



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
ENGENHARIA CIVIL

ÉDEN MALVEIRA DOS SANTOS

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
GRAÚDO POR RESÍDUOS ORIUNDOS DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE
PETRÓLEO EM GRAUTE ESTRUTURAL**

MOSSORÓ - RN

2018

ÉDEN MALVEIRA DOS SANTOS

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
GRAÚDO POR RESÍDUOS ORIUNDOS DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE
PETRÓLEO EM GRAUTE ESTRUTURAL**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró, para obtenção do título
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Marília Pereira de
Oliveira

MOSSORÓ - RN
2018

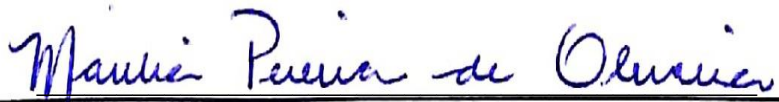
ÉDEN MALVEIRA DOS SANTOS

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO
GRAÚDO POR RESÍDUOS ORIUNDOS DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE
PETRÓLEO EM GRAUTE ESTRUTURAL**

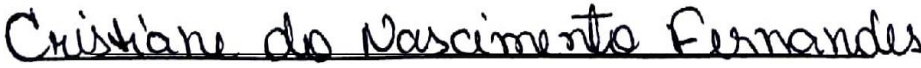
Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró, para obtenção do título
Bacharel em Engenharia Civil.

APROVADA EM: 16 / 04 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Profª. Dra. Marília Pereira de Oliveira - UFERSA
Presidente


Ma. Nayane Carla Márcia Cavalcanti de Sá Leitão
Membro Examinador


Ma. Cristiane do Nascimento Fernandes
Membro Examinador

© Todos os direitos estão reservados a 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 tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S237e Santos, Éden Malveira dos.
ESTUDO DA POTENCIALIDADE NA SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUOS ORIUNDOS
DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO EM GRAUTE
ESTRUTURAL / Éden Malveira dos Santos. - 2018.
70 f. : il.

Orientadora: Marília Pereira de Oliveira .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Graute. 2. Alta Resistência. 3. Resíduo de
perfuração de poços de petróleo. I. , Marília
Pereira de Oliveira, orient. II. Título.

Dedico este trabalho,

A minha mãe, pessoa que me espelha. Uma mulher guerreira e de fibra, a qual tem todo o meu amor! Todo agradecimento é pouco pelo que a senhora fez e faz para que eu consiga realizar meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida, foram muitos momentos de fraquezas, porém não me deixou cair e desistir no caminho. Sempre me dando forças e disposição para eu lutar em busca dos meus sonhos. Ao Senhor, minha eterna gratidão.

Aos meus pais José Epitácio Rodrigues dos Santos e Cláudia Eugênia Malveira Malagueta, que me acolheram com paciência, serenidade e amor. Proporcionam os melhores momentos, ensinamentos e valores da humanidade. Vocês jamais serão esquecidos – são especiais por essência – razão da minha vida. Obrigado pelo incentivo nas horas de desânimo, pelo consolo nos momentos de tristeza e pela presença nas alegrias. A vocês, que compartilharam dos meus ideais, dedicaram de melhor forma em busca do meu futuro, a minha mais profunda gratidão e respeito. Sem vocês, nada eu seria. Imensuravelmente, eu amo vocês!

Aos meus irmãos Eric Malveira dos Santos e Emilly Malveira dos Santos, com quem passei grande parte do meu tempo compartilhando dia-a-dia diversas virtudes. O que nos resta são fotografias e lembranças das nossas brincadeiras. Porém, ainda temos alegria, amor e união desde a infância. Vocês são minha proteção. Apesar da distância e ausência em alguns momentos, estamos sempre unidos.

A minha família, base de tudo. Uma árvore genealógica vivida no amor, na prosperidade, na união, na fé... Mesmo distantes, vocês depositaram confiança e força para eu batalhar em busca das minhas conquistas.

Aos professores e servidores da UFRSA, pelos ensinamentos e contribuições valiosas durante a graduação, tenho certeza que estou saindo outra pessoa dessa grande instituição. Foram cinco anos de muitas lutas e vitórias.

A professora Marília Pereira de Oliveira, que está sempre disposta a me ajudar e orientar. Obrigado pelas críticas – sempre construtivas, continue sempre sendo essa profissional prestativa. Fica a minha admiração pelas contribuições para construção desse trabalho.

A construtora CONTREL em nome de Diego Bezerra e Renata Barreto agradeço aos demais colegas de estágio, foi um local de grande aprendizado sendo minha primeira experiência profissional no ramo da construção civil. Pude vivenciar boas práticas e compartilhar ensinamentos. Também, fiz amizades que vou levar para o resto da vida!

A indústria Brasil Química e Mineração Industrial (BQMIL) em nome de Marcelo Rosado, Nayane Leitão, Larissa Rayane e Dominicos Sávio agradeço pela ajuda substancial para a realização deste trabalho. Vocês foram primordiais durante toda a pesquisa, sempre contribuindo para evolução do estudo. Minha imensurável gratidão!

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte em nome do servidor Valterson Santos que sempre esteve disposto a ajudar, acompanhar e contribuir no trabalho. Também por ceder o laboratório de Técnicas de Construções Cíveis para realizações de ensaios referente ao estudo.

A prefeitura de Pau dos Ferros, especialmente aqueles que fazem a SEINFRA e SEPLAN, local de trabalho em que pude agregar valores e conhecimento.

Aos meus amigos e educadores Antônia Gomes, Odélio Cavalcante, Leila Lopes, Plheybe Saraiva, Valquíria Góes, Marta Balduino, pelos ensinamentos, formação de caráter e construção de valores durante todo esse tempo, fica o meu carinho.

Aos meus amigos Karynne Nobre, Valéria Chaves, Neuma Limão, Taiton Telles, Natália Diniz, Beatriz Barbosa, Nathalye Gomes, Henriqueta Malveira, Eder Vilar, Higo Raulino, Isaac Esdras, Gabryella Katrynne, Glícia Kandyce e Lucyvan Sérgio, muitos eu conheci durante esta caminhada e são pessoas de grande valia. Regracio pela companhia, alegria, confiança, ajuda e incentivo em todos esses momentos.

A minha amiga Daniela Freitas que neste segundo ciclo se distanciamos geograficamente, e que com o meu retorno a amizade continua a mesma. Saldo por me ajudar nesta fase e contribuir para o meu sucesso.

Aos colegas de graduação, como foi bom viver essa caminhada com vocês. Sabem-se que tivemos momentos de aflição, tristeza, desespero [...] mas não lembremos desses momentos, e sim dos que fizeram a gente sorrir e comemorar as vitórias diárias. Agradeço a todos pela troca de conhecimentos e companhia durante esse tempo.

E por fim, aqueles que estiveram comigo durante esse tempo, formal ou informalmente, meu carinho e agradecimento.

“O que quer que você faça, faça bem feito. Faça tão bem feito que, quando as pessoas te virem fazendo, elas queiram voltar e ver você fazer de novo e queiram trazer outros para mostrar o quão bem você faz aquilo que faz. ”

Walt Disney

RESUMO

Um dos materiais com muita demanda na construção civil atualmente é o graute, devido não só a sua alta resistência inicial e fluidez, mas por apresentar diversas propriedades e aplicações, sendo algumas delas o preenchimento de vazios em estruturas, encamisamento, reforço e recuperação de estruturas, preenchimento de colunas de alvenaria estrutural, fixação de equipamentos a uma base, ancoragem e chumbamento. Atualmente a produção desses materiais existe um consumo de matéria-prima e o seu crescimento nos últimos tempos tem aumentado a extração de recursos naturais e a geração de resíduos. Tendo uma vista os benefícios da reutilização ao meio ambiente, utilizar os resíduos de perfuração de poços de petróleo na substituição parcial do agregado graúdo entre os materiais constituinte do graute é importante para minimizar problemas ambientais. Esta pesquisa tem como objetivo principal elaborar uma análise comparativa de propriedades mecânicas entre o graute convencional estrutural em estudo pela empresa parceira do trabalho para possível comercialização e o graute com traços propostos neste trabalho. Quanto a metodologia, a pesquisa envolveu três etapas. Na primeira, realizou-se um estudo na literatura, na segunda se deu com a visita a empresa pesquisada, na preparação e caracterização dos materiais, coleta do resíduo, realização dos ensaios laboratoriais e produção dos corpos de provas. A terceira etapa constitui-se na análise e discussão sobre as propriedades e caracterização dos grautes manipulados. No entanto, o graute produzido tanto pela empresa quanto pelo autor são caracterizados como estrutural ou resistência moderada, até mesmo os que foram utilizados o resíduo pois todos eles apresentaram uma resistência à compressão acima de 40 MPa. Os traços elaborados apresentaram uma boa trabalhabilidade e apresentaram um aspecto fluído, característico do tipo bombeável e autonivelante. Quanto a cura submersa, todos foram satisfatórios relacionado a resistência a compressão. O traço com 20% de substituição apresentou uma resistência maior comparado ao traço referência nas idades de 3 e 28 dias. Já para os corpos de provas que ficaram expostos ao meio externo apenas o traço referência apresentou a maior resistência em relação aos demais traços abordados no trabalho, ultrapassando os 48 MPa. Contudo, é viável a utilização dos 20% de resíduo na substituição parcial do agregado graúdo pois além de atender a trabalhabilidade, apresenta resistência superior ao traço referência.

Palavras-chave: Graute. Alta Resistência. Resíduo de perfuração de poços de petróleo.

ABSTRACT

Nowdays in civil construction one of the materials that has a lot of demand is the grout, due not only your high initial strenght and fluidity, but also because yours several properties and application, some of them are filling voids in structures, reinforcement and recovery of structures, filling structural masonry, attachment of equipment to a base, anchoring and docking. Now is knew, to production of these materials there is a consumption of raw material and your rising this recent years has increased the extraction of natural resources and generation of waste. With a view to the benefits of reuse to the environment, petroleum drilling waste in the partial replacement of aggregate between the constituent materials of grout is a crucial role for minimize these environmental problems. This research has as main objective to elaborate a comparative analysis of mechanical properties between the conventional structural grout under study by the partner company of the work for possible commercialization and the grout with traits proposed in this work. As for the methodology, the research will involve three steps. The first one, was done by literature study, second one was a visit at research company, to prepare and characterize the materials collection of waste, testing laboratories and production of test bodies. The last step was analyses and discussion about the properties and characterization of manipulated grout. However, the grout produced by both the company as the author are characterized, as a structural or moderate resistance, even those that were used the residue because they all presented a resistance to compression above 40 MPa. All the elaborate traits presented a good workability and presented a fluid aspect, characteristic of the pumpable and self-leveling type. As for the submerged cure, all were satisfactory related to resistance to compression. The trait with a 20% substitution showed a greater resistance compared to the reference trait at the ages of 3 and 28 days. For the test specimens that were exposed to the external environment, only the reference trace showed greatest resistance in relation to the other traits approached in work, exceeding 48 MPa. However, it is feasible to use the 20% of residue in the partial replacement of the large aggregate because besides satisfying the indices it presents resistance superior to the reference trait.

Keywords: Grout. High resistance. Residues from drilling wells Petroleum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo produtivo do cimento Portland.	20
Figura 2: Aplicações do graute	26
Figura 3: Preenchimento de blocos estruturais com graute.	27
Figura 4: Esquema simplificado de uma sonda.	29
Figura 5: Metodologia adotada na pesquisa.	33
Figura 6: Resíduo de perfuração de poços de petróleo.....	34
Figura 7: Armazenamento do cimento em sacos plástico.	36
Figura 8: Aditivos.....	38
Figura 9: Betoneira com tampa.	40
Figura 10: Difratoograma da amostra de RPP.....	45
Figura 11: Curva granulométrica da areia 1.	49
Figura 12: Curva granulométrica da areia 2.	51
Figura 13: Curva granulométrica da areia 1 e areia 2.....	52
Figura 14: Curva granulométrica da brita.....	54
Figura 15: Resistência à compressão aos 3 dias.	57
Figura 16: Resistência à compressão aos 7 dias.	58
Figura 17: Resistência à compressão aos 28 dias.	59
Figura 18: Resistência à compressão aos 28 dias com e sem cura submersa.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Traço unitário em massa proposto pela empresa.....	39
Tabela 2: Traço unitário em massa proposto pelo autor.....	39
Tabela 3: Quantitativo de corpos de prova utilizados para a pesquisa.....	40
Tabela 4: Análise química do RPP.....	44
Tabela 5: Comparativo dos resultados dos ensaios de DRX.....	45
Tabela 6: Ensaios químicos.....	47
Tabela 7: Ensaios físicos e mecânicos.....	47
Tabela 8: Resistência à compressão (MPa) – NBR 7215.....	48
Tabela 9: Composição granulométrica da areia 1.....	49
Tabela 10: Composição granulométrica da areia 2.....	50
Tabela 11: Composição granulométrica da areia 1 e da areia 2.....	51
Tabela 12: Massa específica e absorção de água dos agregados úmidos.....	53
Tabela 13: Composição granulométrica da brita.....	53
Tabela 14: Massa específica e absorção de água do agregado graúdo.....	54
Tabela 15: Resistência média à compressão (MPa) – NBR 7215.....	55

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Relação água por cimento
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ARI	Alta Resistência Inicial
AsBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
BQMIL	Brasil Química e Mineração Industrial
CAERN	Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CE	Ceará
CIB	Conselho Internacional da Construção
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
CP	Cimento Portland
CPs	Corpos de provas
CP – R	Corpo de prova com traço referência
CP – 10%	Corpo de prova com substituição parcial do agregado graúdo em 10%
CP – 20%	Corpo de prova com substituição parcial do agregado graúdo em 20%
°C	Graus Celsius
DRX	Difração de Raios-X
FRX	Florescência de Raios-X
g	Grama
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Kg	Quilograma
kV	Quilo Volt
lb	Libra
mA	Miliampere
min	Minuto
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PIB	Produto Interno Bruto
RN	Rio Grande do Norte
RPP	Resíduo de Perfuração de Poços de Petróleo
RS	Resistência a sulfatos
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	17
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 GRAUTE	18
2.1.1 Materiais constituintes	19
2.1.1.1 Cimento.....	19
2.1.1.2 Agregados	21
2.1.1.3 Água.....	22
2.1.1.4 Aditivo superplastificante	23
2.1.2 Propriedades do graute no estado fresco e endurecido.....	23
2.1.2.1 Trabalhabilidade	24
2.1.2.2 Resistência Mecânica.....	24
2.1.3 Aplicação do graute	25
2.2 CONCEPÇÃO DE SUSTENTABILIDADE.....	27
2.2.1 Processo de geração dos resíduos da perfuração de poços de petróleo	29
2.2.2 Importância da utilização do resíduo da perfuração de poços de petróleo para o Desenvolvimento Sustentável	30
2.2.2.1 Utilização dos resíduos da perfuração de poços de petróleo	31
METODOLOGIA.....	33
3.1 MATERIAIS.....	33
3.1.1 Resíduo de perfuração de poços de petróleo	33
3.1.1.1 Análise química	34
3.1.1.2 Análise Mineralógica	35
3.1.2 Cimento	35
3.1.3 Agregado Miúdo	36
3.1.4 Agregado Graúdo	37
3.1.5 Água	37
3.1.6 Aditivos.....	37
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	38
3.2.1 Confeção dos corpos de provas.....	38
3.2.1.1 Escolha do traço.....	38
3.2.2 Produção dos corpos de provas	40

3.2.3	Ensaio de consistência	41
3.2.4	Ensaio de resistência à compressão.....	41
RESULTADOS E DISCUSSÕES		43
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ORIUNDO DA PERFURAÇÃO DE POÇO DE PETRÓLEO.....	43
4.1.1	Faixa granulométrica	43
4.1.2	Análise química.....	43
4.1.3	Análise mineralógica	45
4.2	CIMENTO	46
4.3	AGREGADO MIÚDO	48
4.3.1	Análise granulométrica	48
4.4	AGREGADO GRAÚDO	53
4.4.1	Análise granulométrica	53
4.5	CARACTERIZAÇÃO DOS GRAUTES.....	54
4.5.1	Ensaio de consistência	54
4.5.2	Resistência a compressão	55
CONCLUSÕES.....		61
REFERÊNCIAS		63
ANEXO A – INFORMAÇÕES DO CIMENTO.....		69

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Mesmo quando os humanos viviam em um ambiente sem tantas modificações antrópicas, sentiram a necessidade de explorar o meio para atingir seu melhor bem-estar. Dessa forma, passaram a se deslocar de região para região com o objetivo de buscar abrigo, produzir alimentos e utensílios para sua sobrevivência.

É natural que os impactos ambientais tenham surgido a partir da evolução humana, desde que o homem começou a progredir em seu modo de vida, com o cultivo de alimentos e a criação de animais, aumentando gradativamente os impactos gerados na natureza, depois com a derrubada de árvores para construção de abrigo e obtenção de lenha, tornando cada vez mais visíveis as alterações no meio ambiente (RIOS, 2014).

No que se refere a evolução das habitações, em que o homem explorava a natureza e vivia em grutas e cavernas, cita-se a engenharia e arquitetura como elementos fundamentais para proporcionar qualidade e conforto em novas moradias. Ou seja, com o passar do tempo e com os avanços tecnológicos, a construção civil vivencia uma constante inovação. As indústrias buscam produzir materiais com propriedades e qualidade sempre melhores e que acompanhe a vasta e engenhosa indústria moderna.

Este cenário incentiva os construtores a pensar na tecnologia como ferramenta de competitividade e diversas empresas estão investindo na modernização dos meios de produção e na crescente industrialização dos canteiros de obras, com constante introdução de variedade de materiais, equipamentos, processos construtivos e administrativos voltados à construção civil (SOUZA, 2014).

O graute, material deste estudo pode ser considerado como um material novo, pois diferente do concreto e da argamassa que são bastante utilizados na engenharia desde da antiguidade, este apresenta características distintas. Em definição, é uma mistura de aglomerante com agregado miúdo, agregado graúdo e água, contendo ou não aditivos, e é caracterizado por apresentar uma consistência fluida sem segregação dos materiais e elevada resistência nas primeiras idades.

A construção civil consome bastante matérias-primas naturais e movimenta o PIB. Segundo Sá (2006), seu crescimento nos últimos tempos tem aumentado a extração de

recursos naturais e a geração de resíduos. Todavia, a utilização de resíduos é a melhor alternativa para reduzir os impactos ambientais com o consumo de matéria-prima.

De acordo com alguns investigadores, a forma mais eficiente para a indústria da construção se tornar uma atividade sustentável passa pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção (CAMPOS, 2015). Dessa forma, esse trabalho tem uma abordagem para a substituição de agregados graúdos por resíduos de perfuração de poços de petróleo para produção de graute, considerando que estes ficam estocados nos campos de perfurações sem destinação final, o que altera a paisagem e proporciona diversos problemas ambientais. Atualmente não existe perfuração sem a produção de cascalho, resíduos de rocha que a broca produz ao abrir caminho pelas formações que são transportados à superfície pelo fluido de perfuração (SCHAFFEL, 2002).

Com isso, a relevância da produção de materiais de caráter estrutural, como é o caso do graute, que têm sido bastante procurados no mercado da construção civil devido os inúmeros benefícios que podem proporcionar associado as empresas que buscam atender as legislações ambientais e o desenvolvimento sustentável. A utilização dos resíduos evidencia uma adequação ambiental e uma melhoria no aproveitamento dos recursos naturais tornando essa atividade um papel grandioso para sociedade e o meio ambiente.

Cunha e Siqueira (2013), aborda que em virtude da grande relevância das questões ligadas à preservação do meio ambiente e da qualidade de vida, surge à necessidade de buscar novos conceitos e soluções dentro de uma visão de sustentabilidade e comprometimento com a questão ambiental. Ou seja, este trabalho traz a produção de grautes estruturais com substituições de agregado graúdo por resíduos da perfuração de poços de petróleo em que estes podem ser transformados em matéria-prima de qualidade para construção civil, com aplicação em novos materiais, tornando a atividade sustentável, e com isto, ganha todos os cidadãos, sobretudo, a natureza.

Ainda assim, contribui de forma significativa para o conhecimento do processo e materiais utilizados para produção do graute estrutural com a substituição parcial do agregado graúdo por resíduos de perfuração de poços de petróleo, com base de relevantes informações obtidas através de uma indústria de materiais cimentícios. Neste sentido, ressalta-se que é de grande importância desenvolver técnicas inovadoras neste âmbito, considerando que os materiais que utilizam o cimento têm grande demanda de consumo na construção civil. Como tal, estas inovações podem garantir a criação de novos produtos a partir desses rejeitos, de tal forma, a reduzir as agressões ao meio ambiente.

1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo principal elaborar uma análise comparativa de propriedades mecânicas entre o graute estrutural em estudo pela empresa parceira do trabalho para possível comercialização e o graute com traços propostos neste trabalho.

Os objetivos específicos dessa pesquisa são sintetizados a seguir:

- caracterizar os resíduos que serão utilizados através de análises laboratoriais;
- estudar o método de dosagem utilizado pela empresa para obtenção do caráter estrutural nos grautes nas idades pré-determinadas;
- avaliar o desempenho dos grautes fabricados com os resíduos em substituição parcial dos agregados no que tange as suas propriedades no estado fresco e endurecido.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo, apresenta a introdução, na qual foi feita uma breve explanação sobre a evolução das habitações, da construção civil, da gestão dos resíduos proveniente da perfuração de poços, e dos objetivos do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica sobre graute, com destaque nas aplicações e propriedades, bem como o aproveitamento do resíduo de perfuração do poço de petróleo.

No terceiro capítulo é mostrada a metodologia utilizada para realização da pesquisa.

No quarto capítulo são explanadas as análises e discussões experimentais realizadas durante a pesquisa.

E no quinto capítulo são apresentadas as conclusões da pesquisa.

Capítulo 2

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GRAUTE

Os grautes (termo derivado do inglês grout: argamassa), embora compostos por materiais semelhantes, se diferenciam do concreto e da argamassa pela peculiaridade da mistura e pelo desempenho (FIGUEREIDO, 2007).

Segundo a NBR 8798 (1985), o graute é um elemento para preenchimento dos vazios dos blocos e canaletas de concreto para solidarização da armadura a estes elementos e aumento de capacidade portante, composto de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir trabalhabilidade e retenção de água de hidratação à mistura. Pode ser classificado como graute fino, cujo agregado possui dimensão máxima inferior ou igual a 4,8 mm, ou graute grosso, apresentando a dimensão máxima superior a 4,8 mm.

Quanto a dosagem, a mesma norma aborda que esta pode ser experimental e não experimental. A dosagem experimental tem por finalidade estabelecer o traço do graute para que estes tenham a resistência e a trabalhabilidade previstas, expressa esta última pela consistência. Ou seja, se assemelha com qualquer um dos métodos desenvolvidos para concreto convencional.

Já a dosagem não experimental, feita no canteiro da obra por processo rudimentar, somente deve ser permitida para obras de pequeno vulto, respeitadas as seguintes condições e dispensado o controle da resistência: a resistência característica do prisma f_{pk} de projeto deve ser menor ou igual a 6,0 MPa para prisma oco, na área líquida, ou 3,0 MPa para prisma cheio; a trabalhabilidade necessária ao graute deve ser obtida com o proporcionamento especificado na norma; e a adequabilidade da proporção agregado graúdo/agregado miúdo deve ser verificada com os materiais da obra, respeitando-se os limites exigidos pela norma.

Na relação entre água e cimento deve-se utilizar baixas relações água/cimento, pois altas relações, além de aumentar a retração, diminui a aderência e resistência à compressão (GROHMANN, 2006). O mesmo autor, no que se refere às adições, as pesquisas identificaram que o uso de superplastificante proporciona uma considerável redução no teor

água/cimento e, conseqüentemente, redução da retração do graute e aumento também da sua resistência à compressão e trabalhabilidade.

A NBR 8798 (1985) define que o abatimento deve ser de 17 a 20 cm para adensamento por apiloamento; de 20 a 23 cm para adensamento pelo peso próprio do material quando for usado vibrador mecânico adequado, a consistência deve ser a menos fluida possível.

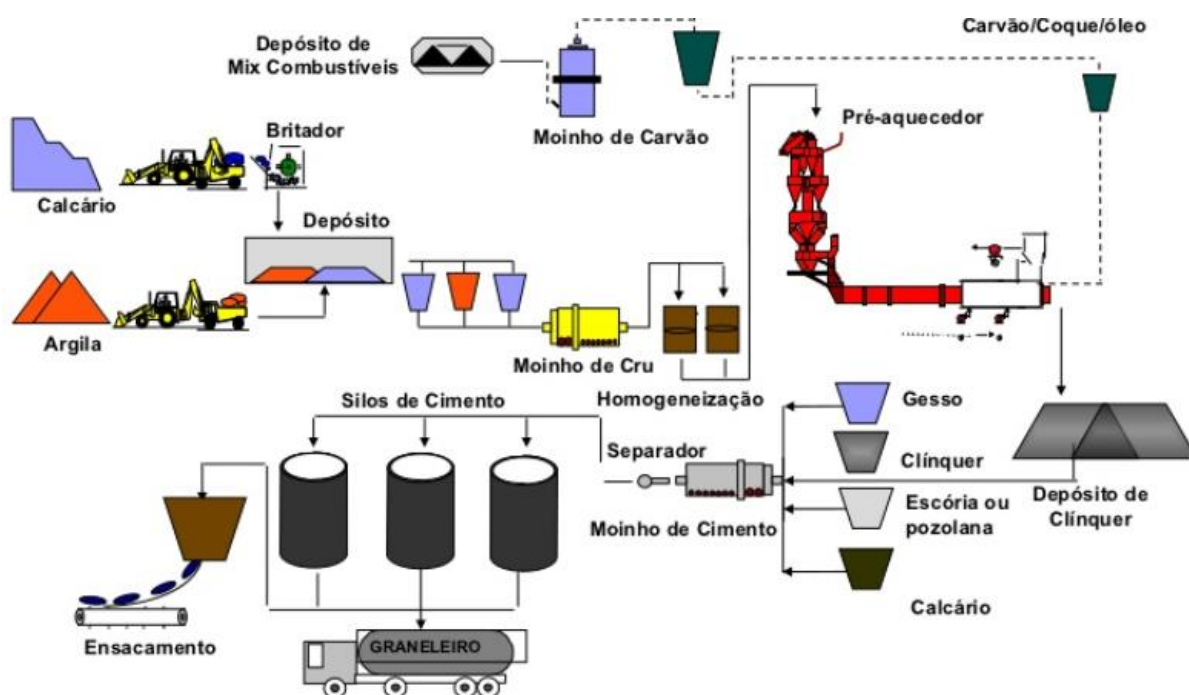
2.1.1 Materiais constituintes

2.1.1.1 Cimento

O cimento é um aglomerante hidráulico derivado da rocha calcária mais alguns aditivos de correção à sua composição química. O registro do nome “Cimento *Portland*” deu graça ao Inglês Joseph Aspdin devido apresentar características semelhante a uma pedra encontrada na Ilha de *Portland* na Inglaterra, que era utilizada na época para construções.

São obtidos através do seguinte processo industrial (Figura 1): na jazida é retirada a matéria prima, logo em seguida é colocada nos transportes e levada para as fábricas. Nos britadores ocorre a redução da granulometria do calcário, o mesmo é levado para espaços reservados onde ocorre uma nova homogeneização. No moinho de cru o material obtido é chamado farinha de cru, que antes de ir ao forno ela é pré-aquecida com os gases do forno no intercambiador de calor, pois o material não puder entrar no forno totalmente frio. Após o cozimento, o material sai com outra característica – esse material é conhecido como clínquer. Este está presente em todas as formulações dos diversos tipos de cimentos. Sabe-se que para produzir os tipos de cimentos existem adições especificadas para cada um deles, as proporções são misturadas e levadas ao moinho de cimento, que ao final do processo gerará o produto final.

Figura 1: Processo produtivo do cimento Portland.



Fonte: MAGNAVITA et al. – FAESA, 2009.

Os constituintes fundamentais do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidro sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto (OLIVEIRA, 2013). Ainda autor, afirma que tem como constituintes menores, impurezas, óxido de sódio (Na_2O), óxidos de potássio (K_2O), óxido de titânio (TiO_2) e outras substâncias de menor importância.

O seu endurecimento ocorre devido a ação da água. Essas reações são complexas pois ocorre as reações químicas e conversões dos componentes, tornando hidratados. Chama-se hidraulicidade à propriedade que caracteriza os aglomerantes hidráulicos, isto é, de endurecer quando misturados com água e resistir satisfatoriamente, após o endurecimento, quando submetido à ação dissolvente da água (PETRUCCI, 1982). Ainda este, dá-se o nome de pega dos aglomerantes, que endurecem sob a ação da água, à fase inicial do processo, ou seja, a transformação plástica em corpo sólido.

2.1.1.2 Agregados

Agregados são fragmentos de rochas, popularmente denominados como “pedras” e “areias” e estes materiais incluem, por exemplo, blocos, pedras, pedregulhos, cascalhos, seixos, britas, pedriscos, areias etc (FARIAS; PALMEIRA, 2007). Ainda os mesmos autores, fragmentos de rochas com tamanho e propriedades adequadas são utilizados em quase todas as obras de infra-estrutura civil, como em edificações, pavimentação, barragens e saneamento.

Segundo a NBR 9935 (2011) agregado é um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto. Podendo ainda ser classificados como agregado natural, artificial, reciclado ou especial.

Em que muitas vezes os agregados utilizados para produção de materiais da matriz cimentícia é a areia e a pedra britada ou brita. Que a mesma norma define areia como um agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou proveniente de processos industriais. É chamada de areia natural se resultante de ação de agentes da natureza, de areia artificial quando proveniente de processos industriais; de areia reciclada, quando proveniente de processos de reciclagem; e de areia de britagem quando proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha, conforme normas específicas. Já a brita é um agregado graúdo originado da cominuição mecânica de rocha

A norma NBR 9935 (2011) classifica os agregados em denso ou pesado, leve e densidade normal, ou seja, os agregados de densidade normal compreendem uma variação de 2.000 kg/m^3 a 3.000 kg/m^3 . Os leves possuem um valor inferior a 2.000 kg/m^3 e os pesados acima de 3.000 kg/m^3 .

Os agregados são materiais de suma importância na formulação de argamassas e concretos, pois irão afetar significativamente o desempenho no estado fresco e endurecido e a durabilidade destes materiais (COSTA, 2016). Ainda a mesma autora, para a aplicação dos agregados em argamassas e concretos, alguns requisitos básicos devem ser considerados, como por exemplo: o processo de extração e beneficiamento devem proporcionar, dentro de certos limites, características homogêneas; suas características físicas e mecânicas devem ser compatíveis com o tipo de mistura a ser produzido; suas características químicas e mineralógicas devem ser estáveis, devendo apresentar uma mínima reatividade com produtos hidratados do cimento, com a água ou o ar ou ainda outros constituintes dos concretos e argamassas.

2.1.1.2.1 Agregado miúdo

Segundo a NBR 7211 (2009) agregado miúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm ressalvados os limites estabelecidos pela norma, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pelas ABNT NBR NM ISO 3310-1.

2.1.1.2.2 Agregado graúdo

A mesma norma define agregado graúdo como cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos pela norma, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

2.1.1.3 Água

A água utilizada para produção de graute pode ser toda aquelas que são oriundas dos meios naturais, porém é necessária preocupação quanto à qualidade de água no que se refere, por exemplo, águas de rejeitos industriais, água do mar ou água contaminada.

Segundo Paredes e Bronholo (2013, p. 12), o processo de hidratação dos materiais cimentícios ocorre com a:

Transformação da pasta de cimento ou de concreto de líquido a sólido é normalmente observada durante as primeiras horas após a mistura, e inicia quando a primeira estrutura se torna rígida. É geralmente acordado que as reações de hidratação são responsáveis por definir a estrutura deste compósito, mas ainda é desconhecido o processo dessas reações. É importante compreender os processos químicos (hidratação) e microestrutural (consolidação) e de que maneira estes se relacionam durante as primeiras horas de hidratação, podendo assim prever e controlar o comportamento do concreto fresco. Embora o desenvolvimento de produtos de hidratação seja muito lento durante as primeiras horas, imediatamente após o cimento e a água entrarem em contato, uma camada gelatinosa aparece na superfície das partículas. Esta camada espessa à medida que prossegue a hidratação, formando um produto coloidal amorfo rico em óxido de cálcio, sílica e água. Este gel também é rico em alumina e contém quantidades substanciais de sulfato. Depois de umas poucas horas de hidratação, é possível identificar silicato de cálcio hidratado sobre a superfície dos grãos de cimento. (PAREDES; BRONHOLO 2013, p. 12)

2.1.1.4 Aditivo superplastificante

Aditivos são de acordo com a norma NBR 11768 (2011) produtos que adicionados em pequena quantidade modificam algumas das propriedades do material, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.

Fazendo uma analogia do graute com o concreto quanto a utilização dos aditivos superplastificantes, Helene e Andrade (2007) aborda que com o passar do tempo houve a necessidade de materiais mais plásticos de alta resistência e com maior durabilidade, assim surgiu os aditivos superplastificantes que permite ter materiais com essas características e ainda reduzindo a relação água/cimento. O uso desses aditivos provoca mudanças na reologia da pasta, tornando-a mais fluida, pois dispersa as partículas de cimento e faz com que menos água seja necessária para se atingir uma dada trabalhabilidade (FONSECA, 2010).

Os superplastificantes aparecem como aditivos atraentes, pela adição de pequenas quantidades desses aditivos poliméricos pode-se diminuir consideravelmente a quantidade de água necessária para a obtenção da trabalhabilidade desejada e, conseqüentemente, a porosidade, melhorando a durabilidade do concreto (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009). Para garantir as propriedades mecânicas superiores e maior durabilidade necessita-se baixa relação A/C, o que implicaria na redução da trabalhabilidade ou na utilização de um alto teor de cimento para a finalidade desejada (CAMPOS, 2015).

A NBR 11768 (2011) define os aditivos superplastificantes como os produtos que aumentam o índice de consistência do concreto mantendo-se a quantidade de água de mistura constante, ou ainda, como aqueles que possibilitam a redução de pelo menos 12% da água de mistura na produção de um concreto com uma dada consistência. São polímeros orgânicos hidrossolúveis - com moléculas longas e de massa molecular elevada - obtidos sinteticamente por meio de um processo de polimerização complexo (CASTRO; PANDOLFELLI, 2009).

2.1.2 Propriedades do graute no estado fresco e endurecido

Todo projeto de um componente mecânico, ou, mais amplamente, qualquer projeto de engenharia, requer, para sua viabilização, um vasto conhecimento das características, propriedades e comportamento dos materiais disponíveis (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2012). Ainda os mesmos, os critérios de especificação ou escolha de materiais impõem, para a realização dos ensaios, métodos, normalizados que objetivam levantar as propriedades mecânicas e seu comportamento sob determinadas condições de esforços.

Assim, os grautes devem apresentar fluidez, consistência tipo bombeável, baixa ou nenhuma retração e não devem apresentar segregação e exsudação pronunciados (BAUER apud LOTURCO, 2006).

O graute deve ter um bom desempenho e uniformidade em relação à trabalhabilidade e na utilização. Ainda este elemento é utilizado para resolver situações problemáticas, então, torna necessário apresentar uma homogeneidade bem como uma elevada resistência quando o material visa a recuperação estrutural.

2.1.2.1 Trabalhabilidade

Plasticidade, fluidez e segregabilidade são os elementos que determinam a trabalhabilidade; esta não é, pois uma propriedade independente, mas resulta de outras (VERÇOSA, 1975). Ainda o autor, diz que uma trabalhabilidade deve assegurar uma plasticidade máxima, segregabilidade mínima e consistência apropriada.

De acordo com o processo de lançamento e adensamento, a trabalhabilidade é a característica fundamental para que o material sofra um bom processo de adensamento, desse modo, sua consistência deve ser adequada de maneira que não haja o fenômeno de segregação (SILVA, 2015). A trabalhabilidade, como se vê, não é apenas característica inerente ao próprio concreto, como a consistência; envolve também as considerações relativas à natureza da obra e aos métodos de execução adotados (SOBRAL, 2013).

Os principais fatores que afetam a trabalhabilidade são de acordo com Souza (2007): fatores internos (consistência, traço do concreto, granulometria do concreto, forma do grão dos agregados e aditivos) e fatores externos (tipo de mistura, tipo de transporte, lançamento, adensamento, dimensões e armadura da peça a executar).

2.1.2.2 Resistência Mecânica

A resistência é uma das propriedades dos materiais definida como a capacidade de resistir à uma tensão sem que ocorra a ruptura. Metha e Monteiro (2008, p. 49-50) abordam essa propriedade como “a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, sendo definida como a tensão máxima que a amostra de concreto pode suportar. No entanto, as fissuras internas terão atingido um estado avançado tal que o corpo-de-prova não suporte uma carga maior”.

O ensaio de resistência a compressão segundo Garcia; Spim; Santos (2012, p. 76) “consiste na aplicação de carga de compressão uniaxial crescente em um corpo de prova específico. A deformação linear, obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo *versus* a carga de compressão, consiste na resposta desse tipo de ensaio, basicamente utilizado na indústria de construção civil e na indústria de materiais cerâmico”.

Ainda os autores, o ensaio pode ser executado em uma máquina universal com adaptação de duas placas (cabeçotes) lisas e de superfície perpendicular ao eixo de aplicação de carga, uma delas é fixa e a outra, geralmente a superior, é móvel.

2.1.3 Aplicação do graute

O graute pode ser utilizado em diversas atividades relacionados a construção civil pois o seu campo de aplicação é amplo e diversificado. De acordo com Loturco (2006, p. 1), o graute precisa apresentar “características como essas são necessárias para que atenda a finalidades como: preenchimento de vazios em estruturas, encamisamento, reforço e recuperação de estruturas, preenchimento de colunas de alvenaria estrutural, fixação de equipamentos a uma base e ancoragem e chumbamento de tirantes e fixadores, por exemplo”.

Souza (2007) aborda algumas aplicações do graute em atividades da construção civil como por exemplo, reparo de estruturas, alvenaria estrutural, preenchimento dos espaços entre máquinas e os pisos industriais, chumbamentos e fixações, nivelamento de trilhos, reparos em pisos, etc.

Ainda quando se trata de aplicações, diversos produtores brasileiros de grautes em seus relatórios e informes técnicos abordam as aplicações dos produtos fabricados. Dessa forma, mostrando as aplicações de um desses produtores: Sika (2005) na versão 04 SikaFroot® – Argamassa auto-adensável de alta resistência, descreve aplicações para o graute: grauteamento de máquinas e equipamentos, ancoragens de tirantes e chumbadores, reforço de fundações, colunas e vigas de pontes, fixação de placas e tirantes, alvenaria estrutural, pré-moldados, pontes rolantes, compressores, prensas, britadores e reparos de estruturas de concreto em geral.

A figura 2 e a Figura 3 apresenta aplicações do graute em atividades da construção civil.

Figura 2: Aplicações do graute

(a) fixação de estrutura metálica.



(b) fixação de chumbadores.



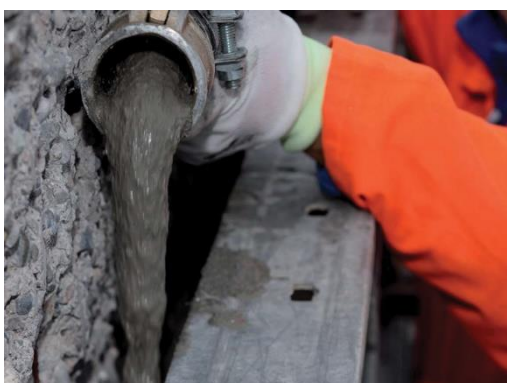
(c) utilização do graute na construção.



(d) fixação de placas e chumbadores.



(e) reparo em estrutura de concreto.



(f) utilização de graute na criação de elementos pré-moldados.



Fonte: DIPROTEC

Figura 3: Preenchimento de blocos estruturais com graute.



Fonte: UFRGS.

2.2 CONCEPÇÃO DE SUSTENTABILIDADE

A problemática ambiental surgiu com o modo de vida dos seres humanos com relação aos padrões de consumo e produção em busca de atender as suas necessidades básicas interferindo o meio ambiente, consequentemente, reduzindo a disponibilidade e qualidade dos recursos naturais. Dessa forma, Agra Filho (2013, p. 697) faz uma abordagem em seu estudo associando o homem, seu modo de vida e ao desenvolvimento sustentável:

Existem inúmeras explicações sobre os motivos históricos, sociais e religiosos que determinaram a postura e as condutas do homem em relação ao ambiente natural. A percepção antropocêntrica da civilização ocidental foi algo incontestável até o século passado. A noção de civilização estava associada ao grau de intervenção humana com o seu saber e sua convicção de superioridade absoluta sobre as coisas naturais. Com o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais poderosas de apropriação dos recursos naturais, a noção de civilização se agrega à perspectiva da produção de riqueza, entendida como a capacidade da sociedade de dispor de bens considerados indispensáveis ao homem civilizado. A capacidade de produzir bens tornou-se, assim, um indicador de riqueza, e os incrementos sucessivos dessa produção passaram a indicar o progresso ou o grau de desenvolvimento das sociedades ou países. A ideia de crescimento da produção de bens materiais emergiu como sinônimo de desenvolvimento. Com essa conotação econômica, todos os esforços foram, a partir de então, destinados ao incremento crescente de meios capazes de elevar os níveis de crescimento econômico como sinônimo de desenvolvimento. (AGRA FILHO 2013, p. 697)

Na acepção mais simples do termo, a sustentabilidade é o conjunto de práticas adotadas para obter-se ou utilizar um recurso com base nas medidas necessárias para que não se esgote ou seja prejudicado de forma irreversível (DAVIS; MASTEN, 2016). Ainda os autores, a sustentabilidade pode ser interpretada de muitas diferentes perspectivas: a

ecológica, a econômica, a global, a regional, a nacional, a local, a dos países em desenvolvimento, a dos países desenvolvidos, e a perspectivas da justiça social.

Conforme a definição partida da discussão na Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (1987), o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades atuais, sem comprometimento à capacidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades.

O desenvolvimento se concentra na minimização do consumo de recursos mediante o aumento da eficiência dos processos, de reúso e de reciclagem, além da substituição de recursos não renováveis por recursos renováveis (DAVIS; MASTEN, 2016).

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura - AsBEA, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS e outras instituições apresentam diversos princípios básicos da construção sustentável, dentre os quais se destacam: aproveitamento de condições naturais locais, utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural, implantação e análise do entorno, não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar, qualidade ambiental interna e externa, gestão sustentável da implantação da obra, adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários, uso de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo, redução do consumo energético, redução do consumo de água, reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos, introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável, educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

Sob o prisma da sustentabilidade, materiais e resíduos devem ser tratados conjuntamente, pois a correta seleção e utilização de materiais reduzem a geração de resíduos, bem como os impactos por ela ocasionados (FONSECA, 2010). Ainda o autor, podemos perceber que, nos últimos anos, há uma busca cada vez maior por uma evolução da indústria do cimento e do concreto pela via do desenvolvimento sustentável – destacadamente nas áreas de proteção climática (estratégias para mitigar as alterações climáticas), produtividade dos recursos, redução das emissões, inovação e gestão ambiental.

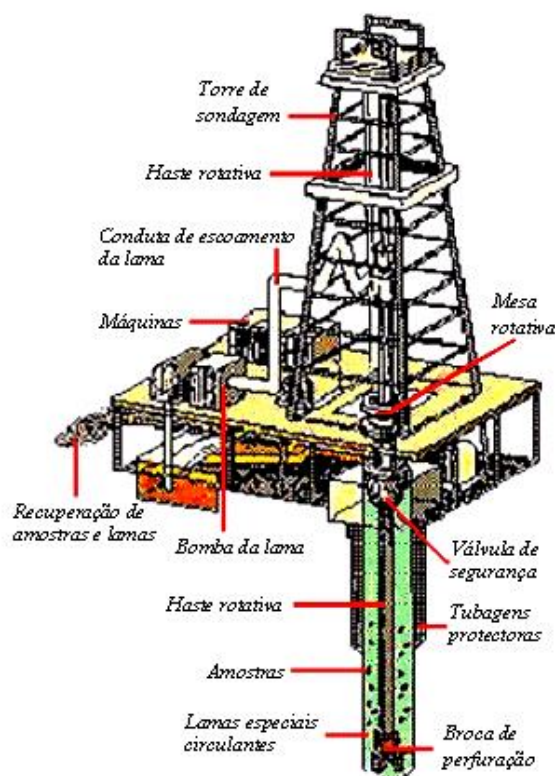
Não obstante disso, é possível observar, em meio a tantas novas tecnologias e novas práticas que cercam as indústrias envolvidas nas construções de edifícios residenciais e comerciais, que há adaptação técnica e teórica das construtoras quando o assunto é sustentabilidade (DESCHAMPS, 2017). O mesmo afirma que estas novas práticas tendem a crescer entre as empresas da construção civil, isto se deve principalmente à adequação ao mercado sustentável, além de ser uma estratégia de mercado resultando em uma diferenciação nos seus produtos.

2.2.1 Processo de geração dos resíduos da perfuração de poços de petróleo

A atividade de perfuração de poços de petróleo é imprescindível para a confirmação da existência de hidrocarbonetos no reservatório com viabilidade econômica de produção, bem como para propiciar a sua produção, uma vez que após a perfuração do poço, este é equipado para produção, confirmada sua economicidade (PAULA, 2014).

A perfuração de um poço de petróleo é realizada através de uma sonda de perfuração, uma grande estrutura (Figura 4) que contém diversos equipamentos responsáveis pela construção do poço (FIALHO, 2012).

Figura 4: Esquema simplificado de uma sonda.



Fonte: Amaral, 2012.

Os métodos de perfuração de poços de petróleo são descritos por Pires (2009, p. 23-24):

O método de perfuração rotativa é o mais empregado pela indústria do petróleo, embora atualmente exista a combinação do rotativo e percussão. Nele uma torre de perfuração fica apoiada sobre uma superestrutura, onde localiza-se a chamada mesa rotativa. Esta mesa sustenta e comunica um torque à coluna de perfuração, formada por diversos tubos conectados entre si com uma broca cortante em sua extremidade, o avanço da broca perfura as

formações geológicas sobrejacentes em direção aos potenciais reservatórios. Ao avanço da perfuração, a coluna de perfuração é aumentada a partir da superfície. Durante a perfuração a broca lança um fluido que circula pelo poço, chamado de fluido de perfuração, este retorna à superfície através do espaço anular entre a coluna de perfuração e a parede do poço, carreando a rocha triturada que é denominada cascalho de perfuração. PIRES (2009, p. 23-24).

Enfatizando a obtenção do cascalho sobre a superfície Schaffel (2002) aborda o sistema de circulação durante o processo, sendo o fluído o responsável por remover de dentro do poço os fragmentos de rocha (cascalhos) formados pela broca, transportando-os para a superfície junto com a lama de perfuração, desobstruindo a passagem da broca. Ainda a autora, o cascalho que chega à superfície constitui importante material de pesquisa para os geólogos, fornecendo informações a respeito das formações perfuradas.

2.2.2 Importância da utilização do resíduo da perfuração de poços de petróleo para o Desenvolvimento Sustentável

Segundo o Cenário e Projeções Estratégicas da Construção Civil lançado pelo SEBRAE (2016, p. 4) “A indústria da construção é um dos setores mais representativos do país. Sua cadeia produtiva reúne construtoras, fabricantes e comerciantes de materiais, máquinas e equipamentos, serviços técnicos especializados, serviços imobiliários e consultorias de projetos, engenharia e arquitetura. A atividade movimenta diversas áreas e exerce influência direta e indireta no resultado econômico do Brasil. Sendo assim, a capacidade produtiva e o desenvolvimento nacional estão diretamente relacionados ao desempenho do setor. Além disso, a cadeia de construção tem importante papel social, pois cria oportunidades de trabalho para uma faixa da população com baixa escolaridade e pouca qualificação profissional”.

Ainda o que mostra no cenário é que a cadeia da construção teve uma expansão até o ano de 2012, resultado influenciado pelos programas Minha Casa, Minha Vida e de Aceleração do Crescimento (PAC), mas que posteriormente o setor teve um desaquecimento entre o final de 2015 e início de 2016. Atualmente, a construção civil é fortemente significativa na economia mundial e brasileira, representando o 3º trimestre de 2017 uma parcela do PIB com taxa acumulada ao longo do ano em relação ao mesmo período do ano uma queda de 6,1%, segundo os dados do IBGE – Contas Nacionais Trimestrais. Assim, Brasileiro e Matos (2015, p. 178), este é um dos ramos que mais contribuem para o desenvolvimento econômico e social do país, porém “a cadeia produtiva da construção civil

consome entre 20 e 50% dos recursos naturais de todo o planeta”. Devido a este número alto de participação suas atividades e seus impactos são refletidos diretamente no meio ambiental e social em que estão inseridas (DESCHAMPS, 2017).

No pensamento em relação ao meio ambiente, o Ministério de Meio Ambiente (2014) expõe que reconhecidamente, o setor da construção civil tem papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. O Conselho Internacional da Construção – CIB aponta a indústria da construção como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais. Além dos impactos relacionados ao consumo de matéria e energia, há aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente.

Dessa forma, esses fatores contribuem para alteração da qualidade do meio ambiente. Em virtude da grande relevância das questões ligadas à preservação do meio ambiente e da qualidade de vida, surge a necessidade de buscar novos conceitos e soluções dentro de uma visão de sustentabilidade e comprometimento com a questão ambiental; sendo assim, a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos constituem-se como preocupação nacional, e mesmo mundial; um exemplo disso é que um dos maiores problemas da sociedade moderna é a destinação final dos resíduos sólidos industriais (ANICER, 2011).

Com o progresso nas legislações ambientais e a crescente conscientização dos produtores em relação ao meio ambiente, tem-se hoje uma percepção cada vez maior da necessidade de redução de resíduos gerados no processo de fabricação, impedindo danos aos seres humanos e a natureza (SANTOS, 2016). Não só o processo de fabricação, mas também se referindo as atividades de extração e exploração do meio natural, hoje por questão de sustentabilidade, o conceito de utilizar resíduos gerado de atividades diferentes a da qual se produz ganha uma nova forma dentro das empresas de materiais. Neste caso, a utilização dos resíduos de perfuração de poços de petróleo pode ser um exemplo disso.

2.2.2.1 Utilização dos resíduos da perfuração de poços de petróleo

Fialho (2012) estudou o Cascalho de perfuração de poços de petróleo e gás - estudo do potencial de aplicação em concreto e verificou que a substituição dos cascalhos da primeira fase de perfuração por areia altera a reologia do concreto fresco, mas não compromete as

propriedades mecânicas. O concreto torna mais poroso e a formação dos hidratados ocorre de forma mais lenta quando adiciona o cascalho da terceira fase de perfuração. Também, não foi identificado cloretos livres nas amostras de concreto.

A mesma autora juntamente com outros autores – Fialho et al. (2012) analisaram a substituição de areia em concretos por resíduos da perfuração de poços de petróleo e perceberam que a substituição altera a trabalhabilidade do concreto, indicando a possibilidade de utilização em materiais de construção a base de cimento.

Paula (2014) avaliou o resíduo de cascalho de perfuração de poços de petróleo da bacia potiguar e alternativas para sua destinação e reaproveitamento, conclui-se que possui uma viabilidade ambiental tanto de sua destinação em aterros sanitários, como de sua reciclagem como matéria prima na indústria da construção civil, sugerindo-se como melhor alternativa o coprocessamento do resíduo de cascalho de perfuração em fornos de clínquer para fabricação de cimento.

Silva et al. (2015) estudaram a incorporação de resíduos sólidos da perfuração de poços de petróleo em pastas de cimento e os resultados mostraram que adição do cascalho de 15% a 20% promoveu efeitos positivos nos parâmetros reológicos e nos valores de resistência à compressão.

Barros (2015) pesquisou sobre a incorporação do resíduo de cascalho de perfuração de poços de petróleo em formulações cerâmicas e os resultados mostraram que é possível a utilização do resíduo para a fabricação de produtos da cerâmica vermelha (telhas, tijolos maciços e tijolos furados) substituindo-se a argila em até 40%, atendendo aos requisitos exigidos pela norma e pela literatura para as propriedades tecnológicas do produto final.

Capítulo 3

METODOLOGIA

Neste capítulo será exposto os métodos, os materiais e as normatizações utilizadas durante toda a pesquisa, associado aos objetivos lançados ao estudo. Serão descritos todo o planejamento e etapas do trabalho.

A pesquisa envolveu três etapas (Figura 5). Na primeira, realizou-se um estudo na literatura, na segunda se deu com a visita a empresa pesquisada, na preparação e caracterização dos materiais, coleta do resíduo, realização dos ensaios laboratoriais e produção dos corpos de provas. A terceira etapa constituiu na análise e discussão sobre das propriedades e caracterização dos grautes manipulados.

Figura 5: Metodologia adotada na pesquisa.



Fonte: Autor, 2018.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Resíduo de perfuração de poços de petróleo

O cascalho (Figura 6) utilizado neste trabalho é proveniente da PETROBRAS (unidade operacional RN/CE).

Figura 6: Resíduo de perfuração de poços de petróleo.



Fonte: Autor, 2018.

O cascalho, inicialmente, foi peneirado na peneira #4,8 mm para ficar com dimensão de grãos semelhante ao da brita 0 (o material que será substituído), após esse procedimento foi armazenado em um tambor com água, para saturação do cascalho.

3.1.1.1 Análise química

O processo metodológico para realização da análise química foi o mesmo utilizado por Leitão et al. (2012, p. 3), visto que a condição do ensaio é seguida igualmente, tanto no material quanto os equipamentos: “Visando obter informações sobre os elementos que poderiam estar presentes e seu percentual, a espectrofotometria por fluorescência de raios-x, foi realizada utilizando a amostra passante na peneira #200. Foram tomadas amostras representativas de 5 g cada conforme exigido para a realização da análise química. Para a análise foi necessária uma preparação na amostra utilizando pastilhas. A pastilha teve como aglutinante o ácido bórico (H_3BO_3) numa proporção de 5:1 (ácido bórico/amostra), onde posteriormente foi homogeneizada e prensada com uma carga de 15000lb com um tempo de pressão de 1 minuto, usando uma matriz de aço inox com o diâmetro de 30 mm, esse procedimento foi feito baseado em um padrão interno do equipamento para com a preparação de amostras. A análise de FRX foi realizada num equipamento da marca Shimadzu modelo

XRF-1800 sequencial, empregada a metodologia de dispersão por comprimento de onda (WD-XRF), sendo sua faixa de detecção do sódio (Na - Z=11) ao urânio (U - Z=92) e radiação $RhK\alpha$ ($\lambda = 0,615\text{\AA}$)". Vale ressaltar que o ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais da UFRN.

3.1.1.2 Análise Mineralógica

O processo metodológico para realização da análise mineralógica foi o mesmo utilizado por Leitão et al. (2012, p. 3-4), visto que a condição do ensaio é seguida igualmente, tanto no material quanto os equipamentos: Na difração de Raios-X, para a identificação e quantificação das fases minerais são aplicados métodos computacionais de simulação de difratogramas. Para esta análise foi utilizada partícula inferior a #200 mesh e separada amostra representativa.

As amostras foram caracterizadas por Difração de Raios X em um equipamento da marca Shimadzu, modelo XRD 6000 do Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais da UFRN, utilizando uma fonte de radiação de Cu- $K\alpha$ com voltagem de 40 kV, corrente de 30 mA e filtro de Ni. Os dados foram coletados na faixa 2θ de 5 a 100 graus e com uma velocidade de 1grau/min.

3.1.2 Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos (CP V ARI RS), da marca Apodi. A escolha desse aglomerante se deu em virtude de os materiais produzidos neste estudo ser caracterizado por uma alta resistência inicial, sendo um fator determinante, pois o graute além de ser um material fluído tem que possuir resistências elevadas nas primeiras horas de aplicação.

Sua aquisição se deu através da coleta do material em um caminhão granel. O material foi recolhido com uma pá e ensacado em sacos de plásticos (Figura 7), com suporte de aproximadamente 25 Kg. Para preparação do graute, foi utilizado apenas 60 Kg de cimento.

Figura 7: Armazenamento do cimento em sacos plástico.



Fonte: Autor, 2018.

A empresa fornecedora do cimento realizou ensaios de caracterização física, química e mecânica para o cimento Portland de sua produção segundo as normas da ABNT, os dados foram obtidos através de relatórios técnicos enviado a empresa parceira, através deste pode-se analisar a viabilidade da utilização do cimento através dos resultados desses ensaios:

- Determinação do índice de finura;
- Determinação do tempo de início e fim de pega;
- Determinação da expansibilidade a quente;
- Determinação da resistência à compressão axial;
- Determinação da massa específica real.

3.1.3 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos utilizados na mistura foi uma areia quartzosa de origem natural, adquirida depois dos peneiramentos realizados dentro da empresa, são provenientes de jazidas localizadas no Município de Assú/RN.

Foram coletados cerca de 55 Kg de areia 1 e 35 Kg de areia 2, acondicionados em sacos plásticos. Para os materiais submetidos aos ensaios de caracterização, foram encaminhados a uma estufa a 110 °C por um período de 24 horas.

Foi realizada uma análise granulométrica em conformidade com as prescrições da NBR NM 248/2003 com o intuito de se classificar o agregado de acordo com o tamanho de suas

partículas. Além disso, procedeu-se com os ensaios de determinação da massa específica real com a norma NBR NM 52/2009.

3.1.4 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado nesta pesquisa foi uma brita granítica adquirida em loja de materiais de construção proveniente de jazidas localizadas na região.

Foram coletados cerca de 25 Kg de agregado, acondicionados em sacos plásticos. Para o material que iam ser submetidos aos ensaios de caracterização, foram encaminhados a uma estufa a 110 °C por um período de 24 horas. Este material passou por processo de caracterização quanto a análise granulométrica, segundo a NBR NM 248/2003, além de massa específica real e massa unitária segundo as normas NBR NM 53/2009 e NBR NM 45/2006, respectivamente.

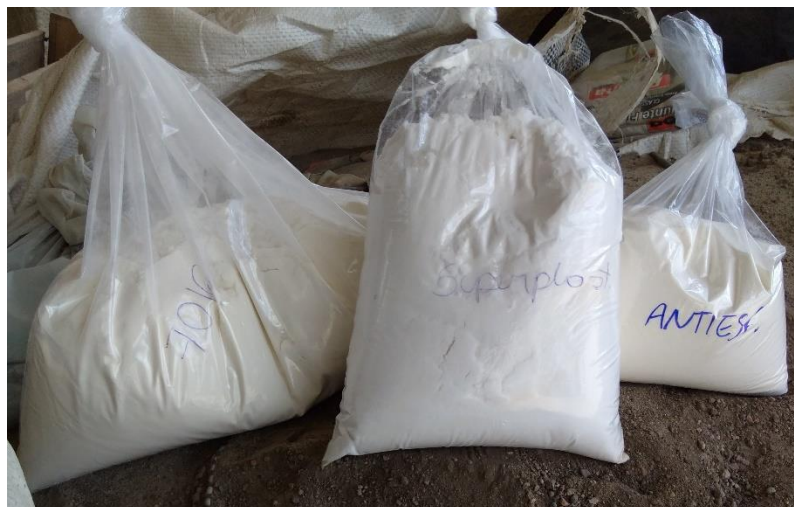
3.1.5 Água

A água utilizada para a confecção dos corpos de provas do graute desta pesquisa foi proveniente da concessionária local (CAERN).

3.1.6 Aditivos

Os aditivos (Figura 8) utilizados para produção dos grautes foram todos em estado sólido, o primeiro é um superplastificante a polímero sintético usado como dispersante para sistemas cimentícios com a finalidade de reduzir a quantidade de água e melhorar as propriedades mecânicas, através de uma melhor hidratação do cimento. O segundo é um antiespumante tensoativo composto por ácidos graxos e derivados etoxilados que evita e controla a formação de bolhas de ar durante a mistura. E para finalizar a combinação de aditivos, o último é um pó de polímero dispersível composto por éster vinílico, etileno e metacrilato de metila e possui um efeito plastificante instantâneo.

Figura 8: Aditivos.



Fonte: Autor, 2018.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.2.1 Confeção dos corpos de provas

3.2.1.1 Escolha do traço

Para a realização dessa pesquisa baseou-se na confecção e estudo de dosagens de concretos de alta resistência à base do cimento Portland, quando se trata de produtos de alta resistência a relação água cimento tem que ser um valor baixo, com o valor máximo limitado a 0,40 segundo Guimarães (2002). A empresa parceira já em seus estudos, pesquisas e meios técnicos propôs um traço base com proporções em massa de 1:1,375:0,125 (cimento, areia e brita), para uma relação água cimento de 0,40. Vale ressaltar que esse valor da areia na fração do traço é o somatório em massa das duas granulometrias de areia (areia 1 e areia 2).

Foi proposto um novo traço pelo autor, uma vez que, fez-se uma estimativa ótima através de uma planilha cedida, onde as análises são feitas através das faixas granulométricas de cada agregado, posteriormente utilizou o comando solver. Assim, determinou-se que para areia 1 deveria ser adicionado 62,37% da massa do agregado miúdo, e já para a areia 2 o correspondente de 37,63% em cima da fração em massa lançada pela empresa. Além disso, sugeriu-se triplicar a massa do agregado graúdo e reduzir a relação água cimento para 0,35. Dessa forma, o traço base ficou com proporções em massa de 1:1,375:0,375 (cimento, areia e brita), para uma relação água cimento de 0,35.

O valor baixo da relação água cimento além de obedecer a literatura tem em mente a utilização mecânica para realizar a mistura dos materiais, pois a betoneira tem uma maior energia de rotação, proporcionando uma maior homogeneidade e possivelmente um maior trabalhabilidade na mistura. Para deixar a mistura caracterizada como graute foi-se utilizado os aditivos plastificantes para se atingir uma excelente trabalhabilidade e uma boa fluidez da massa.

Os teores de resíduo substituído durante o processamento do graute se deram em valores de 10% e 20% em relação a massa do agregado graúdo (brita 0), além de que o traço de referência possui 0% de resíduo. A Tabela 1 e a Tabela 2 mostra os traços em massa propostos na pesquisa, tanto pela empresa quanto pelo autor.

Tabela 1: Traço unitário em massa proposto pela empresa.

Concreto	Cimento	Areia	Brita	Água/Cimento	RPP	Aditivos
CP - R	20,00 Kg	27,50 Kg	2,50 Kg	0,40	0,00 Kg	0,8585 Kg

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 2: Traço unitário em massa proposto pelo autor.

Concreto	Cimento	Areia	Brita	Água/Cimento	RPP	Aditivos
CP - R	20,00 Kg	27,50 Kg	7,50 Kg	0,35	0,00 Kg	0,8585 Kg
CP - 10%	20,00 Kg	27,50 Kg	6,75 Kg	0,35	0,75 Kg	0,8585 Kg
CP - 20%	20,00 Kg	27,50 Kg	6,00 Kg	0,35	1,50 Kg	0,8585 Kg

Fonte: Autor, 2018.

De acordo com as normas técnicas vigentes que regulamentam a realização dos ensaios de caracterização dos materiais e os de desempenho nos concretos, que são as mesmas aplicável para o graute no estado fresco ou endurecido, foram verificadas as quantidades mínimas de corpos de prova necessários. Na Tabela 3 são apresentados os ensaios realizados, juntamente com a quantidade de corpos de provas mínimo e a norma utilizada.

Para o traço da empresa foram produzidos 24 (vinte e quatro) corpos de provas com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, já no traço do autor foi produzido 12 (doze) corpos de provas para o traço referência e para as demais substituições.

Tabela 3: Quantitativo de corpos de prova utilizados para a pesquisa.

Utilização	Quant. de CP's	Norma
Resistência à compressão com 3 dias	3	NBR 5738/2015
Resistência à compressão com 7 dias	3	NBR 5738/2015
Resistência à compressão com 28 dias	3	NBR 5738/2015
Resistência à compressão com 28 dias (sem cura)	3	NBR 5738/2015

Fonte: Autor, 2018.

3.2.2 Produção dos corpos de provas

Para a produção dos corpos de provas, inicialmente, os materiais constituintes, cimento, areia 1, areia 2, brita 0 e água foram pesados individualmente, em balança digital da marca Marte, modelo MS 30K1, com capacidade de carga de 30 Kg e resolução de 10 g e então armazenados em sacos plásticos para posteriormente realizar a produção dos grautes. Já o resíduo foi pesado em uma balança de maior precisão, tendo em vista a utilização de pequenas quantidades, da marca Shimadzu com capacidade de carga de 3200 g e resolução de 0,1 g. Já para mistura dos materiais foi realizada em uma betoneira com tampa (Figura 9) de eixo giratório manual e de queda gravitacional.

Figura 9: Betoneira com tampa.



Fonte: Autor, 2018.

O procedimento para produção do graute estudado segue o padrão adotado pela empresa e a introdução dos materiais na betoneira e moldagem dos corpos de prova seguiram a seguinte ordem:

- a) Com a betoneira desligada, inicialmente, colocou-se a toda areia 2;
- b) Em seguida, introduziu-se toda a areia 1;
- c) Todo o agregado graúdo;
- d) Posteriormente, adicionou-se o cimento. Para os traços em que tiveram a substituição, adicionou-se o RPP;
- e) Colocou-se todos os aditivos;
- f) Com a inserção de todos os materiais, a betoneira foi tampada e posteriormente ligada, em movimento giratório, por um período de 10 minutos, promovendo assim a homogeneização da mistura.
- g) Desligou-se a betoneira e a abriu;
- h) Acrescentou-se toda água e deixou operando por cerca de 3 minutos;
- i) Com os moldes cilíndricos devidamente montados e lubrificados, realizou-se a moldagem dos corpos de prova segundo as especificações da NBR 5738/2015, o adensamento ocorreu sem utilização do soquete manual e vibração, pois a mistura era bem fluída;
- j) Após a moldagem, os moldes foram deixados em repouso durante 24 horas em um galpão aberto protegido do sol e ventilado.
- k) Após o período de 24 horas, houve o desmolde dos corpos de provas. Alguns foram submetidos ao processo de cura por submersão até a data de realização dos ensaios para o concreto no estado endurecido e para o caso dos corpos de provas que serão avaliados aos 28 dias sem cura, eles estão em um lugar aberto.

3.2.3 Ensaio de consistência

O ensaio de consistência foi realizado de acordo com a NBR NM 67/1996 que determina a consistência pelo abatimento do tronco de cone em estado fresco.

3.2.4 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a NBR 5739/2007 em corpos de prova cilíndricos nas idades de 3,7 e 28 dias para os corpos de prova que foram submetidos a cura por submersão e 28 dias para aqueles que estavam em local aberto –

simulando o cotidiano das construções – passaram por processo de regularização da superfície em máquina retificadora da marca Pavitest, modelo I3064 para se evitar eventuais cargas pontuais durante a ruptura.

O equipamento utilizado para a ruptura dos corpos de provas foi uma máquina de Ensaio Mecânico da marca EMIC, modelo PC200CS, com capacidade de carga de 100t, do laboratório de Construção Civil do IFRN.

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados analisando a potencialidade de substituição parcial do agregado graúdo por RPP em graute estrutural através dos ensaios realizados durante toda a pesquisa e a caracterização dos constituintes (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, e RPP). Em seguida, os resultados dos ensaios de desempenho nos grautes nos estados fresco e endurecido.

De acordo com as diversas variáveis estudadas, verifica-se as alterações nos traços produzidos com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo em relação ao traço de referência. Com isso, tornou-se possível verificar se os resultados satisfazem o que é regido pelas normas e pela literatura levando-se em consideração as propriedades abordadas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ORIUNDO DA PERFURAÇÃO DE POÇO DE PETRÓLEO

4.1.1 Faixa granulométrica

Para o RPP foi feito um peneiramento previamente e a granulometria utilizada nas substituições do agregado graúdo são aqueles resíduos retidos na peneira 4,8mm e passante na 6,3mm. Com essa determinação dessa faixa granulométrica, a dimensão máxima característica do material foi de 4,8 mm, o que se confirma com a análise visual, pois o este tem uma granulometria em tamanho intermediário.

4.1.2 Análise química

As porcentagens de cada componente identificados no ensaio de Fluorescência de Raios X estão apresentados na Tabela 4. É possível visualizar que o resíduo é composto principalmente pelos elementos Silício, Ferro e Cálcio, que representam juntos cerca de 84% da amostra. Ainda consta Alumínio Bário, Potássio, Manganês, Magnésio, Estrôncio e Cloro com teores somados na faixa de 16%. Além disso, outros elementos como Enxofre, Cromo e Zinco estiveram presentes com teores inferiores a 1%.

Tabela 4: Análise química do RPP.

Elementos	%
Si	34,218
Fe	27,587
Ca	21,738
Al	7,580
Ba	2,834
K	1,652
Mn	1,191
Mg	1,183
Sr	0,752
Cl	0,521
S	0,404
Cr	0,228
Zn	0,111

Fonte: BQMIL¹, 2017.

Toledo (2014, p. 48-50) afirma que “O resíduo é principalmente constituído por rocha e solo perfurados: materiais naturais da crosta terrestre e onde é esperada a ampla ocorrência destes minerais. O óxido de cálcio presente no resíduo decorre da formação geológica eminentemente calcária da região de perfuração dos poços. Conforme a literatura analisada, o principal metal pesado presente é o Bário, utilizado para aumentar a densidade da lama de perfuração”.

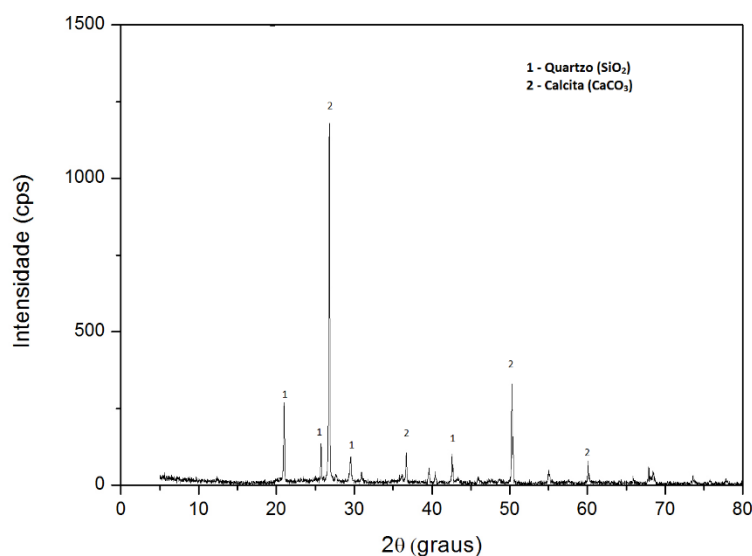
Destaca-se ainda, a presença de bário na amostra avaliada, elemento que constitui a barita (SANTOS; MAGALHÃES; DIAS, 2016). Ainda os mesmo autores, é conhecido que a barita ($\text{Ba}(\text{SO})_4$) é adicionada aos fluidos de perfuração para aumentar sua densidade propiciando propriedades adequadas para o controle da pressão hidrostática no interior dos poços.

¹ BQMIL, Brasil Química e Mineração Industrial LTDA. **Caracterização e Desenvolvimento de Aplicações de Cascachos de perfuração oriundos da Indústria de petróleo e gás em concretos**. Mossoró, 2017.

4.1.3 Análise mineralógica

O resultado do ensaio de difração de Raios X aplicado ao resíduo está mostrado na Figura 10. A amostra do resíduo apresentou como fases cristalinas a calcita e o quartzo.

Figura 10: Difratoograma da amostra de RPP.



Fonte: BQMIL², 2017.

Toledo (2014) apresenta uma análise mineralógica apresentada na Tabela 5 entre o resíduo utilizado no seu estudo e os resíduos de perfuração onshore utilizados nas pesquisas de Lucena et al. (2007), Pires (2009), Marques (2010) e Medeiros (2010).

Tabela 5: Comparativo dos resultados dos ensaios de DRX.

AMOSTRA	FASES MINERAIS IDENTIFICADAS
Resíduo – trabalho presente	Quartzo Calcita
Resíduo – TOLEDO (2014)	Quartzo Calcita Dolomita Barita Caulinita Alumina Anortita

² BQMIL, Brasil Química e Mineração Industrial LTDA. **Caracterização e Desenvolvimento de Aplicações de Cascalhos de perfuração oriundos da Indústria de petróleo e gás em concretos.** Mossoró, 2017.

Resíduo - LUCENA et al. (2007)	Quartzo Calcita Caulinita Magnesita Mica
Resíduo - MARQUES (2010)	Quartzo Calcita Caulinita Magnesita Mica
Resíduo - MEDEIROS (2010)	Quartzo Calcita Microclinio Caulinita
Resíduo - PIRES (2009)	Quartzo Calcita Ilita Caulinita Barita Mica Muscovita Biotita

Fonte: Toledo, 2014. Adaptada.

Pode-se analisar que em todos os resíduos submetido a Difração de Raios-X apresenta os compostos presente no resíduo estudado, o Quartzo e a Calcita. Vale ressaltar que Lucena, Marques e Medeiros obtiveram os resíduos extraídos em bacias potiguares.

4.2 CIMENTO

O resultado dos ensaios de caracterização física, química e mecânica para o cimento Portland está no ANEXO A e são mostrados através das Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 6: Ensaaios químicos.

ENSAIO	NBR	UNIDADE	RESULTADO	ESPECIFICAÇÃO NBR 5733
Perda ao Fogo – PF	NM 18	%	4,21	$\leq 4,5$
Óxido de Magnésio – MgO	NM 11-2	%	5,16	$\leq 6,5$
Anidrido Sulfúrico – SO₃	NM 16	%	3,24	$\leq 3,5$
Resíduo Insolúvel – RI	NM 15	%	0,78	$\leq 1,0$
Anidrido carbonico - CO₂	5733	%	2,30	$\leq 3,0$

Fonte: Apodi, 2018.

O óxido de magnésio é um dos constituintes fundamentais do cimento e o anidrido sulfúrico é utilizado em sua produção para retardar o tempo de pega do produto, estes elementos atenderam as especificações da NBR 5733.

Tabela 7: Ensaaios físicos e mecânicos.

ENSAIO	NBR	UNIDADE	RESULTADO	ESPECIFICAÇÃO NBR 5733
Área Específica (Blaine)	16372	cm ² /g	4238	≥ 3000
Massa Específica	NM 23	g/cm ³	3,10	Não Aplicável
Finura – Resíduo (#200)	11579	%	0,7	$\leq 6,0$
Finura – Resíduo (#400)	12826	%	5,3	Não Aplicável
Água de Consistência	NM 43	%	27,7	Não Aplicável
Início de Pega	NM 65	h:min	2:45	≥ 1
Fim de Pega	NM 65	h:min	3:45	≤ 10
Expansibilidade de Le Chatelier – A quente	11582	mm	0,00	≤ 5

Fonte: Apodi, 2018.

O cimento utilizado apresenta uma massa específica de 3,10 g/cm³, sendo um valor bastante abordado na literatura. E ainda um início e fim de pega permitido de acordo com as especificações da NBR 5733.

Tabela 8: Resistência à compressão (MPa) – NBR 7215.

IDADE (dias)	MÉDIA	ESPECIFICAÇÃO NBR 5733
1	28,2	$\geq 14,0$ MPa
3	39,0	$\geq 24,0$ MPa
7	45,6	$\geq 34,0$ MPa
28	52,6	-

Fonte: Apodi, 2018.

Todos os resultados apresentados nas tabelas apresentaram resultados satisfatórios de acordo com as especificações imposta pela norma. A resistência à compressão apresenta uma média de 52,6 MPa sendo consideravelmente um valor elevado a esta propriedade, mas vale ressaltar que o cimento é de alta resistência inicial (RS).

4.3 AGREGADO MIÚDO

4.3.1 Análise granulométrica

Na Tabela 9 mostra o resultado do ensaio de granulometria da areia 1 utilizada na produção dos grautes realizado de acordo com a NBR NM 248/2003. A Areia 1 é caracterizada como um agregado miúdo resultante depois do processo de peneiramento feito pela a empresa parceira, atualmente, conhecida como areia utilizada em argamassa industrializada. Também foram determinados o módulo de finura e dimensão máxima característica do agregado.

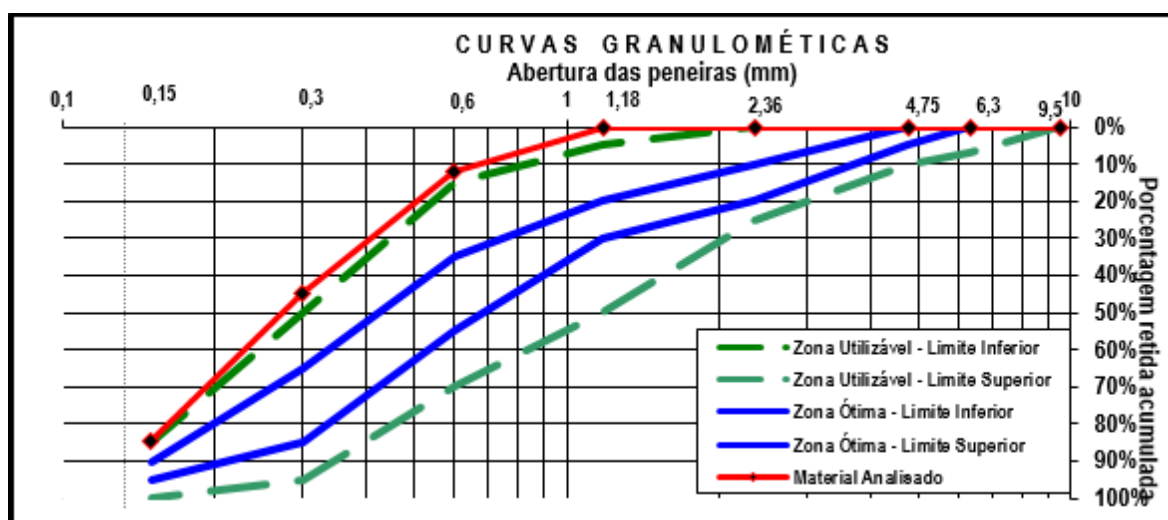
Tabela 9: Composição granulométrica da areia 1.

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida acumulada (%)
9,5	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00
4,75	0,00	0,00	0,00
2,36	0,00	0,00	0,00
1,18	0,03	0,01	0,01
0,6	60,03	12,01	12,01
0,3	164,05	32,81	44,82
0,15	197,75	39,55	84,37
Fundo	78,15	15,63	100,00
Total	500,00	100,00	-

Fonte: Autor, 2018.

A partir da análise granulométrica, verificou-se que a areia 1 possui um módulo de finura igual a 1,41 e um diâmetro máximo característico igual a 1,18mm. O comportamento granulométrico do agregado estudado está demonstrado através da curva granulométrica exposta na Figura 11.

Figura 11: Curva granulométrica da areia 1.



Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 10 mostra o resultado do ensaio de granulometria da areia 2 utilizada na produção dos grautes realizado de acordo com a NBR NM 248/2003. A Areia 2 é caracterizada como um agregado miúdo resultante depois do processo de peneiramento feito pela a empresa parceira, porém ela conhecida por ser um dos rejeitos das peneiras utilizadas durante o procedimento. Também foram determinados o módulo de finura e dimensão máxima característica do agregado.

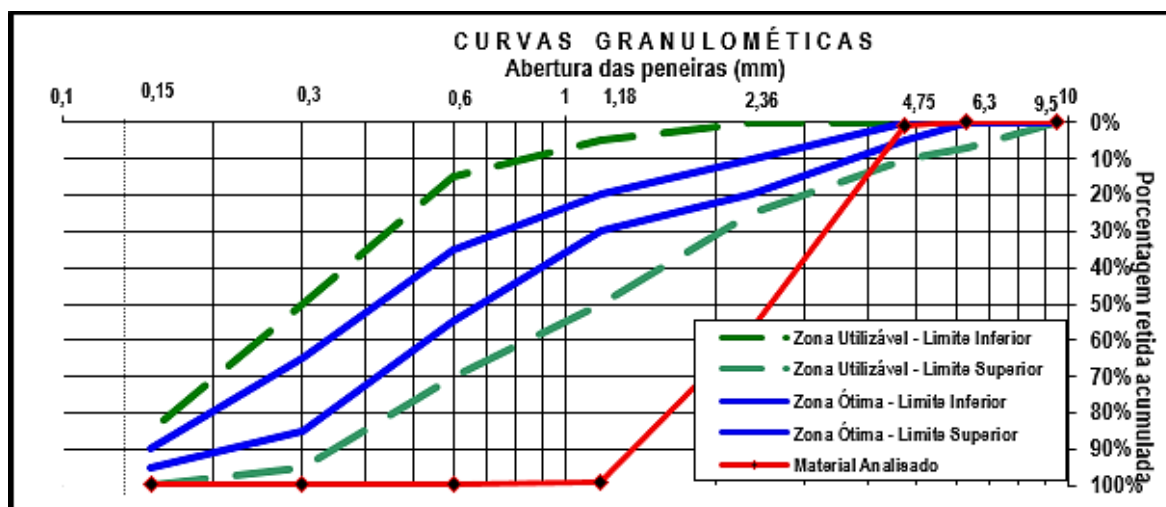
Tabela 10: Composição granulométrica da areia 2.

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida acumulada (%)
9,5	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00
4,75	4,49	0,90	0,90
2,36	279,45	55,89	56,79
1,18	212,03	42,41	99,19
0,6	2,51	0,50	99,70
0,3	0,10	0,02	99,72
0,15	0,10	0,02	99,74
Fundo	1,32	0,26	100,00
Total	500,0	100,0	-

Fonte: Autor, 2018.

A partir da análise granulométrica, verificou-se que a areia 2 possui um módulo de finura igual a 4,56 e um diâmetro máximo característico igual a 4,75mm. O comportamento granulométrico do agregado estudado está demonstrado através da curva granulométrica exposta na Figura 12.

Figura 12: Curva granulométrica da areia 2.



Fonte: Autor, 2018.

Já na Tabela 11 mostra o resultado da junção da areia 1 e da areia 2 utilizada na produção dos grautes realizado de acordo com a NBR NM 248/2003. Também foram determinados o módulo de finura e dimensão máxima característica entre elas.

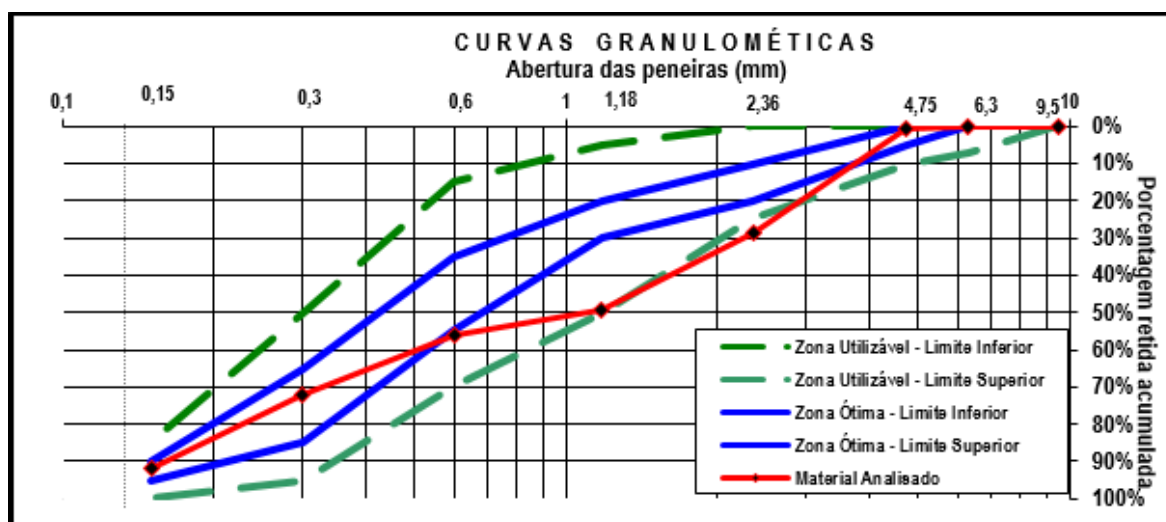
Tabela 11: Composição granulométrica da areia 1 e da areia 2.

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa Retida – Areia 1 (g)	Massa Retida – Agregado 2 (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida (%)	Massa Retida acumulada (%)
9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,75	0,00	4,49	0,00	0,90	0,45
2,36	0,00	279,45	0,00	55,89	28,39
1,18	0,03	212,03	0,01	42,41	49,60
0,6	60,03	2,51	12,01	0,50	55,85
0,3	164,05	0,10	32,81	0,02	72,27
0,15	197,75	0,10	39,55	0,02	92,05
Fundo	78,15	1,32	15,63	0,26	100,00
Total	500,00	500,0	100,00	100,0	-

Fonte: Autor, 2018.

A partir da análise granulométrica, sabe-se que para ter o módulo de finura para este caso é a média aritmética entre os dois materiais, resultando em 2,99 e um diâmetro máximo característico é o máximo entre os agregados, sendo igual a 4,75mm. O comportamento granulométrico dos agregados estudados estão demonstrados através da curva granulométrica exposta na Figura 13.

Figura 13: Curva granulométrica da areia 1 e areia 2.



Fonte: Autor, 2018.

É possível visualizar que os agregados possuem sua granulometria inserida na zona utilizável superior como descrita pela NBR 7211/2005. Sendo os limites do módulo de finura desta zona 2,90 a 3,50. A título de informação, os limites da zona ótima variam de 2,20 a 2,90. De acordo com o módulo de finura da união dos dois materiais pode ser feita pois que resulta em um valor permitido pela norma. Também, autoriza a utilização dos agregados para os ensaios dos grautes.

Observando a Tabela 12, a Areia 1 apresentou uma massa específica de $2,64 \text{ g/cm}^3$, já a Areia 2 – $2,67 \text{ g/cm}^3$, através desses valores percebe-se que a diferença das massas específicas entre esses agregados é pouca. Quanto o teor de umidade, a Areia 1 tem o teor de umidade em 0,30%, a Areia 2 – 1,16%, apresentando assim uma diferença considerável, talvez seja devido ao tamanho dos grãos e sua superfície, pois a Areia 1 possui grãos bem menores comparada a Areia 2.

Tabela 12: Massa específica e absorção de água dos agregados úmidos.

ENSAIOS	Areia 1	Areia 2
Massa específica real (g/cm³)	2,64	2,67
Teor de Umidade (%)	0,30	1,16

Fonte: Autor, 2018.

4.4 AGREGADO GRAÚDO

4.4.1 Análise granulométrica

Na Tabela 13 mostra o resultado do ensaio de granulometria da brita utilizada na produção dos grautes realizado de acordo com a NBR NM 248/2003. Também foram determinados o módulo de finura e dimensão máxima característica do agregado.

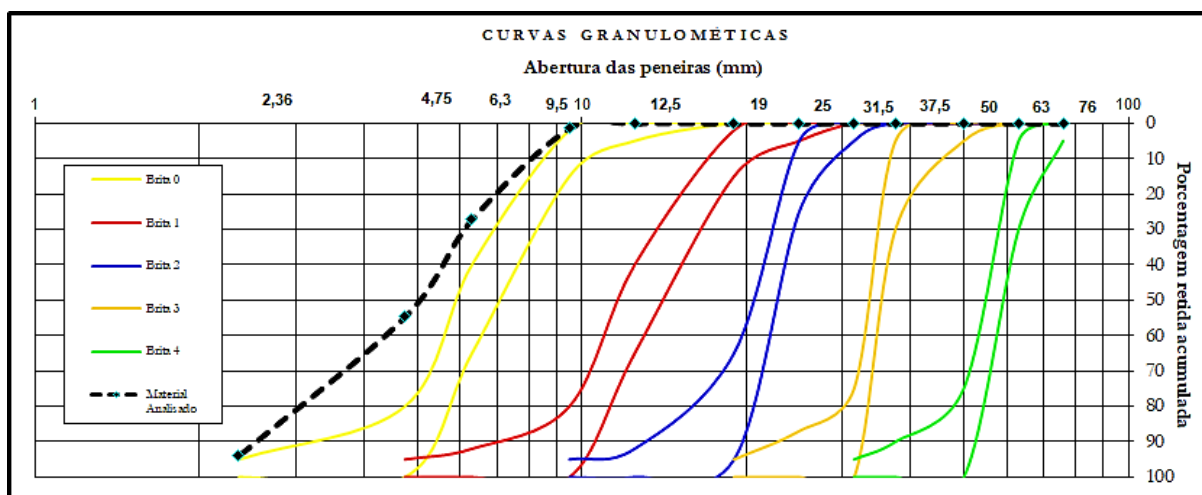
Tabela 13: Composição granulométrica da brita.

Abertura da malha das peneiras (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida acumulada (%)
12,5	0,0	0,0	0,0
9,5	14,2	1,4	1,4
6,3	258,4	25,8	27,3
4,75	275	27,5	54,8
2,36	393,3	39,3	94,1
Fundo	59,3	5,9	100,0
Total	1000,0	100	-

Fonte: Autor, 2018.

A partir da análise granulométrica, verificou-se que a brita possui um módulo de finura igual a 5,27 e um diâmetro máximo característico igual a 9,5mm. O comportamento granulométrico do agregado estudado está demonstrado através da curva granulométrica exposta na Figura 14. Ainda, observando a figura percebe-se que a curva do material utilizado na pesquisa tem um comportamento semelhante ao da brita 0.

Figura 14: Curva granulométrica da brita.



Fonte: Autor, 2018.

Ainda caracterizando o agregado graúdo, a Brita 0 apresentou uma massa específica de $1,32 \text{ g/cm}^3$ e massa específica de $1,40 \text{ g/cm}^3$ como pode se observar na Tabela 14.

Tabela 14: Massa específica e absorção de água do agregado graúdo.

ENSAIOS	Areia 1
Massa específica real (g/cm^3)	1,32
Massa Unitária (g/cm^3)	1,40

Fonte: Autor, 2018.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS GRAUTES

4.5.1 Ensaio de consistência

Sabe-se que o abatimento é determinado pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, que corresponde à altura média do corpo-de-prova desmoldado. Como a mistura é bem fluida (observada anteriormente) e ultrapassa a exigência imposta pela NBR 8798/1985 que a consistência para adensamento pelo peso próprio do material é de 20 a 23 cm, ainda sim, esta diferença representa cerca de 28 cm para todos os traços elaborados e ainda, fazendo a medida do diâmetro do espalhamento é cerca de 81cm.

Pela norma NBR 8953 (2015) na tabela 2 onde apresenta as classes de consistência, os grautes produzidos são classificados como S220 que representa aplicações típicas em

elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras. Essa classificação remete a caracterização dos grautes produzidos serem chamados de graute fino, pois a utilização do agregado graúdo com grãos menores de 4,8 mm permite a penetração e preenchimento da mistura em toda a seção de aplicação.

De acordo com Santos (2011) a consistência é a propriedade que o material em seu estado fresco tende a resistir às deformações. A quantidade de água existente na mistura para produção do graute é um dos principais fatores relacionado a consistência, também a relação água/aglomerante ou aglomerante/agregado influencia nesta propriedade.

No entanto, a consistência é uma das principais formas que influenciam na trabalhabilidade do graute, ela está associada a mobilidade de massa e na coesão dos materiais componentes da mistura, também, o que rege a sua aplicação ou facilidade de manusear o material. Todavia, esta mobilidade é umas das principais características do graute, por se configurar uma mistura fluída – sua essência é que ela auto nivele, escorra, uniformize, tenha aderência e não apresente segregação e exsudação.

4.5.2 Resistência a compressão

Nesta seção são apresentados os resultados (Tabela 15) dos ensaios de resistência à compressão para os corpos de prova com e sem resíduo realizados nas idades 3, 7 e 28 dias. Salientando que os corpos de provas tanto para o traço estudado pela empresa quanto o proposto pelo autor receberam cura submersa, e apenas 3 CPs do traço proposto pelo autor receberam cura ao ar livre e foram rompidos aos 28 dias, simulando o ambiente de uma edificação recebendo os fenômenos naturais.

Tabela 15: Resistência média à compressão (MPa) – NBR 7215.

IDADE (dias)	EMPRESA		AUTOR	
	Referência	Referência	10% do resíduo	20% do resíduo
1	13,85 MPa	-	-	-
3	34,10 MPa	36,31 MPa	32,21 MPa	37,09 MPa
7	24,21 MPa	43,41 MPa	40,19 MPa	41,35 MPa
28	46,79 MPa	41,49 MPa	40,92 MPa	46,80 MPa
28/sem cura	-	48,80 MPa	37, 94 MPa	39,78 MPa

Fonte: Autor, 2018.

Para os cálculos de dosagem de concreto e argamassa foram considerados os dados de resistência aos 28 dias, para o graute não é diferente. Nessa relação da literatura de concreto - graute, a norma 8953/2015 aborda que os concretos com classe de resistência inferior a C20 não são estruturais. Também esta mesma norma separa as classes de resistência em Grupo I e Grupo II. O I é aquele que a resistência à compressão vai até 50 MPa, e o grupo II de 55 a 100 MPa.

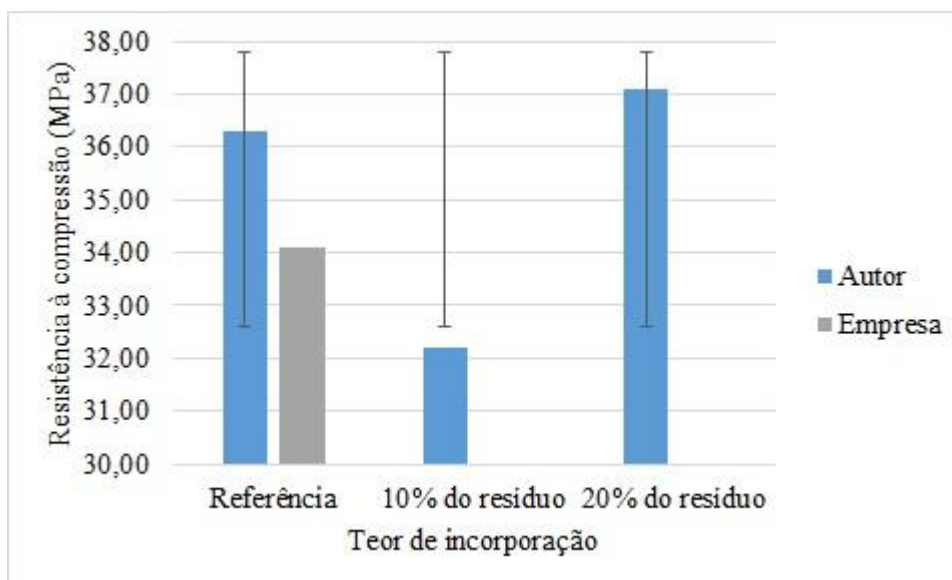
Metha e Monteiro (2008) abordam que o concreto de moderada resistência, também chamado de concreto normal ou comum, é usado para a maioria das obras estruturais.

Retomando a literatura em que são abordadas dosagens, ensaio de consistência, propriedades ou outros ensaios, percebe-se que quase em sua totalidade os instrumentos ou normas do graute são seguidas de acordo com as normatizadas para o concreto. Então é nesta configuração que se mostra que os grautes produzidos tanto pela empresa quanto pelo autor são de caráter estrutural ou de resistência moderada e pertencem ao Grupo I na classe de resistência, enfatizando os que foram produzidos com a substituição do agregado graúdo pelo resíduo estudado na pesquisa.

A análise do gráfico pela Figura 15 demonstra que para o traço referência do graute estudado pela empresa apresentou resistência aos 3 dias de 34,10 MPa, já o do autor foi 36,31 MPa, assim o traço do autor exibe um acréscimo de cerca de 6,09% em relação a resistência resultante obtida através do traço da empresa.

Já partindo para as comparações das substituições, a de 10% apresenta uma resistência de 32,21 MPa e representa um decréscimo cerca de 11,29% comparada ao traço referência e a 20% apresenta uma resistência de 37,09 MPa significando um acréscimo de 2,15% ao traço referência.

Figura 15: Resistência à compressão aos 3 dias.



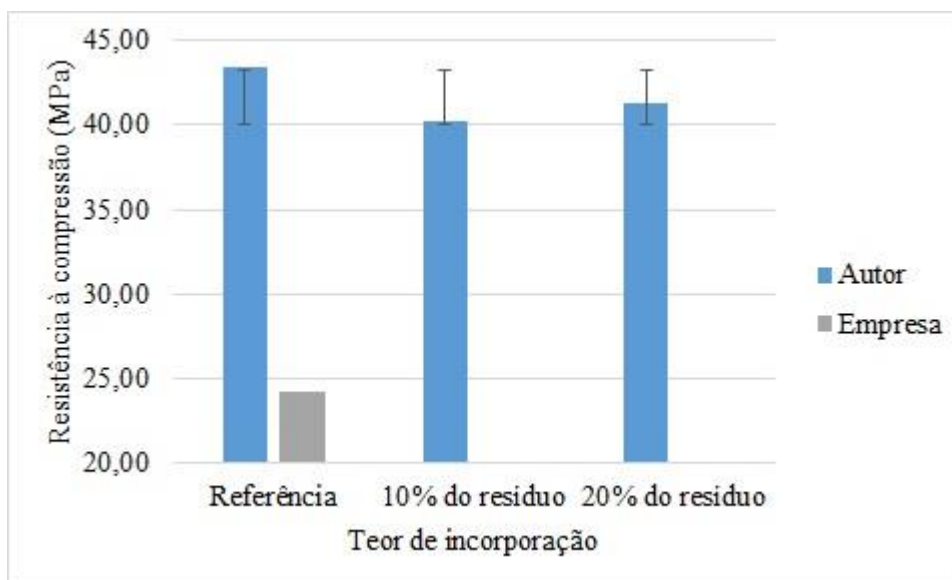
Fonte: Autor, 2018.

A análise do gráfico pela Figura 16 demonstra que para o traço referência do graute estudado pela empresa apresentou resistência aos 7 dias de 24,21 MPa, já o do autor foi 43,41 MPa, assim o traço do autor exibe um acréscimo de cerca de 44,23% em relação a resistência resultante obtida através do traço da empresa.

Já partindo para as comparações das substituições, a de 10% apresenta uma resistência de 40,19 MPa e representa um decréscimo cerca de 7,42% comparada ao traço referência e a 20% apresenta uma resistência de 41,35 MPa significando um decréscimo de 4,75% ao traço referência.

Observa-se que para este ensaio o resultado da resistência dos corpos de provas da empresa apresentou um valor muito inferior quando comparado ao resultado da resistência aos 3 dias do traço referência do autor, o que não deveria acontecer, o valor era para ser maior ou igual ao resultado obtido aos 3 dias. Em observação a esses dados, pode-se especular que houve falha por meio da máquina em que se realiza o ensaio, pois essas máquinas que precisam de precisão nos resultados e estão sendo usadas constantemente exige manutenções previstas para sua calibração.

Figura 16: Resistência à compressão aos 7 dias.



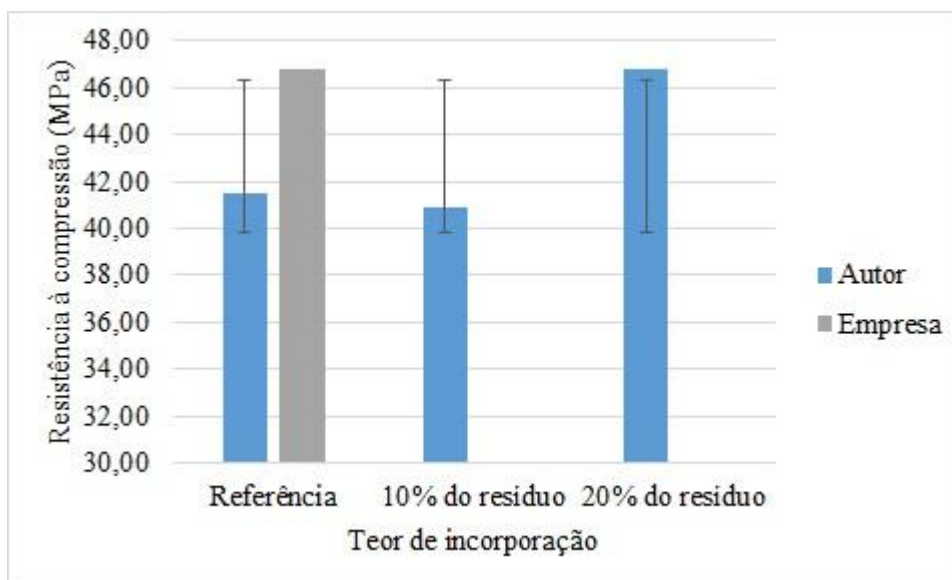
Fonte: Autor, 2018.

A análise do gráfico pela Figura 17 demonstra que para o traço referência do graute estudado pela empresa apresentou resistência aos 28 dias de 46,79 MPa, já o do autor foi 41,49 MPa, assim o traço do autor exibe um decréscimo de cerca de 12,77% em relação a resistência resultante obtida através do traço da empresa.

Já partindo para as comparações das substituições, a de 10% apresenta uma resistência de 40,92 MPa e representa um decréscimo cerca de 1,37% comparada ao traço referência do autor e a 20% apresenta uma resistência de 46,80 MPa representando um acréscimo de 12,80% ao traço referência.

Observa-se que para este ensaio o resultado da resistência dos corpos de provas no traço referência do autor apresentou um valor inferior quando comparado ao resultado aos 7 dias, o que não deveria acontecer, o valor era para ser maior ou igual ao resultado obtido aos 7 dias. Ainda assim, o traço com a substituição de 20% do resíduo apresentou uma resistência maior que a resistência referência da empresa e do autor.

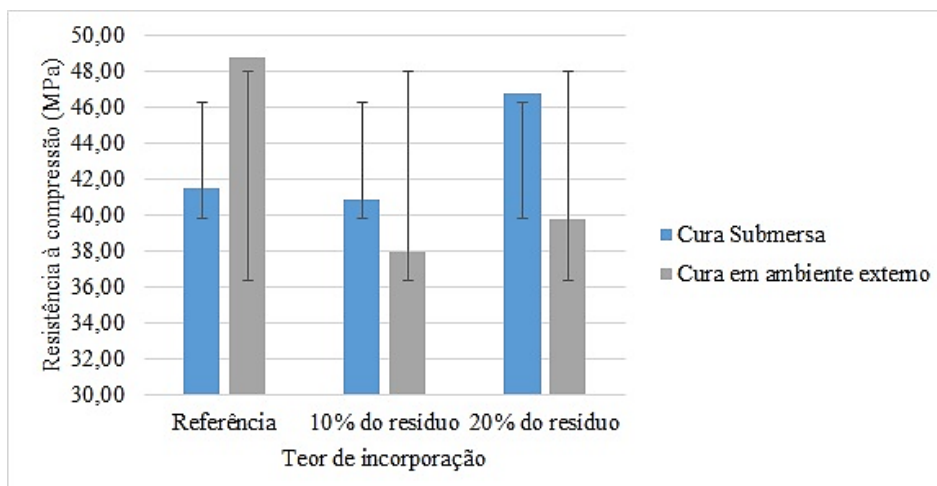
Figura 17: Resistência à compressão aos 28 dias.



Fonte: Autor, 2018.

Observando o gráfico pela Figura 18 a resistência do traço referência aos 28 dias com cura é 41,49 MPa e com cura em ambiente externo é 48,80 MPa, comparando os valores, constata-se que teve um acréscimo cerca de 17,62% na resistência do traço em cura. Este resultado diverge com os dados das substituições de outros estudos que os traços em cura são superiores ao traço com cura em ambientes externos. Para a substituição de 10% do resíduo a resistência é 40,92% com cura e 37,94% sem cura, representando um decréscimo de aproximadamente 7,28%. Já para a substituição de 20% a resistência é 46,80 MPa com cura e sem cura é 39,78%, representando um decréscimo cerca de 15%.

Figura 18: Resistência à compressão aos 28 dias com e sem cura submersa.



Fonte: Autor, 2018.

Sobre essa abordagem dos diferentes tipos de cura Diniz et al. (2016) em seus resultados de resistência aos 28 dias, a cura por imersão apresentou um aumento de 10,92% comparado a cura ao ar livre. Também, Bresolin (2016) realizou esse estudo e comprovou que a cura ao ar apresenta valores menores que em qualquer tipo de cura analisada em seu estudo.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

Através dos ensaios de caracterização dos resíduos realizado pela empresa parceira, foram possíveis a identificação e o fracionamento dos constituintes dos mesmos. No FRX teve uma boa parcela de Cálcio que este elemento decorre da formação geológica eminentemente calcária da região de perfuração dos poços. Já no DRX a maior intensidade é da calcita, sendo um composto químico constituintes em outros trabalhos dispostos na literatura.

Do ponto de vista ambiental, a reutilização do resíduo promove ganhos consideráveis na sustentabilidade do processo industrial. O descarte do mesmo que ia para aterros, para meio ambiente e para outros locais que gera agressão ambiental, não terá mais ocorrência visto que é de extrema importância viabilizar o seu uso em novos materiais.

O graute produzido tanto pela empresa quanto pelo autor são caracterizados como estrutural ou resistência moderada, até mesmo os que foram utilizados o resíduo pois todos eles apresentaram uma resistência à compressão acima de 40 MPa. Os traços elaborados apresentaram uma boa trabalhabilidade e apresentaram um aspecto fluído, característico do tipo bombeável e autonivelante. Quanto a cura submersa, todos foram satisfatórios relacionado a resistência a compressão. O traço com 20% de substituição apresentou uma resistência maior comparado ao traço referência nas idades de 3 e 28 dias. Já para os corpos de provas que ficaram expostos ao meio externo apenas o traço referência apresentou a maior resistência em relação aos demais traços abordados no trabalho, ultrapassando os 48 MPa. Contudo, é viável a utilização dos 20% de resíduo na substituição parcial do agregado graúdo pois além de atender a trabalhabilidade, apresenta resistência superior ao traço referência.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando a importância e atenção que devem ser dadas ao meio ambiente, destaca-se que a pesquisa envolve o estudo da substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de perfuração de poços de petróleo, o que torna de suma importância assegurar trabalhos neste setor, gerando informações relevantes para a preservação da natureza e redução dos resíduos gerados.

Assim, recomendam-se as seguintes pesquisas acerca do graute:

1. Mapeamento de poços de petróleo na cidade de Mossoró e análise dos resíduos gerados por estes na etapa de perfuração;
2. Estudo de dosagem e resistência em grautes pré-fabricados;
3. Utilização de ferramentas computacionais para estudo do graute;
4. Otimização na substituição do RPP em grautes;
5. Estudo do ciclo de vida das peças feita por graute;
6. Incorporação dos resíduos gerados pela perfuração em poços de petróleo em outros materiais de construção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9935**: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

AGRA FILHO, Severino Soares. Política Ambiental e Gestão Ambiental. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia Ambiental**: Conceitos, Tecnologia e Gestão. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 27. p. 695-715.

AMARAL, Sérgio. **Sonda de perfuração petrolífera**. Disponível em: <<http://petroleo21.blogspot.com/p/plataformista.html>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

ANICER. O suprimento de matérias-primas para a indústria de cerâmica vermelha no Brasil **Revista da ANICER**, Ano 14, ed. 73, p. 24, 2011.

BARROS, Ravenna Maria Monteiro. **INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE CASCALHO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO EM FORMULAÇÕES CERÂMICAS**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção civil e demolição na indústria da construção civil**. São Paulo: Cerâmica, v. 61, 2015.

BRESOLIN, Gustavo. **INFLUÊNCIA DAS TÉCNICAS DE CURA NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO E ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CAL HIDRATADA NA TÉCNICA DE CURA POR ASPERSÃO PERIÓDICA DE ÁGUA**. 2016. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.

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 de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

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

COSTA, Eliane Betânia Carvalho. **Agregados**: Caderno de aulas práticas. UFPR, 2016. 28 p.

CUNHA, Livia Cristhina da Costa; SIQUEIRA, Rodrigo Anderson Cantuário de. **GESTÃO DE QUALIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA CERÂMICA EM TIMON-MA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., 2013, Salvador. **Anais...**. Salvador: Ibeas, 2013. p. 1 - 10.

DAVIS, Mackenzie L. **Princípios de engenharia ambiental**/Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten; [tradução: Félix Nonnenmacher; revisão técnica: Eduardo Henrique Borges Cohim Silva ... et al.]. – 3ª ed. – Porto Alegre: AMGH, 2016.

DESCHAMPS, Lucas Pires. **SUSTENTABILIDADE EMERGENTE E CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO EM FLORIANÓPOLIS**. 2017. 34 f. TCC (Graduação) - Curso Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

DINIZ, Hugo Alessandro Almeida et al. **INFLUÊNCIA DA CURA POR IMERSÃO EM CONCRETOS CONVENCIONAIS**. **Revista Tecnologia & Informação**, n. 3, ano 2, p.17-27, out. 2015.

DIPROTEC. **Grouts**. Disponível em: <<http://www.diprotec.com.br/produto/adesivos-selantes-chumbadores-grautes/>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

FARIAS, Márcio Muniz de; PALMEIRA, Ennio Marques. Agregados para a Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 16. p. 481-524.

FIALHO, Poline Fernandes. **CASCALHO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS.: ESTUDO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM CONCRETO..** 2012. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

FIALHO et al. **Substituição de areia em concretos por resíduos da perfuração de poços de petróleo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 54., 2012. Maceió: IBRACON, 2012. 15 p.

FIGUEIREDO, André Marchi de. **AValiação da Eficiência de Grautes Pré-Dosados**. 2007. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade São Francisco, Dezembro, 2007.

FONSECA, Gustavo Celso da. **ADIÇÕES MINERAIS E AS DISPOSIÇÕES NORMATIVAS RELATIVAS À PRODUÇÃO DE CONCRETO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM EPISTÊMICA**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaio dos materiais**. 2ª ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GROHMANN, Leandro Zampieri. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PRISMAS GRAUTEADOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL CERÂMICA**. 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

GUIMARÃES, Jaqueline Passamani Zubelli. **Estudo Experimental das Propriedades do Concreto de Alto Desempenho** /Jaqueline Passamani Zubelli Guimarães; orientadora: Marta de Souza Lima Velasco. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2002. 131 f.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 29. p. 905-944.

IBDA. **Princípios básicos para uma arquitetura sustentável e materiais sustentáveis**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23&Cod=1747>>. Acesso em 15 fev. 2017.

IBGE. **Contas Nacionais Trimestrais - CNT: Taxa Acumulada ao Longo do Ano**. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5932#/n1/all/v/6563/p/last5/c11255/all/d/v6563/1/l/v,p,t+c11255/resultado>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

LEITÃO, N. C. M. de S. de et al. **CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE SCHEELITA DAS MINAS BREJÚ E BODÓ**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012. Disponível em: <www.metallum.com.br/20cbecimat/resumos/trabalhos_completos/202-507.doc>. Acesso em: 20 fev. 2018.

LOTURCO, Bruno. Não é concreto nem argamassa. **Téchne**, Edição 107, fev. 2006. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/107/artigo285013-1.aspx>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

LUCENA, Adriano Elísio de F. L. et al. **CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE RESÍDUOS DE PERFURAÇÃO “ONSHORE”**. In: 4º PDPETRO, 2007, Campinas. **Anais...** . Campinas: 2007. p. 1 - 8.

MAGNAVITA et al. **Processo de produção do cimento**. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/OMonitor/processo-de-producao-do-cimento>>. Acesso em 27 jan. 2017.

MARQUES, Sheyla Karolina Justino. **Estudo da incorporação de cascalho proveniente da perfuração de poços de petróleo em formulações para tijolos de solo-cimento**. 2010. 185 f. Dissertação (Mestrado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

MEDEIROS, Leonardo Coutinho de. **Adição de cascalho de perfuração da bacia potiguar em argilas para uso em materiais cerâmicos: influência da concentração e temperatura de queima..** 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3ª. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. Brasília: 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Cimento Portland. In: BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. Cap. 3. p. 35-62.

PAREDES, Daniel Cesar Antunes; BRONHOLO, Juliano Henrique. **EFEITOS DA TEMPERATURA DA ÁGUA DE AMASSAMENTO NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO**. 2013. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PAULA, Gêminson de Araújo. **AVALIAÇÃO DO RESÍDUO DE CASCALHO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO DA BACIA POTIGUAR E ALTERNATIVAS PARA SUA DESTINAÇÃO E REAPROVEITAMENTO**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Petróleo e Gás, Escola de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Potiguar, Natal, 2014.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 7ª ed. Porto Alegre: Globo, 1982. 435p.

PIRES, Patrício José Moreira. **Utilização de Cascalho de Perfuração de Poços de Petróleo para a Produção de Cerâmica Vermelha**. 2009. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

RIOS, Mariana Barreira Campos. **ESTUDO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NAS OBRAS DE CONSTRUÇÃO DO BAIRRO ILHA PURA - VILA DOS ATLETAS 2016**. 2014. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Construção Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SÁ, Maria das Vitórias Vieira Almeida de. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos**. 2006. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

SANTOS, White José dos. **ARGAMASSA DE ALTO DESEMPENHO**. 2011. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

SANTOS, Éden Malveira dos. **Geração de resíduos em indústrias de cerâmica vermelha em Morada Nova/CE/ Éden Malveira dos Santos**. 2016. 59 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2016.

SANTOS, Vívica Andrade dos; MAGALHÃES, Iara de Araújo; DIAS, Cleber Marcos Ribeiro. **CASCALHOS DE PERFURAÇÃO RICOS EM SÍLICA COMO MATÉRIA PRIMA PARA COMPONENTES AUTOCLAVADOS PARA A CONSTRUÇÃO**. In: II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS E IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, 2016, Natal. **Anais...** . Natal, 2016. p. 1 - 12.

SCHAFFEL, Silvia Blajberg. **A QUESTÃO AMBIENTAL NA ETAPA DE PERFURAÇÃO DE POÇOS MARÍTIMOS DE ÓLEO E GÁS NO BRASIL**. 2002. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). **Construção Civil**. Cenário e Projeções estratégicas. 2016.

SIKA S. A.. **SikaGrout**: Argamassa auto-adensável de alta resistência para grauteamento. Versão 04. Osasco: Sika, 2005.

SILVA, José Daniel Jales. **Avaliação da potencialidade de incorporação de lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland** / José Daniel Jales Silva. – Natal, RN, 2015. 121 f.

SILVA, Fabricio Pereira Feitoza da et al. **INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO EM PASTAS DE CIMENTO**. In: I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2015. **Anais...** . Campina Grande: CONEPETRO, 2015.

SOBRAL, Ernani Sávio. Propriedades do concreto fresco. In: BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. Cap. 9. p. 267-283.

SOUZA, Paulo Alysson Brilhante Faheina de. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007. 232 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SOUZA, Eduardo Luciano de. **“CONSTRUÇÃO CIVIL E TECNOLOGIA: ESTUDO DO SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAMING”**. 2014. 137 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SOUZA, Reginaldo de. **COMO USAR O GRAUTE**: O que é graute e em que situações deve ser utilizado?. 2007. Disponível em: <<http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/12/artigo56451-1.aspx>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

TOLEDO, André Luiz Lopes. **COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE MISTURAS DE SOLO E RESÍDUO DE PERFURAÇÃO ONSHORE**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Graute**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/graute.php>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

VERÇOZA, Enio José, **Materiais de construção**. Porto Alegre, PUC, EMMA, 1975. 2v. SAGRA S. A. Editora e Distribuidora, 1975.

ANEXO A – INFORMAÇÕES DO CIMENTO



apodi

Certificado de Qualidade

Companhia Industrial de Cimento Apodi
Unidade Quixeré

CP V-ARI
JANEIRO/2018
NF nº

ENSAIOS QUÍMICOS

ENSAIO	NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 5733
Perda ao Fogo - PF	NM 18	%	4,21	≤ 4,5
Óxido de Magnésio - MgO	NM 11-2	%	5,16	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico - SO ₃	NM 16	%	3,24	≤ 3,5
Resíduo Insolúvel - RI	NM 15	%	0,78	≤ 1,0
Anidrido carbonico - CO ₂	5733	%	2,30	≤ 3,0

ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

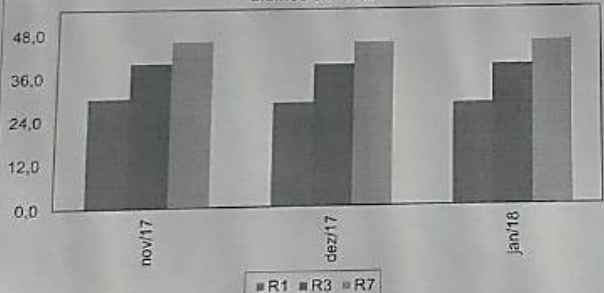
ENSAIO	NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 5733/31
Área Específica (Blaine)	16372	cm ² /g	4238	≥ 3000
Massa Específica	NM 23	g/cm ³	3,10	Não Aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200)	11579	%	0,7	≤ 6,0
Finura - Resíduo na Peneira de 0,032mm (#400)	12826	%	5,3	Não Aplicável
Água de Consistência	NM 43	%	27,7	Não Aplicável
Início de Pega	NM 65	h:min	2:45	≥ 1
Fim de Pega	NM 65	h:min	3:45	≤ 10
Expansibilidade de Le Chatelier - A Quente	11582	mm	0,00	≤ 5

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) - NBR 7215

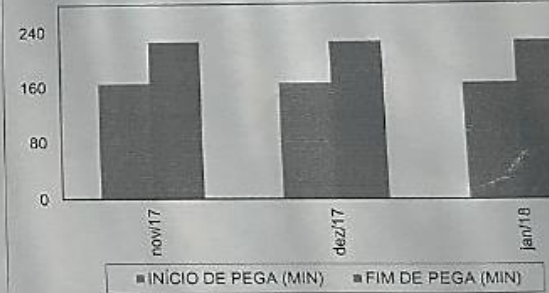
IDADE (DIAS)	MÉDIA	ESPECIFICAÇÕES NORMA NBR 5733
1	28,2	≥ 14,0 Mpa
3	39,0	≥ 24,0 Mpa
7	45,6	≥ 34,0 Mpa
28	52,6	---

ESTABILIDADE DE PARÂMETROS DE QUALIDADE: RESISTÊNCIA E PEGA

Acompanhamento de resistências últimos 3 meses



Acompanhamento tempo de início e fim de pega últimos 3 meses



OBSERVAÇÕES

- As resistências aos 28 dias referem-se ao mês anterior.


 Marilson F. Pinto
Químico Responsável


 Mário Sérgio Guilge
Coordenador de Produtos e Assessoria Técnica

Atualizado em: 15/02/2018