



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LEONARDO CAMPOS LOPO
THIAGO DE JESUS VIDAL**

**UTILIZAÇÃO DE PÓ DE BRITA NA FABRICAÇÃO DE
LAJES PRÉ-MOLDADAS**

PUBLICAÇÃO Nº: 5

**GOIANÉSIA / GO
2020**



**LEONARDO CAMPOS LOPO
THIAGO DE JESUS VIDAL**

**UTILIZAÇÃO DE PÓ DE BRITA NA FABRICAÇÃO DE
LAJES PRÉ-MOLDADAS**

PUBLICAÇÃO Nº: 5

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

ORIENTADORA: Ma. DANIELLY LUZ ARAÚJO DE MORAIS

GOIANÉSIA / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

LOPO, LEONARDO CAMPOS. VIDAL, THIAGO DE JESUS

Utilização de pó de brita na fabricação de lajes pré moldadas, 2020, 56P, 297 mm
(ENC/UEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|----------------|----------------------|
| 1. Concreto | 2. Ensaio destrutivo |
| 3. Pó de brita | 4. Construção Civil |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LOPO, L. C. ; VIDAL, T. J. Utilização de pó de brita na fabricação de lajes pré moldadas, TCC, Publicação ENC, Curso de Engenharia Civil, Evangélica, Goianésia, GO, 56p, 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Leonardo Campos Lopo; Thiago de Jesus Vidal

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Utilização de pó de brita na fabricação de lajes pré moldadas.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2020

É concedida à Evangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Leonardo Campos Lopo

Endereço Permanente

CEP: 76380000 – Goianésia/Go – Brasil

Thiago de Jesus Vidal

Endereço Permanente

CEP: 76380000 – Goianésia/Go – Brasil

**LEONARDO CAMPOS LOPO
THIAGO DE JESUS VIDAL**

**UTILIZAÇÃO DE PÓ DE BRITA NA FABRICAÇÃO DE
LAJES PRÉ-MOLDADAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**Ma. Danielly Luz Araújo de Moraes, (Faculdade Evangélica de Goianésia)
(ORIENTADORA)**

**Me. Igor César Silva Braga, (Faculdade Evangélica de Goianésia)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Dra. Lauriane Gomes Santin, (Faculdade Evangélica de Goianésia)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 26 de NOVEMBRO de 2020.

AGRADECIMENTOS

Início os agradecimentos, direcionando, primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, e que me conduziu para que eu chegasse até aqui, mesmo com todas as adversidades vividas, não somente no período acadêmico, mas durante toda a vida, porém que serviram apenas como experiências construtivas. Agradecimentos também a professora e orientadora Danielly Luz, pelas horas de correções e todo o suporte prestado, no pouco tempo que lhe coube, fornecendo total amparo, instruções e nos guiando para que conseguíssemos alcançar o melhor nesse projeto.

Gratidão a minha família, pois entenderam os momentos de ausência e proporcionaram todo o conforto necessário e estímulo para superar as adversidades, sempre incentivando e ajudando, para enfim superar com êxito essa etapa. Reconhecimento também ao meu emprego e aos colegas de profissão que ali tive o prazer de conhecer e conviver, ressaltando que por intermédio deles me foram fornecidos conteúdos básicos e fundamentais para a conclusão deste projeto. A todos, amigos e colegas, que de alguma forma, direta ou indiretamente tiveram participação especial na conclusão deste trabalho bem como na nossa formação profissional.

RESUMO

A busca por novos materiais na engenharia civil é bastante recorrente. Na maioria das vezes essa busca se dá visando um melhor custo benefício do processo da construção civil, objetivando uma qualidade que garanta a segurança do produto final. Dentre os materiais que surgem como uma opção alternativa a outros materiais mais convencionais temos o pó de brita, ou pó de pedra, oriundo da britagem de rochas das pedreiras. Este tipo de agregado é uma solução que vem se mostrando como uma boa alternativa de substituição à areia natural. O intuito deste trabalho é o acompanhamento da utilização do pó de brita no traço de concreto de uma laje piso treliçada, verificando como os resultados dos ensaios destrutivos de rompimento de corpos de prova cilíndricos se mostram em relação aos resultados do ensaio não destrutivo de esclerometria. Foi constatado uma discrepância nos valores do ensaio esclerométrico em relação aos valores do ensaio de rompimento dos corpos de prova, resultando numa resistência aos 28 dias de 22 MPa para o ensaio não destrutivo e 31,29 MPa para o ensaio destrutivo, no entanto, seguindo os valores obtidos pelo ensaio destrutivo a resistência encontrada do concreto feito com pó de brita foi superior à resistência de projeto, sendo assim viável a sua utilização em concretos para lajes pré moldadas.

Palavras-chave: Concreto, ensaio destrutivo, esclerometria, pó de brita, construção civil.

ABSTRACT

The search for new materials in civil engineering is quite recurrent. Most of the time, this search takes place aiming at a better cost benefit of the civil construction process, aiming at a quality that guarantees the safety of the final product. Among the materials that appear as an alternative option to other more conventional materials, we have the crushed stone powder, or stone powder, from the crushing of rocks from quarries. This type of aggregate is a solution that has been shown to be a good alternative to replace natural sand. The purpose of this work is to monitor the use of gravel powder in the concrete mix of a lattice floor slab, verifying how the results of destructive tests for breaking cylindrical specimens are shown in relation to the results of the non-destructive sclerometry test. A discrepancy was found in the values of the sclerometric test in relation to the values of the test of rupture of the specimens, however, following the values obtained by the destructive test, the resistance found in the concrete made with gravel powder was superior to the design resistance, being thus, its use in concrete for pre-cast slabs is feasible.

Key words: Concrete, destructive testing, sclerometry, gravel powder, civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Areia natural x Areia artificial.....	6
Figura 2 – Argila expandida.....	10
Figura 3 - Laje treliçada.	13
Figura 4 – Elementos da laje treliçada.	14
Figura 5 – Local da obra.....	16
Figura 6 – Detalhe da planta baixa do pavimento térreo do apartamento 13.....	17
Figura 7 – Detalhe da planta de formas do pavimento superior do apartamento 13.....	18
Figura 8 – Ábaco de curvas do esclerômetro	20
Figura 9 – Realização do ensaio esclerométrico.	21
Figura 10 – Representação dos pontos de impacto.	21
Figura 11 – Moldagem dos corpos de prova.	22
Figura 12 – Detalhe do abatimento do concreto.....	23
Figura 13 – Cimento CII F 32.	24
Figura 14 – Brita 01.....	24
Figura 15 – Pó de brita	25
Figura 16 – Detalhe das treliças e do EPS.....	25
Figura 17 – Preparação da laje treliçada.....	26
Figura 18 - Determinação da resistência do concreto através do esclerômetro	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações das treliças.....	15
Tabela 2 – Ensaio granulométrico	27
Tabela 3 – Limites das zonas do agregado miúdo	28
Tabela 4 – Valores dos índices esclerométricos no ensaio de 7 dias.....	29
Tabela 5 - Valores dos índices esclerométricos no ensaio de 28 dias	31

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

°C - Celsius

CAR – Concreto de Alta Resistência

CAU – Conselho de Arquitetura e Urbanismo

CLE – Concreto Leve Estrutural

Cm - Centímetros

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EPS - Poliestireno Expandido

Kg - Quilos

M - Metros

MPa – Megapascal

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica	29
Gráfico 2 – Comparativo entre as médias das resistências dos ensaios.	34
Gráfico 3 – Comparativo da resistência dos ensaios não com cada corpo de prova.	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivos Específicos.....	4
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 AGREGADOS MIÚDOS ARTIFICIAIS	6
2.2 AGREGADOS GRAÚDOS	9
2.3 APLICAÇÕES DOS AGREGADOS EM ELEMENTOS DE CONCRETO	11
2.4 LAJES PRÉ-MOLDADAS	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	16
3.2 ENSAIO GRANULOMÉTRICO DO AGREGADO MIÚDO	18
3.3 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA	19
3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	22
3.5 SLUMP TEST	22
3.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO DOS CORPOS CILÍNDRICOS.....	23
3.7 EXECUÇÃO DA LAJE TRELIÇADA.....	23
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	27
4.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA.....	27
4.2 CÁLCULO DOS ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS AOS 7 DIAS	29
4.3 CÁLCULO DOS ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS AOS 28 DIAS	30
4.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA PELO MÉTODO DO ESCLERÔMETRO	31
4.5 RESULTADOS DO ENSAIO DESTRUTIVO.....	32
5. CONCLUSÕES.....	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXO A – RELATÓRIO DO ENSAIO GRANULOMÉTRICO DO PÓ DE BRITA	44
ANEXO B – RELATÓRIO DO ENSAIO DESTRUTIVO	45

1. INTRODUÇÃO

A área da construção civil é uma das mais tradicionais e necessárias para o desenvolvimento da civilização, desde os princípios dos tempos o homem necessita de abrigo para sua sobrevivência, período em que surgiram as cavernas, protegendo-os tanto de ataque dos animais quanto das ações do meio ambiente. Na crescente fértil¹, época onde o homem deixou de ser nômade, desenvolvendo a agricultura e dando início a sedentarização, tornou-se necessário a construção de casas para que se fixassem nas proximidades dos rios. Desde então a construção de edificações ganhou forte impulso, por se tratar de um item necessário (A REDAÇÃO, 2018).

A primeira utilização do que se assemelha ao concreto atual ocorreu no período do Império Romano, quando os romanos adicionaram cinza vulcânica ao calcário, chamando esta mistura de pozzolana (SOUZA JÚNIOR, 2012). Segundo Bosisio *et al* (2017) o concreto armado data sua utilização em meados de 1849, em um barco, desenvolvido pelo francês Lambot, este por sua vez contava com linhas de ferro em sua composição. O projeto tratava-se de uma parede de argamassa com um grande número de barras finas de ferro em sua composição, resultando em argamassa armada, melhorando sua resistência a tração, fato que já vinha sendo buscado há certo tempo. Posteriormente o francês Mounier passou a fabricar vasos de flores contendo uma tela de ferro em sua formação, ou seja, o concreto armado.

Devido a sua fraca resistência a tração, buscou-se adicionar outros componentes e materiais ao concreto na tentativa de melhorar esta resistência. O concreto armado torna-se uma alternativa bastante utilizada nas construções devido ao trabalho em conjunto do concreto e do aço. A aderência entre os dois materiais garante bom comportamento para ambos os elementos. O coeficiente de dilatação térmica entre ambos é igual havendo deformações de origem térmica semelhante. Além do aço garantir a resistência a tração ao concreto, este forma uma armadura envolvendo o aço protegendo-o contra intempéries existentes no meio exterior evitando sua oxidação. Todos esses fatores e sua praticidade na execução tornam o concreto armado um material requerido na área da construção civil (SOUZA JÚNIOR, 2012).

A aplicação de estruturas pré-fabricadas entra neste cenário melhorando a produtividade e racionalizando o processo construtivo. São amplamente utilizadas em edificações do tipo comerciais, residenciais, hotéis, flats e até em edifícios industriais. Vasconcelos (2002) cita a obra do hipódromo de Gávea, construído em 1926, na qual se

¹ Crescente fértil: onde o homem deixou de ser nômade, inventou a escrita e a matemática.

utilizou uma grande quantidade de pré-moldados sobretudo nas estacas de fundação. A grande quantidade de estacas e suas grandes dimensões exigiram um planejamento minucioso do canteiro de pré-fabricação, já que as estacas foram concretadas no próprio canteiro de obras. O autor cita ainda a obra da Construtora Mauá anos depois executando vários galpões utilizando do sistema pré-fabricado.

Segundo Oliveira (2002), a partir da década de 90, a cidade de São Paulo passa a contar com forte investimento para flats, hotéis e shoppings centers. Nestas edificações, buscaram-se a execução com qualidade e velocidade, para garantir boas vendas e consequentemente um retorno positivo perante seu investimento. Por se tratar de obras que chamam atenção por sua fachada, os edifícios exigiram qualidade no acabamento onde ressurgiu a utilização de pré-fabricados no Brasil.

Para Flório (2004) o uso de lajes pré-fabricadas tem se destacado nas construções deixando de ser utilizada apenas em obras de pequenos porte e passando a ser usadas em prédios de vários andares com elementos de grandes dimensões e vãos com aplicações até mesmo em pontes. Carvalho *et al* (2000) acreditam que a busca pela redução de custos nas edificações, por maior praticidade e rapidez vem intensificando o uso de lajes pré-moldadas. Já Guimarães (2007), afirma que o uso de lajes pré-moldadas se torna cada vez mais usado nas construções, uma vez que a vigota e os elementos de enchimento por serem pré fabricados, apresentam praticidade e economia em sua montagem, além de trazer redução no volume de escoras utilizadas se comparada com o modelo de laje maciça.

Teixeira e Carvalho (2005) argumentam que a chave para o desenvolvimento de uma região baseia-se na escolha correta da engrenagem que acionará todas as demais a investir nesse local. O setor da construção civil por sua vez produz infraestrutura econômica através da instalação de portos, ferrovias, rodovias, entre outros, ou seja, áreas que afetam diretamente os outros setores, e que são indispensáveis para fazer a economia do país girar. Contudo para Yoshimura (2008), devido a atual situação financeira do país ocasionada pelo crescimento acelerado e desordenado da economia, trazendo consigo mudanças corporativas, incertezas e competições, essas alterações geraram fortes mudanças na economia, tornando-a mais volátil e imprevisível, exigindo maior flexibilidade por parte das empresas. Diante disso a realidade vivenciada por muitas empresas é a busca por soluções alternativas de forma a adaptar-se as mudanças visando proporcionar seu crescimento. Nesse novo cenário devem-se buscar alternativas que ofereçam maiores oportunidades, enfrentando os riscos e incertezas como meios de se alcançar o sucesso. Nesse contexto, a qualidade torna-se um fator indispensável para o crescimento.

Delgado, J. (1997) alerta sobre a importância e precisão da qualidade no mercado de trabalho pois a população tornou-se exigente. Há necessidade de oferecer qualidade e novos serviços para garantir-se em crescimento no mercado. Com isto, a empregabilidade de novos materiais é um item a ser explorado e um exemplo que vem ganhando visibilidade é a aplicação de pó de brita como agregado miúdo no concreto armado.

As variações de aplicação do concreto nas construções intensificaram a demanda pelos agregados que o compõem principalmente da areia natural, elemento utilizado na realização de concretos e argamassas. Contudo, a alta demanda deste elemento natural tem provocado sérios danos ao meio ambiente quando a extração é feita de forma desordenada e sem consciência, acabando por agredir o planeta e pôr em risco o fornecimento futuro. A retirada de areia agride diretamente as calhas naturais dos rios, fazendo com que a passagem de água se intensifique promovendo a erosão, que retira a cobertura vegetal tornando o solo estéril, quase que como um efeito dominó. Para tanto, medidas quanto a extração da areia já contam com fiscalização, evitando que o mesmo seja tão explorado, alternando os meios e formas de consumo, como a utilização do pó de brita como substituto da areia natural (TEODORO, 2013).

Para Silva *et al* (2016) o pó de pedra, areia artificial, acaba por ser uma das alternativas a substituição da areia natural, visto que se encaixam nos padrões exigidos para fabricação do concreto. Já no trabalho de Almeida e Silva (2005), ressalta-se que a areia artificial possui as vantagens de facilidade de obtenção, uniformidade, economia em relação ao frete, haja vista sua obtenção nos próprios canteiros de obra. Em função disso, vem se mostrando uma ótima opção como substituto para a areia natural, podendo compor o concreto e ser utilizado em elementos estruturais diversos, como, fundações, alvenaria e lajes. Por estas vantagens mencionadas, seu uso ecologicamente e economicamente correto merece ser melhor estudado evitando seu descarte.

1.1 JUSTIFICATIVA

A areia artificial de pó de brita é o material final da fragmentação das rochas. Esta não detém ainda de um uso sistemático específico, resultando no acúmulo deste material em pedreiras e canteiros de obras o que ocasiona, muitas vezes, danos ao meio ambiente e perda de espaço em obra. Com o desenvolvimento e a intensificação do setor da construção civil há também um aumento e variabilidade na utilização do concreto. Atualmente se detém em

grande parte do uso da areia natural como elemento na formulação do concreto usual, contudo este recurso vem encontrando complicações cada vez maiores em sua obtenção, como o impacto ao meio ambiente, alto processo de fiscalização, aumento do valor da matéria prima devido à dificuldade em sua obtenção. Isto deixa evidente a necessidade do desenvolvimento de opções para formulação dos traços de concreto. Espera-se que logo este uso represente uma alternativa que contribua para a redução dos impactos ao meio ambiente e um avanço para a economia e sustentabilidade na construção civil.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo o estudo da utilização da areia artificial de pó de brita como substituto da areia natural na composição do concreto utilizado em lajes pré-moldadas.

1.2.1 Objetivos Específicos

Objetiva-se especificamente:

- Revisão bibliográfica acerca da aplicação de agregados artificiais em substituição aos naturais no concreto, e na execução de elementos de concreto e lajes pré-fabricadas.
- Acompanhar da aplicação de concreto com pó de brita na execução de laje pré fabricada.
- Aplicar o ensaio de slump test e ruptura de corpos de prova cilíndricos para concreto com pó de brita.
- Aplicar o ensaio de esclerometria em laje pré fabricada executada com concreto feito com pó de brita.
- Análise comparativa entre os resultados do ensaio destrutivo e não destrutivo

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No primeiro capítulo é abordado a importância da construção civil desde os primórdios da civilização, o surgimento do concreto armado e dos elementos pré moldados, assim como a justificativa e os objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo é apresentada a parte teórica sobre os agregados artificiais, miúdos e graúdos, como o pó de brita e a argila expandida, a aplicação desses agregados em elementos estruturais, assim como o funcionamento das lajes pré-moldadas treliçadas.

No terceiro capítulo é realizada a descrição da metodologia dos ensaios necessários para a finalização do trabalho, como o ensaio granulométrico e de resistência.

Já no quarto capítulo é feita a análise dos resultados oriundos dos ensaios e a comparação entre os resultados desses ensaios.

Por fim no quinto capítulo serão apresentadas as conclusões finais e as sugestões para futuros trabalhos

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo contém uma revisão bibliográfica acerca de trabalhos que versam sobre o estudo da aplicação de areias artificiais em estruturas de concreto. Foram encontrados trabalhos apresentando-se a aplicação de areia artificial, magnetita, pó de brita ou pó de pedra como agregados miúdos em substituição à areia natural. Na Figura 1 pode-se observar uma ilustração da areia natural a esquerda e da areia artificial a direita. Também se observaram trabalhos sobre a argila expansiva, poliestireno expandido e carvão vegetal como agregados graúdo em substituição à brita. Ainda, trabalhos que ilustram a aplicação destes agregados artificiais na execução de estruturas de concreto armado. Trabalhos estes que estão apresentados logo a seguir.

Figura 1 - Areia natural x Areia artificial.



Fonte: Lazzarin (2014)

2.1 AGREGADOS MIÚDOS ARTIFICIAIS

Os agregados miúdos artificiais que foram encontrados na literatura são areia artificial, pó de brita ou pó de pedra. Dentre eles, destaca-se o pó de brita, também conhecido como pó de pedra, areia de britagem ou areia britada, que é um resíduo obtido na britagem de rochas nas indústrias de mineração. A respeito dessas nomenclaturas é importante fazer algumas distinções, o pó de pedra é material proveniente do britamento de pedra, com dimensão

nominal máxima inferior a 0,075 mm. Segundo Souza *et al* (2016), quando se trata de areia de britagem essa a fração fina, é descartada do ensaio.

De acordo com Menossi (2004, apud NUGENT 1979), o reaproveitamento do pó de brita com a finalidade de substituir a areia natural na fabricação do concreto não é algo inovador, pois desde o século passado países como Canadá e os Estados Unidos já faziam uso desse material na fabricação do concreto. No entanto, no Brasil, essa substituição ainda não é recorrente.

Para se fazer uso desse agregado na elaboração de um concreto estrutural torna-se necessária a elaboração do estudo da sua composição granulométrica, com o intuito de reduzir o número de vazios presente na mistura, tendo assim o aumento da resistência do concreto (SILVA *et al*, 2016). A ABNT NBR NM 248:2003 estabelece o método de peneiramento para o ensaio granulométrico de agregados miúdos e graúdos para o concreto, que necessita de uma aparelhagem específica afim de se obter uma precisão maior dos resultados. O peneiramento deve ser feito com o agregado seco em estufa, e disposto de forma a passar por todas as peneiras determinadas. Com esse ensaio é possível determinar a dimensão máxima característica, e o módulo de finura, propriedades usadas para sua classificação e consequentemente na viabilidade do seu uso. Esse é um processo necessário para uma dosagem correta do concreto. Campos (2015), em seu estudo descreveu acerca da substituição parcial do cimento Portland pelo pó de brita como agregado miúdo de concretos de alta resistência (CAR), sem o peneiramento na #200 em laboratório, apresentou uma perda de consistência mínima no concreto, cerca de 3,63% se comparado com a consistência da pasta como o pó passante na #200. O pó de brita é utilizado como agregado do concreto estrutural, blocos de concreto, camadas de sub-base asfáltica e camadas de concreto compactado a rolo (DE SOUZA *et al*, 2016; MENOSSI, 2004).

Podemos encontrar estudos feitos com esse resíduo, com outras finalidades de aplicação, como por exemplo, a substituição parcial do cimento Portland em concretos convencionais e até mesmo nos de alta resistência, adição na fabricação de blocos de concreto, substituição da areia natural na fabricação de argamassa autonivelante e estas aplicações serão melhores abordadas no tópico subsequente. Em todos estes estudos a conclusão foi de que o uso do pó de pedra é viável, seja por ordem ambiental ou por ordem das propriedades mecânicas do material final.

Uma alternativa na área da construção civil para redução dos impactos ambientais seria a utilização do pó de brita como agregado miúdo, evitando-se o descarte desse material, que ocuparia espaço nas pedreiras, sem uma finalidade propriamente dita. Um fator muito

importante na construção civil é a qualidade dos agregados, grãos e miúdos, são inúmeros os casos de colapsos estruturais onde a falha ocorreu na escolha desses agregados, o pó de brita nesse quesito se torna uma boa alternativa devido a uniformidade das suas propriedades (MENOSSI, 2004).

Uma das diferenças principais entre a areia natural e o pó de brita, está nas características de composição, visto que o pó de brita possui material pulverulento passante na peneira #200, considerado um material nocivo ao concreto quando encontrado em quantidades superiores ao especificado pela ABNT NBR 7211:2009, estabelecendo uma porcentagem de 3% para concreto submetido a desgaste superficial, e 5% para concretos protegidos desse desgaste superficial (MENOSSI, 2004).

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006) o desgaste superficial é devido a abrasão, que por sua vez refere-se ao atrito seco, onde ocorre a perda gradual e continuada da argamassa e dos agregados, recebendo ainda uma classificação conforme a intensidade desse desgaste, leve, médio, pesado e severo, variando a profundidade e a exposição dos agregados. Devido à presença desses materiais pulverulentos a superfície da porção de finos criam áreas de contato diminuindo assim os vazios entre os grãos, conferindo ao pó de brita uma absorção de água sete vezes maior se comparado a areia natural, isso reflete na pouca trabalhabilidade do concreto feito com o pó de brita. Para manter a mesma trabalhabilidade do concreto feito com areia natural, deve-se aumentar a relação água/cimento (DE SOUZA *et al*, 2016; MENOSSI, 2004).

Concretos com a relação água cimento entre 0,55 e 0,60, apresentam melhor resultado com 60 % de areia de britagem na sua composição, com a relação água cimento fixada em 0,65 o melhor resultado vem com 100% de pó de brita em substituição a areia natural (DRAGO, 2009). Menossi (2004) afirmou que o uso do pó de brita como agregado miúdo do concreto já vinha sendo analisado, tanto por motivos de durabilidade como por fatores econômicos e ambientais, por ser um produto considerado como rejeito que até então não tinha valor, se encontra com um valor mais acessível.

Em se tratando de resistência característica do concreto (f_{ck}), em todos os experimentos de artigos científicos feitos com a finalidade de verificar a viabilidade do pó de brita como agregado miúdo, Drago (2009), Menossi (2004), De Souza (2016), analisados por este trabalho, foi constatado um aumento na resistência do concreto no decorrer de 7, 14 e 28 dias do processo de cura. Esta resistência do concreto é obtida através de ensaios, classificados em destrutivos ou não destrutivos, dentre os destrutivos temos os ensaios de tração, compressão, dureza e flexão. Um ensaio destrutivo é aquele onde após o processo de

verificação das tensões de rupturas, o concreto sofre extrações de amostras resultando na inutilização do material. Já os ensaios não destrutivos são capazes de aferir a resistência do concreto sem causar danos que comprometam a estrutura.

Comumente a resistência a compressão do concreto é o fator principal na engenharia civil, visto que o seu suporte aos esforços de tração é muito baixo, e não deve ser considerado para os cálculos estruturais. Via de regra o ensaio de compressão é feito com o uso de prensas hidráulicas como é prescrito na ABNT NBR 5739:2018, no qual esta máquina aplica forças axiais sobre os corpos de prova, gerando assim uma tensão resistente do concreto.

A ABNT NBR 5738:2015, determina como deve ser feito a elaboração dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos, estabelecendo diretrizes das dimensões, moldes, desforma, processo de cura dos corpos, adensamento, abatimento e até o manuseio e transporte. Obtendo um processo padronizado, para se chegar em resultados confiáveis. Com os ensaios não destrutivos também é possível determinadas várias propriedades do concreto como: velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, índice esclerométrico, profundidade de penetração de pinos e maturidade (EVANGELISTA, 2002). Maiores detalhes acerca dos ensaios que serão abordados nestes trabalhos são especificados na metodologia.

2.2 AGREGADOS GRAÚDOS

Segundo a ABNT NBR 7211:2009, agregado graúdo é aquele cujos grãos passam na peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm. Os agregados representam 60 a 80% do volume do concreto, tendo assim grande influência na forma final do concreto, em função disso é preciso se atentar a forma, tamanho e densidade dos agregados. Independente da sua origem os agregados são adicionados a mistura de concreto com a finalidade de reduzir os custos sem prejudicar as características desejadas (SCOBAR, 2016).

Assim como nos agregados miúdos os agregados graúdos podem ser classificados em naturais, artificiais e industrializados. Os naturais já são encontrados na forma de utilização como os seixos rolados e cascalhos. Os artificiais são resultados de britamento de rochas, pedra britada (brita) e pedriscos. Os industrializados, por sua vez, são oriundos de processos industriais como argila expandida e escória britada (MORAES, 2016)

O uso da argila expandida está diretamente ligado à fabricação do concreto leve estrutural (CLE), este tipo de concreto apresenta algumas particularidades, a maior delas se

refere a sua massa específica, que é muito menor se comparada ao concreto convencional. Essa redução se deve ao uso da argila expandida que apresenta uma massa específica muito menor em relação aos agregados graúdos de origem basáltica, granítica ou calcária (SCORBAR, 2016).

A argila expandida apresentada na Figura 2 é obtida através do aquecimento de certos tipos de argila em fornos que chegam a temperaturas de 1200° C, nessa temperatura parte do material se torna uma massa viscosa, outra parte se decompõe quimicamente liberando gases que são incorporados a essa massa viscosa expandindo-a em até sete vezes o seu volume inicial. Esse processo faz com que a massa unitária resultante se torne menor do que antes do aquecimento. Pode ser produzida de forma tritura e classificada granulometricamente, moída ou pelletizada, os fornos usados se assemelham com os fornos de fabricação de cimento Portland (MORAVIA *et al*, 2006).

Figura 2 – Argila expandida.



Fonte: Borja (2011).

Ainda segundo Moravia *et al* (2006), devido à alta porosidade da argila expandida ocorre uma redução na resistência mecânica do concreto, no entanto apresenta uma boa aderência entre o agregado leve e a pasta de cimento devido a textura áspera da superfície do agregado, resultando em um intertravamento mecânico.

Durante a fabricação de concretos leves é recomendado que o consumo de cimento seja acima de 300 kg/m³, com isso se garante proteção e ancoragem da armadura. Esse tipo de concreto tem por características, um menor abatimento do tronco de cone se comparado aos

concretos convencionais, isso ocorre através da deformação em função da gravidade ser menor nos agregados (SCOBAR, 2016).

Scobar (2016) afirma que a utilização desse agregado leve na fabricação do concreto reduz as solicitações por peso próprio, facilita o transporte e o lançamento do concreto, o que diminui o esforço das máquinas e operários, isso gera um aumento na produtividade da obra, esses são alguns fatores que compensam a redução da resistência.

Um fator bastante estudado quando se trata de concretos leves é a zona de transição, sendo a porção da pasta de cimento em contato com o agregado graúdo, sua espessura varia conforme os componentes da pasta e o agregado, é uma região que apresenta maior porosidade e heterogeneidade, a porosidade decorre da elevação da relação água/cimento na mistura, com o surgimento de espaços vazios ocorre a formação de cristais de Ca(OH)_2 com seu eixo C perpendicular ao agregado, criando planos de ruptura e falha na aderência entre pasta e agregado, diminuindo a força de adesão (KAEFER, 2002). Agregados leves com baixo teor de umidade e com porosidade permeável na face externa, como é o caso da argila expandida, faz com que se tenha uma diminuição da espessura da microestrutura da zona de transição. Existe uma grande relação entre a espessura e a qualidade da zona de transição e as propriedades mecânicas e a durabilidade do concreto (ROSSIGNOLO, 2009 *apud* MONTEIRO 1993, PAULON 2003).

Rossignolo (2009) ao verificar a influência da argila expandida na zona de transição de concretos feitos com brita basáltica e com argila expandida, com relação água/cimento de 0,4 e relação agregado/cimento 1:1, e agregado miúdo correspondente a 30% em massa, chegou à conclusão de que nos concretos leves a espessura da zona de transição foi menor, no valor de 30 μm , já nos concretos de brita basáltica a espessura foi de 55 μm .

2.3 APLICAÇÕES DOS AGREGADOS EM ELEMENTOS DE CONCRETO

De acordo com Inéia (2017), o pó de brita basáltica tem as características necessárias para substituir de forma parcial ou total a areia natural na fabricação da argamassa autonivelante, obtendo resultados satisfatórios, houve de fato um decréscimo na trabalhabilidade da argamassa, cerca de 9%, ao se fazer a substituição completa da areia natural, no entanto foi detectado um aumento acima do esperado da sua durabilidade, devido a uma menor permeabilidade. Lembrando que sua maior vantagem foi de ordem ambiental, pois reduz a dragagem dos rios significativamente.

Nobrega (2014), concluiu que é possível fazer a substituição parcial do cimento Portland na argamassa de regularização pelo pó de brita, com traço 1:3. Foi verificado uma melhora na trabalhabilidade, e conseqüentemente uma redução no gasto de cimento, a absorção só aumentou após a adição de 20% do pó de brita, no entanto, a partir de 15% de adição do resíduo houve um decréscimo da resistência. O módulo de elasticidade baixou, fazendo com que a argamassa aumente a capacidade de resistir a deformação elástica a certas tensões, reduzindo o surgimento de fissuras ao longo do revestimento.

Ao se fazer a substituição da areia natural pelo pó de brita foi constatado que para se garantir uma trabalhabilidade adequada foi necessário uma maior demanda de água, isso se deve a quantidade elevada de teor de finos e da forma dos grãos do pó de brita, a substituição total da areia natural por areia de britagem apresentou mais eficiência em concretos com a relação água/cimento fixada em 0,65, já nas relações de 0,55 e 0,60 a porcentagem mais eficiente de substituição foi de 60% (DRAGO, 2015).

Menezes *et al* (2016) em seu estudo sobre a influência da adição de pó de brita em blocos intertravados, verificou que somente os corpos de prova entre 0% e 15% de pó de brita, atingiram a resistência exigida, tendo em vista que essa porcentagem pode ser aumentada de acordo com o traço utilizado. Para o traço do estudo em questão a porcentagem máxima foi de 15% com um aumento considerável de resistência se comparado ao bloco sem adição de pó de brita, com um valor de absorção de água para essa proporção de substituição ficando dentro do limite estabelecido pela ABNT NBR 9781:2013.

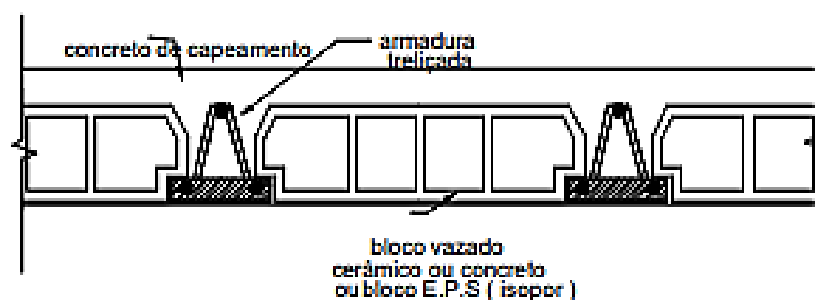
Campos (2015) com um estudo experimental utilizando pó de brita em substituição parcial ao cimento Portland para a fabricação de concreto de alta resistência (CAR), concluiu que em parâmetros gerais houve uma melhora na resistência à compressão e a tração por compressão diametral em todas as porcentagens de substituição (0%, 6%, 12%, 18%) para as classes de concreto C50, C65, C80 e C95. Não foi verificado uma influência significativa no módulo de elasticidade, nos parâmetros mecânicos o melhor resultado foi obtido com a porcentagem de 12%, possibilitando uma redução de 22,05% no consumo de cimento, aumento médio da resistência à compressão de 13,73% e 15,22% à tração por compressão diametral.

2.4 LAJES PRÉ-MOLDADAS

Bastos (2015), diz que lajes são elementos planos bidimensionais nos quais as dimensões de largura e comprimento são da mesma ordem de grandeza e muito maiores do que sua espessura. São estruturas sujeitas a carregamentos geralmente perpendiculares a laje como o peso de pessoas, móveis, pisos, paredes, podendo ser distribuídas de forma superficial, linear ou pontual. Quanto ao seu tipo executivo podem ser pré-moldadas, quando parte das mesmas já vem pronta para sua montagem na obra, ou moldadas in loco, quando são totalmente moldadas no local final. Dentre os tipos de lajes tem-se as lajes maciças, treliçadas e nervuradas, as maciças são aquelas cuja espessura é composta de concreto na sua totalidade, contando com armaduras longitudinais de flexão e possivelmente armaduras transversais. Já as nervuradas são definidas pela ABNT NBR 6118:2014, como lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, onde a área de tração para momentos positivos se encontra nas nervuras, e também contam com o uso de material inerte, disposto entre essas nervuras. Não é feita uma consideração da resistência desse material inerte, toda a tensão de resistência da laje é advinda das próprias nervuras.

A laje treliça ou laje treliçada, objeto deste estudo, surgiu na Europa, trazendo como proposta economia, suportar grandes vãos com menor peso próprio e redução na mão de obra. As armaduras das nervuras têm a forma de uma treliça espacial, na qual o banzo inferior é composto por duas barras e o banzo superior por uma barra, a ligação entre os banzos é feita por diagonais (sinusóide) soldadas a eletrofusão, todo esse conjunto aumenta a resistência aos esforços solicitantes (BASTOS, 2015). As armaduras são ligadas a vigotas de concreto, servindo assim de apoio para os materiais inertes como os blocos cerâmicos ou Poliestireno Expandido (EPS), popularmente conhecido como isopor, como vemos na Figura 3.

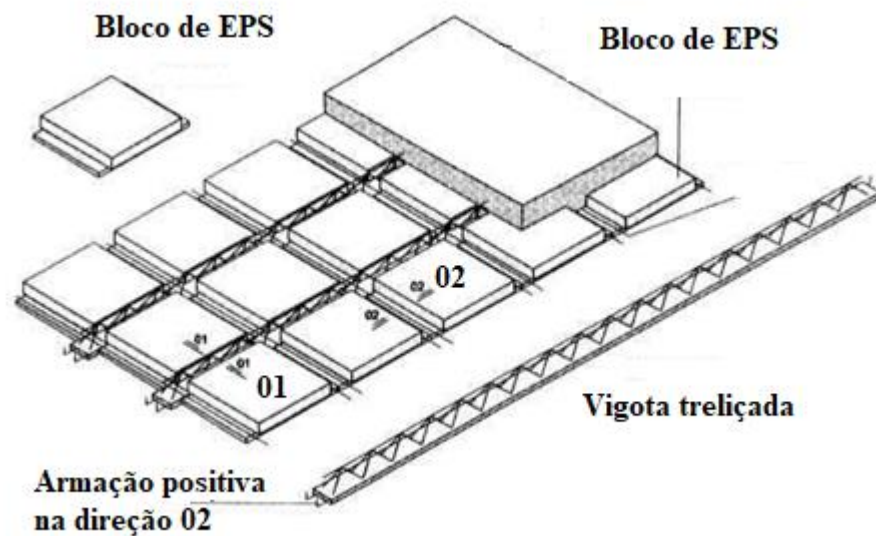
Figura 3 - Laje treliçada.



Fonte: Magalhães (2001)

Ainda segundo Bastos (2006), esses materiais usados para enchimento têm a função de dar forma ao concreto, proporcionando uma superfície mais lisa à laje, devem ser leves e de baixo custo, pois por meio deles que se obtém a redução do peso da laje, tornando possível vencer grandes vãos, normalmente são fornecidos pelo fabricante das vigotas da laje treliçada.

Figura 4 – Elementos da laje treliçada.



Fonte: Franca (1997)

Diante desse cenário as lajes treliçadas, Figura 4, se tornam uma boa opção no mercado, por ser mais leve ocorre uma redução no carregamento que seria transmitido para as vigas, pilares e conseqüentemente para as fundações, gerando uma economia na obra como um todo, o gasto com concreto para sua concretagem é menor devido aos materiais de enchimento. As lajes treliçadas estão no Brasil há cerca de 46 anos, com sua difusão no mercado ocorrendo partir dos anos 90. Hoje muitas fábricas dispõem desse tipo de laje para execução (JÚNIOR, 1999). Segundo Júnior (1999) os tipos de vigota usados nessas lajes pré-moldadas são:

- Vigotas de concreto armado comum, não protendido, com seção transversal que se assemelha com um “T” invertido, e armadura passiva envolvida totalmente pelo concreto.
- Vigotas com concreto protendido, seção transversal que se assemelha com um “T” invertido, armadura de protensão pré-tracionada e envolvida pelo concreto.
- Vigotas treliçadas, possuem armaduras treliçadas de aço, uma placa de concreto que envolve os banzos inferiores da treliça.

Para a execução desses tipos de laje um fator muito importante é o espaçamento das

linhas de escoras, que por sua vez dão sustentação a laje durante a fase da montagem e concretagem. Sartorti *et al* (2013) diz que a capacidade portante da laje treliçada durante sua fase de montagem está ligada a resistência das partes que a compõem, nesse caso a solda e a própria vigota treliçada.

A especificação de uma treliça (Tabela 1) ocorre por meio de um código TR, no qual é disposto de forma numérica a altura da treliça, e os diâmetros do banzo superior, das diagonais e do banzo inferior, respectivamente nessa ordem, exemplo TR08634 – treliça com oito centímetros de altura, e diâmetros de 6 mm, 3,4 mm e 4,2 mm, os valores das casas decimais não são identificados no código (SARTORTI *et al*, 2013).

Tabela 1 – Especificações das treliças

Desig. Gerdau	Desig. NBR 14862	Peso kg/m	Altura cm	Diâmetro mm			Compr. m
				Banzo Sup.	Diagonal	Banzo Inf.	
TG 8 L	TR 08644	0,735	8	6,0	4,2	4,2	8
TG 8 M	TR 08645	0,821	8	6,0	4,2	5,0	8
TG 12 M	TR 12645	0,886	12	6,0	4,2	5,0	8

Fonte: Adaptado de MaisAço.

Apesar das muitas vantagens citadas, na visão de Magalhães (2001) deve se atentar a algumas questões, com o objetivo de se verificar um comportamento adequado desse tipo de laje, para atender os estados limites últimos e de utilização. Dentre os cuidados que os projetistas e os executores devem tomar estão, considerar a armadura das diagonais para resistir ao cisalhamento somente se as mesmas estiverem seguramente ancoradas na parte comprimida do concreto.

Se tratando de lajes contínuas, verificar o posicionamento da armadura negativa durante o processo de adensamento e lançamento do concreto, para garantir a altura útil estipulada no projeto. Por serem elementos muito esbeltos, se faz necessária a análise da resistência no plano da laje na transferência de ações horizontais, também deve ser verificado o comportamento no estado limite de deformações excessivas (MAGALHÃES, 2001).

A seguir, apresentam-se as características geométricas e estruturais da lajes pré moldada em estudo deste trabalho, bem como os demais materiais e metodologias para se alcançar os objetivos propostos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Além da revisão bibliográfica apresentada no capítulo anterior para possibilitar os objetivos propostos, este capítulo relata sobre como é efetuado o acompanhamento para a obtenção dos traços de concreto com utilização de brita e sua aplicação em laje pré fabricada. Para o desenvolvimento da metodologia proposta, foram executados alguns ensaios, primeiramente um ensaio de granulometria do agregado miúdo, pó de brita, seguindo as diretrizes da norma ABNT NM 248:2003 e afim de classificar o agregado, obtendo seu módulo de finura e dimensão máxima característica, posteriormente o ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos com base na ABNT NBR 5739:2018, juntamente com um ensaio esclerométrico feito na laje em estudo de acordo com a ABNT NBR 7584:2012, os ensaios de resistência foram feitos nas idades de 7 e 28 dias, com o intuito de comparar os resultados obtidos nos dois ensaios.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A obra na qual foi feito os acompanhamentos da laje treliçada pré moldada está situada na rua 25 Quadra 455, Lote 33, CEP: 76382-175, Setor Sul, Goianésia – Goiás, Figura 5, têm como responsáveis pela execução, engenheiro civil Diogo Lacerda Mota – CREA 14364/D-GO; engenheiro eletricitista Heber Haniel Tavares Fernandes – CREA 14402/D-GO; arquiteto Giordano Procópio – CAU A68794-4.

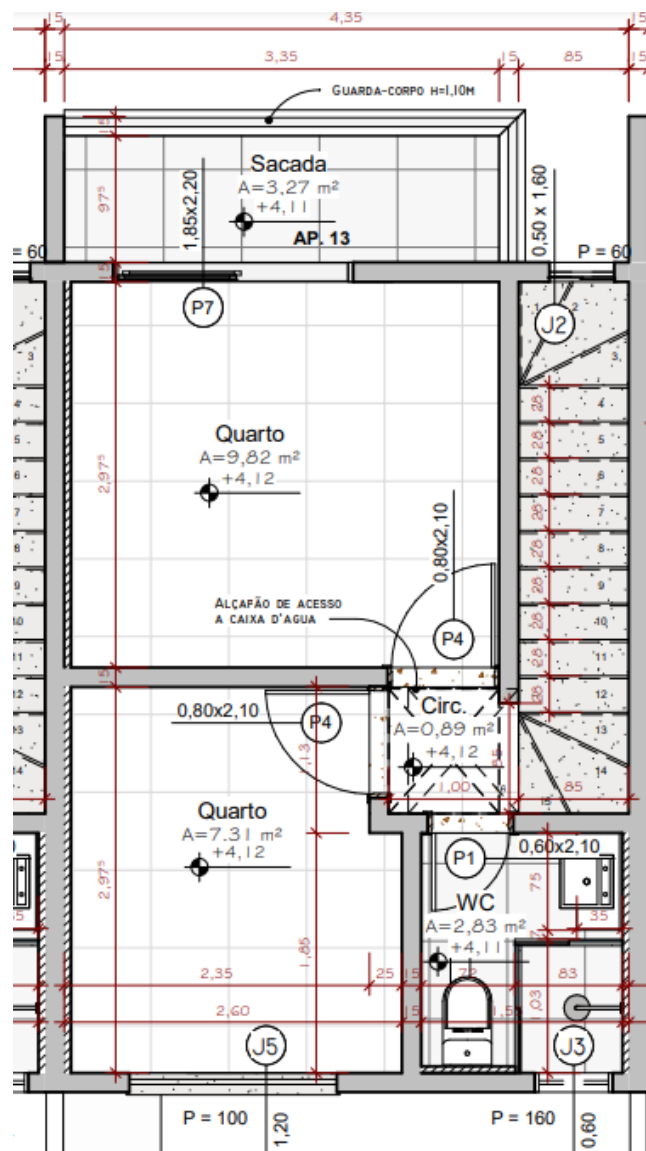
Figura 5 – Local da obra.



Fonte: Google Earth (2020)

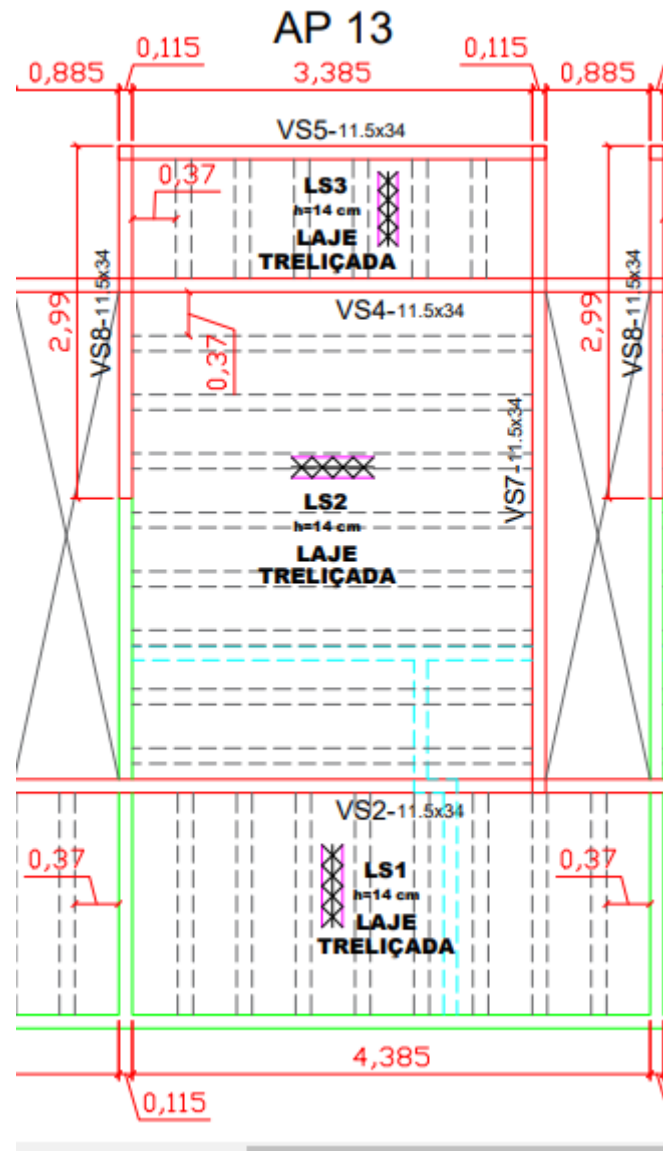
A obra consiste em um residencial com 20 apartamentos constituídos de um pavimento térreo e um pavimento superior totalizando uma área de 1.255,82 metros quadrados. Na Figura 6 é possível ver o detalhe da planta baixa do térreo do apartamento 13, os apartamentos são executados com blocos de concreto, alvenaria auto portante, sistema no qual a alvenaria realiza a função de peças estruturais como pilares e vigas. Na Figura 7 temos o detalhe da planta de formas da laje piso do apartamento 13.

Figura 6 – Detalhe da planta baixa do pavimento térreo do apartamento 13



Fonte: SALIM, (2019).

Figura 7 – Detalhe da planta de formas do pavimento superior do apartamento 13



Fonte: MOTA, (2019).

3.2 ENSAIO GRANULOMÉTRICO DO AGREGADO MIÚDO

O ensaio granulométrico foi realizado pela empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Limitada situada em Goiânia - GO, esse ensaio se faz importante para a determinação das características dos grãos do agregado, afim de verificar o índice de vazios, buscando obter o menor valor, pois um número de vazios baixo reflete em um aumento da resistência. De acordo com a norma ABNT NBR NM 248:2003 o agregado deve ser seco em estufa capaz de manter a temperatura em 105° C (± 5), o ensaio deve ser feito através do peneiramento, o material a ser ensaiado deve passar por um série específica de peneiras

dispostas da seguinte forma de acordo com sua abertura: 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 μm , 300 μm e 150 μm .

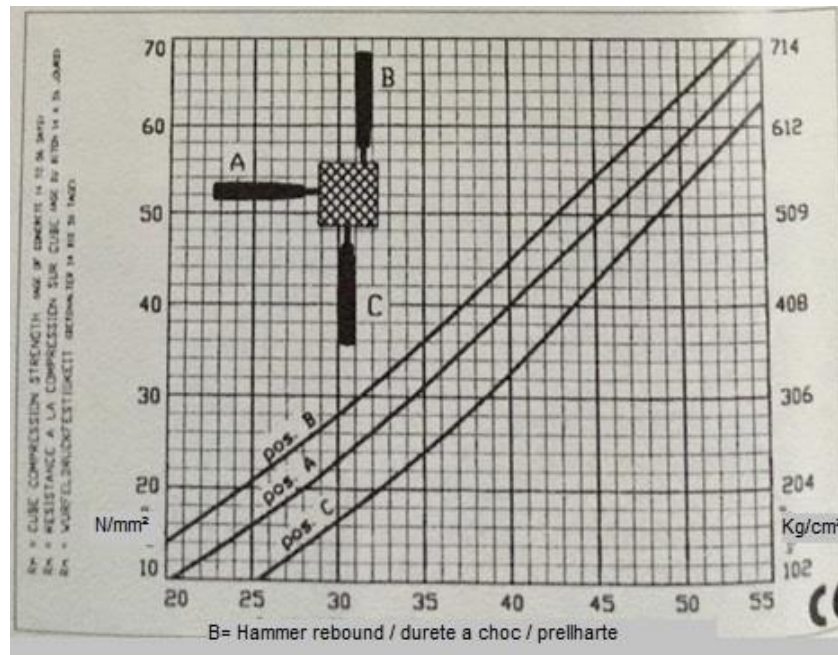
Após a agitação das peneiras é verificado a porcentagem do pó de brita que ficou retido em cada peneira, com o auxílio de uma balança de precisão, para se chegar em resultados mais precisos o processo de peneiramento e pesagem é feito com duas amostras, fazendo assim a média aritmética dos valores, também deve ser identificado os valores acumulados das porcentagens retidas.

Dentre os parâmetros importantes para se determinar nesse ensaio são, o módulo de finura, a dimensão máxima característica e o teor do material pulverulento presente no agregado miúdo, o módulo de finura é o somatório das porcentagens retidas acumuladas dividido por 100, lembrando que o prato ou fundo não deve entrar no somatório, a determinação desse parâmetro é importante para conhecimento das dimensões dos graus, através do módulo de finura é possível classificar o agregado, a dimensão máxima característica está associada com a abertura nominal da malha da peneira na qual o agregado apresente uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente abaixo a 5%, por fim o teor de material pulverulento que de acordo com a ABNT NM 46:2003 trata da determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem, esta norma contempla dois métodos, um usando apenas água e outro usando um material umectante para a liberação do material mais fino que 75 μm , no entanto a norma na maioria dos casos prevê-se somente o uso do primeiro método citado.

3.3 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

O método do ensaio de esclerometria segundo Evangelista (2002, *apud* ACI 228, 1989) se traduz em sujeitar uma superfície de concreto a uma impacto de forma padronizada, usando de uma certa massa e de uma energia, medindo assim o valor do ricochete ou índice esclerométrico, que tem como variável a quantidade de energia cinética antes do impacto e quanto dessa energia é absorvida pela superfície. Obtido o valor dessa energia é possível determinar de forma aproximada a tensão de resistência em MPa que se encontra o concreto, por meio da análise de curvas, Figura 8, usando do valor medido pelo esclerômetro para se chegar à resistência, o sentido e a direção de aplicação do equipamento deve ser observado para se fazer a verificação correta através das curvas, a aplicação do esclerômetro foi no sentido perpendicular à laje, sendo assim utilizados da curva B.

Figura 8 – Ábaco de curvas do esclerômetro



Fonte: FILHO *et al.*, (2019).

De acordo com Evangelista (2002) esse ensaio possui vantagens como: simples operação, usa de equipamento leve, rapidez nos resultados, danos praticamente nulos a estrutura, em contrapartida a verificação ocorre somente numa zona superficial do concreto (cerca de 30 mm), além de possuir uma acurácia limitada.

Para Monico *et al* (2009, *apud* MIKHAIL E ACKERMANN, 1979) a acurácia pode ser expressada como o grau de proximidade de uma estimativa com o seu valor verdadeiro. Sendo assim o ensaio de esclerometria não é totalmente preciso, pois são muitas as variáveis que influenciam numa análise fidedigna, por exemplo o acabamento da superfície, inclinação do esclerômetro, idade e umidade (EVANGELISTA, 2002 *apud* MALHOTRA, 1984; QASRAWI, 2000). Seguindo a ABNT NBR 7584:2012 temos as diretrizes para o ensaio, deve ser escolhida uma superfície lisa e limpa, delimitação de áreas de ensaio com no mínimo nove e no máximo dezesseis pontos de impacto, aconselha-se o desenho de um reticulado para aplicação do esclerômetro nas áreas delimitadas, distância mínima entre dois centros dos pontos de aplicação deve ser de 30 mm, evitar fazer a aplicação sobre armaduras, bolhas e em demais superfícies que não representem o concreto. Esse ensaio é feito em partes estruturais da edificação, vigas, pilares, lajes, deve se repetir o ensaio no mínimo nas idades de 7,14 e 28 dias, afim de se obter a curva de resistência do concreto.

Durante o acompanhamento da execução da laje foi realizado um ensaio esclerométrico na superfície da laje como mostrado nas figura 7, na idade de 7 e 28 dias de cura. Para a aplicação do esclerômetro foi desenhado um quadrado de lado 20 cm x 20 cm, contendo 16 pontos de impacto cada um com 5 cm de lado, constando 5 cm entre os pontos, Figura 9, distância que atende aos parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 7584:2012, esses pontos foram aferidos no sentido da direita para esquerda e de cima para baixo, para um melhor entendimento da disposição dos pontos de impacto, a Figura 10 apresenta a representação desses pontos.

Figura 9 – Realização do ensaio esclerométrico.



Fonte: Autor (2020)

Figura 10 – Representação dos pontos de impacto.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

Fonte: Autor (2020)

3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizadas as diretrizes da ABNT NBR 5738:2015 processo de moldagem e cura dos corpos de prova. A moldagem dos corpos de prova foi realizada na própria obra, o adensamento foi realizado com duas camadas de 12 golpes cada visando o melhor adensamento do concreto e evitando o surgimento de espaços vazios que leva a uma queda na resistência final, utilizou-se desengripante lubrificante nos corpos de prova antes da moldagem para facilitar o desmolde, todo o processo foi executado em superfície plana para garantir que os corpos de prova apresentem as dimensões corretas de 100 mm x 200 mm, Figura 11.

Após 24 horas é feita a retirada dos corpos de prova dos moldes, são enumerados e submersos em água para o processo de cura ocorrer até as datas de ruptura, de 7 e 28 dias. Lembrando que a resistência de projeto tanto do concreto produzido para fabricação da laje treliçada quanto do concreto usado para concretagem da laje é de 25 MPa.

Figura 11 – Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2020)

3.5 SLUMP TEST

Também foi feito o slump test do concreto com base na ABNT NBR NM 67:1998 para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, o cone foi preenchido com três camadas de concreto, com 25 golpes em cada camada, a retirada do molde foi feita

no intervalo de 8 segundos com um movimento constante para cima, sem a execução de movimentos que gerem torções, fatores que contemplam a norma citada acima, sendo assim foi observado um abatimento de 14 cm como pode ser visto na Figura 12, valor aceitável, pois o projeto indicava um abatimento de 12 ± 2 cm, ou seja, um intervalo de 10 cm até 14 cm.

Figura 12 – Detalhe do abatimento do concreto



Fonte: Autor (2020)

3.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO DOS CORPOS CILÍNDRICOS

Este ensaio foi feito pela empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Limitada localizada na cidade de Goiânia – GO, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 5739:2018 foi fornecido por parte da empresa um relatório do ensaio com todas as informações exigidas pela norma como, data da moldagem; data do ensaio; dimensões, idade e numeração de identificação dos corpos de prova, assim como o valor da resistência à compressão de cada corpo de prova. Os resultados desse ensaio são abordados no Capítulo 4 análise dos resultados.

3.7 EXECUÇÃO DA LAJE TRELIÇADA

O traço utilizado na concretagem da laje e conseqüentemente na moldagem dos corpos de prova foi de 1:2:2:1, no qual para um saco de cimento de 50kg foram usadas duas padiolas de pó de brita, duas padiolas de brita e uma lata de água. As dimensões da padiola de pó de brita e de brita 01 são respectivamente 24 cm x 35 cm x 45 cm, 25 cm x 35 cm x 45 cm.

O cimento utilizado foi Intercement CAUÊ CII F 32 (Figura 13), a brita número 01 (Figura 14) e o pó de brita (Figura 15) os agregados são fornecidos pela Pedreira Jaraguá Ltda.

Figura 13 – Cimento CII F 32.



Fonte: Autor (2020)

Figura 14 – Brita 01

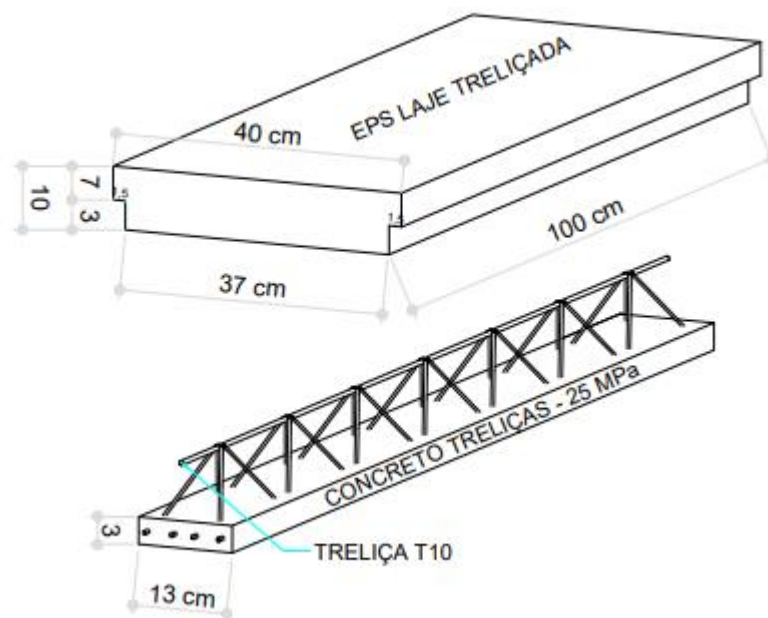


Fonte: Autor (2020)

Figura 15 – Pó de brita

Fonte: Autor (2020)

A laje tema do estudo foi projetada com 14 cm de espessura, as vigotas treliçadas de concreto 25 MPa possuíam as seguintes dimensões: 3 cm de espessura e 13 cm de largura, Figura 16, as placas de EPS usado como material inerte apresentavam as dimensões de 10 cm de espessura, 40 cm de largura e 100 cm de comprimento, a capa de concreto foi de 4 cm e a altura da treliça foi de 10 cm.

Figura 16 – Detalhe das treliças e do EPS

Fonte: MOTA, (2019)

A laje foi executada com duas equipes, cada uma formada por quatro pedreiros e quatro ajudantes, antes da concretagem da laje ocorre um processo de montagem e preparação da laje, como a colocação das vigotas treliçadas intercalando com o EPS, figura, também foi realizado o escoramento, passagem dos eletrodutos, o posicionamento dos arranques que nesse tipo de alvenaria com blocos funcionam como pilares, além da armação da laje que foi composta por 44 telas Q92 aço 4.2 mm a cada 15 cm, após essa preparação a laje se encontra pronta para a concretagem, Figura 17.

Figura 17 – Preparação da laje treliçada



Fonte: Autor (2020)

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a realização dos ensaios se obtém várias características do agregado miúdo e consequentemente do concreto gerado com esse agregado. Nesse capítulo são apresentados os cálculos e os resultados dos ensaios, o estudo de traço do concreto feito com pó de brita, o comparativo entre o ensaio destrutivo e não destrutivo, determinação da resistência do concreto e análise dos parâmetros granulométricos do pó de brita.

4.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Após a realização do peneiramento do pó de brita, a Tabela 2 apresenta os dados obtidos com o ensaio, Anexo – A, como os pesos retidos em cada peneira, as porcentagens retidas simples e acumuladas nas peneiras, cada amostra respeitou a quantidade mínima prevista na ABNT NM 26:2009 que para o agregado miúdo é de 200 gramas.

Tabela 2 – Ensaio granulométrico
PORCENTAGENS RETIDO

Abertura das peneiras (mm)	ENSAIO				
	Pesos (g)	Pesos (g)	Pesos médios (g)	Simples (%)	Acumulado (%)
9,5	0,0	0,0	0,0	0	0
6,3	0,6	0,0	0,3	0	0
4,8	0,7	0,5	0,6	0	0
2,4	97,2	75,3	86,2	24	24
1,2	96,8	87,5	92,2	26	50
0,6	45,4	50,6	48,0	13	63
0,3	28,5	35,6	32,0	9	72
0,15	31,0	44,1	37,5	11	83
PRATO	51,5	67,8	59,7	17	100
TOTAIS	351,60	361,49	356,5	100	392
MÓDULO DE FINURA	2,92				

Fonte: Autor (2020)

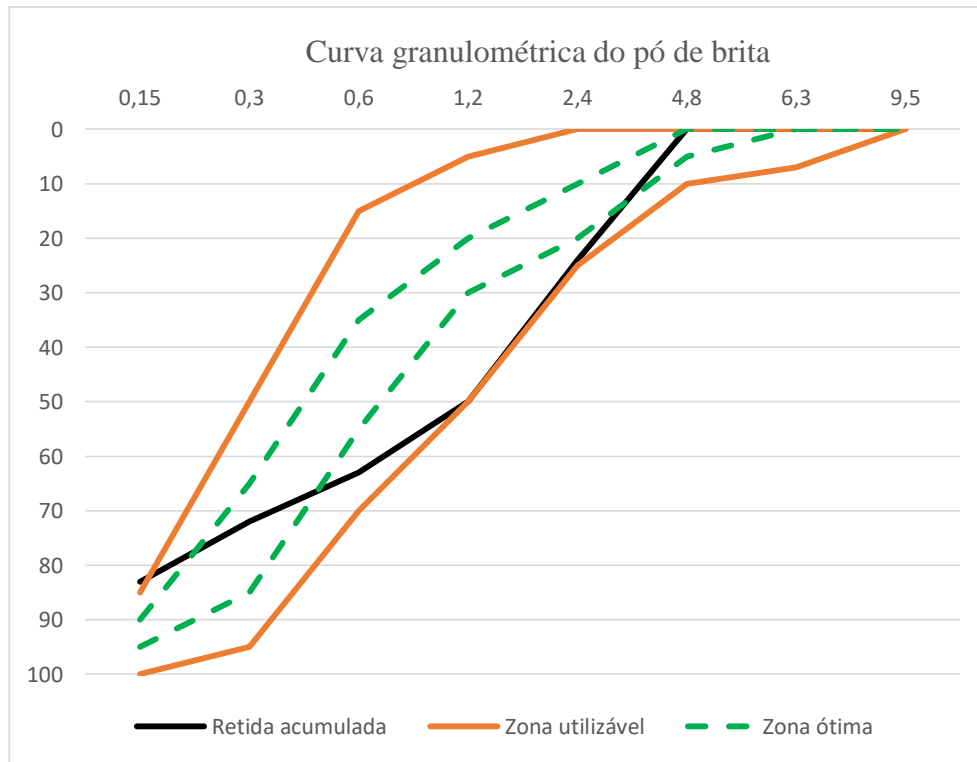
Analisando a Tabela 2, observa-se que o módulo de finura de 2,92 indica que o agregado pode ser classificado como uma areia média, normalmente usada na composição de concretos, já a dimensão máxima característica apresenta o valor de 4,8 mm. Outra análise importante de se fazer é o estudo da curva granulométrica do agregado, e a zona em que se encontra essa curva, podendo ser zona ótima ou utilizável. Na Tabela 3 podem ser visualizados os limites acumulados inferiores e superiores das duas zonas utilizável e ótima.

Tabela 3 – Limites das zonas do agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	LIMITES RECOMENDADOS – NBR 7211 (ACUMULADAS)			
	Zona Utilizável		Zona Ótima	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
9,5	0	0	0	0
6,3	0	7	0	0
4,8	0	10	0	5
2,4	0	25	10	20
1,2	5	50	20	30
0,6	15	70	35	55
0,3	50	95	65	85
0,15	85	100	90	95

Fonte: Autor (2020)

A curva granulométrica do pó de brita traçada com os valores das porcentagens retidas acumuladas, ilustrada no Gráfico 1, juntamente com os limites das zonas ótima e utilizável, indicam que uma pequena parte da curva se encontra na zona ótima, porém grande parte da curva está dentro dos limites da zona utilizável. De acordo com o relatório fornecido pela Carlos Campos Construtora Ltda o teor de material pulverulentos foi de 9,7%, para a determinação desse parâmetro é necessário seguir as diretrizes da ABNT NBR NM 46:2003. Este valor que é considerado alto, pois a norma prevê no máximo 3% para concreto que sofrerá desgaste superficial e ainda 5% para concreto não submetido a desgaste superficial.

Gráfico 1 – Curva granulométrica

4.2 CÁLCULO DOS ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS AOS 7 DIAS

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos no esclerômetro no ensaio de 7 dias de acordo com os pontos de impacto.

Tabela 4 – Valores dos índices esclerométricos no ensaio de 7 dias

Ponto 1: 20	Ponto 2: 26	Ponto 3: 30	Ponto 4: 19
Ponto 5: 23	Ponto 6: 20	Ponto 7: 19	Ponto 8: 18
Ponto 9: 30	Ponto 10: 19	Ponto 11: 22	Ponto 12: 18
Ponto 13: 20	Ponto 14: 21	Ponto 15: 20	Ponto 16: 19

Fonte: Autor (2020).

Com esses valores em mãos a ABNT NBR 7584:2012 estabelece o cálculo da média aritmética, Equação 1, desses índices, logo após é necessário desprezar os índices esclerométricos afastados em mais de 10% do valor da média aritmética, Equação 2, sendo assim foi calculada uma nova média aritmética, Equação 3. Por fim, é obtido o índice esclerométrico efetivo desse ensaio, calculado através da multiplicação do fator de correção fornecido pelo fabricante do esclerômetro (1,02) pelo índice esclerométrico médio, o valor do

índice esclerométrico efetivo é o valor usado nos ábacos para se chegar na resistência do concreto.

Média aritmética do ensaio de 7 dias:

$$Me1 = \frac{344}{16} = 21,5 \quad (1)$$

Desprezando os valores afastados em 10% da média obtida:

$$21,5 + (0,1 * 21,5) = 23,65 \quad (2)$$

Calculando a nova média aritmética, temos:

$$Me2 = \frac{258}{13} = 19,85 \quad (3)$$

Cálculo do índice esclerométrico efetivo

$$Ie = 1,02 * 19,85 = 20,25 \quad (4)$$

4.3 CÁLCULO DOS ÍNDICES ESCLEROMÉTRICOS AOS 28 DIAS

Na Tabela 5 temos os valores dos índices esclerométricos aos 28 dias, novamente os cálculos são feitos para o ensaio de 28 dias, calculando a média dos índices esclerométricos, Equação 5, desprezando os valores que se encontram afastados em mais de 10% da média, com isso é calculado uma nova média, Equação 7. Por fim, calcula-se o índice esclerométrico efetivo multiplicando a nova média pelo fator de correção, Equação 8.

Tabela 5 - Valores dos índices esclerométricos no ensaio de 28 dias

Ponto 1: 29	Ponto 2: 24	Ponto 3: 25	Ponto 4: 23
Ponto 5: 32	Ponto 6: 28	Ponto 7: 23	Ponto 8: 25
Ponto 9: 23	Ponto 10: 24	Ponto 11: 25	Ponto 12: 22
Ponto 13: 24	Ponto 14: 23	Ponto 15: 25	Ponto 16: 23

Fonte: Autor (2020).

Média aritmética do ensaio de 28 dias:

$$Me1 = \frac{398}{16} = 24,875 \quad (5)$$

Desprezando os valores afastados em 10% da média obtida:

$$24,875 + 0,1 * 24,875 = 27,3625 \quad (6)$$

Calculando a nova média aritmética, temos:

$$Me2 = \frac{309}{12} = 25,75 \quad (7)$$

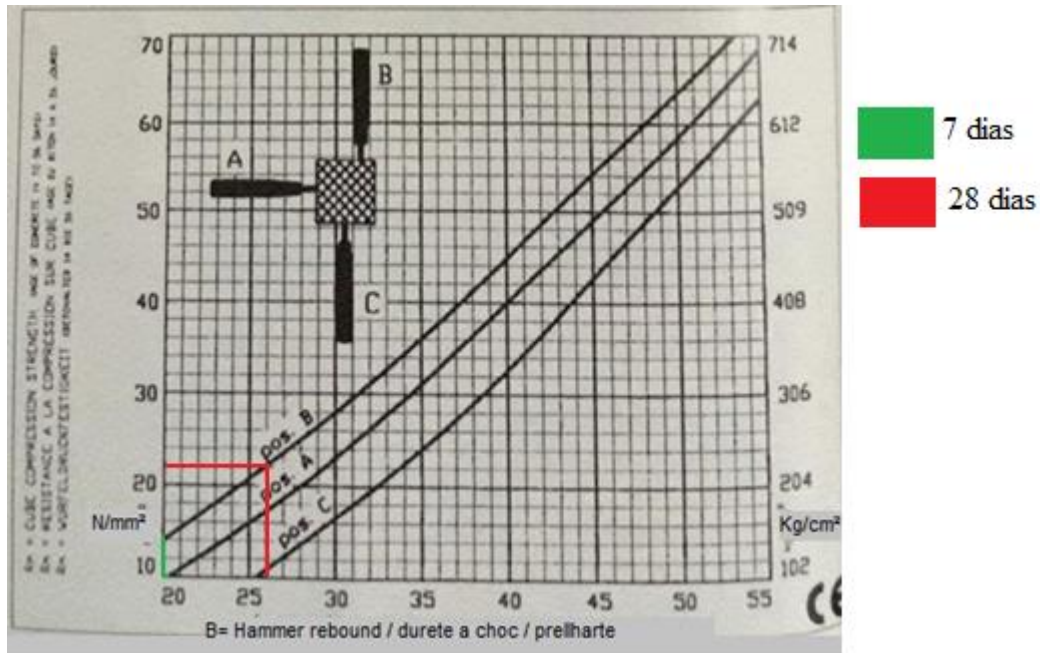
Cálculo do índice esclerométrico efetivo:

$$Ie = 1,02 * 25,75 = 26,265 \quad (8)$$

4.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA PELO MÉTODO DO ESCLERÔMETRO

Após a realização desses cálculos foi feita uma correlação, Figura 18, com os valores dos índices esclerométricos efetivos e com o valor da resistência do concreto, essa correlação se dá através do ábaco de curvas presente no próprio esclerômetro, a curva B do ábaco foi escolhida para a verificação da resistência, pois a aplicação do aparelho foi feita a 90° em relação a superfície do concreto.

Figura 18 - Determinação da resistência do concreto através do esclerômetro



Fonte: Autor (2020)

O ensaio esclerométrico realizado na laje treliçada, resultou na resistência média do concreto de 14 MPa aos 7 dias de cura e 22 MPa aos 28 dias cura, como pode ser visto na Figura 18.

4.5 RESULTADOS DO ENSAIO DESTRUTIVO

Para realização do ensaio destrutivo foi contratada a empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Limitada, Anexo - B. Foi realizado por meio de prensa hidráulica seguindo os princípios da norma ABNT NBR 5739:2018 que traz todos os procedimentos de preparo e ruptura dos corpos de prova cilíndricos, resultando nos seguintes valores de resistência para cada corpo de prova aos 29 dias de cura especificados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores da resistência do concreto obtidos com ensaio destrutivo.

Corpo de prova	Resistência (Mpa)	Idade
----------------	-------------------	-------

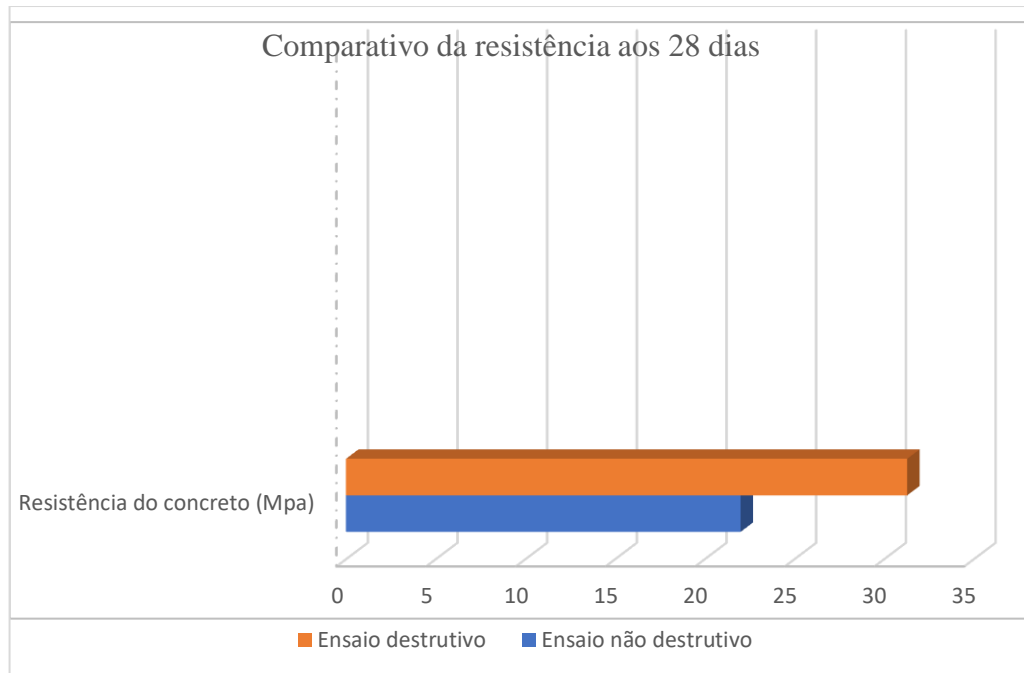
CP 1	31,4	29
CP 2	31,2	29
CP 3	33	29
CP 4	29,9	29
CP 5	31,5	29
CP 6	29,9	29
CP 7	30,4	29
CP 8	33	29

Fonte: Autor (2020)

Observa-se nesta Tabela 6 que a média obtida para os oito corpos de prova foi de 31,29 MPa e o desvio padrão obtido com estes resultados foi de 1,15 Mpa, indicando que houve pouca variação dos valores em relação à média das resistências. Verifica-se ainda que os corpos de provas CP3 e CP8 obtiveram maior resistência com 33 Mpa, os corpos de provas CP 4 e CP 6 obtiveram as menores resistências com 29,9 MPa, e os corpos de prova CP1, CP3, CP5 e CP8 tiveram resistência acima da média.

4.6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ENSAIOS DESTRUTIVO E NÃO DESTRUTIVO

Com os valores de resistência do concreto obtidos pelo método destrutivo e não destrutivo foi gerado gráficos comparativos entre os dois tipos de ensaio, uma comparação utilizando a média dos valores e outra comparando com cada corpo de prova, afim de se obter uma análise da eficiência do ensaio não destrutivo.

Gráfico 2 – Comparativo entre as médias das resistências dos ensaios.

Fonte: Autor (2020)

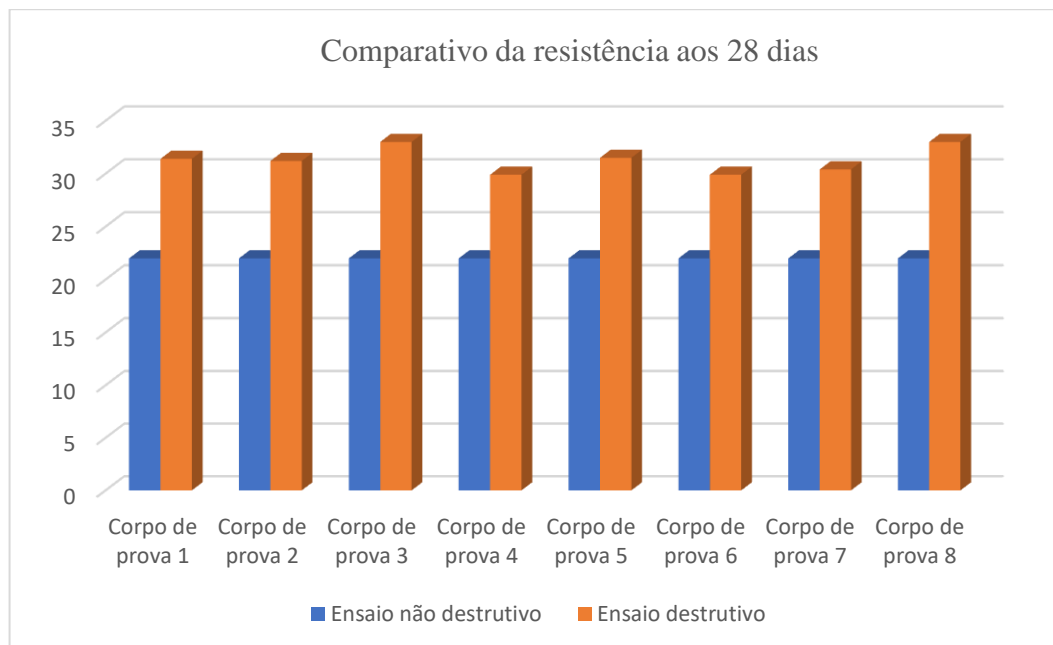
Para se fazer esse comparativo ilustrado no gráfico 2 foi feita a média aritmética das resistências dos corpos de prova, nota-se que a resistência obtida pelo ensaio não destrutivo foi de 22 MPa, e a resistência média do ensaio destrutivo foi de 31,29 MPa. Com isso verificou-se um aumento na resistência de cerca de 42,23 % do ensaio não destrutivo para o destrutivo. A diferença de geometria do concreto no corpo de prova cilíndrico em relação a capa de concreto de 4 centímetros ensaiada na laje pré-moldada pode ser citada como influenciadora, outro fator que pode ser uma possível causa nessa diferença de resultados está relacionado a norma ABNT NBR 7584:2012, exigindo para a aplicação do esclerômetro em superfícies planas, porém a superfície superior da laje ensaiada apresentou uma certa irregularidade devido a capa de concreto, em seu anexo C tópico C.3 a norma relata que o estado da superfície normalmente é o fator que mais acarreta a variabilidade dos resultados. Mas para confirmação destas hipóteses seria interessante sugerir aqui um estudo futuro de avaliação da influência da forma geométrica dos elementos estruturais nos resultados de esclerometria e do ensaio de ruptura de corpos de prova cilíndricos para uma mesma mistura de concreto sendo aplicada diferentes tipos de elementos estruturais.

Observa-se ainda que a ABNT NBR 6118:2014 recomenda como resistência mínima de 25 MPa para lajes em zona urbana, na qual a edificação foi construída. Considerando-se o

ensaio destrutivo, a laje atende esta especificação e considerando o ensaio não destrutivo, não atenderia.

No gráfico 3 tem-se ainda o comparativo individual das resistências de cada corpo de prova. Observa-se respectivamente que para os corpos de prova 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 um aumento na resistência de 42,72 %, 41,82%, 50%, 35,9%, 43,18%, 35,9%, 38,18%, 50% do ensaio não destrutivo para o destrutivo.

Gráfico 3 – Comparativo da resistência dos ensaios não com cada corpo de prova.



Fonte: Autor (2020)

5. CONCLUSÕES

Diante deste estudo foram adquiridos conhecimentos teóricos acerca dos agregados miúdos e graúdos considerados alternativos como por exemplo o pó de brita e a argila expandida. Foram adquiridos conhecimentos também acerca das lajes treliçadas pré-moldadas, sobre sua aplicação, além do acompanhamento de toda a execução da laje. A realização dos ensaios de granulometria, de esclerometria e de compressão de corpos de prova cilíndricos, agregou bastante no estudo, permitindo verificar a composição do pó de brita e obter a resistência característica do concreto. A partir da análise dos resultados foi observado que a resistência gerada pelo concreto tendo como agregado miúdo o pó de brita foi satisfatória, apesar do ensaio feito com o esclerômetro não ter atingido a resistência projetada para a laje de 25 MPa de acordo com a ANBT NBR 6118:2014. O ensaio de ruptura dos corpos de prova resultou em uma resistência média de 31,29 Mpa, ou seja, por esse ensaio a resistência foi cerca de 25,16% maior à projetada, sendo assim o pó de brita é uma alternativa bastante viável à areia natural.

A utilização do pó de brita como agregado demonstra, primeiramente, ser uma alternativa sustentável para destinação de um material que não teria utilidade. Nesse estudo não foi detectada nenhuma perda na qualidade do produto final, ou alguma dificuldade na execução ou armazenamento em relação a areia natural. Outro aspecto positivo para a utilização do pó de brita é que na maioria das vezes não é levado em consideração na área da construção civil, o aspecto da sustentabilidade, pois com o uso desse material evita-se a retirada da areia natural dos leitos dos rios.

Sugere-se como estudos a serem feitos para dar continuidade a este trabalho, o estudo do uso de agregados graúdos alternativos à brita como a escória britada na produção do concreto em estruturas pré-moldadas. Sugere-se ainda estudar a utilização do pó de brita como agregado miúdo em outros elementos estruturais como escadas, vigas e pilares. Outra questão importante de ser levada em consideração em pesquisas futuras seria um estudo comparativo da relação água-cimento entre um concreto convencional feito com areia natural e um concreto feito com areia artificial. Ainda se destaca a avaliação da influência da geométrica de elementos nos resultados do ensaio de esclerometria e do ensaio de ruptura de corpos de prova cilíndricos seria de grande valia para o meio acadêmico juntamente com a influência da análise das irregularidades na superfície de estruturas de concreto nos resultados de ensaios esclerométricos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A REDAÇÃO. **Crescente fértil: onde o homem deixou de ser nômade, inventou a escrita e a matemática.** 2018. Disponível em: <https://conhecimentocientifico.r7.com/voce-sabia-que-no-crescente-fertil-o-homem-deixou-de-ser-nomade-inventou-escrita-e-matematica/>. Acesso em: 17 fev. 2020.

ARAGÃO, Hélio Guimarães. **Análise estrutural em lajes pré-moldadas produzidas com concreto reciclado de construção e demolição.** 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007. Disponível em: http://200.17.114.109/bitstream/riufal/382/1/HelioAragao_Dissertacao_Completa.pdf. Acesso em: 17 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. 2015. 9 p. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%205738%20-%202015_aula.pdf. Acesso em: 29 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Brasil: Abnt, 1994. 4 p. Disponível em: <http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001169-522fc532a8/NBR%205739%20-%20Concreto%20-%20Ensaio%20de%20Compress%C3%A3o%20de%20Corpos-de-pro.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584:** Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. 2 ed. Porto Alegre: Abnt, 2013. 10 p. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/nbr-7584-concreto-endurecido-on23y9od1jlo>. Acesso em: 29 mar. 2020.

BARBOSA, Marcella de Sena; CARVALHO, Carlos Mavial de; DELFINO, Rosane Kelen Rodrigues; ALVES, Jailson Silva; ANDRADE, Ewerton Felipe de França Oliveira; DANTAS, Mariana Pereira. Produção de concreto de alto desempenho (CAD) com adição de pó de pedra. **Revista Interscientia**, João Pessoa, v. 7, n. 1, p.200-217, jan/jun. 2019. Semestral. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/1000/622>. Acesso em: 02 mar. 2020

BASTOS, P. S. d S. **Estruturas de Concreto 1**, Notas de Aula, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2006. Disponível em: http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/FUNDAMENTOS_Concreto.pdf Acesso em: 21 fev. 2020

BASTOS, P. S. d S. **Lajes de Concreto**, Notas de Aula, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, São Paulo 2006. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf> Acesso em: 21 fev. 2020

BEZERRA, Anaiza Anália Silva dos Santos *et al.* **Estudo de viabilidade da utilização do resíduo do pó de pedra como agregado miúdo em concreto.** In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. **Artigo.** Campo Grande/MS: Ibeas – Instituto

Brasileiro de Estudos Ambientais, 8. 2017. p. 1 - 10. Disponível em: <https://www.ib eas.org.br/congresso/Trabalhos2017/III-030.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2020.

BOLINA, Fabrício Longhi. **Avaliação experimental da influência dos requisitos de durabilidade na segurança contra incêndios de protótipos de pilares pré-fabricados de concreto armado**. 2016. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

BORJA, Edilberto Vitorino de. **Efeitos da adição de argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves autoadensáveis**. 2011. 231 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - Rn, 2011.

BOSISIO, Giovana; MASTRONICOLA, João; OLIVEIRA, Rodrigo Coladello de; SILVA, Bruno do Vale. **CONCRETO ARMADO: SUAS VANTAGENS E UTILIZAÇÕES. Encontro de Iniciação Científica**, Presidente Prudente, v. 13, n. 13, p.1-11, 2017. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/6056/5763>. Acesso em: 27 mar. 2020.

CAIXETA, Delma Pereira. **CONTRIBUI**. 1998. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258482/1/Caixeta_DelmaPereira_M.pdf. Acesso em: 16 mar. 2020.

CÂMARA, Cássio Freire. **Estudos sobre o comportamento do bloco cerâmico, adicionando pó de brita granítica na sua formulação**. 2016. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande no Norte, Natal, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21782/1/EstudosComportamentoBloco_Camara_2016.pdf. Acesso em: 24 mar. 2020.

CAMPOS, Heloisa Fuganti. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento portland: estudo experimental**. 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/38859/R%20-%20D%20-%20HELOISA%20FUGANTI%20CAMPOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 mar. 2020.

CARVALHO, Roberto Chust *et al.* Escolha da altura de lajes com nervuras pré-moldadas para pavimentos de edificações considerando as verificações do estado limite último e de deformação excessiva. **XXIX JORNADAS SUD AMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL**. Punta del Leste, Uruguai, 2000. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/LajeNerv-S8T177.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020.

Delgado, J. (1997). Sensibilização para a importância da Qualidade no mercado actual. Millenium, 8. Disponível em: <https://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/750/1/Sensibiliza%3%a7%3%a3o%20para%2>

0a%20import%c3%a2ncia.pdf. Acesso em 20 mar. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 090**: Patologias do concreto – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: Dnit, 2006. 10 p. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/normas/download/dnit090_2006_es.pdf. Acesso em: 01 abr. 2020.

DIAS JÚNIOR, N. S. **Produção de blocos prensados e de encaixe com pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias. Dissertação (Mestrado)** - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – Rj, 106 folhas, 2011. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wpcontent/uploads/sites/3/2015/09/NOEL%C3%87O-SILVA-DIAS-J%C3%9ANIOR.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2020.

DRAGO, Cristina; VERNEY, José Carlos Krause de; PEREIRA, Fernanda Macedo. Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 3, p. 399-408, Sept. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000300021&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 30 Mar. 2020.

DRAGO, Cristina; VERNEY, José Carlos Krause de e PEREIRA, Fernanda Macedo. Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. **Rem: Rev. Esc. Minas** [online]. 2009, vol.62, n.3, pp.399-408. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672009000300021>. Acesso em: 20 mar. 2020.

DROPPA JÚNIOR, Alonso. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 1999. 193 folhas. Disponível em: http://www.abcic.org.br/pdf/pcd22_droppajr.pdf . Acesso em: 26 mar. 2020.

EL DEBS, Luciana de Cresce; FERREIRA, Sérgio Leal. Diretrizes para processo de projeto de fachadas com painéis pré-fabricados de concreto em ambiente BIM. **Ambient. constr.**, Porto Alegre , v. 14, n. 2, p. 41-60, junho 2014 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000200004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 23 fev. 2020

FLÓRIO, Marcio Cardozo. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado**. 2004. 240 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4630/DissMCF.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 mar. 2020

INEIA, Adriana. **Viabilização da substituição da areia natural pelo pó de pedra basáltica na argamassa autonivelante**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, UNIVATES, Lajeado, 2017, 94folhas. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1623/1/2017AdrianoIneia.PDF>. Acesso em: 01

abr. 2020.

JUNIOR, T. F. S. **Estruturas de Concreto Armado**, Notas de Aula, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais 2012. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>. Acesso em: 22 fev. 2020.

KAEFER, L. F. Considerações sobre a microestrutura do concreto. Disponível em <<http://files.grupog7.webnode.com/200000328-52f2a53ea8/microestrutura.pdf>> Acesso em 2020.

MAGALHÃES, Fábio Lopes. **Estudo dos momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por elementos pré-- moldados tipo nervuras com armação treliçada**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2001, 172 folhas. Disponível em: http://sistemas.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2001ME_FabioLopesMagalhaes.pdf. Acesso em: 02 abr. 2020.

MARCELLINO, Narbal. **Concreto armado é solução durável e econômica**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica/6993>. Acesso em: 19 fev. 2020.

MELGES, José Luiz Pinheiro. **Análise experimental da punção em lajes de concreto armado e protendido**. 2001. 414 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia das Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2001DO_JoseLuizPinheiroMelges.pdf. Acesso em: 19 mar. 2020.

MENEZES, A. L. R *et al.* Influência da adição de pó de pedra no bloco intertravado. **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Novembro de 2016, Natal-RN. Disponível em <<http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/119-030.pdf>> Acesso em 2020.

MENOSSEI, R. T, *et al.* **Pó de pedra uma alternativa ou um complemento ao uso da areia na elaboração de misturas de concreto?** Holos, v 10. n 2. P. 209-222. 2010.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

MERLIN, Andrei José. **Análise probabilística do comportamento ao longo do tempo de elementos parcialmente pré-moldados com ênfase em flechas de lajes com armação treliçada**. 2006. 320 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia das Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: http://site.abcic.org.br/pdf/PCT16_Merlin.pdf. Acesso em: 22 mar. 2020.

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da; ROCHA, Érico Rial Pinto da. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 31, p. 353-410, mar. 2010.

MORAES, Mayra Queiroz. Materiais de construção: Agregados. 18-18 de Jun de 2020. 28p. Notas de Aula. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17310/material/4%20-%20Agregados.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2020.

MORAVIA, W. G. *et al.* Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. **Cerâmica**. São Paulo. v. 52, n. 322, p. 193-199. 2006. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132006000200012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 2020.

NOBREGA. A. K. C, *et al.* Caracterização do resíduo de pó de pedra ornamental adicionado à argamassa em substituição parcial ao cimento. **XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA (COBEQ)**, Florianópolis/SC, 2014.

OLIVEIRA, Luciana Alves de. **Tecnologias de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04062003-100758/publico/Oliveira2002.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2020.

ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação da zona de transição interfacial pasta-agregado leve em concretos com sílica ativa e látex SBR. **Matéria (Rio J.)**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 532-540, 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762007000300015&lng=en&nrm=iso> Acesso em 2020.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 119-127, out./dez. 2009. Disponível em <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/8712/7048>> Acesso em 2020.

SANTOS. B. S. S. *et al.* Utilização do pó de pedra em substituição ao agregado miúdo do concreto. In: **2º congresso Sul-americano de resíduos Sólidos e Sustentabilidade**. Foz do Iguaçu/PR. Artigo. 2º. P. 1-7. 2019. Disponível <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/I-064.pdf>. Acesso em 2020.

SARTORTI, A. L.; FONTES, C. A.; PINHEIRO, LM. Análise da fase de montagem das placas treliçadas. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** São Paulo, v. 6, n. 4, p. 623-660, agosto de 2013. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198341952013000400008&lng=en&nrm=iso. acesso em 01 abr. 2020.

SCHUMACHER, Helena Ravache Samy Pereira. **Caracterização do concreto convencional com pó de pedra em substituição parcial a areia natural**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2007. 19 folhas. Cap. 1. Disponível em: <http://200.19.105.198/bitstream/tede/1608/1/capitulo%201.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SCOBAR, R. L. **CONCRETO LEVE ESTRUTURAL: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida**. 48 f. **TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil**, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná,

Campo Mourão, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6892/1/CM_COECI_2016_1_29.pdf. Acesso em: 05 jun. 2020.

SELEÇÃO ENGENHARIA. **Como está o mercado para engenheiro civil no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://selecaoengenharia.com.br/blog/como-esta-o-mercado-para-engenheiro-civil-no-brasil/>. Acesso em: 29 mar. 2020.

SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2., 2005, Rio de Janeiro. **Areia artificial uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados**. Rio de Janeiro: Suffib, 2005. 6 p. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/images/congressos/2005/CAC00180005.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2020.

SERRA, S. M. B; Ferreira, M.de A; Pigozzo, B. N. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. 1º encontro nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado. São Carlos nov. 2005. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpcm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf. Acesso em: 26 fev. 2020

SILVA, C. M. M. A. e; PINTO, E. N. M. G.; PEREIRA, M. M. L.; SILVA, I. P. D.; CABRAL, K. C. **Influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades do concreto**. 2016. 9 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Natal, 2016. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/109-057.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2020.

SILVA, C. M. M. A. *et al.* Influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades do concreto. IN: **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Natal/RN. Artigo. 22º. P. 1-9. 2016. Disponível em <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/109-057.pdf>. Acesso em 2020

SILVA, Fernanda Cristina da. **Análise de segurança e confiabilidade de fundações profundas em estacas**. 2003. 252 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-18022016-090509/publico/Dissert_Silva_FernandaC_v1.pdf. Acesso em: 09 mar. 2020.

SILVA, L. S., DEMETRIO, J. C. C., DEMETRIO, F. J. C. Concreto Sustentável: Substituição da Areia Natural por Pó de Brita para Confecção de Concreto Simples. **5º academic international workshop advances in cleaner production**. 5º, 2015, São Paulo, 20 a 22 de Maio, p. 1-12.

SILVA, Mickey Anderson Paixão da. **Influência das características morfológicas de britas graníticas e gnáissicas na resistência à compressão do concreto**. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SILVA, Valdeir Tavares da. **Estudo da substituição da areia natural por pó de pedra na produção de concreto convencional**. 2018. 63 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido,

Angicos, 2018. Disponível em: http://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2479/2/ValdeirTS_MONO.pdf. Acesso em: 07 mar. 2020.

SOUZA, Clóvis Leônidas Martins de; AZEVEDO, Ewagner Santos; DIAS, Fernando Langa; ANDRÉ, Saulo Honorio; ROCHA, Sávio Brito. **Utilização do pó de pedra em substituição a areia natural na produção do concreto**. 2016. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Capixaba de Nova Venécia, Nova Venécia, 2016. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/12/utilizacao-do-po-de-pedra-em-substituicao-a-areia-natural-na-producao-do-concreto.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

TEIXEIRA, Luciene Pires; CARVALHO, Fátima Marília Andrade de. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paraense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 26, n. 109, p.9-26, dez. 2005. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/ojs/index.php/revistaparaense/article/view/138>. Acesso em: 29 mar. 2020.

TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. 2013. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC-AVALIA%C3%87%C3%83O-DO-USO-DA-AREIA-DE-BRITAGEM-NA-COMPOSI%C3%87%C3%83O-DO-.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2020.

VAVERDE, Fernando Mendes. **Agregados para construção civil**. ANEPAC. São Paulo. 2001. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **O concreto no Brasil**. 3. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2002. 239 p.

YOSHIMURA, Eduardo Koiti. **Opções reais aplicadas na análise da qualidade de investimentos na construção civil**. 2007. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Arquitetura e Construção, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257834/1/Yoshimura_EduardoKoiti_M.pdf. Acesso em: 13 mar. 2020.

ANEXO A – RELATÓRIO DO ENSAIO GRANULOMÉTRICO DO PÓ DE BRITA

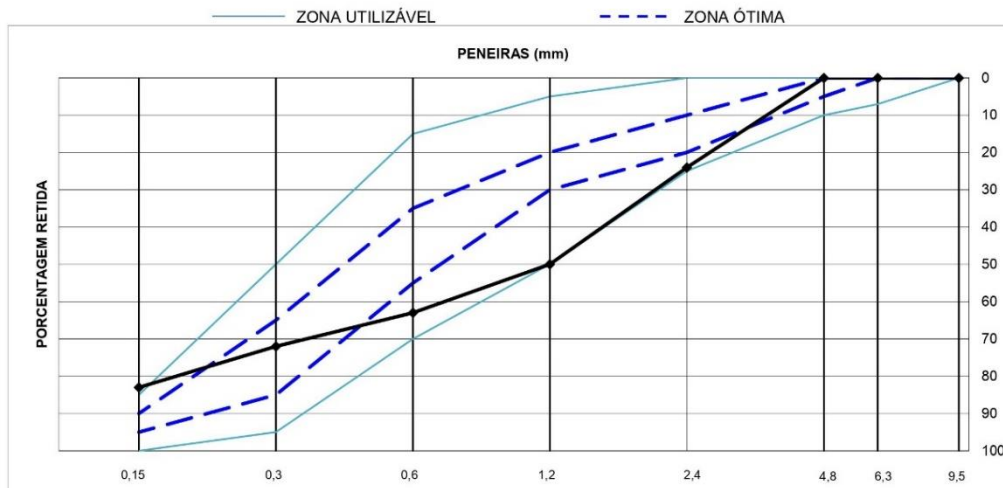
 CARLOS CAMPOS CONSULTORIA E CONSTRUÇÕES LIMITADA <small>DESDE 1973</small>	Relatório de Ensaio	Revisão 00
	Página 1/1	

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO MIÚDO NBR NM 248

Interessado: Resid Gramado Incorp Imobil SPE Ltda
Procedência: Não informada
Material: Areia artificial

Relatório nº: 141-3/20
Data de realização do ensaio: 09/03/2020
Data de emissão desse relatório: 22/04/2020

ABERTURA DAS PENEIRAS (mm)	ENSAIO					PORCENTAGENS RETIDAS			
						LIMITES RECOMENDADOS - NBR 7211 (ACUMULADAS)			
						Zona Utilizável		Zona Ótima	
	Pesos (g)	Pesos (g)	Pesos médios (g)	Simples	Acumuladas	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
9,5	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,6	0,0	0,3	0	0	0	7	0	0
4,8	0,7	0,5	0,6	0	0	0	10	0	5
2,4	97,2	75,3	86,2	24	24	0	25	10	20
1,2	96,8	87,5	92,2	26	50	5	50	20	30
0,6	45,4	50,6	48,0	13	63	15	70	35	55
0,3	28,5	35,6	32,0	9	72	50	95	65	85
0,15	31,0	44,1	37,5	11	83	85	100	90	95
PRATO	51,5	67,8	59,7	17	100	-	-	-	-
TOTAIS	351,60	361,49	356,5	100	392	-	-	-	-
MÓDULO DE FINURA:	2,92								



Dimensão máx. característica (NBR 7211): 4,8 mm
 Massa unitária (NBR NM 45): 0% 1,68 g/cm³
 4% 1,29 g/cm³
 Massa específica (NBR NM 52): 2,82 g/cm³
 Teor de material pulverulento (NBR NM 46): 9,7 %

Alves Marcos
 Auxiliar de Laboratório


Denilson Pereira Rocha
 Eng. Civil / Chefe do Lab. de Materiais
 CREA 20459/D-GO

ANEXO B – RELATÓRIO DO ENSAIO DESTRUTIVO



RELATÓRIO PARCIAL DE ENSAIO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS MÉTODO NBR 5739/2018

Relatório nº: **888409**

Cliente: **RESIDENCIAL GRAMADO INCORPORAÇÕES IMOBILIÁRIAS SPE LTDA**

Obra: **DIOGO LACERDA MOTA**

Endereço: **RUA 25 SUL - NÚMERO 545 - QD. 455 - LOTE 33
SETOR SUL - GOIANÉSIA - GO**

R E S U L T A D O S

Amostra / CP	Moldagem	Ruptura	Idade	Prensa	Preparação	Tensão Ruptura (MPa)	Res. Exemplar (MPa)
530295 / 01	05/05/2020	03/06/2020	29 Dias	4	R	31,4	
530295 / 02	05/05/2020	03/06/2020	29 Dias	4	R	31,2	
530295 / 03	05/05/2020	03/06/2020	29 Dias	4	R	33,0	
530295 / 04	05/05/2020	03/06/2020	29 Dias	4	R	29,9	
530295 / 05	05/05/2020	03/06/2020	29 Dias	4	R	31,5	
530295 / 06	05/05/2020	03/06/2020	29 Dias	4	R	29,9	
530295 / 07	05/05/2020	03/06/2020	29 Dias	4	R	30,4	
530295 / 08	05/05/2020	03/06/2020	29 Dias	4	R	33,0	33,0

Identificação da amostra: **0530295 - Corpo de prova cilíndrico de concreto 100 mm x 200 mm**

Amostragem: **Moldado e conduzido pelo interessado - data de entrada no laboratório: 02/06/2020**

Abatimento: **140 mm (informado pelo interessado)**

f_{ck} (MPa): **25**

Concreto: **Não informado**

Documento: **Não informado**

Temp. do tanque de cura: **21°C ± 2°C**

Horário: **09:00 h**

Profissional: **LEONARDO**

Aplicação: **LAJE DO PAVIMENTO SUPERIOR - APARTAMENTO 11 AO 20**

Observações: **Nada consta
RELATÓRIO PARCIAL DE ENSAIO**

Legenda e informações adicionais:

Preparação: P-> Preparação por capeamento com pasta de enxofre | R->Preparação por retífica | O->Outro

Prensa(s): 4->Maqtest 136 - 80 tf Classe 1,0 Próxima calibração em 16/04/2020


DENILSON PEREIRA ROCHA
 ENGENHEIRO CIVIL
 CREA 20459/D-GO

Data da assinatura Parcial: 04/06/2020

Data da impressão: 08/06/2020 16:02:30

As considerações e resultados contidos neste relatório têm validade restrita às amostras ensaiadas e ao ensaio. Este relatório só deve ser reproduzido legível e completo. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da Carlos Campos Consultoria e Construções Limitada.

FORM REL 01 - Revisão: 03 - Pág: 1/1