



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE**

ENGENHARIA CIVIL

JOSIANE ALVIM GONÇALVES

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE GRANITO PRETO NA
COMPOSIÇÃO DO CONCRETO**

**Conselheiro Lafaiete
2021**

JOSIANE ALVIM GONÇALVES

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE GRANITO PRETO NA
COMPOSIÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Faculdade Presidente Antônio Carlos
de Conselheiro Lafaiete, como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Tatiana Aparecida
Rodrigues.

**Conselheiro Lafaiete
2021**

JOSIANE ALVIM GONÇALVES

Título do Trabalho de Conclusão de Curso: Análise da Utilização de Resíduos de Granito Preto na Composição do Concreto

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 22/11/2021

BANCA EXAMINADORA



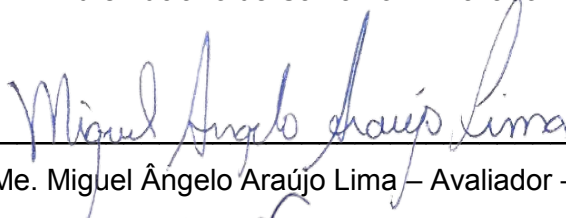
Prof. Ma. Tatiana Aparecida Rodrigues – Orientadora – FUPAC



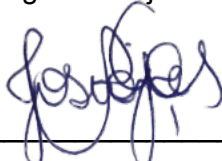
Talita Gabriele Martins Vieira – Coorientadora – FUPAC



Prof. Dr. André Luciano de Carvalho – Avaliador – FUPAC



Prof. Me. Miguel Ângelo Araújo Lima – Avaliador – FUPAC



Josiane Alvim Gonçalves – Aluna – FUPAC

**Conselheiro Lafaiete
2021**

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Lúcia, pois ela é a minha fonte de inspiração e amor, sempre me apoiou em todos os momentos de minha vida. Dedico também a todos da minha família pois de alguma maneira contribuíram para a minha vitória.

AGRADECIMENTOS

Após longos anos aqui estou, cheguei no final da linha dessa montanha russa de emoções. Em meus agradecimentos não poderia deixar de começar por Deus, foi ele quem me deu forças para chegar até o final, sem ele nenhum sonho seria possível. Logo após o agradecimento em especial vai para minha mãe, uma guerreira que moveu céus e terras para eu estar aqui encerrando essa etapa. Essa vitória também é sua MÃE!!!

Quero agradecer minha irmã Joyce pelas companhias em meus trabalhos de faculdades e TCC. Gostaria de agradecer meu amor, Henrique, sem o seu apoio, compressão, dedicação e carinho esse caminho seria mais difícil e pesado! Aos meus familiares o agradecimento vai para cada um que teve a sua contribuição para o meu enriquecimento pessoal e profissional. As minhas amigas que me incentivaram e salvaram em meio as loucuras de faculdade e aos amigos de faculdade pelo apoio constante.

Gostaria de agradecer também ao corpo docente da faculdade e principalmente a minha professora e orientadora Tatiana Rodrigues e coorientadora Talita Martins pela paciência e dedicação.

"O esforço só é expresso em recompensa, quando uma
pessoa se recusa a desistir."

Napoleon Hill

RESUMO

A rocha ornamental é mundialmente comercializada, devido a suas várias aplicações na construção civil. Contudo, como em qualquer processo industrial, tem-se uma grande criação de resíduos, visto que, no menor dos detalhes a peça danificada já não poderá ter a mesma utilização para a qual foi fabricada. Nas marmorarias, normalmente é local em que as rochas ornamentais recebem o seu beneficiamento final, onde as chapas passam pelo processo de corte e produção, devido a isso é gerado um alto número de resíduos. Na maior parte das vezes, esses resíduos criados, são destinados a locais impróprios de descarte, causando um agravamento na poluição do meio ambiente. Pensando nisso, esse trabalho tem a finalidade de estudar a utilização desses resíduos na composição do concreto como agregado graúdo substituindo as britas, que são utilizadas em concretos convencionais. Ao realizar o teste de compressão nas amostras produzidas, verificou-se que o concreto reciclado não obteve uma resistência satisfatória, devido a ineficiência dos equipamentos utilizados para sua confecção.

Palavras-chave: Granito preto. Concreto. Reaproveitamento de Resíduos. Construção Civil.

ABSTRACT

Ornamental stone is marketed worldwide, due to its various applications in civil construction. However, as in any industrial process, there is a great creation of waste, since, in the smallest of details, the damaged part can no longer have the same use for which it was manufactured. In marble factories, it is normally the place where the ornamental stones receive their final processing, where the sheets undergo the cutting and production process, due to this, a high number of waste is generated. Most of the time, these residues created are destined to inappropriate places for disposal, causing an aggravation of environmental pollution. With this in mind, this work aims to study the use of these residues in the composition of concrete as a coarse aggregate, replacing gravel, which are used in conventional concrete. When performing the comprehension test on the samples produced, it was found that the recycled concrete did not obtain satisfactory strength, due to the inefficiency of the equipment used for its manufacture.

Key words: Black Granite. Concrete. Waste reuse. Construction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Muralha da China	15
Figura 2 – Aquedutos Romanos.....	16
Figura 3 – Aparelho de <i>Slump Test</i>	23
Figura 4 – Ensaio do <i>Slump Test</i>	24
Figura 5 – Prensa Hidráulica	24
Figura 6 – Cunha cravada na rocha	27
Figura 7 – Serragem do Bloco no Tear de Lâminas.....	28
Figura 8 – Chapas polidas em estoque.....	28
Figura 9 – Tubos de PVC utilizados como moldes.....	31
Figura 10 – Corpo de prova produzidos	32
Figura 11 – Corpo de prova submersos	32
Figura 12 – Corpo de prova após 28 dias	33
Figura 13 – Prensa Hidráulica com o corpo de prova	33
Figura 14 – Corpo de prova sem uniformidade	35
Figura 15 – Corpo de prova após o teste de compressão.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de Cimento	19
-----------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de Cimento	19
Tabela 2 – Classificação das britas	20
Tabela 3 – Dosagem do Concreto.....	21
Tabela 4 – Dosagem do material utilizado	31
Tabela 5 – Dados obtidos com os corpos de prova	34
Tabela 6 – Valores em MPa	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FUPAC	Faculdade Presidente Antônio Carlos
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
A.C.	Antes de Cristo
NBR	Normas Brasileira
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CAA	Concreto Autodensável
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
SNCF	Serviço Nacional de Ferro da França
TF	Tonelada Força
Mpa	Mega Pascal
KGF	Quilograma Força

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 Justificativa.....	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL.....	15
2.2 CONCRETO.....	16
2.2.1 Componentes do concreto	18
2.2.2 Traço ou Dosagem	21
2.2.3 Processo de cura do concreto	21
2.2.4 Ensaios realizados para avaliar o concreto	22
2.3 Rochas Ornamentais.....	26
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	29
4 DESENVOLVIMENTO	30
4.1 Materiais utilizados	30
4.2 Métodos.....	30
4.3 Corpo de prova	31
4.3 Ensaio de Compressão.....	33
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
6 CONCLUSÕES	37
7 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com a maior crise mundial vivida, a Covid-19, grande parte da população vem sendo afetada não só com a doença, mas também com uma grave crise financeira, que chega a superar a crise de 2008, segundo Roubini (2020). O Brasil, sendo o quarto maior produtor de rochas ornamentais, segundo a Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (Abirochas, 2019), vem impactando em seu setor, tanto no comércio interno quanto na exportação. Já o setor da construção civil não foi tão afetado, conforme esperado, segundo CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2020). Apesar dos altos preços dos materiais dessa área, o setor teve um crescimento significativo.

Segundo Cunha (2017) os revestimentos são usados para proteção e acabamento sobre a vedação ou a estrutura de uma edificação, assim os revestimentos de mármore e granitos tem um papel importante dentro da construção civil. Com isso, no cenário atual, as empresas do ramo desse setor e de rochas ornamentais estão diretamente ligadas devido a utilização de rochas na parte de acabamentos nas obras civis.

Outro fato em comum dessas empresas é a questão ambiental. Segundo Carvalho (1999), em seus estudos realizados, cerca de 90% de argamassas são perdidas em canteiros de obras, com destino final em caçambas de entulhos, ou seja, no final seu descarte é realizado em aterros sanitários ou lixões. Por outro lado, no setor ornamental, segundo Rezende (2019), as rochas em seu processo de extração e beneficiamento, ocorre grande desperdícios e perdas, seja eles em forma de lama, materiais recortados, ponta de chapas danificadas ou recortadas, que ao final recebe o mesmo destino, aterros ou lixões. Por essa ligação as empresas devem buscar sempre o mínimo de desperdício e realizar a redução de custos para se manterem ativas no mercado.

Visando o reaproveitamento de resíduos provenientes do corte de pedras em marmorarias, o objetivo desse trabalho é unir tanto a área civil quanto a de rochas em busca de analisar e reaproveitar o material proveniente do resíduo de pedras para

aplicação como agregado graúdo em concretos para a construção. Pois durante o processo nos dois setores existem grandes desperdícios de materiais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a possibilidade da utilização do granito preto como agregado graúdo na produção do concreto, visando reduzir o impacto ambiental gerado por este resíduo.

.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar teste de compressão, utilizando prensa mecânica hidráulica em laboratório
- Verificar a resistência à compressão do concreto utilizando granito preto como agregado.
- Determinar a característica física da resistência a compressão através do teste dos concretos produzidos.
- Comparar a resistência do concreto reciclado em relação ao convencional.

.

1.2 Justificativa

A iniciativa deste trabalho é verificar a variação das características físicas do concreto utilizando o resíduo do corte de granito preto como agregado. Essa pesquisa busca também a redução de desperdícios através do reaproveitamento de matéria prima, onde em muitas das vezes são descartados como lixo. Além de apresentar novas maneiras de realizar a fabricação de concretos minimizando impactos ambientais.

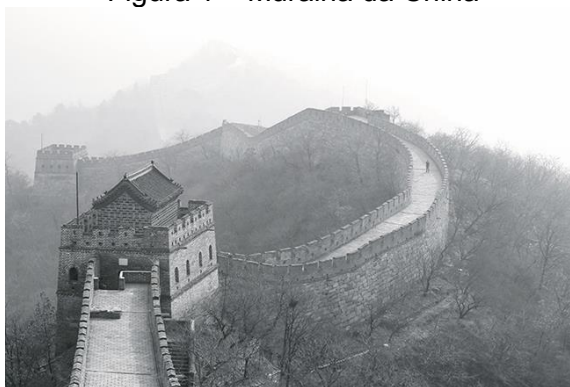
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é praticada desde a época das cavernas, onde naquele tempo as cavernas eram usadas pelos homens primitivos para se defenderem dos animais ou do tempo. Segundo Pinheiro (2020), nessa época, as cavernas eram criadas nas montanhas por erosões, causadas por enchentes e força do vento ou escavadas por ferramentas primitivas como ossos de animais, conchas, pedaços de madeira ou outras rochas mais duras.

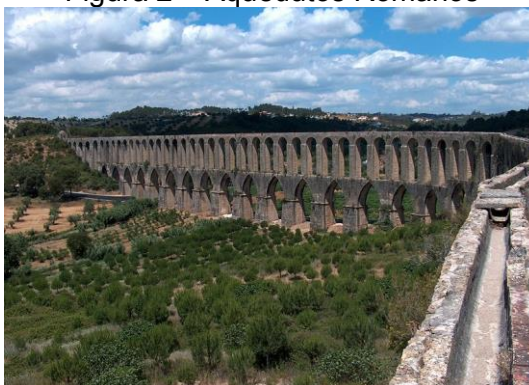
A medida em que os anos se passaram o homem foi se adequando as novas técnicas para a construção. A partir da caverna, começou a utilizar pedras nas construções. Conforme mostram as Figuras 1 e 2, a muralha da China e os aquedutos romanos são exemplos que, até os dias atuais, estão presentes na sociedade em um bom estado de conservação. Por volta de 3.000 a.C começou a utilização de metais. No início era usado apenas o cobre, um pouco depois descobriu-se o bronze, que era a junção de cobre mais estanho. Por conta da complexidade das técnicas usadas para sua fundição o ferro que utilizamos até hoje só foi descoberto por volta de 1.500 a.C. (PINHEIRO, 2020).

Figura 1 – Muralha da China



Fonte: Peach Photo (2021)

Figura 2 – Aquedutos Romanos



Fonte: Wikipédia (2020)

A partir daí a evolução e crescimento da construção só aumentou. No Brasil, o grande avanço veio na década de 40, quando o Presidente Getúlio Vargas realizou um alto investimento no setor civil e militar. Com isso, a década de 1940 alcançou o status de período de maior desenvolvimento para a construção civil no Brasil (PACHECO JUNIOR, 2020).

Segundo Campos (2009), em 1930, a urbanização nos grandes centros teve um aumento significativo, pois com a política de industrialização praticada por Getúlio Vargas, onde sua principal introdução era a infraestrutura industrial básica ou a “fábrica de fábricas” conforme assim ele dizia, de modo que, realizou a construção de usinas para a geração de energia. Com isso, pessoas que moravam em cidades do interior vieram para grandes centros em busca de emprego e uma melhor qualidade, contudo isso o aumento populacional foi ocorrendo. Entretanto o aumento acentuado da urbanização brasileira ocorreu nos anos 50 e 60 no governo de Juscelino Kubitschek, onde a indústria começou a produzir bens duráveis.

2.2 CONCRETO

Segundo Goto (2018), o concreto é um material composto, heterogêneo e isotrópico, onde contém uma ligação de modo que incorpora partículas ou agregados. Os concretos de cimentos hidráulicos, normalmente o aglomerante é produzido a partir da junção do cimento e água.

O concreto é constituído por: aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), água e, em algumas das vezes, aditivos, onde cada

componente tem sua função para garantir a característica do mesmo. Todos os componentes têm suas proporções pré-determinadas, denominada de traço, que por sua vez pode ser medido em peso ou volume (PINHEIRO, 2020). Por exemplo 1:3:3, ou seja, 1 lata de cimento, 3 latas de areia e 3 latas de brita.

Estudos constantes realizado em concretos, pode-se citar os concretos especiais. Eles sofrem algumas modificações em sua estrutura para assim melhorar suas propriedades específicas, por sua complexidade para atingir tais características, a preferência é que sua mistura seja realizada em locais apropriados, com o controle rigoroso dos materiais e as dosagens normalmente medida em massa (GOTO, 2018):

- Concreto reforçado com fibra: é o concreto produzido com cimento, contendo agregados miúdos e graúdos com adição de fibras. As fibras podem ser naturais, como: asbestos, sisal, celulose, etc., e industrializadas, como: vidro, aço, carbono e polímeros. Sua adição tem como finalidade melhorar a resistência ao impacto e a fadiga e podendo também reduzir a retração hidráulica. A quantidade acrescentada de fibra é pequena, por volta de 1 a 5% em volume total (NEVILLE, 2013);
- Concreto com agregados reciclados: é o concreto dos quais seus agregados são provenientes de resíduos de demolição de construção ou domésticos, seu aproveitamento é de grande interesse econômico e ambiental, mas sua aplicação requer cuidados, pois deve-se efetuar um tratamento adequado para retirar substâncias deletérias (GOTO, 2018);
- Concreto com alto desempenho (CAD): é um concreto com alta resistência, alta durabilidade e com baixa permeabilidade, em algumas aplicações, o resultado esperado é um alto módulo de elasticidade. Seu alto desempenho em relação a resistência, está relacionado a resistências acima de 80 Mpa. Em sua composição pode ser aplicado cimento comum (tipo I ASTM) ou cimento de alta resistência inicial (tipo III ASTM), e alguns aditivos como: sílica (entre 5 e 15% em massa total), cinza volante ou escória granulada de alto-forno. Além dos aditivos seu alto desempenho também está relacionado ao fator água/cimento, pois em geral é em torno de 0,25 e podendo a ser abaixo de 0,20. Para essa situação faz-se essencial a utilização de aditivos superplastificantes para atingir a trabalhabilidade necessária. A vantagem do emprego desse concreto é a

redução da seção de pilares ou da quantidade de armaduras para uma mesma seção transversal (NEVILLE, 2013);

- Concreto Autodensável (CAA): é descrito como uma mistura que lança o ar retido sem a vibração manual, onde flui pelos obstáculos, como as armaduras e preenche as formas. O CAA é muito usado em componentes de elevada taxa de armadura de qualquer forma com obstáculos, como em concreto pré-moldado, quanto para concretos moldados in loco, sua única limitação, é a necessidade de uma superfície superior horizontal. Para ser classificado como Autodensável, a mistura deve conter fluidez, capacidade de passar entre as armaduras de pequeno espaço e resistir a segregação (GOTO, 2018).

2.2.1 Componentes do concreto

▪ Cimento

Para a NBR 11172 (1990), cimento é um aglomerante hidráulico constituído em sua maior parte de silicatos e/ou aluminatos de cálcio. O cimento Portland é obtido pela moagem de clínquer Portland, onde é geralmente feita a adição de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem são permitidas adições a esta mistura de materiais pozzolânicos, escórias granuladas de alto-forno e materiais carbonáticos.

De acordo com Goto (2018) o cimento pode ser definido como um material com propriedades adesivas e coesivas, capaz de unir fragmentos minerais, formando uma unidade compacta, além de contribuir para a resistência da argamassa, pois quanto maior a proporção de cimento melhor a aderência.

Para Cunha (2017) o cimento é considerado o mais importante dos materiais em uma obra. O cimento Portland é um pó fino com propriedades ligantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja colocado em contato novamente com a água, o cimento Portland não se decompõe. Seguindo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) são produzidos 11 tipos de cimentos seguindo a padronização das Normas de Padronização Brasileira que são classificados conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de Cimento

Nomenclatura	Sigla	NBR Correspondente	Utilização	Resistência característica (FCK – em Mpa)
Cimento Portland Comum	CP I	ABNT NBR 5732:1991	Obras em que não há exposição a ambientes desfavoráveis com a presença de sulfatos do solo ou de águas subterrâneas.	25 MPa
Cimento Portland Comum com Adição 5% de Pozolana	CP I-5	ABNT NBR 5732:1991	Obras em que não há exposição a ambientes desfavoráveis com a presença de sulfatos do solo ou de águas subterrâneas.	25 MPa
Cimento Portland Composto com escória granulada de alto forno	CP II-E	ABNT NBR 11578:1997	Usado quando há necessidade de que as estruturas tenham um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacados por sulfatos.	25, 32 e 40 MPa
Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z	ABNT NBR 11578:1997	Obras marítimas, industriais e subterrâneas por conter 6% a 14% de pozolana garantindo uma maior impermeabilidade e durabilidade ao concreto produzido com este tipo de cimento.	25, 32 e 40 MPa
Cimento Portland composto com filer	CP II-F	ABNT NBR 11578:1997	Preparo de argamassas de assentamento, argamassas de revestimentos, estruturas de concreto armado, solo-cimento, pisos e pavimentos de concreto.	25, 32 e 40 MPa
Cimento Portland Alto Forno com Escória	CP III	ABNT NBR 5735:1991	Obras de grande porte e agressividade como barragens, esgotos, pavimentação de estradas, pistas de aeroporto, etc. Quanto na aplicação de argamassas de assentamento e revestimento, estruturas de concreto armado, protendido, projeto, rolado, etc.	25, 32 e 40 MPa
Cimento Portland com Pozolana	CP IV	ABNT NBR 5736:1999	Utilizado para grandes volumes de concreto devido ao baixo calor de hidratação e em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos devido a sua baixa porosidade.	25 e 32 MPa
Cimento Portland Alta Resistência Inicial	CP ARI	ABNT NBR 5733:1991	Obras tanto de pequeno porte quanto de grande porte em casos em que se torna necessária uma alta resistência inicial para desforma rápida dos elementos de concreto armado.	26 MPa
Cimento Portland Resistente à Sulfato	CP RS	ABNT NBR 5737:1992	Obras de recuperação estrutural, concreto projetado, concreto armado, concreto protendido, elementos pré-moldados de concreto, pavimentos.	25, 32 e 40 MPa
Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação	CP BC	ABNT NBR 13116:1994	Tem por finalidade retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica.	25, 32 e 40 MPa
Cimento Portland Branco	CPB	ABNT NBR 12989:1993	Aplicado para fins arquitetônicos com as mesmas características dos outros tipos de cimento, porém com a pigmentação branca.	25, 32 e 40 MPa

Fonte: Ajustado de Cunha (2017)

- Agregados

Os agregados são compostos por grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, não podendo haver nenhuma substância que possa afetar a hidratação e o endurecimento do cimento (NBR 7211, 2009).

A NBR 9935 (2011) define agregado como material granular pétreo, geralmente inerte com dimensões e propriedades adequadas para a preparação do concreto, podendo ser natural ou artificial. O natural é utilizado conforme encontrado na natureza, faz-se apenas uma lavagem para a retirada das impurezas. Artificial é utilizado a partir de um processo industrial podendo haver alterações mineralógicas, químicas ou fisioquímicas.

Considerada como agregado miúdo, a areia é normalmente encontrada em leitos de rios, cavas inundadas do lençol freático ou britagem de outros agregados, sua granulometria pode ser de 0,06mm a 2,0mm. É uma constituinte do concreto, sua granulometria influencia na dosagem do aglomerante e na quantidade de água da mistura, pois quando sua distribuição granulométrica é deficiente, descontínua ou com excesso de fios, o consumo de água em sua mistura pode aumentar, reduzindo consequentemente a resistência mecânica e causando maior retração por secagem (GOTO, 2018).

De acordo com a NBR 7211 (2009) agregado graúdo ou brita são agregados cujos os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm. Conforme a Tabela 2 pode-se classificar as britas.

Tabela 2 – Classificação das britas

Numeração	Tamanho (mm)	Nomenclatura usual
Nº 0	2,5 a 4,8	Pedrisco
Nº 1	4,8 a 12,5	Pedra 1
Nº 2	12,5 a 25	Pedra 2
Nº 3	25 a 50	Pedra 3
Nº 4	50 a 76	Pedra 4
Nº 5	76 a 100	Pedra de mão ou matacão

Fonte: Ajustado de Cunha (2017)

- Água

Conforme a NBR 7215 (2019) a água usada na mistura da argamassa deve ser destilada ou deionizada e estar à temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Além de endurecer o concreto ela promove a trabalhabilidade e homogeneidade na massa.

2.2.2 Traço ou Dosagem

O traço pode ser entendido como a expressão da quantidade de componentes do concreto que pode ser expresso em massa ou volume (Bauer, 2019). A dosagem tem o mesmo entendimento, é o processo que pode ser definido como a seleção dos componentes adequados e a determinação de suas proporções com a finalidade de produzir um concreto econômico, com algumas propriedades mínimas, como trabalhabilidade, resistência, durabilidade e deformidade (GOTO, 2018).

Existem diferentes tipos de dosagens que foram estudadas por várias pessoas ou instituições ao longo dos anos, como por exemplo o Prof. Any Torres, a instituição IBRACON, ABCP e SNCF. E dentre o estudo de cada um, pode-se perceber o fornecimento de concretos com diferentes valores de resistência com características à compressão (f_{ck}) diferentes, como mostra a Tabela 3 (VIEIRA, 2020).

Tabela 3 – Dosagem do Concreto

FCK (Mpa)	Traço em volume cimento; areia; brita	FCJ (Kgf/cm ²)		
		3 dias	7 dias	28 dias
25	1;2;3	117	172	254
22	1;2 ½;3	100	150	228
20	1;2;4	90	137	210
18	1;2 ½;4	74	114	185

Fonte: Ajustado de Vieira (2020)

2.2.3 Processo de cura do concreto

No assunto presente, dentre os vários cuidados a serem obtidos para se ter um “bom concreto”, situa-se a importância da cura do mesmo (BAUER, 2019). A cura é uma operação que evita a evaporação rápida da água utilizada na mistura do concreto, que por sua vez tende a garantir a continuidade das reações de hidratação do cimento nas

primeiras idades do concreto. A perda dessa água pode acontecer por diversos fatores, dentre eles são: exposição ao sol, vento, exsudação e etc. A cura inadequada provocará a redução da resistência e da durabilidade do concreto, causando fissuras e deixando uma camada superficial fraca, porosa e permeável, sendo exposto à entrada de substâncias agressivas provenientes do meio ambiente (CUNHA, 2017).

Em países de temperaturas mais frias, a cura abrange medidas de proteção contra o congelamento dessa água. Nos dias atuais está estabelecido de fato que, quanto mais perfeita e mais demorada for a cura, melhores serão suas características. Em relação ao período de cura, é necessário levar em consideração as exigências técnicas, que determina que ela seja a mais longa possível, e as exigências econômicas, que tende a ser a mais baixa possível (BAUER, 2019). Segundo Coutinho (1971) na prática, é necessário conciliar os requisitos da qualidade com a economia. Por tais razões o período mínimo de cura deve ser, em média, de 7 a 10 dias, quando se constrói com betão de cimento Portland; em casos em que a temperatura chega próximo de zero grau centígrado, este período deve ser duplicado.

Por tais razões apresentadas, segundo Cunha (2017) é de suma importância garantir água suficiente durante todo o processo de reação química do cimento, para que ele seja completo. O endurecimento do concreto ocorrerá através do processo químico de hidratação. Desse modo existem algumas técnicas empregadas no processo de cura para garantir a sua hidratação, que são:

- Produtos químicos: são formadas películas a cima do concreto que impermeabiliza a superfície e evita a saída de água;
- Lonas impermeáveis: protege o concreto da ação do vento, pois o mesmo é o maior causador da evaporação rápida da água;
- Água: irrigação direta através do uso de mangueiras, aspersores, regadores e etc. e a irrigação indireta que consiste em mantas de feltro, sacos de aniagem ou geotêxteis, que ficam úmidos em cima do concreto.

2.2.4 Ensaios realizados para avaliar o concreto

- Ensaio de resistência do concreto *Slump test*

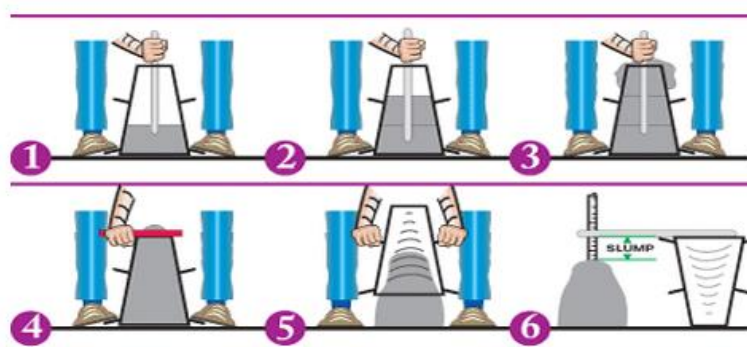
De acordo com Parizotto (2017), o ensaio de abatimento de tronco de cone ou como conhecido, ensaio de “*Slump Test*”, é realizado para verificar a trabalhabilidade e homogeneidade do concreto antes de sua aplicação. Conforme a Figura 3 a aparelhagem utilizada para realizar o ensaio contém: um molde que deve ter a forma de um tronco de cone oco, com o diâmetro da base inferior de 20 cm, base superior de 10 cm e altura de 30 cm; uma haste de compactação e uma placa de base.

Figura 3 – Aparelho de *Slump Test*



Fonte: Solotest (2021)

O ensaio é realizado da seguinte maneira, coloca-se o cone em uma base plana, e em seguida é preenchido com três camadas de concreto, em cada uma é realizado 25 golpes com a haste metálica, para assim remover todos os vazios. Após a colocação da última camada e realizar os golpes, é feito a retirada do excesso de material e nivelamento da massa no topo. Em seguida, o cone é levantado deixando toda a massa sair. Após a retirada da massa, o cone é virado, onde sua base inferior fica virada para cima e colocado ao lado da massa, sua haste é posta acima do cone para ser a referência na medição, como uma trena, mede-se o abatimento do concreto, podendo assim verificar sua trabalhabilidade e homogeneidade (NBR 16889, 2020). A Figura 4 mostra o processo de execução do ensaio *Slump Test*.

Figura 4 – Ensaio do *Slump Test*

Fonte: Clube do concreto (2021)

- Ensaio de resistência à compressão

Para o teste de resistência a compressão é necessário a confecção de corpos de provas cilíndricos (conforme indicado na norma NBR 5738/2015), onde os mesmos serão rompidos em uma prensa, para assim determinar a resistência do concreto a compressão (f_{ck}), ou seja, a quantidade de força resistente por área aplicada (kgf/cm^2) (Vieira, 2020). Os moldes devem ser confeccionados e deixados em repouso nos períodos de 3, 7 e 28 em câmara úmida ou submersa, conforme indicado na NBR 5738/2015. A Figura 5 apresenta a prensa hidráulica utilizada para realizar o ensaio de compressão nos corpos de prova cilíndrico.

Figura 5 – Prensa Hidráulica



Fonte: Autora

- Determinação da resistência em megapascal (MPa)

Para Vieira (2020), a determinação da resistência do corpo de prova é realizada através do ensaio de compressão usando a prensa hidráulica, onde é fornecido a resistência em tonelada força (tf). Para obter os valores em Megapascal (MPa) é preciso dividir o valor obtido da resistência pela área da seção transversal do corpo de prova, conforme a Equação 1, o cálculo da área da seção transversal.

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A: área da seção transversal (cm²)

D: diâmetro do molde cilíndrico (cm)

π: constante numérica (adimensional)

Após é realizado a conversão de valores de resistência a compressão em tonelada força (tf), fornecidos pela prensa, para quilograma força (kgf), usando a relação de 1 tonelada (tf) = 1.000 quilograma força (g=kgf).

Após a consideração acima, é usado a Equação 2 para a obtenção da resistência em kgf/cm²:

$$R = \frac{F}{A} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

R: resistência a compressão (kgf/cm²)

F: força (kgf)

A: área da seção transversal (cm²)

Enfim, utiliza-se a relação expressa abaixo para realizar a conversão de resistência para obter os valores em Megapascal (MPa):

$$1 \frac{kgf}{cm^2} = 0,098067 MPa$$

2.3 Rochas Ornamentais

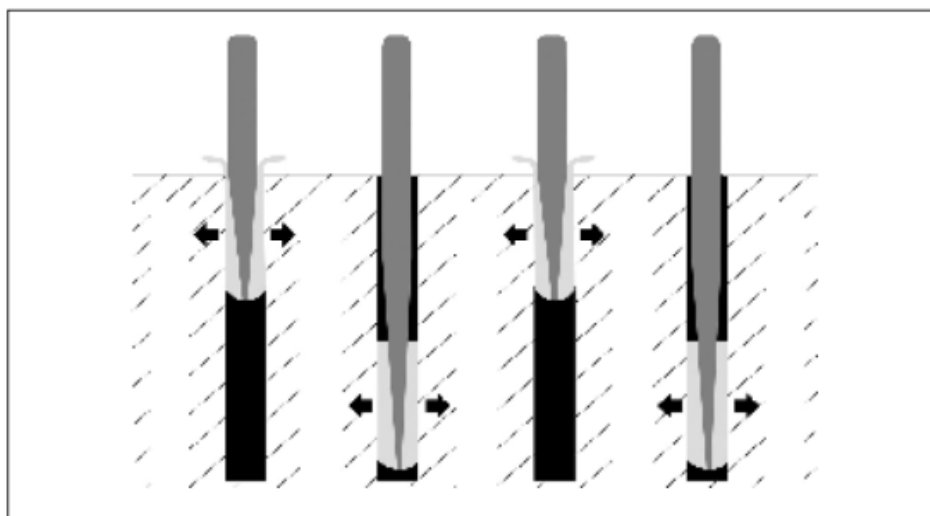
A relação entre homem e rocha é desde os tempos pré-históricos, quando era utilizada para a confecção de utensílios domésticos, de armas para caça e guerra. Por volta de 10.000 a.c., seu uso já era empregado como elemento construtivo em edificações de cunho religioso (VIDAL ET AL, 2014).

Atualmente as rochas são empregadas de forma ornamental, com o objetivo de realçar a beleza ou eficiência no local destinado. Rocha ornamental é a maneira da qual foi empregada para definir rochas que após o processo industrial, ou seja, após serragem, polimento e lustração, apresentam características intrínsecas (textura, estrutura e trama dos minerais, entre outros), permitindo seu uso em revestimentos, pisos e ornamentação (ABREU ET AL, 1990).

Para fins de comercialização deste tipo de rocha é necessário um processo visual, onde o consumidor final possui uma conectividade com o material imaginando sua beleza exposta em um revestimento. Em consequência da grande procura novas tecnologias surgiram a fim de aumentar as possibilidades de compra do consumidor final. Com o aumento na procura de rochas ornamentais foi necessário evoluir os equipamentos utilizados nos processos de extração e beneficiamento, para que assim o material final apresentado ao cliente tivesse um maior atrativo estético (MAIOR, 2013).

Na história uma das técnicas empregada para a ruptura das rochas é a técnica de cunhas, elas eram inseridas em falhas naturais das rochas, molhadas e através da sua dilatação rompiam a rocha, podendo assim retirar os blocos (VIDAL ET AL, 2014). A Figura 6 apresenta a cunha cravada na rocha.

Figura 6 – Cunha cravada na rocha



Fonte: Vidal et al (2014)

Para Gonçalves (2000), atualmente as principais técnicas utilizadas para a extração de rochas ornamentais são:

- Corte com fio helicoidal – três arames de aço trançados, operando com uma, duas ou mais redes simultaneamente e fazendo cortes horizontais, verticais ou inclinados;
- Corte a fio diamantado – cabo de aço com 16 metros de perímetro, onde são distribuídas pérolas adiamantadas, anilhas, molas separadas e uniões;
- Corte contínuo – perfuratriz hidráulica ou pneumática, acoplada a compressor, montada sobre macacos hidráulicos e trilhos reguláveis ou sobre plataforma móvel;
- Jet Flame – aquecimento e brusco resfriamento da zona de corte delimitada, na rocha; desmonte de grandes volumes com explosivos.

Após sua extração, os blocos são encaminhados as empresas onde ocorrerá seu desdobramento e venda. O desdobramento do bloco é feito a partir da serragem do mesmo, conforme representa a Figura 7. Logo após obtém-se a chapa bruta com espessura de 20 mm, sendo estas são encaminhadas ao processo de polimento, que é realizado em uma máquina denominada poliborda.

Figura 7 – Serragem do Bloco no Tear de Lâminas



Fonte: Ouro e Prata Granitos (2010).

Após todo o processo a peça encontra-se finalizada e estará pronta para armazenagem conforme a Figura 8, ou até mesmo, que seja comprada por uma marmoraria ou é exportada.

Figura 8 – Chapas polidas em estoque



Fonte: Autora

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para a realização desta pesquisa foi empregado um programa experimental e bibliográfico dividido em duas etapas, buscando assim possibilitar a análise do comportamento do concreto utilizando o resíduo de granito preto como agregado graúdo e sua viabilidade técnica e econômica.

A primeira etapa foi realizada através de pesquisas em literaturas já existentes relacionadas ao setor de construção civil, sites acadêmicos e livros encontrados no acervo da biblioteca da Faculdade Presidente Antônio Carlos, no que se refere às características do concreto e também sobre a utilização de componentes reciclados em sua estrutura.

A segunda etapa, buscou verificar a viabilidade da aplicação do resíduo de granito preto como agregado graúdo no concreto, por meio da confecção de corpos de provas conforme as Normas Regulamentadoras Brasileiras (NBR's) e utilizando materiais doados por uma empresa marmorista da região e parentes próximos. Os dados experimentais encontrados das propriedades físicas do concreto, foram obtidos através do ensaio de compressão realizado por uma prensa hidráulica no laboratório da Concreteira Real Beton, localizada no distrito industrial da cidade de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Materiais utilizados

Para a realização dos corpos de prova foram necessários os seguintes materiais:

- Cimento Portland
- Areia
- Brita
- Granito Preto
- Água
- Moldes cilíndricos

O resíduo de granito preto foi cedido por uma empresa de rochas ornamentais (marmoraria).

4.2 Métodos

Realizou-se a coleta do granito preto conforme a NBR 10007 (ABNT, 2004) – Amostragem em montes ou pilhas de resíduos. Os pontos de amostragem devem ser determinados e a coleta da amostra foi conforme recomendado na norma. Após a coleta o resíduo passou por um processo de preparação e secagem, logo após foi realizado manualmente a moagem para a redução do seu tamanho.

Seguindo as prescrições normativas da NBR 5738 (2015) foram confeccionados os corpos de prova utilizando tubos de PVC de diâmetro de 100mm e altura de 200 mm, como mostra a Figura 9. Efetuou-se um corte em sua estrutura para facilitar o desmolde e utilizou abraçadeira plástica para fechar. Em sua parte inferior, foi colocado lona plástica para não ocorrer a perda do concreto inserido, com o intuito de evitar danos aos corpos de prova.

Figura 9 – Tubos de PVC utilizados como moldes



Fonte: Autor

4.3 Corpo de prova

Neste trabalho utilizou-se o traço de 1:3:3, pois é muito utilizado pelos pedreiros da região de Conselheiro Lafaiete para obter uma melhor resistência em fundações.

- **Concreto convencional:** foi realizada a mistura de cimento Portland CP II-E 32 Itaú, areia média peneirada, brita nº 2 e água. A mistura foi realizada manualmente com a utilização de colher de pedreiro.
- **Concreto modificado:** nesta mistura foi realizado o mesmo processo do concreto convencional, apenas trocando a brita pelo granito preto com a mesma granulometria, mas com as mesmas proporções.

A Tabela 4 apresenta a proporção exata dos materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova.

Tabela 4 – Dosagem do material utilizado

Corpo de prova	Cimento (KG)	Areia (KG)	Brita (KG)	Granito Preto (KG)	Água (L)
Concreto convencional	2,150	7,870	7,800	0	2,050
Concreto reciclado	2,150	7,870	0	7,800	2,050

Fonte: Autora

Seguindo a NBR 5738 (2015), os corpos de prova foram preenchidos da seguinte maneira: adicionou-se a massa até a metade do cilindro aplicou-se 12 golpes com um

pilão metálico e em seguida completou-se o restante até o preenchimento final do corpo de prova e após mais 12 golpes e por fim a retirada do excesso. Após a preparação dos mesmos, as amostras foram identificadas e alocadas em um lugar arejado, sem vibração e luz solar para o repouso de 24 horas, conforme a Figura 10. Todos os corpos de provas foram confeccionados em triplicata, tanto o convencional quanto o reciclado.

Figura 10 – Corpo de prova produzidos



Fonte: Autora

Após completar 24 horas de confecção dos corpos de prova, as amostras foram desmoldadas e submersas em uma solução feita de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), ou seja, para cada 1 litro de água foi utilizado 1,2g de hidróxido de cálcio, deixando-as assim por 28 dias, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 – Corpo de prova submersos



Fonte: Autora

4.3 Ensaio de Compressão

Posteriormente com os 28 dias completos, os corpos de prova, conforme a Figura 12, foram retirados da submersão e os seus diâmetros foram anotados para o cálculo de área da seção transversal. Foram deixados em descanso por uma hora, e em seguida foram levados ao laboratório, para serem realizados os testes de compressão, conforme estabelecido na NBR 5739 (2018), onde foram rompidos e pode assim determinar a resistência de cada um.

Figura 12 – Corpo de prova após 28 dias



Fonte: Autora

Os testes foram realizados em um equipamento conhecido como prensa hidráulica, onde os corpos de prova são submetidos a um esforço de compressão axial em cargas graduais, até que ocorra o seu rompimento, sendo assim podendo registrar o valor máximo suportado pela amostra, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13 – Prensa Hidráulica com o corpo de prova



Fonte: Autora

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme a Tabela 5, o teste realizado nos corpos de prova apresentou os seguintes valores em tonelada força (tf).

Tabela 5 – Dados obtidos com os corpos de prova

Concreto Convencional		
Amostra	Diâmetro (cm)	Resistência a compressão F (tf)
1	10	9,10
2	9,7	8,30
3	9,9	9,13
Concreto Reciclado		
Amostra	Diâmetro (cm)	Resistência a compressão F (tf)
1	10	5,87
2	9,9	5,79
3	9,7	6,35

Fonte: Autora

Após a obtenção dos resultados em tonelada força (tf), faz-se necessário determinar a resistência em Mega Pascal (MPa), para que assim seja possível realizar a comparação entre o concreto convencional e o concreto reciclado. A conversão foi realizada conforme descrito no item 2.2.4. A Tabela 6 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 6 – Valores em MPa

Concreto Convencional		
Amostra	Área da seção transversal (cm²)	Resistência a compressão (MPa)
1	78,5	11,63
2	73,8	11,02
3	76,9	11,36
Concreto Reciclado		
Amostra	Área da seção transversal (cm²)	Resistência a compressão (MPa)
1	78,5	7,32
2	76,9	7,37
3	73,8	4,5

Fonte: Autora

Conforme pode ser observado na tabela 5, o valor médio do concreto convencional foi de 11,33 MPa e o do concreto reciclado foi de 7,70 MPa. Seguindo a normatização da NBR 6118/2014, os valores encontrados ficaram bem abaixo da consideração mínima de 20 MPa para a idade de 28 dias, portanto o concreto confeccionado não poderia ser utilizado como concreto estrutural.

A baixa resistência encontrada no concreto convencional, pode ter sido ocasionado por todo o processo ter sido executado de forma manual e caseiro. Desta maneira os materiais que compõem o concreto podem não ter obtido a mistura adequada para atingir a homogeneidade ideal.

Já no concreto reciclado, além da mesma situação relacionada a homogeneidade, também foi observado que a granulometria não ficou conforme o tamanho ideal. A Figura 14 mostra a falta de uniformidade dos corpos de prova, pode-se observar que os mesmos não tiveram uniforme em nenhuma das partes, tanto superior quanto na inferior.

Figura 14 – Corpo de prova sem uniformidade



Fonte: Autora

Por tanto, durante a realização do teste de compressão, a superfície onde obteve o contato com a prensa se rompeu, por outro lado onde não ocorreu o apoio, teve pequenos danos conforme mostra a Figura 15.

Figura 15 – Corpo de prova após o teste de compressão



Fonte: Autora

6 CONCLUSÕES

De acordo com as informações coletadas e analisadas, o intuito da pesquisa é o reaproveitamento do resíduo de corte de granito preto como agregado graúdo na composição do concreto e aplicação na construção civil. Durante o desenvolvimento, foi possível verificar o processo de produção de rochas ornamentais e o grande impacto ambiental com os resíduos gerados nesse setor. Visando um melhor aproveitamento do material, foram realizados testes de resistência comparando o concreto convencional com o reciclado de granito.

Conforme os resultados apresentados, foi possível identificar que devido ao processo de produção artesanal do concreto, não foram obtidos os valores esperados de resistência tanto para o convencional quanto o reciclado. Diante desses fatores, propõe-se a realização de novos corpos de prova e testes de resistência a compressão, levando em consideração o uso de betoneira para atingir uma melhor homogeneidade do concreto e também uma menor granulometria do granito preto, visto que a maneira empregada para moagem do mesmo não possibilitou uma boa simetria, diminuição em sua espessura e porosidade, causando assim uma menor homogeneidade com o concreto.

Apesar dos resultados apresentados não terem sido satisfatórios para a utilização em concretos estruturais, sugere-se o seu emprego em elementos não estrutural, como por exemplo, passeios ou rampas, visto que a resistência média encontrada, poderia ser útil nessas oportunidades. Sugere-se também a continuidade dos estudos para encontrar uma melhor maneira de utilização do material, modo de preparo e possibilidades de aplicação na construção civil.

7 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar todo o processo de mistura em uma betoneira;
- Reduzir a granulometria do granito e sua espessura;
- Utilizar um granito poroso para uma melhor homogeneidade;
- Utilizar moldes apropriados para uma melhor uniformidade;
- Realizar um comparativo de custo entre o concreto convencional e o reciclado para determinar a sua viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. (1990). *NBR 11172 - Aglomerante de Origem Mineral*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT, A. B. (2004). *NBR 10007 - Amostragem de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT, A. B. (2009). *NBR 7211 - Agregados para Concretos - Especificação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT, A. B. (2011). *NBR 9935 - Agregados - Terminologia*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT, A. B. (2014). *NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT, A. B. (2015). *NBR 5738 - Procedimento para Moldagem e Cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT, A. B. (2018). *NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT, A. B. (2019). *NBR 7215 - Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT, A. B. (2020). *NBR 16889 - Concreto - Determinação da Consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABIROCHAS. (2019). **Abirochas**. Fonte: Abirochas. Disponível em: https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Informes/Informe_01_2019_Balanco_2018.pdf. Acesso em: 06 de março de 2021.
- ABREU, U., Ruiz, M., & Caruso, L. (1990). *Rochas dimensionadas e aparelhadas*. Mercado produtor do estado de São Paulo, 137 - 151.
- BAUER, L. A. (2019). *Materiais de Construção*. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
- CAMPOS, E. T. (2009). *A Expansão Urbana na Região Metropolitana de Florianópolis e a Dinâmica da Indústria da Construção Civil*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- CARVALHO, A. N. (1999). *Desperdícios em Obra*. Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

CBIC, C. B. C. (2020). **CBIC**. Fonte: Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Disponível em: <https://cbic.org.br/pesquisa-da-brain-aponta-crescimento-de-vendas-de-imoveis-em-meio-a-pandemia/>. Acesso em: 12 de março de 2021.

COUTINHO, A. d. (1971). **Fabrico e Propriedades do Betão**. Lisboa: LNEC.

CUNHA, A. M., Lucio, C. S., Espartel, L., Stein, R. T., & Simionato, V. (2017). **Construção Civil**. Porto Alegre: Sagah.

GONÇALVES, J. P. (2000). **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GOTO, H., Ribeiro, J. P., & Centofante, R. (2018). **Materiais de Construção**. Porto Alegre: Sagah.

PACHECO JUNIOR, W. (2020). **Obra Prima**. Fonte: Obra Prima. Disponível em: https://blog.obraprimaweb.com.br/a-historia-da-construcao-civil-no-brasil/?utm_source=facebook&utm_medium=imagens_cpc_feed&utm_campaign=c1-004_frio_trafego&utm_term=t1-008_t2-005_na&utm_content=4x5_br_ida0048fa_idc0014fa_idg0013fa. Acesso em: 24 de maio de 2021.

MAIOR, G. R. (2013). **Panorama da Mineração de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo com Ênfase na Lavra por Bancadas Ultra-Altas**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.

NEVILLE, A., & Brooks, J. (2013). **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman.

PARIZOTTO, L. (2017). **Concreto Armado**. Porto Alegre: Sagah.

PINHEIRO, A. C., & MarcosCrivelaro. (2020). **Materiais de Construção**. São Paulo: Érica.

RESENDE, T. M. (2019). **Estudo do Reaproveitamento de Resíduos Gerados por Marmorarias**. Conselheiro Lafaiete.

ROUBINI, N. (2 de Abril de 2020). **Jornal Nexo**. Fonte: Jornal Nexo.

VIDAL, F. W., Azevedo, H. C., & Castro, N. F. (2014). **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. Rio de Janeiro: Cetem - Centro de Tecnologia Mineral.

VIEIRA, T. G. (2020). **Concreto Reciclado Utilizando Garrafas Pet**. Conselheiro Lafaiete.