 16-18.

BEZERRA, F. Rochas Ornamentais. **Caderno Setorial ETENE**, v. 3, n. 60, p. 22, dez. 2018.

Bhandari, JJ, Munnur, S., 2015. **Aspectos da substituição de areia por finos de granito na força e durabilidade**. (4), 194 e 200.

Bilgin N, Yeprem HA, Arslan S, Bilgin A, Günay E, Maroglu M. **Use of waste marble powder in brick industry**. Constr Build Mater; 29:449-57. 2012.

BILODEAU, A.; MALHOTRA, V. M. **High-volume fly ash system: concrete solution for sustainable development**. ACI Materials Journal, Jan.-Feb., p. 41-48, 2000.

Buyuksagis IS, Uygunoglu T, Tatar E. **Investigation on the usage of waste marble powder in cement-based adhesive mortar**. Constr Build Mater; 154:734-42. 2017.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. Revisão: **Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil**. Cerâmica, v. 55, p. 18-32, 2009.

CETEM, 2007 - Ribeiro, Roberto Carlos. **Utilização de Rejeitos de Rochas Ornamentais em Misturas Asfálticas** / Roberto Carlos da C. Ribeiro et al. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

CHICON, M. C. **Resíduos finos da indústria de rochas ornamentais: Os materiais depositados e os segregados**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2019.

Chiranjeevi Reddy, K., Yaswanth Kumar, Y., Poornima, P., junho de 2015. **Estudo experimental em concreto com resíduo de pó de granito como aditivo**. ISSN: 22489622 Int. J. Eng. Res. Appl. 5 (6), 87 e 93 (Parte -2).

CORRÊA, A. L. S.; WAGNER, L.; SEIDLER, N. **Estudo do comportamento mecânico através da incorporação de filler de granito no concreto**. Brazilian Journal of Development, Porto Alegre, set. 2020.

Djebien R, Hebhouh H, Belachia M, Berdoudi S, Kherraf L. **Incorporation of marble waste as sand in formulation of self-compacting concrete**. Struct Eng Mech; 67 (1): 87-91. 2018.

ELPHINGSTONE, G. M., **Adhesion, and cohesion in asphalt –aggregate systems –** Dissertation submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 1997.

Eisa MS, Basiouny ME, Youssef AM. **Effect of using various waste materials as mineral filler on the properties of asphalt mix**. Innov Infrastruct Solut;3(1). 2018.

Felixkala, T., Partheeban, P., 2010. **Granite Powder Concrete**. Indian J. Sci. Technol. 3, 311 e 317.

FILHO, C. C. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. ABIROCHAS. Brasília, p. 34. 2018.

FILHO, C. C.; RODRIGUES, E. D. P. Panorama técnico - econômico do setor de rochas ornamentais no brasil. **Revista Geociências - Unesp**, v. 23.

FINDES, 2020. Disponível em: <<https://findes.com.br/news/espírito-santo-e-o-líder-no-país-em-exportação>>.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

Gurbuz A. **Marble powder to stabilise clayey soils in sub-bases for road construction**. Road Mater Pavement Des;16(2):481-92. 2015.

H. Binici, T. Shah, O. Aksogan, H. Kaplan. **Durabilidade de concreto feito com granito e mármore como agregados reciclados**, J. Mater. Proc. Techn. (2008) 299-308.

Hebhouh H, Aoun H, Belachia M, Houari H, Ghorbel E. **Use of waste marble aggregates in concrete**. Constr Build Mater; 25(3):1167-1171. 2011.

HÖLTZ, F. C. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental.** 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS.2011.

Jain A, Gupta R, Chaudhary S. **Sustainable development of self-compacting concrete by using granite waste and fly ash.** Constr Build Mater; 262. 2020.

Kabeer KISA, Vyas AK. **Utilization of marble powder as fine aggregate in mortar mixes.** Constr Build Mater; 165:321-32. 2018.

K. Vardhan, S. Goyal, R. Siddique, M. Singh. **Propriedades mecânicas e análise microestrutural de argamassa de cimento incorporando pó de mármore como substituição parcial de cimento,** Construct. Construir. Mater. 96 (2015) 615-621.

K. Vardhan, S. Goyal, R. Siddique, M. **Resistência, permeação e características microestruturais do concreto.** Instituto Thapar de Engenharia e Tecnologia. Patiala, p. 11. 2018.

MDIC - MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Sistemas. Comexstat.** Disponível em. Acesso em: 26 dez. 2018.

MONTANI, C. **XXIX Rapporto marmo e pietre nel mondo 2018.** Carrara – Itália: Aldus Casa di Edizioni in Carrara, 2018a.

Monteiro SN, Vieira CMF. **On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update.** Constr Build Mater; 68:599-610. 2014.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto,** Ambiente Construído, jan/mar 2002, v. 2, n. 1, p.53-68.

MARTINEZ, Cláudia. HEIDER, Mathias. **Rochas ornamentais e de revestimentos.** DNPM: Sumário Mineral 2011.

NEGREDO, A. S. **Durabilidade de concretos com resíduo de marmoraria.** UnB. Brasília, p. 145. 2018.

PEREIRA, M. M. L. Avaliação de desempenho mecânico e de durabilidade em concretos autoadensáveis com resíduo de marmoraria. Universidade de Brasília - UnB. Brasília, p. 182. 2021.

PEIXOTO DA MATTA, V. R. *et al.* **Efeitos da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) no desempenho de argamassas de cimento portland no estado endurecido.** Fórum Ambiental da Alta Paulista, Alta Paulista, 2013. 19.

RODRIGUES, M. A. **Utilização dos resíduos de cortes de placas de mármore e granitos como adição na fabricação de concreto autoadensável.** Manaus: Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, 2015.

S. Arel. **Reciclabilidade de resíduos de mármore na produção de concreto,** J. Clean. Prod. (2016).

Sharma NK, Kumar P, Kumar S, Thomas BS, Gupta RC. **Properties of concrete containing polished granite waste as partial substitution of coarse aggregate.** Constr Build Mater, 151:158-163. 2017.

SPÍNOLA, V.; GUERREIRO, L. F.; BAZAN, R. **A Indústria de Rochas Ornamentais.** Desenharia – Agência de Fomento do Estado da Bahia, Estudo de Mercado 02/04, Salvador, set. 2004.

SILVA, M. A. **Desenvolvimento e caracterização experimental de concretos autoadensáveis contendo seixo de rio e fibras de aço.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SILVA JÚNIOR, F. A. **Avaliação do efeito da adição de resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formulação de compósitos cimentícios.** 2014. 184f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. 2014.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** 2006. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SOUZA, J. N., RODRIGUES, J. K. G., NETO, P. N. de S. **Utilização do Resíduo Proveniente da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfálticos Usinados a Quente.** 2011.

Singh *et al* (2016) - 2016a. **Performance de concreto sustentável contendo resíduos de corte de granito.** J. Clean. Prod. 119, 86 e 98.

S. Singh., R. Nagar, V. Agrawal. **Desempenho do granito no corte de resíduos de concreto sob condições.** Instituto Nacional de Tecnologia de Malaviya. Malaviya, p. 11. 2016.

São Lucas granitos, 2016. Disponível em: <<http://www.saolucasgranitos.com.br/galeria-de-fotos>>. Acesso em: 16 abr. 2021.

Talah, A., Kharchi, F., Chaid, R., 2015. **Influência do pó de mármore no comportamento do concreto de alto desempenho.** Procedia Eng 114, 685-690.

7. APÊNDICE A – Questionário aplicado.

1. O material utilizado na empresa para o processamento (corte, esquadrejamento etc.) é obtido de qual (ais) unidade (s) federativa (s) do país?
. Espirito Santo.
. Minas Gerais.
. Bahia.
. Ceará.
Outros: _____

2. Quais etapas de transformação da rocha bruta são efetuadas na empresa?
. Desdobramento/ serrada do bloco.
. Polimento de chapas
. Beneficiamento de chapas em pisos, bancadas, revestimentos, etc.
Outros: _____

3. Caso a empresa faça o desdobramento/serrada de blocos, qual é a tecnologia utilizada?
. Tear multifios com uso somente de água.
. Tear convencional com lâmina e granalha.
. Não realiza desdobramento/serrada.

4. Mensalmente, qual é o volume de resíduo gerado pela empresa? Se possível, estabelecer uma proporção entre o volume de pós de rocha, casqueiros e cacos de chapa. Ex.: 3 m³ de lama para 1 m³ de pedaços de rocha.

5. Quantos m² de chapas são produzidos mensalmente na empresa?

6. A empresa realiza o tratamento preliminar do resíduo gerado? (Ex.: Silo de sedimentação, filtro prensa).

7. O resíduo gerado é armazenado temporariamente na empresa ou prontamente descartado/reciclado?

8. Em caso de armazenamento dos resíduos gerados, este é feito em local isolado de materiais não pertencentes ao processo produtivo? (Ex.: Vegetações ao redor da lagoa de decantação?)
9. A indústria possui controle da destinação final dos resíduos gerados na cadeia
10. O produto final que é comercializado tem qual destinação?
- (). Construtoras.
 - (). Marmorarias.
 - (). Ambas.
 - (). Cliente Final
- Outros: _____