



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DCEN
BACHAREL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - BCT

VANIO PINHEIRO NUNES SCHLICKMANN

CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

MOSSORÓ – RN

2018

VANIO PINHEIRO NUNES SCHLICKMANN

CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro de Ciências Exatas e Naturais para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior

MOSSORÓ

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

S331c Schlickmann, Vanio Pinheiro Nunes.
concreto com brita calcária: Revisão bibliográfica / Vanio Pinheiro Nunes Schlickmann. - 2018.
44 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2018.

1. Concreto. 2. Brita calcária. 3. Beneficiamento. 4. Aditivo. I. Silva Júnior, Prof. Dr. Francisco Alves da , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

VANIO PINHEIRO NUNES SCHLICKMANN

CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 17 / 09 / 2018.

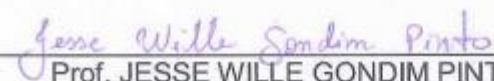
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. FRANCISCO ALVES DA SILVA JÚNIOR – UFERSA
Presidente e orientador



Prof. FRANCISCO ROSENDO SOBRINHO – UFERSA
Primeiro Membro



Prof. JESSE WILLE GONDIM PINTO - UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha Família, especialmente a minha mãe e meus avós: Maria Da Conceição, Ana Rosa e Gerardo Guerreiro que sempre se dedicaram com muito carinho e compreensão e me deram suporte para que eu pudesse sonhar e alcançar meus objetivos. A José Fausto e Fábio Martins por estarem sempre presentes servirem de influência positiva para meu crescimento.

Aos meus amigos Sebastião Diniz, Walter Cavalcante, Diogo Silva, Uriel Antunes, Yasmim Antunes, Pedro Kennedy, Robson Locatelli, Renato Barros, Danrley Lima e Gustavo Emiliano por se fazerem presentes no meu dia a dia, sempre dispostos a me ajudar e torcendo pelo meu sucesso.

A UFRSA e alguns docentes, por repassar o conhecimento com responsabilidade e empenho.

Agradeço também ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior pelo comprometimento e orientação desse trabalho e aos membros da banca pela disponibilidade em avaliar o mesmo.

RESUMO

O Rio Grande do Norte apresenta uma grande distribuição de rocha calcária, fator esse, que contribuiu para a instalação de indústrias cimenteiras na região, que, embora já estejam utilizando desse material, descartam muito do mesmo por conter impurezas. Uma alternativa para a utilização do material de origem calcária descartado é a produção de brita para a confecção de concreto. Os estudos sobre a brita calcária são recentes e apontam certas características desfavoráveis da mesma em relação à granítica, no entanto, o agregado de origem calcária mostra um potencial de uso ainda não totalmente aproveitado devido à falta de informações e divulgação sobre as formas de contornar essas características desfavoráveis. Este trabalho foi baseado em uma pesquisa bibliográfica a respeito das características desse agregado e de como pode ser beneficiado ou aditivado a fim de se obter as propriedades exigidas para o uso em concreto.

Palavras-chave: Brita calcária; Concreto; Beneficiamento; Aditivo.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação da brita segundo ABNT NBR 7225 (1993).....	14
Quadro 2 – Tipos de C.P. e normas reguladoras.....	15
Quadro 3 – Índices de massa específica e absorção de água.....	22
Quadro 4 – Massa unitária e Índice de forma.....	26
Quadro 5 – Abatimento do ensaio ' <i>slump test</i> '.....	27
Quadro 6 – Resistência a compressão axial.....	33
Quadro 7 – Resistência a compressão diametral.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagem retida acumulada (%).....	20
Figura 2 – Perda por abrasão (%).....	23
Figura 3 – Teor de material pulverulento (%).....	24
Figura 4 – Absorção de água (%).....	25
Figura 5 – Resistencia a compressão axial.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MME – Ministério De Minas e Energia.

IBRAN – Instituto Brasileiro de Mineração.

A/C – Relação água e cimento para o concreto.

FIHP – Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado.

UFERSA – Universidade Federal Rural Do Semi-Árido.

SIGAA – Sistema integrado de gestão acadêmica – UFERSA.

TCP – Traço com brita peneirada.

TCLP – Traço com brita peneirada e lavada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 CONCRETO.....	13
2.1.1 AGREGADOS.....	13
2.1.1.1 <i>Agregado miúdo</i>	13
2.1.1.2 <i>Agregado graúdo</i>	14
2.1.2 Aglomerante cimento – Portland.....	15
2.1.3 Tempo de pega.....	16
2.1.4 Aditivo plastificante	16
2.1.5 Concreto no estado fresco.....	17
2.1.6 Concreto no estado endurecido.....	17
2.2 CALCÁRIO.....	18
3. METODOLOGIA.....	19
4. ESTADO DA ARTE: CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA.....	20
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BRITA CALCÁRIA PARA USO EM CONCRETOS.....	20
4.1.1 Granulometria e módulo de finura.....	22
4.1.2 Massa específica e absorção de água.....	22
4.1.3 Desgaste por abrasão “Los Angeles”	23
4.1.4 Teor de material pulverulento.....	26
4.1.5 Massa unitária e índice de forma pelo método do paquímetro.....	26
4.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA.....	27
4.2.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	27
4.2.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	32
4.2.2.1 <i>Resistencia a compressão axial</i>	33
4.2.2.2 <i>Resistencia a tração por compressão diametral</i>	36
5 CONCLUSÕES	39
5.1 SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial, os setores produtivos de todas as áreas da atuação humana passaram por diversas transformações na tentativa de solucionar e inovar problemas para que a produção setorial alcançasse um patamar equilibrado com o crescimento populacional e tecnológico. Desde então, a construção civil é marcada pelo seu auge a nível mundial, onde a alta demanda aliada a técnica e inovação visa sempre o aprimoramento da segurança, comodidade e economia.

O concreto é o material construtivo mais amplamente disseminado e utilizado [...] estima-se segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água (IBRACON, Nº53, 2009, pag. 14).

Os agregados correspondem a maior parte do volume do concreto, podendo chegar a representar 80% do seu peso, além de serem essenciais para o seu desempenho devido suas propriedades que influenciam na retração e resistência, além das questões econômicas, uma vez que é inviável uma mistura de somente água e cimento Portland. Destes destaca-se o agregado graúdo, em que suas partículas são maiores do que 4,75mm, sendo a brita ou pedra brita o composto mais utilizado para essa finalidade (BAUER, 1994).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração-IBRAM (2014), o Rio Grande Do Norte apresenta uma oferta muito grande de rocha calcária, que já está sendo explorada pelas indústrias cimenteiras. Embora já seja utilizada, essa rocha apresenta um potencial de uso ainda não explorado totalmente, a exemplo disso, de acordo com o Ministério De Minas e Energia – MME (2009) apenas 10% da brita produzida no Brasil tem origem de calcário/dolomito.

Embora a brita calcária seja mais barata que a granítica, a desproporção em sua comercialização se dá devido ao não conhecimento desta, assim como, algumas características menos favoráveis da rocha calcária comparada à granítica, como sua dureza inferior (BUENO, 2000). Apesar do pouco conhecimento difundido, sabe-se que, além da dureza inferior, a brita calcária também apresenta um alto teor de finos

e conseqüentemente uma alta absorção de água, fatores esses, que podem influenciar negativamente nas propriedades do concreto.

No enfrentamento dessa questão, os estudos sobre aplicação direta e/ou o beneficiamento desse tipo de brita, além da utilização de aditivos, partem da necessidade de contornar esses fatores desfavoráveis, a fim de agregar valor e diminuir custos do concreto, além de reaproximar esse material como algo pertinentemente útil, tanto em questões econômicas, quanto técnicas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo bibliográfico a respeito da utilização e viabilidade da brita de origem calcária como agregado graúdo para concreto, bem como suas propriedades, formas de beneficiamento, aditivos e efeitos no concreto em estado plástico e endurecido.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entender as propriedades e características da brita de origem calcária.
- Explanar as formas de beneficiamento do agregado e seus efeitos no traço de concreto.
- Entender o efeito do aditivo plastificante nas propriedades do concreto com brita calcária.
- Fazer uma análise comparativa entre o agregado de origem calcária e granítica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

A pasta de cimento é formada pela mistura de água com o cimento, adicionando agregado miúdo tem-se a argamassa de cimento. Juntando agregado graúdo a mistura obtém-se o concreto simples. (FUSCO, 2008)

A água e o cimento, quando misturados, desenvolvem um processo denominado hidratação e formam uma pasta que adere as partículas dos agregados. Nas primeiras horas após o preparo é possível dar a essa mistura o formato desejado. Algumas horas depois ela endurece e, com o passar dos dias, adquire grande resistência mecânica, convertendo-se num material monolítico dotado das mesmas características de uma rocha (ARAÚJO *et al* (2000), pag. 49).

2.1.1 Agregados

Bueno (2000, pag.2) define agregado como “[...] um material granular, sem forma e volume definidos, de atividade química praticamente nula (inerte) e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia. ”

Os agregados que se encontram com forma particular na natureza são chamados naturais, enquanto que, aqueles fabricados por beneficiamento ou britagem são chamados artificiais (ALMEIDA e LUZ, 2009). Segundo Fusco (2008), ainda podem ser classificados como graúdos e miúdos, conforme sua composição granulométrica.

A norma NBR 7211 (2009) – Agregados para Concreto – Especificação, orienta as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas.

2.1.1.1 Agregado miúdo

A norma ABNT NBR 7211 (2009) define agregado miúdo como o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Segundo Bauer (2000) a origem da areia usada como material de construção provem de rios, cava, britagem, escória de alto forno, e de praias e dunas, sendo esse

último inutilizável em concretos por causa de sua grande finura e teor de cloreto de sódio. Pode ser classificada pela granulometria em areia grossa, média e fina.

Para Hermeto Bueno (2000) a areia recomendável para utilização em concreto deve ser classificada como grossa e ser originada de rio (lavada), ainda é necessário que seja isenta de materiais orgânicos e detritos, além de ser constituída por grãos angulosos.

2.1.1.2 Agregado graúdo

A norma NBR 7211 (2009) define agregado graúdo como o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Segundo Hermeto Bueno (2000) a brita é o agregado graúdo normalmente utilizado para confecção de concretos, podendo ser obtidas principalmente de rochas graníticas e ou calcárias. O quadro 1 indica a classificação da pedra britada quanto à granulometria.

Quadro 1. Classificação da brita segundo ABNT NBR 7225 (1993).

Pedra britada numerada	Tamanho nominal	
Numero	Abertura de malhas quadradas (mm)	
	Mínima	Máxima
1	4,8	12, 5
2	12, 5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte: ABNT NBR 7225,1993.

A norma NBR 7225 (1993) define a brita ou pedra britada como material proveniente do britamento de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 100 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 4,8 mm. O quadro 1 indica a classificação da pedra britada quanto à granulometria.

Segundo Hermeto Bueno (2000) as britas precisam ter aspectos de qualidade associados a resistência, limpeza, forma e durabilidade.

2.1.2 Aglomerante-Cimento Portland

Segundo Hermeto Bueno (2000, pag.3) “Aglomerantes são produtos ativos empregados para a confecção de argamassas e concretos”. Os principais são: cimento, cal e gesso.

Apresentam-se sob forma de pó e, quando misturados com água formam pastas que endurecem pela secagem e como consequência de reações químicas. Com o processo de secagem os aglomerantes aderem-se nas superfícies nas quais foram postos em contato (HERMETO BUENO, 2000, pag.3).

O concreto assumiu um lugar de destaque nas construções somente a partir de 1824, com o advento do cimento Portland. (ARAÚJO *et al* 2000).

O cimento tem como componentes principais a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃) e o óxido de ferro (FeO). Esses componentes são misturados e passam por um processo de fusão para logo após serem moídos a uma granulometria adequada (FUSCO, 2008). Ainda segundo Bauer (1994), pode-se conter, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam ou facilitam seu emprego.

No Brasil são fabricados vários tipos de cimento, onde cada tipo é orientado por sua respectiva norma (BAUER, 2000). O quadro 2 resume os tipos de cimento Portland brasileiros e suas normas padronizadas pela ABNT.

Quadro 2. Tipos de C.P. e normas reguladoras.

Tipo de C.P	C.P. Comum	C.P. de Alta Resistência inicial	C.P de Alto forno	C.P Pozolânico	C.P. Moderada resistência a sulfatos.	C.P Alta resistência a sulfatos
NBR	5732	5733	5735	5735	5737	5737

Fonte. Adaptado de BAUER (2000).

O cimento branco, que não está presente no quadro 2 também é fabricado no Brasil, embora não tenha fins estruturais. É um material isento de óxidos de ferro e seu processo de fabricação requer um cuidado especial, principalmente quanto a matéria prima (BAUER, 2000).

2.1.3 Tempo de pega

O tempo de pega da pasta cimentícia representa a evolução das propriedades físicas da mistura, através de um processo químico de hidratação. Pode ainda ser definido como o instante que a pasta perde plasticidade suficiente para não ser mais trabalhável (BAUER, 2000).

Segundo Fusco (2008), o início do tempo de pega se dá em um intervalo de 0,5 a 1 hora e o tempo de fim de pega é de 5 a 10 horas para os cimentos usuais, podendo ser muito reduzido para os cimentos de pega rápida.

“Terminada a pega o processo de endurecimento continua ainda durante um longo período de tempo, aumentando gradativamente a sua dureza e resistência (BUENO, 2000, pag.4).”

2.1.4 Aditivo plastificante

Segundo BAUER (1994) aditivos se configuram como um material químico que realça características desejáveis ao concreto, mas não é indispensável ao mesmo, sendo que seu uso é limitado a 5 % da massa de cimento.

A norma ABNT NBR 11768 (2011) especifica os requisitos para os aditivos químicos destinados ao concreto de cimento Portland. A norma caracteriza nove tipos de aditivos, sendo que, vale destacar o tipo plastificante que possui as seguintes classificações.

- Tipo P – Aditivos Plastificantes:
- Tipo PR – Aditivos Plastificantes Retardadores:
- Tipo PA – Aditivos Plastificantes Aceleradores
- Tipo SP – Aditivos Superplastificantes
- Tipo SPR – Aditivos Superplastificantes Retardadores
- Tipo SPA – Aditivos Superplastificantes Aceleradores:

Em geral, Bauer (2000) define os plastificantes como aditivos usados quando há a necessidade de reduzir a quantidade de água na mistura cimentícia ou aumentar a sua plasticidade, evitando assim a exsudação e a retração, e melhorando desta forma a trabalhabilidade.

2.1.5 Concreto no estado fresco

Para Araújo *et al* (2000) o concreto fresco é assim considerado até o momento em que tem início a pega do aglomerante, onde a mistura se encontra em seu estado mais trabalhável. Segundo Bauer (2000) é o estado em que os agregados se encontram envoltos em uma solução aquosa chamada matriz, constituída de cimento e espaços cheios de ar.

As propriedades necessárias para este estado são consistência, plasticidade, poder de retenção de água e trabalhabilidade. Essas propriedades garantem uma mistura fácil de transportar e adensar, além de auxiliarem a correta utilização do concreto, evitando assim problemas como a segregação (ARAÚJO *et al* 2000).

2.1.6 Concreto no estado endurecido

Para Araújo *et al* (2000), o concreto endurecido é assim considerado após o fim da pega do aglomerante e as características necessárias a seu desempenho são resistência, durabilidade, impermeabilidade e aparência

Após a pega o concreto é considerado um sólido que evolui suas características mecânicas de forma lenta e gradativa, sendo que, deve atender as solicitações e condições do meio a que está sujeito (BAUER, 2000).

Segundo Fusco (2008), a principal propriedade necessária ao concreto endurecido é a sua resistência mecânica a compressão, onde os concretos simples geralmente apresentam entre 20 e 40 MPa, enquanto que, sua resistência a tração é consideravelmente menor, sendo usualmente menor que 1/10 de sua resistência a compressão.

O ensaio mais utilizado para a determinação da resistência a compressão do concreto é o ensaio de compressão axial e para a tração, o ensaio de compressão diametral (BAUER, 2000).

O idealizador do ensaio de tração por compressão diametral foi desenvolvido pelo professor Fernando Luiz Lobo durante a segunda guerra mundial, em 1943. O professor descobriu uma maneira de analisar a resistência à tração do concreto, que é um dos ensaios mais utilizados por ser de fácil aplicação. Este ensaio ficou conhecido por todo o mundo de como o “ensaio brasileiro” por ter sido um elaborado por um brasileiro (VICTOR, 2015 *apud* PINHEIRO, 2007).

2.2 Calcário

Talvez não haja outras rochas com uma variedade de usos tão ampla quanto o calcário e dolomito. O calcário é definido como uma rocha carbonática sedimentar originada de material precipitado por agentes químicos e orgânicos e é extensivamente encontrado em todos os continentes (SAMPAIO, ALMEIDA, 2008). Segundo AOKI (2008) “Sua composição básica é o Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e, especificamente para a fabricação do cimento, o teor desse carbonato deve ficar entre 80 e 85%. ”

“As reservas de rochas carbonáticas são grandes e intermináveis, entretanto, a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos que 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo (SAMPAIO, ALMEIDA, 2008, pag. 363).”

“Tais impurezas podem ser fatores limitantes ao aproveitamento econômico dos calcários, essencialmente, quando utilizados para fins nobres (SAMPAIO, ALMEIDA, 2008, pag. 367).”

O uso do calcário para produção de cimento precisa ser cauteloso, pois o mesmo pode conter impurezas indesejáveis como o óxido de magnésio (MgO) que ao entrar em contato com a água de amassamento forma hidróxido de magnésio (Mg(OH)_2) e se expande criando tensões internas suficientes para provocar trincas e fissuras (AOKI, 2008).

3. METODOLOGIA

O referente trabalho se caracteriza como um estado da arte ou estado de conhecimento e é classificado como uma pesquisa quali-quantitativa de caráter bibliográfico acerca das propriedades do concreto confeccionado com agregado graúdo de origem calcária.

Essa compreensão do estado de conhecimento sobre um tema, em determinado momento, é necessária no processo de evolução da ciência, afim de que se ordene periodicamente o conjunto de informações e resultados já obtidos, ordenação que permita indicação das possibilidades de integração de diferentes perspectivas, aparentemente autônomas, a identificação de duplicações ou contradições, e a determinação de lacunas e vieses (Soares 1989, pag. 3).

A bibliografia usada como consulta foi obtida através de uma pesquisa via Sigaa no acervo da Biblioteca Orlando Teixeira - UFERSA no dia 03/08/2018 com o referido termo de busca “concreto com brita calcária”. Foram encontrados 10 trabalhos em modelo monografia produzidos por alunos da UFERSA, onde foram desconsiderados 3 destes por associar o concreto com o referido agregado a outros materiais impertinentes a essa pesquisa. Utilizando o mesmo termo de pesquisa no Google acadêmico, foi encontrado a tese de doutorado desenvolvida por um professor da UFERSA, sendo o mesmo, o orientador desse trabalho. Os trabalhos utilizados a finalidade dessa pesquisa foram às monografias de Abreu (2014), Fonseca (2015), Moraes (2016), Oliveira (2015), Paiva Filho (2017), Pereira (2016), Victor (2015) e a tese de Silva Júnior (2014).

4. ESTADO DA ARTE: CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BRITA CALCÁRIA PARA USO EM CONCRETOS.

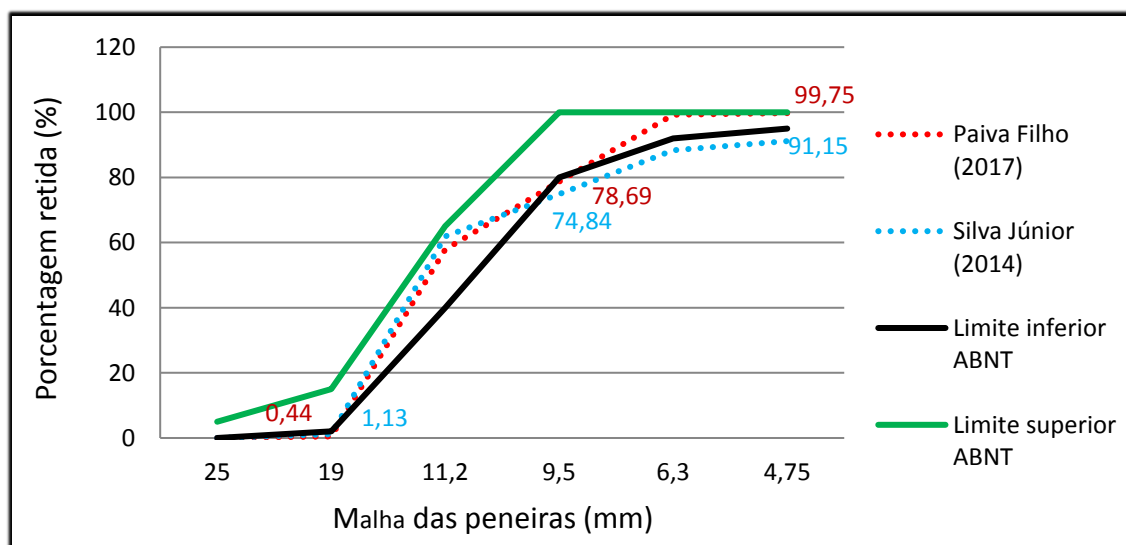
A norma ABNT NBR 7211 (2009) – Agregados para Concreto – Especificação, objetiva a especificação dos requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados graúdos e miúdos destinados à produção de concretos de cimento Portland. Os autores Silva Júnior (2014), Abreu (2014), Moraes (2016), e Paiva Filho (2017) realizaram alguns dos ensaios descritos como necessários por essa norma, utilizando como amostra, o agregado graúdo classificado como brita calcária N° 1 (classificação comercial) com dimensão máxima de 19 mm.

4.1.1 Granulometria e modulo de finura

A norma ABNT NBR NM 248 (2003) orienta o ensaio de granulometria, que consiste em passar a amostra por uma série de peneiras padronizadas de aberturas conhecidas para obter dados relacionados à massa retida e passante e traçar a curva granulométrica.

A figura 1 apresenta o resultado do ensaio de granulometria para a brita calcária realizado por Silva Júnior (2014) e Paiva Filho (2017) e os limites inferior e superior para a porcentagem retida acumulada em cada peneira, de acordo com a tabela 6 da ABNT NBR 7211 (2009). Moraes (2016) realizou o ensaio de granulometria, mas o mesmo não foi plotado no gráfico devido ao grande número de dados.

Figura 1 – Porcentagem retida acumulada.



Fonte: Autoria própria (dados de pesquisa 2018).

Analisando o gráfico vemos que grande parte dos dados obtidos por Silva Júnior (2014) estão um pouco abaixo do limite inferior, sendo os valores correspondentes as peneiras 19 mm e 9,5 mm os mais discrepantes. Somente para essas respectivas peneiras Paiva Filho (2017) obteve resultados abaixo do limite inferior, sendo esses marcados de forma explícita no gráfico.

A norma ABNT NBR 7211 (2009) especifica que deve ser aceita uma variação de no máximo 5,0 % em apenas um dos limites marcados com * conforme a tabela normativa. Deste modo, variando o limite inferior da peneira 9,5 mm de 80,0 % para 75,0 %, os resultados de Paiva Filho (2017) se enquadram no limite, enquanto os de Silva Júnior (2014) ficam muito próximos.

Segundo Silva Júnior (2014), existe uma quantidade de finos presentes na amostra que a faz ultrapassar os limites inferiores iniciais, assim como, as partículas de diâmetros maiores. Todavia, a curva se enquadra dentro dos limites estabelecidos, pois existe uma predominância na distribuição das partículas com dimensões medianas entre aproximadamente 10,00 mm e 18,00 mm, o que realmente caracteriza a brita.

Comparando as curvas respectivas aos autores, nota-se que os resultados obtidos por Paiva Filho (2017) em geral, atendem melhor os critérios da norma. Isso pode ser explicado pelo processo de beneficiamento da brita realizado pelo autor, que consistiu em um peneiramento na malha de 4,75 mm. Com isso há uma redução no teor de finos da brita, que é confirmada comparando a porcentagem retida acumulada na peneira de 4,75 mm, onde houve aumento de 8,6 % com a brita beneficiada em relação à usada por Silva Júnior (2014). O módulo de finura encontrado por Silva Júnior (2014) foi de 3,17, enquanto que para o mesmo índice, Paiva Filho (2017) obteve um valor de 1,78. Ambos os autores caracterizaram o agregado como tendo dimensão máxima de 19 mm.

Morais (2016) beneficiou a brita de diferentes formas e também fez ensaios de granulometria. Como resultado obteve um módulo de finura de 1,54 para a brita natural; 1,53, para a brita lavada na peneira de malha 0,075 mm; 1,66, para brita lavada na peneira de malha 4,75 mm; e 1,74, para a brita peneirada na malha 4,75 mm. Também obteve como característica da brita a dimensão máxima de 19 mm.

Com o beneficiamento através do peneiramento na malha de 4,75 mm, Moraes (2016) conseguiu no ensaio de granulometria, um aumento de 7.78 % da porcentagem retida acumulada na mesma peneira. Essa diminuição do teor de finos pelo beneficiamento é reforçada pelos dados de Paiva Filho (2017).

4.1.2 Massa específica e absorção de água

A ABNT NBR 53 (2009) normatiza os ensaios para determinação da massa específica, massa aparente e absorção de água do agregado gráudo. O quadro 3 apresenta alguns resultados para esses ensaios e seus respectivos autores.

Quadro 3 – Índices de massa específica e absorção de água.

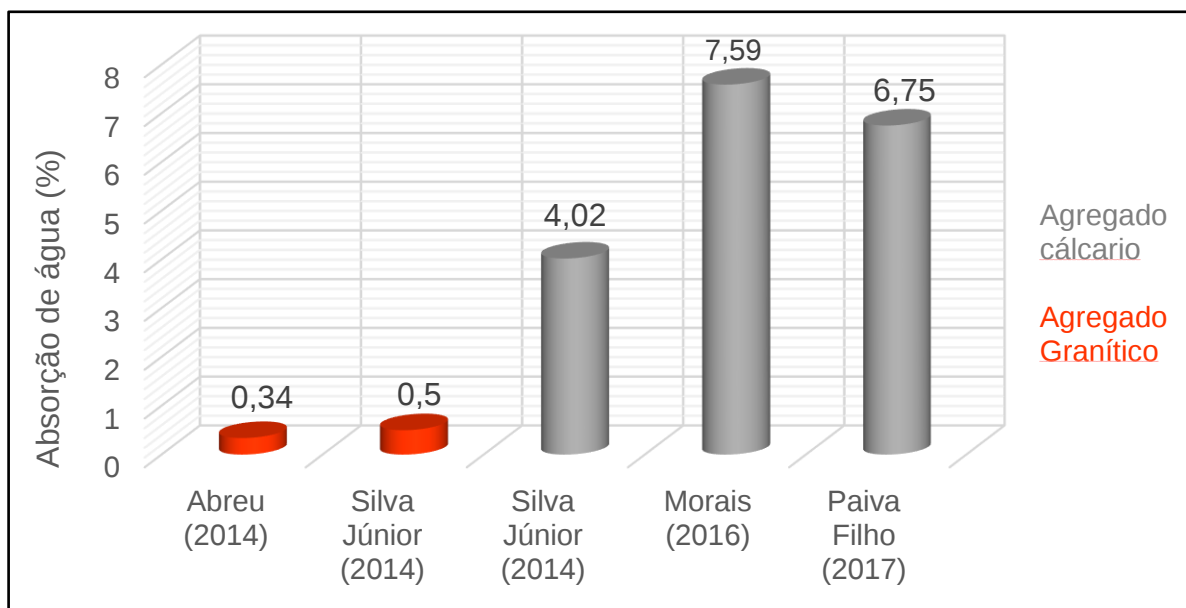
Autor	Brita calcária			
	Massa específica do agregado seco (g/cm ³)	Massa específica na condição saturada (g/cm ³).	Massa específica aparente (g/cm ³)	Absorção de água do agregado (%)
Moraes (2016)	2,68	2,40	2,23	7,59
Silva Júnior (2014)	2,71	2,54	2,45	4,02
Paiva Filho (2017)	2,73	2,46	2,30	6,75
Abreu (2014)	*	*	*	1,02
* Abreu não realizou ensaios para determinação de massa específica, o mesmo, utilizou os dados de Silva Júnior em seu trabalho. ** Os autores não realizaram ensaio para determinar a absorção de água da brita granítica.				

Fonte: Dados de pesquisa (2018).

Quanto aos índices de massa específica, os resultados dos autores não apresentam uma grande variação, mostrando assim, uma boa precisão na realização dos ensaios e constância dos índices para diversas amostras. Todos os autores obtiveram os resultados para massa específica do agregado seco entre 2.000 kg/m³ e 3.000 kg/m³, assim sendo, o mesmo é classificado como agregado de densidade normal.

A figura 2 apresenta os dados plotados para a absorção de água das amostras e seus respectivos autores. Atentando-se ao gráfico, nota-se porcentagens mais elevadas de absorção de água da brita calcária em relação à brita granítica. Esses resultados influenciam muito no preparo do concreto, pois representam a porcentagem da água de amassamento que o agregado absorverá.

Figura 2 – Absorção de água.



Fonte: Autoria própria (dados de pesquisa 2018).

Os dados de Silva Júnior (2014) apontam que o agregado de origem calcária absorve 8,05 vezes mais água que o de origem granítica, isso implica em um aumento da proporção a/c a fim de suprir a água absorvida pela brita calcária. Esse fator pode ser explicado pela origem sedimentar da rocha calcária, tendo como consequência uma maior porosidade e teor de finos.

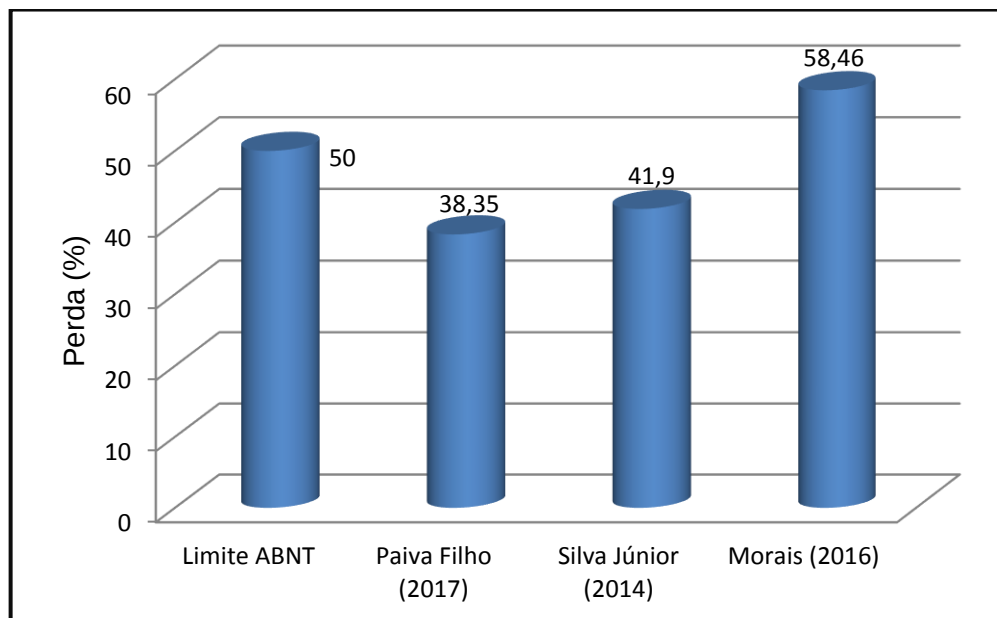
Abreu (2014) obteve um valor de 1,02 % de absorção de água do agregado de origem calcária, o mesmo não foi plotado no gráfico pois é muito discrepante em relação aos resultados dos demais autores, assim é preciso um estudo mais detalhado a cerca desse valor a fim de descobrir as causas dessa diferença.

4.1.3 Desgaste por abrasão “Los Angeles”

A norma ABNT NBR 7211 (2009) orienta o ensaio para determinação do desgaste por abrasão “Los Angeles” e indica um limite máximo de 50 % para o agregado

a ser usado no concreto. O gráfico a seguir apresenta os resultados para este ensaio e seus respectivos autores.

Figura 3 – Perda por abrasão “Los Angeles”.

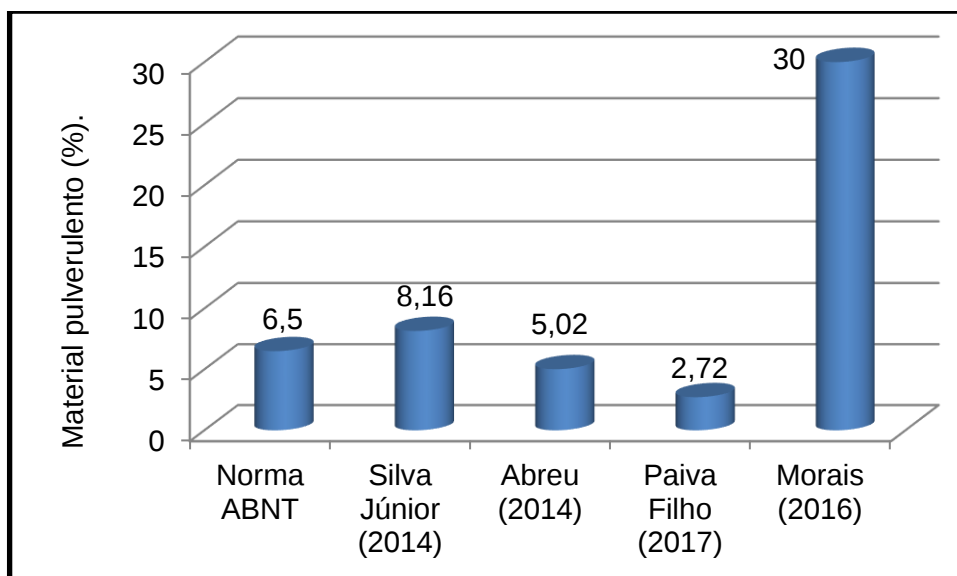


Fonte: Autoria própria (dados de pesquisa 2018).

Analisando os dados do gráfico, nota-se que os valores obtidos por Silva Júnior (2014) e Paiva Filho (2017) estão dentro do limite estabelecido pela norma, assim sendo, para esse índice é aceitável o uso do referido agregado para concreto. O resultado de Morais (2016) não atendeu as exigências da norma mesmo realizando o ensaio com uma peneira mais fina. Esse fato pode ser explicado pelo uso de agregado de má qualidade, assim como relata o próprio autor.

4.1.4 Teor de material pulverulento (%)

A norma ABNT NBR 7211 (2009) orienta o ensaio para determinação do teor de material pulverulento, a mesma indica o limite máximo de 1 % para agregados graúdos, podendo-se considerar até 6,5% de material pulverulento em casos de agregados graúdos onde seus finos não interfiram nas propriedades do concreto. A figura 4 apresenta os resultados obtidos para esse ensaio e os seus respectivos autores.

Figura 4 – Teor de material pulverulento (%).

Fonte: Autoria própria (dados de pesquisa 2018).

Paiva Filho (2017) aplicou um processo de beneficiamento que consistia em peneirar a amostra na peneira de 4,75 mm. O menor valor plotado, obtido pelo mesmo, confirma a influência do processo de beneficiamento na redução do teor de finos e material pulverulento da brita calcária.

Os dados de Silva Júnior (2014) apresentados no gráfico são de amostras que não passaram por nenhum tipo de beneficiamento. Nota-se que o valor obtido para a brita calcária supera em 1,86 % o limite máximo indicado pela norma. Assim, fica claro que, se faz necessário algum tipo de beneficiamento da brita para que esse índice atenda os critérios normativos. Embora Moraes (2016) tenha estudado diversas formas de beneficiamento, o valor discrepante obtido pelo mesmo apenas reforça a inconsistência já observada em seus dados devido ao uso de um agregado de má qualidade.

As diferenças dos agregados obtidos de formas ou regiões diferentes interferem na qualidade dos mesmos e induzem divergências nos resultados encontrados na literatura (Oliveira, 2015).

4.1.5 Massa unitária e índice de forma pelo método do paquímetro.

A norma ABNT NBR 7809 (2006) orienta a realização do ensaio para determinação do índice de forma dos agregados graúdos e define esse mesmo índice como a média da relação entre comprimento e espessura de cada grão. A norma NBR 7251

(1982) orienta a realização do ensaio para determinação da massa unitária dos agregados em estado solto e define esse mesmo índice como o quociente entre a massa do agregado lançado em recipiente normatizado pelo volume desse recipiente. O quadro 4 apresenta os resultados obtidos para esses dois ensaios e seus respectivos autores.

Quadro 4 - Massa unitária e Índice de forma.

Autor	Beneficiamento	Massa unitária	Índice de forma
Silva Júnior (2014)	Nenhum	1,39 kg/dm ³	1,80
Paiva Filho (2017)	Brita peneirada na malha 4,75 mm	1,36 kg/dm ³	2,26
Moraes (2016)*	Nenhum	1,25 kg/dm ³	2,27
Moraes (2016)**	Brita peneirada na malha 4,75 mm	1,19 kg/dm ³	2,27
Abreu (2014)	Nenhum	1,34 kg/dm ³ .	1,80
*Amostra sem beneficiamento.			
**Amostra com beneficiamento.			

Fonte: Dados de pesquisa (2018).

A norma ABNT NBR 7211 (2009) estabelece o limite superior para o índice de forma igual a três, assim nota-se que todos os resultados tabelados para esse índice obedecem a recomendação normativa. Quanto a massa unitária, todos os resultados tabelados se encontram entre os limites de 1,00 kg/dm³ e 2,00 kg/dm³, logo, o agregado de origem calcária foi classificado como normal em todos os trabalhos.

Analisando o quadro 4, fica clara a diferença entre os valores de massa unitária dos ensaios de Moraes (2016), sendo que, esses resultados indicam a influência do processo de beneficiamento da brita. Segundo Moraes (2016), a brita beneficiada por peneiramento obteve massa unitária menor que a da brita natural, significando que

menos material se encontra preenchendo os espaços vazios entre os grãos no estado solto.

4.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA.

4.2.1 Propriedades do concreto fresco

O ensaio do abatimento do tronco de cone *slump-test*, orientado pela norma ABNT NBR NM 67 (1998) determina a consistência e trabalhabilidade dos traços de concreto. O método é aplicável aos concretos plásticos e coesivos que apresentem um assentamento igual ou superior a 10 mm. A aparelhagem necessária para o ensaio se resume a um molde oco em forma de tronco de cone, haste de compactação e placa de base.

No procedimento a ser realizado o tronco de cone apoiado na placa de base é preenchido com o traço de concreto em três camadas compactadas com 25 golpes (haste de compactação) em cada uma. Após o adensamento do concreto, é retirado o molde verticalmente e feito à medição do abatimento pela diferença da altura do cone em relação ao corpo de prova.

O quadro 5 mostra os resultados obtidos no ensaio do *slump-test* para alguns traços preparados pelos autores referência desse trabalho. Os traços apresentados são especificados com seus respectivos títulos designados pelos autores, para facilitar a visualização em outra eventual comparação entre os trabalhos. Suas proporções estão expressas em massa da seguinte forma: (cimento: areia: brita calcária: relação água-cimento a/c).

Quadro 5 – Abatimento do ensaio *slump test*.

Autor/traços	Beneficiamento	Aditivos (%)	Aditivo e (%) Recomendada	Abatimento
Silva Júnior (2014) C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	0%	Á base de lignosulfonatos 0,2% a 0,3%	0 mm
Silva Júnior (2014) C1-03 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	3%	Á base de lignosulfonatos 0,2% a 0,3%	75 mm
Silva Júnior (2014) C1-04 (1:2,5:3,5:0,65)	Nenhum	3%	Á base de lignosulfonatos 0,2% a 0,3%	160 mm

Quadro 5 – Abatimento do ensaio *slump test* (continuação).

Fonseca (2015) T-C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	0%	Adment premium vedacit 0,3% a 1%	0 mm
Fonseca (2015) T5 (1:2,5:3,5:0,65)	Nenhum	10%	Adment premium vedacit 0,3% a 1%	30 mm
Fonseca (2015) T6 (1:2,5:3,5:0,70)	Nenhum	10%	Adment premium vedacit 0,3% a 1%	120 mm
Victor (2015) B-T-C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Brita lavada	0%	Adment premium Vedacit 0,3% a 1%	0 mm
Victor (2015) B1-T6 (1:2,5:3,5:0,70)	Brita lavada	10%	Adment premium vedacit 0,3% a 1%	Fluido
Victor (2015) B3 (1:2,5:3,5:0,70)	Brita lavada	1%	Adment premium Vedacit 0,3% a 1%	35 mm
Pereira (2016) C1-TCP (1:2,5:3,5:0,60)	Brita peneirada	10%	Á base de sais sulfonados e carboidratos, sem cloretos- 0,3% a 1%	0 mm
Pereira (2016) TCP (1:2:2,5:0,6)	Brita peneirada	8%	Á base de sais sulfonados e carboidratos, sem cloretos- 0,3% a 1%	84 mm
Pereira (2016) TCLP (1:2:2,5:0,6)	Brita peneirada e lavada	4%	Á base de sais sulfonados e carboidratos, sem cloretos- 0,3% a 1%	80 mm
Paiva Filho (2017) TR (1,0:2,0:2,5:0,60)	Brita peneirada	4,5%	Á base de sais sulfonados e carboidratos, sem cloretos- 0,3% a 1%	80 mm

Quadro 5 – Abatimento do ensaio *slump test* (continuação).

Paiva Filho (2017) T2 (1,0:1,5:2,0:0,60)	Brita peneirada	4,5%	Á base de sais sulfonados e carboidratos, sem cloretos- 0,3% a 1%	120 mm
Paiva Filho (2017) T4 (1,0:1,5:1,5:0,60)	Brita peneirada	4,5%	Á base de sais sulfonados e carboidratos, sem cloretos- 0,3% a 1%	240 mm

Fonte: Dados de pesquisa (2018)

Em seus trabalhos Silva Júnior (2014) e Victor (2015) escolheram como base para os testes uma trabalhabilidade adequada aos pisos de concretos, com um abatimento que variando entre 25 mm e 75 mm. Fonseca (2015) fez seus testes a fim de conseguir uma trabalhabilidade adequada para o uso estrutural, com abatimento variando entre 50 mm e 200 mm, enquanto Pereira (2016) optou pela mesma faixa, más objetivando um valor ideal de 80 mm +- 10 mm.

Em seus traços Paiva Filho (2017) não buscou uma trabalhabilidade padrão, o mesmo fez uma análise mais abrangente entre as faixas de abatimento e obteve resultados variando de 80 mm a 250 mm.

Analizando os resultados propostos, se conclui que é muito difícil conseguir uma boa trabalhabilidade do concreto com aplicação direta de brita calcária em proporções habituais, sendo necessária alguma forma de beneficiamento e/ou o uso de plastificante. Isso é evidenciado por Fonseca (2015) em seu traço T, sem aditivo, onde a brita absorveu boa parte da água de amassamento e não proporcionou a mistura adequada para o concreto. Esse resultado reforça os dados de Silva Júnior (2014) que, em seu traço C1, sem aditivo, não obteve abatimento.

Embora pareça lógico, aumentar a proporção de água cimento para suprir a alta absorção do agregado pode ser efetivo para se ter uma maior trabalhabilidade, porém esse artifício deve ser utilizado com cautela, pois além da possibilidade de ocorrer exsudação devido a um concreto muito fluido, pode também proporcionar alta porosidade e diminuir a resistência do mesmo. Fonseca (2015) testou proporções de água cimento de 0,95, muito acima do normal, e não obteve resultados satisfatórios, sendo esses testes posteriormente descartados.

Para contornar esse problema todos os autores testaram o uso de aditivo plastificante, que atribui uma mesma trabalhabilidade ao concreto com menores fatores água cimento, estes que puderam ser modelados entre 0,60 e 0,70 para os melhores traços em todos os trabalhos. O traço C1 que Silva Júnior (2014) definiu como referência apresenta boa trabalhabilidade (75 mm), entretanto, a quantidade de plastificante usada é de 3%, maior que o ideal normativo do fabricante de 0,2% a 0,3%. Embora o plastificante e o abatimento ideal usado por Fonseca (2015) seja diferente, o seu traço referência T6 ainda é mais discrepante quanto ao uso do aditivo, com 10% em relação ao recomendado pelo fabricante de 0,3% a 1%.

Como explicado no item 3.1.4 o plastificante tem em suas propriedades o aumento do tempo de pega do concreto, efeito esse, útil para um melhor preparo e adensamento nas formas e armações. Essa característica causa consequentemente um aumento no tempo de desmolde do mesmo, onde em excesso, pode ser considerado um contratempo.

Silva Júnior (2014) e Paiva Filho (2017) confirmaram esse efeito em seus trabalhos, em que, os corpos de prova apresentavam irregularidades na superfície de contado com o molde passados 24 horas, logo se fez necessário prolongar o tempo de desmolde para 48 horas. Por ser um produto caro, o plastificante em excesso aumenta o preço do concreto, sendo que seu uso deve ser analisado em termos de custo-benefício.

Está claro que as características associadas à alta absorção e teor de material pulverulento da brita calcária dificultam o processo de hidratação do concreto e sua trabalhabilidade, além de causar um efeito cascata em que as soluções abordadas causam, de certa forma, novos problemas. Para tentar adequar e modelar essas características desfavoráveis Victor (2015), Pereira (2016) e Paiva Filho (2017) abordaram em seus trabalhos, algumas formas de beneficiamento para a brita calcária a fim de reduzir o teor de material fino.

A preparação da amostra para os testes de Victor (2015) consistiu em lavar 8 vezes cada porção de brita calcária com água corrente, até que a maior parte do pó fosse removido. Em seguida a amostra passou por secagem natural ao longo de 7 dias. Segundo Victor (2015) o seu traço B, sem aditivo, apresentou boa mistura com a relação água cimento de 0,60, sendo a ideal máxima normativa da NBR 6118 (2014) para zona urbana; porém não apresentou abatimento significativo. Logo se conclui

que apesar da melhora no processo de mistura devido à lavagem, ainda é imprescindível a presença de aditivo plastificante no traço com brita calcária mesmo que beneficiada.

Em seu trabalho Victor (2015) fez uma análise comparativa entre o seu traço B1 e o traço referência T6 de Fonseca (2015), em que ambos foram preparados com as mesmas proporções e aditivos a diferir apenas a brita lavada. O traço apresentou uma trabalhabilidade insatisfatória devido a uma alta fluidez. Esse resultado evidencia uma redução na absorção de água da brita beneficiada e consequentemente a oportunidade de reduzir o plastificante, e mesmo assim, ainda obter uma boa trabalhabilidade. Embora os abatimentos comparados sejam diferentes, em seu melhor resultado Victor (2015) obteve o traço B3 com trabalhabilidade adequada para pisos de concreto e apenas 1% de aditivo plastificante, o que representa uma redução de 90% do teor de aditivo utilizado por Fonseca (2015).

Paiva Filho (2017) submeteu a brita calcária a um peneiramento na abertura de 4,75 mm, enquanto Pereira (2016) optou pelo mesmo método, mas adicionando simultaneamente um processo de lavagem semelhante ao de Victor (2015), e com o mesmo intuito de eliminar o material pulverulento. Os trabalhos de Pereira (2016) e Paiva Filho (2017) diferem dos demais em relação ao processo de escolha dos traços, onde em cada amostra, é alterada a proporção de agregados em vez da relação água cimento (a/c). Nos trabalhos é adotada uma relação a/c constante de 0,60 baseadas no limite máximo da classe de agressividade II (zona urbana) conforme a NBR 6118 (2014).

O traço TCP (brita peneirada) de Pereira (2016), com 8% de aditivo, obteve um abatimento de 84 mm, estando dentro do limite pretendido. Logo após o autor testou o traço TCLP (brita peneirada e lavada) reduzindo o plastificante em 50%, e obtendo um abatimento de 80 mm, também satisfatório. O resultado indica que houve redução da absorção de água do agregado, o que permitiu também uma redução do plastificante.

Paiva Filho (2017) em seu traço TR (brita peneirada) usou a mesma proporção de agregados do traço TCLP (brita peneirada e lavada) de Pereira (2016) e precisou aumentar em 0,05% a quantidade de aditivo plastificante para obter o mesmo abatimento, de 80 mm. Desta forma é notável que o beneficiamento das britas com a adição

da lavagem no peneiramento é ainda mais eficiente para remoção do material pulverulento aderido ao agregado.

Paiva Filho (2017) diminuiu ainda mais a proporção dos agregados graúdo e miúdo em seu traço T4, e com a mesma porcentagem de aditivo, conseguiu um aumento no abatimento de 160 mm, em relação ao seu traço TR. Diante disso o mesmo concluiu que, quanto menor a proporção de agregados que compõe o traço do concreto em relação ao cimento e fator água/cimento, maior será o seu abatimento, ou seja, sua consistência é diminuída. Isso se dá devido a maior quantidade de água na mistura, se comparado a traços com maior proporção de agregados, além da quantidade de aditivo.

Através da análise e comparação feita entre os trabalhos, se faz notável certos contratempos no uso da brita calcária em relação à trabalhabilidade do concreto. O alto teor de finos e absorção de água associados à origem sedimentar da rocha calcária implica no aumento da relação a/c e no uso excessivo de plastificantes para se obter uma trabalhabilidade adequada. Além da resistência do concreto, esses fatores podem afetar o tempo de desmolde e favorecer a exsudação. Contudo, os processos de beneficiamento da brita e mudança das proporções dos agregados se mostraram promissores para reduzir suas características desfavoráveis, sendo necessário estudos mais complexos nessa área a fim de definir proporções padrões a cada tipo de concreto.

4.2.2 Propriedades do concreto endurecido

4.2.2.1 Resistência à compressão axial

O ensaio para determinação da resistência a compressão axial do concreto é orientado pela norma ABNT NBR 5739 (2007). A medição é feita através da compressão mecanizada de corpos de prova cilíndricos normatizados pela ABNT NBR 5738/2003 e padronizados com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro.

O processo de cura também orientado pela norma ABNT NBR 5738 (2003) pode ser realizado por vários sistemas. Todos os autores citados agruparam os cilindros em um plano horizontal rígido sem qualquer tipo de perturbação para a cura inicial. Após o desmolde Silva Júnior (2014), Fonseca (2015) e Paiva Filho (2017) aplicaram os corpos de prova à imersão em água por 28 dias. Victor (2015) utilizou o

mesmo método, mas rompeu os corpos de prova aos 21 dias por conta do prazo de entrega de seu trabalho. Pereira (2016) optou por aplicar a cura, após o desmolde, em ambiente interno, onde os corpos de prova foram apenas cobertos por plástico branco para evitar um pouco da perda da água de hidratação.

Vale ressaltar que Silva Júnior (2014) expôs seus corpos de prova ao ambiente natural do clima semiárido de Mossoró, por mais um período de 152 dias, totalizando 180 dias. Segundo Silva Júnior (2014), este processo permite que os corpos de prova sofram as variações climáticas impostas as condições reais de insolação durante o dia com incidência direta do sol, baixa da temperatura durante a noite, e eventuais períodos de chuva.

Para uma análise comparativa mais precisa, se optou por tabelar os dados obtidos pelos autores apenas para os traços avaliados anteriormente. O quadro 6 apresenta a compressão axial medida aos 28 dias, uma vez que, para os mesmos traços, somente Silva Júnior (2014) realizou medições a curto e longo prazo, 7 e 180 dias respectivamente.

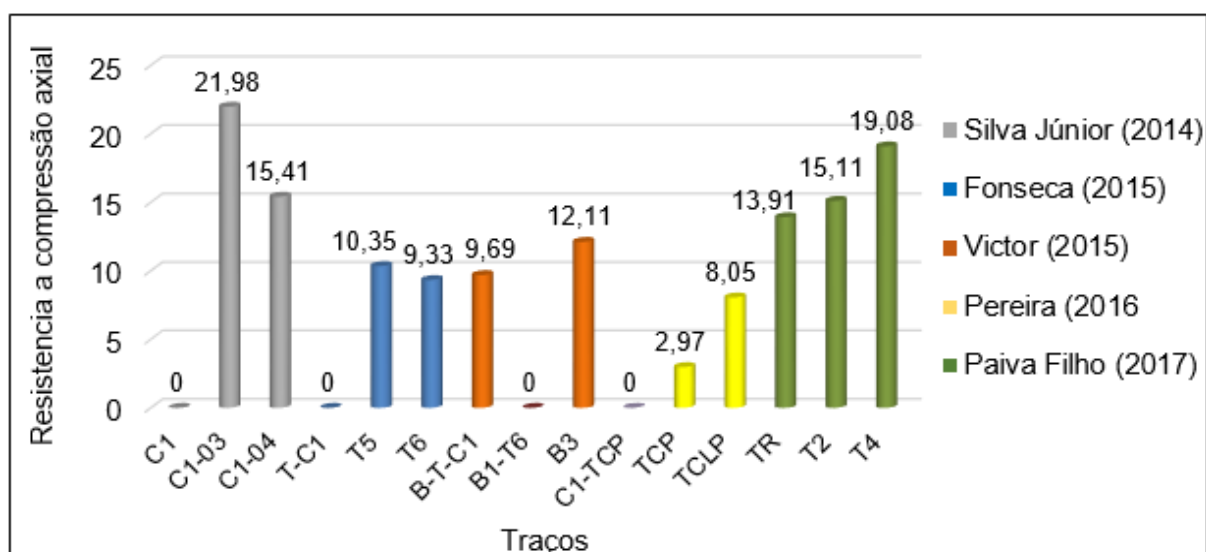
Quadro 6 – Resistência a compressão axial.

Autor/traços	Beneficiamento	Aditivos (%)	Abatimento	Resistência a compressão axial aos 28 dias (MPa)
Silva Júnior (2014) C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	0%	0 mm	-
Silva Júnior (2014) C1-03 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	3%	75 mm	21,98
Silva Júnior (2014) C1-04 (1:2,5:3,5:0,65)	Nenhum	3%	160 mm	15,41
Fonseca (2015) T-C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	0%	0 mm	--
Fonseca (2015) T5 (1:2,5:3,5:0,65)	Nenhum	10%	30 mm	10,35
Fonseca (2015) T6 (1:2,5:3,5:0,70)	Nenhum	10%	120 mm	9,33

Quadro 6 – Resistência a compressão axial (continuação).

Victor (2015) B-T-C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Brita lavada	0%	0 mm	9,69
Victor (2015) B1-T6 (1:2,5:3,5:0,70)	Brita lavada	10%	Fluido	-
Victor (2015) B3 (1:2,5:3,5:0,70)	Brita lavada	1%	35 mm	12,11
Pereira (2016) C1-TCP (1:2,5:3,5:0,60)	Brita peneirada	10%	0 mm	-
Pereira (2016) TCP (1:2:2,5:0,6)	Brita peneirada	8%	84 mm	2,97
Pereira (2016) TCLP (1:2:2,5:0,6)	Brita peneirada e lavada	4%	80 mm	8,05
Paiva Filho (2017) TR (1,0:2,0:2,5:0,60)	Brita peneirada	4,5%	80 mm	13,91
Paiva Filho (2017) T2 (1,0: 1,5: 2,0: 0,60)	Brita peneirada	4,5%	120 mm	15,11
Paiva Filho (2017) T4 (1,0: 1,5: 1,5: 0,60)	Brita peneirada	4,5%	240 mm	19,08

Fonte: Dados de pesquisa (2018).

Figura 5 – Resistencia a compressão axial.

Fonte: Autoria própria (dados de pesquisa 2018).

Analisando o quadro 6 e a figura 5, nota-se que Silva Júnior (2014) em seu traço C1-03 obteve uma resistência a compressão de 21,98 MPa, que é o melhor resultado da tabela. Logo após, comparando com seu traço C1-04 onde há um aumento na relação a/c de 0,05, nota-se uma queda na resistência para um valor de 15,41 MPa. Esse fenômeno é reforçado pelos dados de Fonseca (2015), onde, para uma mesma variação a/c entre seus traços T5 e T6, houve um decréscimo na resistência de 1,02 Mpa.

Esse resultado evidencia que, quanto maior a relação a/c, menos resistente é o concreto, uma vez que, após o processo de hidratação e endurecimento, o mesmo se configura como um material mais poroso, especialmente em sua superfície.

Para contornar esse problema, Paiva Filho (2017) manteve constante a relação a/c e a porcentagem de aditivo, a fim de testar apenas os efeitos da diminuição na proporção dos agregados no concreto. Analisando os dados obtidos pelo autor verifica-se que, quanto menor a proporção dos agregados no traço, maior era a resistência do mesmo, além do abatimento, que aumentava consideravelmente. Embora pareça um método eficiente, é necessário cautela ao diminuir a proporção de agregados, pois é necessário repor a quantidade em massa com aglomerantes, que são produtos caros, afetando assim a economia do concreto.

Embora o aditivo plastificante usado por Fonseca (2015) e Silva Júnior (2014) seja diferente, Fonseca (2015) usou porcentagens mais elevadas do mesmo em seu trabalho. Isso refletiu diretamente nos resultados, uma vez que, todos os traços de Fonseca (2015) apresentaram menor resistência a compressão axial que os de Silva Júnior (2014).

As sucessivas técnicas de beneficiamento aplicadas por Pereira (2016) proporcionaram a possibilidade de reduzir o plastificante em seus traços, onde, entre o seu traço TCP e TCLP foi aplicado uma redução de 50% do aditivo e em contrapartida constatou-se uma elevação de 5,08 MPa na resistência.

Embora o abatimento objetivado fora diferente, Victor (2015), em seu traço B3 utilizou a mesma proporção e aditivo que o traço T6 de Fonseca (2015). Também utilizando de beneficiamento da brita aplicou uma redução de 90% do aditivo e obteve um aumento na resistência de 2,78 MPa. Esse resultado reforça a influência do aditivo

na resistência do concreto como fora observado por Silva Júnior (2014), Fonseca (2015), e Pereira (2016).

Mesmo utilizando o tipo de cimento CP III, o qual possui um baixo calor de hidratação, Pereira (2016) concluiu em seu trabalho que a alta concentração de plastificante acima do recomendado pelo fabricante acaba por reduzir a resistência final do concreto e retarda a pega de horas para dias, ocasionando baixas ligações entre as fases do concreto, tornando-o inviável para obras devido ao grande tempo de desforma e cura para adquirir resistência, além da sua provável baixa durabilidade, comprovando o exposto no manual do fabricante.

4.2.2.2 Resistência a tração por compressão diametral

O ensaio é orientado pela norma ABNT NBR 7222 (2011) e consiste na aplicação mecanizada de duas forças de compressão opostas e paralelas ao diâmetro do corpo de prova, que possui dimensões semelhantes ao usado no ensaio de compressão axial.

O quadro 7 apresenta os resultados do ensaio de compressão diametral para os traços analisados anteriormente. Vale ressaltar que alguns traços tabelados não foram submetidos a esse ensaio por não terem alcançado a trabalhabilidade objetivada pelos respectivos autores. Além disso, Paiva Filho (2017) não realizou este ensaio para nenhum de seus traços.

Quadro 7 - Resistência à compressão diametral.

Autor/traços	Beneficiamento	Aditivo (%)	Abatimento	Resistência à compressão diametral aos 28 dias (MPa)
Silva Júnior (2014) C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	0%	0 mm	-
Silva Júnior (2014) C1-03 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	3%	75 mm	1,34
Silva Júnior (2014) C1-04 (1:2,5:3,5:0,65)	Nenhum	3%	160 mm	-

Tabela 7 - Resistência à compressão diametral (continuação).

Fonseca (2015) T-C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Nenhum	0%	0 mm	-
Fonseca (2015) T5 (1:2,5:3,5:0,65)	Nenhum	10%	30 mm	3,92
Fonseca (2015) T6 (1:2,5:3,5:0,70)	Nenhum	10%	120 mm	3,72
Victor (2015) B-T-C1 (1:2,5:3,5:0,60)	Brita lavada	0%	0 mm	0,75
Victor (2015) B1-T6 (1:2,5:3,5:0,70)	Brita lavada	10%	Fluido	-
Victor (2015) B3 (1:2,5:3,5:0,70)	Brita lavada	1%	35 mm	0,85
Pereira (2016) C1-TCP (1:2,5:3,5:0,60)	Brita peneirada	10%	0 mm	0,00
Pereira (2016) TCP (1:2:2,5:0,6)	Brita peneirada	8%	84 mm	0,00
Pereira (2016) TCLP (1:2:2,5:0,6)	Brita peneirada e lavada	4%	80 mm	0,97

Fonte: Dados de pesquisa (2018)

Como fica claro, os valores das resistências a compressão diametral são próximos a média estimada de 1/10 dos valores de resistência a compressão axial como explicado no tópico 3.1.6. Apenas os dados de Fonseca (2015) não seguem esse padrão, uma vez que, se apresentam com um aumento considerável na resistência se comparado aos traços dos outros autores, assim se faz necessário mais estudos a respeito desse fenômeno.

Nota-se que os fatores abordados no tópico anterior também afetam a resistência a compressão diametral. A exemplo disso, os valores da resistência obtidos por Fonseca (2015) diminuem a partir da elevação da relação a/c, o mesmo ocorre com

os testes de Victor (2015). Analisando os valores de Pereira (2016) observa-se na resistência a influência negativa e positiva do aumento do teor de aditivo plastificante e diminuição da proporção de agregados respectivamente, desta forma reforçando os efeitos semelhantes dos fatores já abordados para resistência a tração e compressão.

5 CONCLUSÕES

As propriedades relacionadas a massa específica e granulometria da brita calcária são parecidas com a granítica, além da mesma possuir um índice de forma mais próximo de 1, atestando uma proporcionalidade maior nas dimensões dos grãos. No entanto, o agregado de origem calcária se desgasta mais facilmente que o de origem granítica.

O alto teor de finos e absorção de água da brita calcária condicionam uma elevação da relação a/c e o uso excessivo de aditivos plastificantes para se obter uma trabalhabilidade adequada ao concreto. Esse artifício diminui a resistência do concreto e aumenta o tempo de pega do mesmo, afetando assim, as propriedades mecânicas desejáveis e o tempo necessário para desforma.

As técnicas de beneficiamento abordadas se mostraram promissoras para contornar as características negativas relacionadas a origem sedimentar da brita calcária, entretanto, essas técnicas são trabalhosas e onerosas. A diminuição nas proporções dos agregados aumentou a resistência e trabalhabilidade do concreto, no entanto, também aumenta o custo do mesmo, uma vez que é necessário repor a massa do agregado com aglomerantes, que são mais caros.

Nenhum autor relacionado à bibliografia consultada conseguiu modelizar um traço de concreto utilizando brita calcária que atendesse aos critérios de trabalhabilidade e resistência exigidos pela norma NBR 6118 (2014) para concretos com fins estruturais, no entanto, alguns traços estudados se enquadram nos parâmetros necessários para o uso em fundações e pisos de concreto conforme a norma NBR 6122 (2010).

A pesquisa sobre o uso da brita calcária em concretos ainda precisa ser mais aprofundada e divulgada, para que se possa modelizar traços específicos a cada fim destinado ao concreto, bem como realizar estudos sobre sua viabilidade econômica, relacionando os custos associados à mesma com a economia relativa ao seu transporte, devido a sua grande oferta, principalmente nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

- Estudar a viabilidade econômica do uso da brita calcária em concreto no RN, relacionando os custos extras com possíveis beneficiamentos e aditivos com a economia referente à compra e transporte de outro agregado.
- Utilizar os limites exigidos pela norma NBR 6118 (2014) para a relação a/c e a partir disso estipular um traço com resistência adequada ao uso estrutural.
- Estudar os efeitos de adições pozolânicas no concreto com brita calcária.
- Utilizar outros tipos de aditivos superplastificantes simultaneamente aos processos de beneficiamento.
- Estudar traços misturando-se a brita calcária e granítica (substituição parcial).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768 – Aditivos para Concreto de Cimento Portland.** Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53 – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809 – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251 – Agregado em estado solto - Determinação da massa** Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 – Agregados para Concreto - Especificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222 – Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67 – Determinação da Consistência pelo Abatimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225 – Materiais de pedra e agregados naturais – Classificação e terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Mol-dagem e Cura dos Corpos de Prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ABREU, Ana Cristina Fernandes. **Análise Comparativa Dos Agregados Gra-údos, Britas Calcária E Granítica, E Dos Agregados Miúdos, Resíduos De Borracha De Pneu E Areia, Para Utilização Em Concreto**. 2014.67 f. TCC. (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Ciências Ambien-tais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.
- ALMEIDA, Salvador L. M.; LUZ, Adão Benvindo da. **Manual de Agregados para Construção Civil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.
- AOKI, Jorge. **Calcário para Cimento**. 2008. Jornalista Responsável: Rosemeri Ribeiro. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/calcario-para-ci-mento>>. Acesso em: 02/09/2018.
- ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de cons-trução**. Rio de Janeiro, 2000. (Apostila)
- BAUER, Falcão. **Materiais de Construção**. São Paulo: LTC, 1994.
- BAUER, Falcão. **Materiais de Construção**. 5º Ed. São Paulo: LTC, 2000.
- BUENO, Carlos F. H. **Tecnologia de materiais de construções**. Universidade Federal de Viçosa. Minas gerais, 2000.
- FONSECA, J. G. **Uso de brita calcária em concreto**. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró/RN, 2015.
- FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. São Paulo: PINI, 2008.
- IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **RN tem a maior re-serva de calcário do Brasil**. Disponível em:<http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=153706>Acesso em: 22/08/2018.
- MME- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **DESENVOLVIMENTO DE ESTU-DOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**. Disponível

em<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT30_Pe-fil_de_brita_para_construxo_civil.pdf/01c75ac7-ecd2-4d85-a127-3ecddec2a31>acesso em 09/09/2018.

- MORAIS, Andressa Adna Cavalcante. **Análise Comparativa Da Brita Calcária, Beneficiada De Diferentes Formas, Para Utilização Em Concreto Como Agregado Graúdo**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.
- OLIVEIRA, Laerte Rodrigues Soares de. **Influência de diferentes tipos de brita na resistência a compressão do concreto: uma análise com brita granítica e brita calcária**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.
- PAIVA FILHO, Julio Cesar de. **Análise da resistência à compressão e consistência de concreto produzido com brita calcária e aditivo plastificante**. 2017. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.
- PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista CONCRETO e construções**. IBRACOM, ano 37, N 53, Jan, Fev, Mar, 2009.
- PEREIRA, D. D. **Avaliação da influência de plastificante na trabalhabilidade do concreto com brita calcária beneficiada para eliminar o material pulverulento**. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró/RN, 2016.
- SAMPAIO, J. A. e ALMEIDA, S. L. M. de. **Calcário e Dolomito**. CETEM –Centro de Tecnologia Mineral. 2008. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/agro-minerais/livros/16-agrominerais-calcario-dolomito.pdf> Acesso em: 29/08/2018.
- SILVA JÚNIOR, Francisco Alves Da. **Avaliação do efeito da adição do resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formação de compostos cimentícios**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Natal, 2014.

- SOARES, M. Alfabetização no Brasil – **O Estado do conhecimento**. Brasília: INEP/MEC, 1989
- VICTOR, Sheila Grazielle da Costa. **EFEITO DO USO DA BRITA CALCÁRIA LAVADA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO**. 2015. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.