

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CARLOS JUSTINO DA SILVA
HEVERTON GEOVANI SANTOS DA COSTA
MATHEUS FRENTZEN ANDRADE SILVA
NATÁLIA DA CONCEIÇÃO PEREIRA
SUELANE GLEYCIANE DA SILVA**

**REUSO DE REJEITOS DE GRANITO PARA OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS
UTILIZANDO MATERIAIS CIMENTÍCIOS**

RECIFE
2022.2

**CARLOS JUSTINO DA SILVA
HEVERTON GEOVANI SANTOS DA COSTA
MATHEUS FRENTZEN ANDRADE SILVA
NATÁLIA DA CONCEIÇÃO PEREIRA
SUELANE GLEYCIANE DA SILVA**

**REUSO DE REJEITOS DE GRANITO PARA OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS
UTILIZANDO MATERIAIS CIMENTÍCIOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Orientador(a): Profa. Dra. Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz

**RECIFE
2022.2**

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 1745.

R445 Reuso de rejeitos de granito para obtenção de compósitos utilizando materiais cimentícios / Carlos Justino da Silva [et al]. Recife: O Autor, 2022.
40 p.

Orientador(a): Dra. Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2022.

Inclui Referências.

1. Reutilização. 2. Rejeito de granito. 3. Construção civil. 4. Compósitos. I. Costa, Heverton Geovani Santos da. II. Silva, Matheus Frentzen Andrade. III. Pereira, Natália Da Conceição. IV. Silva, Suelane Gleyciane da. V. Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA. VI. Título.

CDU: 624

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos que me ajudaram e incentivaram a concluir essa longa caminhada. Pessoas importantes como professores, familiares e amigos foram cruciais para que a minha determinação e persistência prevalecesse para que hoje eu, assim como meus colegas possa concluir uma difícil etapa da vida acadêmica.

Entretanto, gostaria de dedicar a algumas pessoas especiais, que foram peças chaves nessa trajetória. Como motivações, dedico a duas pessoas importantes que me acompanharam no ensino fundamenta e ensino médio, Professora Maria Lucia e Professor Luiz Carlos, respectivamente. Graças a eles despertei o amor pela construção, e o grande sonho de um dia me tornar uma brilhante engenheira. Infelizmente esses dois anjinhos estão vendo essa conquista de um lugar um pouco mais distante, mas nunca esquecidos.

Como inspiração, dedico a Professora Elaine Vaz, que nos cativa a sempre estudar e buscar nossos objetivos com a sua garra e determinação através do seu esforço notório. Uma mulher batalhadora, que procura sempre evoluir, estudando e pesquisando, e não menos importante, com o amor envolvido.

Enfim, dedico a nós, estudantes, que não deixamos as emoções e a rotina nos abaterem, nos ajudando a persistir, não nos deixando desistir, nem se abalar. Só nós sabemos os obstáculos que enfrentamos e o quanto é gratificante estamos nos formandos, todos juntos.

AGRADECIMENTOS

A todos que acreditaram no meu potencial, persistência e foco. Aos meus amigos e familiares que me apoiaram e acompanharam durante todo esse ciclo, comemorando e nos confortando com frases incentivadoras. Aos professores que nos orientaram e compartilharam seu grande conhecimento, desempenhando sua função com dedicação e amizade, Professor Ednilson Gomes, Professor Ricardo Amorim, Professor Carlos Laranjeira que mesmo não nos acompanhando em todos os períodos, sempre esteve presente e nos lembrando o quanto acreditavam no nosso futuro, e em especial nossa Orientadora Elaine Vaz e nossa professora Rebeca, que foi nossa coordenadora na pesquisa.

Agradecimento especial as Instituições que nos proporcionaram apoio para a elaboração dos teste para a pesquisa, como o Centro Universitário Brasileiro que nos proporcionou o desenvolvimento dos corpo de prova, o Laboratório de Produção de Alimento Vivo (LAPAVI) e o Departamento de Pesca e Aquicultura (DEPA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (SEDE/UFRPE) aonde realizamos a caracterização granulométrica, o Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes (LabTag), do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) referente aos testes de resistência a compressão e a empresa Barros Marmoraria e Vidros Temperados, eu nos proporcionou o pó de granito.

Aos colegas da turma por nos unirmos em momentos importantes, e por fim, não menos importante, agradeço a Deus por permitir estamos vivenciando essa tão vitoriosa conquista, que nos proporcionou a ultrapassagem de todos os obstáculos encontrado ao longo do curso.

“Se sonhar grande dá o mesmo trabalho de sonhar pequeno, por que vou sonhar pequeno?” – Jorge Paulo Lemann

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Representação esquemática das dimensões reais de tijolo cerâmico maciço para alvenaria. Adaptação da NBR 7170/1983. – Pag.25

Figura 2 – Termograma de MWCNTs sem tratamento. Parâmetros: taxa de aquecimento 10 ° C/min, atmosfera N2 (50 ML/min). – Pag.29

Figura 3 – Representação esquemática das dimensões reais de tijolo cerâmico maciço para alvenaria. Adaptado da NBR 6136:2014. – Pag.30

Figura 4 – Peneiras utilizadas para o analise de granulometria do rejeito de granito. – Pag.31

Figura 5 – Amostras de rejeito de granito lavado após o processo de peneiração. – Pag.31

Figura 6 – Na imagem superior encontra-se as amostras preparadas, e na imagem inferior o resultado de tal amostra. – Pag.33

Figura 7 – Aspecto do corpo -de-prova 3 durante sua preparação. – Pag.34

Figura 8: Difratograma de Raios-x do cimento. – Pag. 34

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Fatores e níveis utilizados para o planejamento 23. – Pag.20
- Tabela 2** – Análise das granulometrias por peneiração das amostras de rejeitos de granito seco. – Pag.21
- Tabela 3** – Análise dos dados estatísticos quantitativos das amostras e granulometria de rejeitos de granito seco. – Pag.26
- Tabela 4** – Teste Anova “Tukey” das amostras dos rejeitos de granito seco e suas granulometrias. – Pag.26
- Tabela 5** – Análise das granulometrias por peneiração das amostras de rejeitos de granito lavado.
– Pag.26
- Tabela 6** – Análise dos dados estatísticos quantitativos das amostras e granulometria de rejeitos de granito lavado. – Pag.27
- Tabela 7** – Análise dos dados estatísticos quantitativos das amostras e granulometria de rejeitos de granito seco. – Pag.28
- Tabela 8** - Teste de comparação de Média \pm Desvio Padrão das amostras dos rejeitos de granito seco e suas granulometrias. No Teste Anova “Tukey”. – Pag.28
- Tabela 9:** Análise das granulometrias por peneiração das amostras de rejeitos de granito lavado. – Pag.29
- Tabela 10:** Análise dos dados estatísticos quantitativos das amostras e granulometria de rejeitos de granito lavado. – Pag.29
- Tabela 11:** Teste de comparação de Média \pm Desvio Padrão das amostras dos rejeitos de granito lavado e suas granulometrias. – Pag.29
- Tabela 12:** Resultados da análise de resistência à compressão das amostras. – Pag. 32
- Tabela 13:** Valores estatísticos da análise de resistência à compressão das amostras. – Pag. 32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Rejeitos da Construção Civil.....	12
2.2 Reutilização de Rejeitos na Construção Civil.....	13
2.3 Utilização do Rejeitos na Argamassa.....	15
2.4 Materiais Compósitos.....	16
2.5 Nanotubos de Carbono.....	17
2.6 Caracterização por Difração de Raios – X.....	19
2.6.1 Rochas Graníticas.....	20
3 METODOLOGIA.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

REUSO DE REJEITOS DE GRANITO PARA OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS UTILIZANDO MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Carlos Justino Da Silva

Heverton Geovani Santos Da Costa

Matheus Frentzen Andrade Silva

Natália Da Conceição Pereira

Suelane Gleyciane Da Silva

Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz¹

Resumo: A reutilização e reciclagem dos resíduos da construção civil como matéria-prima traz inúmeros benefícios econômicos e ambientais, minimizam a extração de recursos naturais, cujo suas reservas em grande maioria estão escassas. Portanto este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade da aplicação de rejeitos de serragem de granito para a produção de materiais compósitos com materiais cimentícios para a aplicação na construção civil. As amostras coletadas foram de uma empresa que está localizada no Estado de Pernambuco, na cidade de Igarassu, tendo em vista o quanto essa grande quantidade de rejeitos pode causar poluição e degradar o meio ambiente, buscando ser feita assim, a substituição aos materiais convencionais visto na composição mineralógicas e físicas na matéria-prima da cerâmica e na produção de blocos cerâmicos, através de um planejamento fatorial. Foi produzido o corpo de prova de forma que os estudos e testes seguissem a norma necessária para aprovação de prática diária, sendo ela a NBR 7215:1996, bem como os testes de resistência à compressão e difração de raios-X. Os estudos comprovaram a viabilidade e eficácia diante do uso de rejeito de serragem de granito comparando a outras pesquisas que busca a substituição do material primário para obtenção de compósitos, trazendo assim a possibilidade de adição no desenvolver de novos compósitos para que se possa ter uso na construção civil.

Palavras-chave: Reutilização; Rejeito de granito; Construção civil; Compósitos.

1 INTRODUÇÃO

A sociedade atual enfrenta cada vez mais problemas devido ao acúmulo de resíduos industriais e urbanos, de construção civil, hospitalares, radioativos, agrícolas, industriais e de mineração. Nas cidades brasileiras, a crescente geração desse tipo de resíduo e as práticas de descarte estabelecidas, aliados ainda ao alto custo de armazenagem, resultaram em volumes crescentes de resíduos acumulados e, historicamente, em sérios problemas ambientais e de saúde pública (CEZÁRIO, 2022). A deposição de forma inadequada destes resíduos causa impactos ambientais como a contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, e também doenças como dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose, entre outras (MEDEIROS, 2022). Do outro lado, a indústria cerâmica se depara com a escassez de reservas de matérias-primas que apresentem boa qualidade e estejam disponíveis em locais economicamente viáveis de exploração.

Uma das indústrias que gera uma enorme quantidade de rejeitos é a de beneficiamento de granito. A produção mundial noticiada de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 1,8 Mt/ano, na década de 1920, para um patamar atual de 145 Mt/ano (CARDOSO, 2021). O aproveitamento de rejeitos é uma atividade complementar que pode contribuir para diversificação de produtos, diminuição de custos finais e resultar em “novas” matérias-primas para diversos setores industriais.

Um estudo estatístico, apontou que os problemas com revestimentos em argamassa representam entre 15 e 16% do total de falhas numa edificação (CARNEIRO, 1993). Algumas características específicas do rejeito de granito, como granulometria fina, composição química predefinida e a inexistência de grãos mistos entre os componentes básicos, favorecem seu aproveitamento e reciclagem na produção de materiais cerâmicos como tijolos, telhas, blocos de concreto, entre outros (R. C. O. LIMA, 2011).

Os resíduos apresentam características físicas e mineralógicas semelhantes aos das matérias-primas cerâmicas convencionais, dentro das especificações da normalização brasileira tanto para blocos como para revestimentos cerâmicos (MENEZES; FERREIRA; NEVES; FERREIRA, 2002). Certa quantidade de incorporação de resíduo de granito tem influência considerável na evolução como maiores resistências à degradação no material incorporado (XAVIER; SABOYA; MAIA; ALEXANDRE, 2009).

A construção civil é o ramo da atividade tecnológica que pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado para absorver rejeitos sólidos (como os das rochas graníticas ornamentais) (SAUTEREY, 1978). A reciclagem de resíduos industriais ainda possui índices insignificantes frente ao montante produzido e, a cada dia, os rejeitos urbanos agridem mais o meio ambiente. O aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como materiais alternativos não é novo e tem dado certo em vários países do Primeiro Mundo (ROMUALDO; GELMIRE; HEBER, 1999).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de granito, a indústria da mineração e beneficiamento de granitos movimenta cerca de US\$ 6 bilhões/ano no mercado internacional (FILHOS; RODRIGUES, 1978). Entretanto, gera elevada quantidade de rejeitos na forma de "lama", contendo elevado teor de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO . Estes rejeitos se não descartados adequadamente podem ocasionar grandes agressões ambientais (CALMON, 1998). Do total do beneficiamento há formação de 20% a 25% de rejeitos na forma de pó, o que intensifica o perigo de danos ambientais (SILVA, 1998; FREITA; MOTTA, 1995).

A utilização como matéria-prima alternativa de rejeitos gerados pela indústria é uma forma de reciclagem que já vem sendo empregada com sucesso. Silva e colaboradores mostraram a viabilidade do aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmica (SILVA, 2011). Ferreira e colaboradores demonstraram as mais variadas alternativas para o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas (MENEZES, 2002). Resíduos cerâmicos podem ser empregados como material alternativo na produção de cimento Portland (PUERTAS, 2008). O reuso de rejeito de granito para produção de blocos cerâmicos foi demostrado por Menezes e colaboradores (ROMUALDO, 2005).

O mais representativo dos materiais nano estruturados sintetizados pelo homem é o nanotubo de carbono (CNT), obtido e descrito assim pela primeira vez em 1991 por Iijima (IIJIMA, 1991). Desde então, surgiram inúmeras aplicações para este material, devido às propriedades mecânicas, eletrônicas e ópticas, diferenciadas pela nanoestrutura. Dentre as inúmeras aplicações para os CNTs, pode-se citar a obtenção de compósitos condutores ou de alta resistência mecânica (THOSTENSON, 2001), armazenamento de hidrogênio e o reconhecimento de DNA (KERMAN; MORITA; TAKAMURA; TAMIYA; MAEHASHI; MATSUMOTO, 2005), evidenciando a versatilidade deste material.

Uma vez que a construção civil é uma das áreas que mais necessita de materiais com propriedades mecânicas elevadas, como o concreto e o aço, e materiais com boa propriedade térmica e elétrica, o uso de nanotubos de carbono pode favorecer estes aspectos nos materiais do setor construtivo. O módulo de elasticidade dos NTC pode chegar a 1000 GPa (cinco vezes maior que a do aço) e sua tensão de ruptura chega a 63 GPa (quase 50 vezes maior que a do aço) (DRESSELHAUS; DRESSELHAUS; EKLUND, 1996).

As aplicações dos nanotubos são delimitadas devido ao seu custo. Atualmente, esse valor ainda é alto, o que impede a incorporação dos NTC, em grandes proporções, nos materiais de construção civil. Em compensação, os efeitos da adição de nanotubos no concreto, foram significantes na resistência à compressão, à tração e à porosidade com o uso de aproximadamente 4% de nanotubos de carbono em relação à massa do concreto (ROMUALDO; GELMIRE; HEBER, 2001).

Desta forma o objetivo geral do trabalho no projeto é estudar a viabilidade da aplicação de rejeitos da serragem do granito para produção de material compósito com materiais cimentícios para aplicação na construção civil. Os compósitos cimentícios foram obtidos também utilizando nanotubos de carbono de múltiplas camadas para avaliação do efeito em relação à resistência à compressão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão abordados conceitos relevantes para compressão adequada do presente trabalho.

2.1 Rejeitos da Construção Civil

A área da construção civil é uma das que mais geram resíduos e que boa parte dos casos são descartados de forma inadequada, gerando assim diversos problemas ambientais. Para dar melhor destinação aos resíduos gerados da construção, evitando assim os efeitos negativos que esses rejeitos mal descartados podem causar no meio ambiente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA juntamente com a Norma ABNT NBR 10.004/2004 - Resíduos sólidos - Classificação, que trata dos resíduos sólidos e suas classificações, estabeleceram medidas para serem seguidas em relação a destinação de resíduos da construção civil (OLIVEIRA, 2020).

O rejeito, é um tipo de resíduo que não possui mais qualquer possibilidade de recuperação ou reutilização, e, por isso, a única alternativa é a disposição final, que deve ser feita de maneira que não prejudique o meio ambiente. A destinação correta de resíduos provindos da construção, é de extrema importância para a manutenção de um meio ambiente saudável, contribuindo para a qualidade de vida da sociedade, e é papel fundamental dos aterros sanitários, que tem função não somente do descarte mas também do tratamento do material ali depositado (GARCIA, 2017).

Com o desenvolvimento da construção civil suas atividades vêm se intensificando, gerando um grande aumento de resíduos das construções que se trata basicamente de restos de materiais cerâmicos, argamassa e seus componentes. Nesse contexto, os resíduos podem ser subdivididos em 3 grupos, que são os resíduos da construção e demolição (RCD), resíduo da construção civil (RCC); e resíduos sólidos da construção civil (RSCC) (OLIVEIRA, 2020).

Contudo, independente da nomenclatura utilizada, a definição geral dos resíduos originados da construção civil é o mesmo, de acordo com a RESOLUÇÃO CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002 (BRASIL, 2002) que estabelece normas, critérios e procedimentos para a organização dos resíduos da construção civil:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha

Os resíduos devem ser descartados em aterros sanitários e Áreas de Transbordo e Triagem (ATTs) licenciadas, mas são comuns os casos em que os resíduos são descartados em vias e locais irregulares (CONAMA 307/2002).

2.2 Reutilização de Rejeitos na Construção Civil

O lixo gerado pelos entulhos da construção civil, embora não seja o lixo mais incômodo, sob o ponto de vista da toxicidade, assusta pelo seu volume crescente e requer medidas imediatas. Muitas vezes, esse lixo é utilizado na recuperação de áreas alagadas, para aterros e reaterros ou, então, simplesmente lançado, de maneira aleatória e irregular, na beira de estradas, cursos d'água ou antigas cavas, quando não lançados em aterros sanitários. Porém o problema reside, ainda, na escassez de áreas adequadas para a sua deposição que, com o crescimento metropolitano, vem-

se tornando cada vez mais remotas; por outro lado, o entulho pode ser reciclado, gerando elementos construtivos (AMORIM, 1999).

Nos Estados Unidos, seu aproveitamento é realizado há mais de 30 anos, para produzir agregados artificiais; enquanto na Europa se trata de uma atitude cultural, a Holanda, com mais de 40 usinas de reciclagem de entulho, recicla 70% dos resíduos e a Alemanha, 30% (COELHO & CHAVES, 1998).

No Brasil, a necessidade da reciclagem decorre do crescente déficit habitacional um exemplo disso é a usina de Itatinga, em São Paulo, instalada em 1991 que, segundo dados da época, podia reciclar 50% do material que a ela chegava. Em 1992, esta usina apresentava produção de 500 t diárias de agregado (pedras, pedriscos e areia) com custos 80% menores que os de mercado (VILLARI, 1992). Em 1993, a prefeitura de São Paulo construiu um alojamento de 190 m² com cerca de 4.000 blocos de concreto, feitos com entulho processado; decorridos cinco anos da construção, o prédio encontra-se ainda em excelentes condições. O custo de produção relacionado a esses blocos foi 70% inferior ao dos convencionais (AMORIM, 1999).

O aproveitamento de resíduos industriais na engenharia tem sido uma alternativa principalmente na área de construção civil. Tanto a exploração dos agregados naturais quanto a produção do cimento causam impactos ambiental, sendo importante a redução destes materiais com o uso de resíduos em substituição parcial (JUNIOR, 2017).

Uma das indústrias que gera uma enorme quantidade de rejeitos é a de beneficiamento de granito. A produção mundial noticiada de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 1,8 Mt/ano, na década de 1920, para um patamar atual de 145 Mt/ano (GEÓL, 2018). O aproveitamento de rejeitos é uma atividade complementar que pode contribuir para diversificação de produtos, diminuição de custos finais e resultar em “novas” matérias-primas para diversos setores industriais.

Um estudo estatístico, apontou que os problemas com revestimentos em argamassa representam entre 15% e 16% do total de falhas numa edificação (ARNALDO, 1993). Algumas características específicas do rejeito de granito, como granulometria fina, composição química predefinida e a inexistência de grãos mistos entre os componentes básicos, favorecem seu aproveitamento e reciclagem na produção de materiais cerâmicos como tijolos, telhas, blocos de concreto, entre outros (R. C. O. LIMA et al, 2011).

Os resíduos apresentam características físicas e mineralógicas semelhantes aos das matérias-primas cerâmicas convencionais, dentro das especificações da normalização brasileira tanto para blocos como para revestimentos cerâmicos (MENEZES, 2002). Certa quantidade de incorporação de resíduo de granito tem influência considerável na evolução como maiores resistências à degradação no material incorporado (XAVIER, 2009).

2.3 Utilização do Rejeito na Argamassa

A argamassa, segundo da SABBATINI (1986), pode ser conceituada como uma mistura complexa, constituída essencialmente de materiais inertes, no qual são os agregados miúdos (baixa granulometria), que não sofrem reações químicas, e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

A argamassa de cimento Portland é composta, essencialmente, por cimento, agregado miúdo e água. Adquire elevada resistência mecânica em pouco tempo, porém, tem pouca trabalhabilidade e baixa retenção de água. Este tipo de argamassa tem emprego específico para certas situações, como por exemplo na confecção de pisos como argamassa armada, sendo raramente utilizadas em revestimentos de alvenaria. É muito utilizada na confecção de chapisco para ser aplicada nas paredes de alvenaria e estruturas de concreto para aumentar a resistência de aderência do revestimento de argamassas mistas (DA SILVA, 2006).

O adequado desempenho das argamassas depende fundamentalmente da correta escolha dos materiais e de seu proporcionalmente, cujas operações são denominadas de dosagem (LARA et al., 1995).

Segundo CARNEIRO (1999), usualmente a composição e a dosagem das argamassas adotadas no Brasil são feitas com base em traços (massa ou volume) descritos ou especificados em normas internacionais ou nacionais, como Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e cadernos de encargos. A escolha de um desses traços está de acordo com o desempenho esperado da argamassa ao longo do tempo, ou seja, sua durabilidade (PASCINI, 2020).

O granito é uma rocha plutônica ácida, formada com aproximadamente 75% de sílica; cristais de 1 a 5 mm, ou maiores; de cor cinza, possui boa resistência, suporta altas temperaturas e tem durabilidade longa. Sua taxa de ruptura sob compressão é de aproximadamente 90 MPa. Esta rocha geralmente fornece agregados de excelente qualidade, pois são resistentes, tem baixa porosidade e absorção de água e não reagem com os álcalis do concreto de cimento Portland. As rochas graníticas possuem uma grande diversidade de tipos e cores, destacando-se o preto, branco, azul, marrom, amarelo e verde, além dos movimentados (SANTOS, 2012).

A utilização de resíduo de mármore e granito para composição de massas cerâmicas contribui para um maior aproveitamento dos recursos naturais, como também promove melhoria no progresso da sociedade. Neves et al, (1999) estudaram a possibilidade de utilização de resíduos de serragem de granitos como matéria-prima cerâmica. Os resultados demonstraram a probabilidade de uso desses resíduos na produção de elementos construtivos cerâmicos (tijolos e blocos) (FARIAS FILHO, 2007).

2.4 Materiais Compósitos

Os compósitos, também chamados de composites, são materiais formados pela união de outros materiais com o objetivo de se obter um produto de maior qualidade. Com o avanço tecnológico as propriedades exigidas aos materiais convencionais sofreram alterações levando ao aparecimento de materiais capazes de responder aos requisitos pretendidos das novas tecnologias. A combinação química e estrutural de diferentes materiais produziu uma nova classe de produtos de engenharia (VENTURA, 2009).

Os materiais compósitos não têm uma definição universalmente aceita de um modo geral, um material diz se compósito quando é constituído por dois ou mais constituintes (fases) diferentes. Têm sido desenvolvidas técnicas de fabricação destes materiais de modo a substituir as ligas metálicas, cerâmicas e poliméricas que atendam às novas exigências tecnológicas. A sua fabricação implica a combinação das duas fases (matriz e reforço) para formar um material que de certa forma tem um melhor desempenho que os seus constituintes numa situação particular, dando origem a uma nova geração de materiais com melhores propriedades mecânicas. Os

compósitos existem em diferentes formas, mas normalmente os mais usuais são os materiais constituídos por um reforço de fibra embutido numa matriz polimérica (VENTURA, 2009).

O estudo de materiais de alto desempenho e multifuncionais, como os compósitos poliméricos cimentícios, tem sido o foco de inúmeras pesquisas na indústria da construção civil. Este compósito, quando comparado individualmente com as suas matérias-primas originais, promove um aumento da resistência mecânica à compressão, redução da massa específica e, também uma mudança significativa do comportamento mecânico (PANZERA, 2010).

Estes compósitos vêm sendo empregados na construção civil tanto na fase de acabamento, como também na fabricação de produtos pré-fabricados. Recentemente, uma nova demanda por compósitos poliméricos ressurgiu, e um exemplo claro disso é a crescente produção de mármores e granitos artificiais a cada ano. Esta atividade vem sendo impulsionada pelos conceitos de sustentabilidade do século XXI, uma vez que o uso de rochas minerais para confecção de revestimentos na construção civil promove não só o consumo da fonte mineral, mas também traz sérios problemas ambientais. Em termos de microestrutura, a fase polimérica tende a recobrir os grãos não hidratados de cimento, retardando o processo de hidratação parcialmente ou completamente. Entretanto, é bem possível que a maior vantagem desses sistemas seja a redução da porosidade, com consequentes diminuição dos caminhos livres para propagação de fissuras e aumento da resistência mecânica final. Diversos tipos de compósitos poliméricos cimentícios foram revisados. De um modo geral, um percentual de água é adicionado aos compósitos com o intuito de promover a hidratação dos grãos cimentícios (PANZERA, 2010).

2.5 Nanotubos de Carbono

Os nanotubos de carbono são cilindros formados por átomos de carbono que possuem extraordinárias propriedades mecânicas, elétricas e térmicas, o termo "nanotubo de carbono" corresponde a uma grande família de materiais com diferentes características entre elas, sendo formados a partir do enrolamento de uma ou mais folhas de grafeno a partir do seu próprio eixo, tendo como forma estruturas cilíndricas

(tubulares) com diâmetros na faixa dos nanômetros (nanotubos), e comprimentos que variam de alguns micrometros até vários centímetros. (A. L. R. Sabariz 2013)

No primeiro momento, os nanotubos podem ser separados em dois grupos: os nanotubos de carbono de paredes simples, no qual uma única folha de grafeno é responsável pela sua estrutura; e os nanotubos de carbono de paredes múltiplas, onde várias folhas de grafeno se enrolam de forma concêntrica, como um tubo coaxial, separadas entre si por uma distância muito parecida com aquela observada entre as folhas de grafeno no grafite. (ZARBIN e OLIVEIRA 2013)

Quanto ao número de camadas, os nanotubos de carbono podem se classificar em dois tipos: nanotubos multicamadas ("multi-wallcarbonnanotubes - MWCNTs") e camada simples ("single-wallcarbonnanotubes - SWNTs"). Um tipo especial de MWNT é o nanotubo de parede dupla ("double-wallcarbonnanotubes - DWCNTs"). Dependendo da aplicação desejada, os nanotubos pode se apresentar de forma mais apropriada. Os MWNTs foram observados pela primeira vez por Iijima, em 1991 em contribuições independentes, dois anos seguintes Iijima e colaboradores no Japão, e Bethune e colaboradores nos EUA foi publicado de forma simultânea a síntese dos SWCNTs. Houve um debate alguns anos, a quem devem ser atribuídos os créditos da descoberta dos nanotubos de carbono. As pesquisas em nanotubos de carbono tem avançado bastante, o que claramente, impulsiona o desenvolvimento dos processos de síntese, levando à produção de feixes de nanotubos do tipo SWNT com uma qualidade mais elevada, o avanço foi idealizado pelo grupo do Prof. Smalley na *Rice University* e com isso, tornou possível a execução de estudos de microscopia e de espectroscopia que permitiram comprovar as principais propriedades físicas dos nanotubos, previstas no início da década de 90.(D. C. L. Vasconcelos)

Atualmente, é visto uma diversidade de métodos na preparação de nanotubos de carbono, foram desenvolvidos e podem ser produzidos nanotubos isolados sobre substratos, suspensos em pilares e dispostos em arquiteturas complexas e também sabemos que os nanotubos de carbono apresentam propriedades eletrônicas, ópticas e mecânicas muito interessantes. Com isso, esses materiais têm sido usados no desenvolvimento de diferentes tipos de dispositivos, como emissores de elétrons para mostradores, sensores de gases e sensores biológicos, pontas para microscópio de força atômica (AFM) e, quando combinados a outros materiais, como polímeros e fibras, servem como elementos de reforço formando compósitos com excelentes propriedades mecânicas (FILHO E FAGAN, 2007).

2.6 Caracterização por Difração de Raios-X

As técnicas de difração de raio X são os métodos mais importantes para a determinação estrutural disponíveis ao químico inorgânico. O método permite a determinação evidente das posições dos átomos e íons que constituem um composto iônico ou molecular, que permitem a descrição das estruturas em termos de detalhes tais como comprimento de ligações, ângulos e posições relativas de íons e moléculas numa célula unitária (SHRIVER, 2008).

Difração é a interferência entre ondas resultada pela presença de um objeto em seu caminho. A intensidade da difração depende de detalhes da estrutura do cristal e da identidade dos átomos. A facilidade de os átomos espalharem os raios X depende de quantos elétrons eles possuem e das suas posições na célula unitária. A medida dos ângulos de difração e das intensidades permite que se trabalhe na direção reversa para se obter a informação estrutural (ATKINS, 2008).

A técnica de raios X no método de pó é analisada quando estão numa forma policristalina, contendo milhares de cristalitos com dimensões de uns poucos micrometros ou menos, geralmente entre 0,1 a 10 µm. Como resultado, cada plano de átomos separado por um espaçamento de rede diferente no cristal dá origem a um cone de intensidade de difração. Cada cone consiste de um conjunto de pontos distintos, mas muito próximos, e cada um deles representa a difração de um único cristalito dentro da amostra em pó (SHRIVER, 2008).

O cimento Portland é o material composto de clínquer, gesso e eventuais, tais como calcário, pozolanas e escórias. O clínquer desse cimento é o material sinterizado e peletizado, resultante da calcinação de uma mistura adequada de calcário e argila e, eventualmente, de componentes corretivos. Pretende-se método de Rietveld, para realizar a comparação do diagrama calculado com o observado e redução das diferenças através do método de mínimos quadrados permitem a obtenção de resultados quantitativos (ATKINS, 2008).

2.6.1 Rochas graníticas

Graníticos é um termo que inclui o diorito, o granodiorito e o granito, os quais são semelhantes a granulação grossa do andesito, do dacito e do riolito, respectivamente. O tamanho de grão das rochas graníticas é suficiente para identificar os minerais constituintes com a confiabilidade ao microscópio (GILL, 2014). A maioria desses minerais é identificável facilmente utilizando também amostras de mão como apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Principais minerais identificados na constituição das rochas graníticas visualizadas em amostras de mão.

Mineral	Cor	Hábito	Observação
Quartzo	Incolor/cinza	Normalmente anédrico	Branco quando em veios hidrotermais
Feldspato alcalino	Rosa ou branco	Forma alongada, tabular	Macras simples frequentemente visíveis
Plagioclásio	Branco (Raramente verde ou preto)	Forma alongada, tabular	Macras múltiplas raramente visíveis
Piroxênio	Preto, verde-escuro ou marrom	Prisma com 4 ou 8 lados	
Anfibólio	Preto ou verde-escuro	Prisma em forma de losango	
Biotita	Preto a marrom-escuro	Flocos escuros e brilhantes	
Muscovita	Incolor	Flocos prateados	
Turmalina	Normalmente preto	Prisma alongados de 3 lados	

Um petrólogo que esteja fazendo observações petrográficas qualitativas de minerais e texturas deve utilizar um esquema como aquele mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Principais minerais identificados na constituição das rochas graníticas visualizadas em amostras de mão.

	Diorito	Granodiorito	Granito
Minerais essenciais	Plagioclásio	Plagioclásio sódico	Feldspato alcalino
Um ou mais minerais maficos		Quartzo	Quartzo
		Feldspato alcalino $plag > k - f^a$	Plagioclásio sódico $k - f^a \geq plag$
Minerais qualificadores	Quartzo	Hornblenda	Hornblenda
Hornblenda	Biotita	Biotita	
Biotita		Muscovita	
Augita		Turmalina	
		Granada	
		Cordierita	
		Andalusita	

3 METODOLOGIA

Foi realizada a caracterização das amostras de resíduos por: análise granulométrica por peneiramento, difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Desta forma, foi escolhido a produção de cimento forte para análise de resistência à compressão.

O cimento utilizado neste trabalho foi da marca ZEBU, CP II- Z32, que significa cimento Portland composto com pozolona de classe 32 (resistência mínima à compressão aos 28 dias de 32 MPa). De acordo com a NBR 11578:1991, Cimento Portland é composto por aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos (ABNT NBR 11578/1991). Pela NBR 5736:1991, materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos que por si sós possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença

de água, reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentícias (ABNT NBR 7215/1991).

As amostras de rejeitos de pó de granito foram obtidas da empresa Barros Marmoraria e Vidros Temperados, localizada em Cruz de Rebouças- Igarassu-PE. A análise granulométrica da areia foi realizada através de peneiramento manual conforme a NBR NM 248:2003 (“Agregados - Determinação da composição granulométrica”) (ABNT NBR 5736/1991), a massa específica deve ser determinada pelo método do frasco de Chapman e a massa unitária pelo procedimento da NBR NM 45:2006 (“Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios”) (ABNT NBR7215, 1996).

Os nanotubos de paredes múltiplas (MWCNT) utilizados foram produzidos pela coreana CNT Co. Ltd., apresentando diâmetros entre 10 e 70 mm, comprimento entre 8 e 20 µm e 90% de pureza. Devido à forma de síntese (descarga em arco com eletrodos de grafite na presença de catalisadores) eles podem conter irídio, alumínio, cobalto, níquel, além de carbono amorfo.

Inicialmente foi realizada a caracterização granulométrica das amostras de resíduos por segregação em abertura de malha no Laboratório de Produção de Alimento Vivo (LAPAVI), do Departamento de Pesca e Aquicultura (DEPAq) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (SEDE/ UFRPE). Esta análise granulométrica foi realizada de forma a se obter a granulometria específica e o material na forma adequada de uso para obtenção dos corpos de prova dos compósitos cimentícios.

Foi realizada análise por difração de raios X, utilizando um espectrômetro de raios X utilizando difratômetro D2 Phaser da Bruker, com dados coletados entre os ângulos 5° a 80° 2θ, varredura com passo angular 0,05 com tempo de 0,575 segundos por passo. Na análise utilizou-se um tubo com ânodo de cobre, 30 kV/10 mA e abertura de fenda 1 mm. A identificação dos compostos foi realizada por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do International Centre of Diffraction (ICDD).

As matérias-primas cimentícios foram produzidas através do cimento, areia natural, resíduo de corte de granito, água e algumas com nanotubos de carbono. O resíduo, coletado na forma de lama, foi gerado durante a etapa de corte das rochas e é formado por uma proporção não definida de granito. Assim, sua composição química

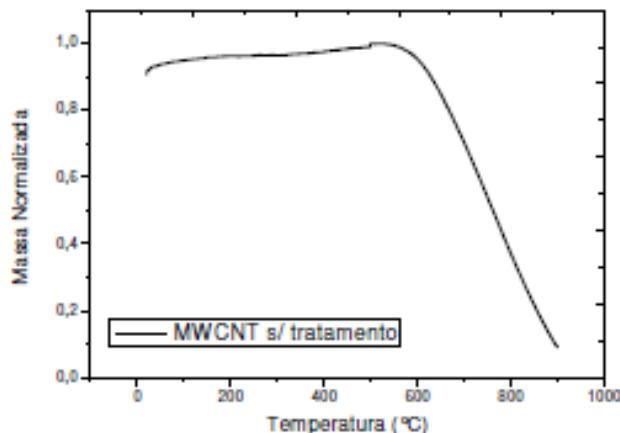
pode apresentar variabilidade a depender do lote em estudo, como é comum ao tratar-se de resíduos de processos industriais.

Os resultados das caracterizações de todos os materiais obtidos foram analisados para verificar se estes apresentam características dentro das normas técnicas para aplicação em construção civil. Foram tratados estatisticamente pela análise de variância – ANOVA, diferenças significativas entre as médias ($p < 0,05$) foram testadas pelo teste de Tukey. Para a análise estatística foi utilizado o programa BioEstat 5.3.

O uso de planejamentos fatoriais é extremamente econômico e podem ser usados para estudo de diferentes fatores de uma só vez. Fatores são variáveis que em princípio influenciam a resposta. Por sua vez, resposta é a propriedade que se tem interesse em estudar (B. B. NETO, 2010)

Os nanotubos de carbonos que serão utilizados apresentam degradação térmica em 600 °C, como pode ser observado na figura 1.

Figura 1: Termograma de MWCNTs sem tratamento. Parâmetros: taxa de aquecimento 10 °C/min, atmosfera N₂ (50 ml/min).



Fonte: SCHNEIDER, S.S.; SCHNEIDER, S.G.; DA SILVA, H.M.; Revista Matéria, v. 12, n. 3, pp. 518 – 524, 2007

É possível observar que os nanotubos em tratamento apresentam degradação térmica a partir de aproximadamente 600 °C, sendo necessário um estudo do tempo de cozimento. Assim, o tempo de cozimento foi um dos fatores escolhidos para o planejamento fatorial, os níveis para este fator podem sofrer alterações ao longo deste trabalho para se adequar aos valores de resistência à compressão estabelecidos na

NBR 7170/1983, que varia de 1,5 a 4,0 MPa a depender da categoria (ABNT NBR 7215/1996).

O fator massa (%) de resíduo de granito é de grande importância, uma vez que a adição de resíduos pode provocar uma elevação na absorção de água e uma redução na resistência à compressão simples. Blocos com teores de até 50 % de resíduos apresentam características cerâmicas dentro das especificações da normalização (A. S. FREIRE E J. F. MOTTA, 1995). Desta forma os níveis escolhidos para este fator foram 50 % e 100 % em massa de rejeito de granito utilizado.

Em geral se utiliza quantidades “traços” de nanoestruturas como nanotubos de carbono para incrementar propriedades mecânicas de materiais da construção civil. Desta forma para o fator massa de MWCNT foram escolhidos os níveis 2 mg e 5 mg de MWCNT.

As amostras (corpos de prova) utilizadas para os estudos deste projeto foram produzidas de acordo com a NBR 7215:1996. O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura (ABNT NBR 7215/1996).

Foi analisado a granulometria de três amostras de rejeito de granito seco e lavado, respectivamente, por segregação por malha, a figura 2 representa as peneiras com aberturas de malha de 850 μm , 425 μm e 300 μm utilizadas. Houve uma perca das amostras na segregação de malha 300 μm devido ao seu tamanho nas três amostras de rejeito seco.

Figura 2: Peneiras utilizadas para o analise de granulometria do rejeito de granite



Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Optou-se por dois planejamentos com 2 fatores e 2 níveis (2²). Um planejamento para cada tipo de rejeito de granito, seco (P) e lavado (PL), com a aplicação de nanotubos de carbono a uma concentração de 2mg e 5mg. As demais amostras foram corpos-de-prova (C), denominados como controle, para comparação e discussão da pesquisa. Este planejamento tem por objetivo avaliar a influência das variáveis na resistência à compressão dos blocos cerâmicos propostos neste trabalho.

Estamos em meio a segunda revolução do concreto, revolução esta que se iniciou com a descoberta da nanotecnologia e uso de nanotubos de carbono em cimentos, tendo como material resultante uma mistura que permite produzir concreto com altíssima resistência. A adição de nanotubos ao cimento Portland gera uma proteção no concreto chegando a 200 MPa e microscopicamente tem-se como se cabos de aço fossem acrescentados ao material (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

A tabela 3 apresenta os fatores e os níveis escolhidos para os corpos-de-prova (C) correspondente ao planejamento para cada tipo de rejeito de granito, seco e lavado, respectivamente, com exceção do primeiro corpo-de-prova (C1) que não utilizou nenhum tipo de rejeito de granito, tornando possível optar a utilização dele nos dois planejamentos como branco para comparação.

A tabela 4 apresenta os fatores e os níveis escolhidos para os planejamentos de combinação utilizando os rejeitos de granito seco (P) ou lavados (PL) com os

nanotubos de carbono. É importante ressaltar que a concentração de nanotubos de carbono utilizada na pesquisa permaneceu 1 hora na lavadora ultra sônica de 50-60Hz em uma porção de 0,0g de NTC/100ml de H₂O. A tabela 5 mostra as proporções utilizadas em todas as amostras, vale ressaltar que se utilizou o traço para preparação de cimento forte.

Tabela 3: Fatores e níveis dos corpos-de-prova dos rejeitos de granito seco e lavado

	Cimento	Areia	MWCTN	Rejeito seco	Rejeito lavado	H ₂ O
C1	250g	125g	–	–	–	90 ml
C2	250g	62,5g	–	62,5g	–	100ml
C3	250g	–	–	125g	–	120ml
C4	250g	125g	2mg	–	–	90ml
C5	250g	125g	5mg	–	–	90ml
C6	250g	62,5g	–	–	62,5g	100ml
C7	250g	–	–	–	12g	103ml

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Tabela 4: Fatores e níveis dos planejamentos de combinação dos rejeitos de granito seco ou lavado com nanotubos de carbono.

	Cimento	Areia	NTC	Rejeito seco	Rejeito lavado	H ₂ O
P1	250g	62,5g	2mg	62,5g	–	100ml
P2	250g	62,5g	5mg	62,5g	–	104ml
P3	250g	–	2mg	125g	–	125ml
P4	250g	–	5mg	125g	–	130ml
PL1	250g	62,5g	2mg	–	62,5g	100ml
PL2	250g	62,5g	5mg	–	62,5g	100ml
PL3	250g	–	2mg	–	125g	100ml
PL4	250g	–	5mg	–	125g	105ml

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Tabela 5: Proporção utilizada em cada amostra.

	Cimento	Areia	Rejeito seco	Rejeito lavado	NTC (mg)
C1	2	1	–	–	–
C2	2	0,5	0,5	–	–
C3	2	0	1	–	–

C4	2	1	-	-	2
C5	2	1	-	-	5
C6	2	0,5	-	0,5	-
C7	2	0	-	1	-
P1	2	0,5	0,5	-	2
P2	2	0,5	0,5	-	5
P3	2	0	1	-	2
P4	2	0	1	-	5
PL1	2	0,5	-	0,5	2
PL2	2	0,5	-	0,5	5
PL3	2	0	-	1	2
PL4	2	0	-	1	5

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Todas as amostras foram enviadas para análise de resistência à compressão, no Laboratório de Tecnologia dos Aglomerantes (LabTag), do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Os ensaios foram realizados com tempo de cura de 7 dias, seguindo a norma não ultrapassando os 17 dias. Em conclusão, foi analisado os difratogramas e as fases cristalinas do rejeito da serragem de pó granito, bem como do cimento utilizado para produção dos compósitos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o estudo de granulometria a segregação das amostras de rejeito de granito seco por malha foi realizada em triplicata, obtendo-se os resultados presentes na tabela 6 e novos valores estatísticos através de análises.

Tabela 6: Análise das granulometrias por peneiração das amostras de rejeitos de granito seco.

Amostra 1	Peso Amostral Total (g)	Abertura de Malha (850 µm) (g)	Abertura de Malha (425 µm) (g)	Abertura de Malha (300 µm) (g)
Amostra 2	97,819 g	61,656 g	21,908 g	5,112 g
Amostra 3	127,169 g	61,389 g	44,270 g	7,923 g
Amostra 1	172,026 g	84,366 g	46,263 g	25,373 g

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

A tabela 7 apresenta os dados estatísticos quantitativos obtidos através do programa “Bioestat 5.3”, verificando a média aritmética, desvio padrão, erro padrão e a variação das três amostras e cada granulometria. Verifica-se que todos os dados se encontram com a normalidade normal (ns).

Tabela 7: Análise dos dados estatísticos quantitativos das amostras e granulometria de rejeitos de granito seco.

	Média aritmética (g)	Desvio padrão (g)	Desvio padrão (g)	Variação (g)
Amostras	132,0000g	1425,0000g	37,7492g	21,7945g
850 µm	68,6667g	176,3333g	13,2791g	7,6667g
425 µm	37,0000g	193,0000g	13,8924g	8,0208g
300 µm	12,3333g	121,3333g	11,0151g	6,3596g

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

A tabela 8 apresenta os valores obtidos no teste Anova “Tukey” apresentando a de comparação de Média ± Desvio Padrão das três amostras e cada granulometria. As letras iguais presentes na tabela representam a semelhança entre os dados.

Tabela 8: Teste de comparação de Média ± Desvio Padrão das amostras dos rejeitos de granito seco e suas granulometrias. No Teste Anova “Tukey”.

	Média aritmética±Desvio Padrão (g)
Amostras	132,00±37,75 a
800 µm	68,67±13,28 b
425 µm	37,00 ±13,90 b
300 µm	12,39 ±11,02 b

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Posteriormente foi analisado a granulometria de três amostras de rejeito de granito lavado por peneiração com variância semelhantes ao granito seco como mostra na figura 2, obtendo-se os valores representados na tabela 9. Através desses valores, foram calculados seus valores estatísticos apresentado na tabela 10. Dessa vez não houve perca das amostras.

Figura 2: Amostras de rejeito de granito lavado após o processo de peneiração



Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Tabela 9: Análise das granulometrias por peneiração das amostras de rejeitos de granito lavado.

Amostra 1	Peso	850 μm	425 μm	300 μm
Amostra 2	69,961g	48,635	14,713g	3,715g
Amostra 3	88,879g	53,842g	24,276g	6,040g
Amostra 1	61,666g	37,132g	18,181g	3,648g

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Tabela 10: Análise dos dados estatísticos quantitativos das amostras e granulometria de rejeitos de granito lavado.

Tabela 10: Análise dos dados estatísticos quantitativos das amostras e granulometria de rejeitos de granito lavado.

	Média aritmética (g)	Desvio padrão (g)	Desvio padrão (g)	Variação (g)
Amostras	72,6667	13,8684	8,0069	192,3333
850 μm	46,0000	8,1854	4,7258	67,0000
425 μm	18,6667	5,0332	2,9059	25,3333
300 μm	4,0000	1,7321	1,0000	3,0000

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

A tabela 11 apresenta teste de comparação de Média \pm Desvio Padrão. As letras iguais representam igualdade estatística ($P<0,05$). Na figura 3 observamos todas as amostras produzidas.

Tabela 11: Teste de comparação de Média \pm Desvio Padrão das amostras dos rejeitos de granito lavado e suas granulometrias.

	Média aritmética \pm Desvio Padrão (g)
Amostras	72,6667 \pm 13,8684 a

850 μm	$46,0000 \pm 8,1854$ b
425 μm	$18,6667 \pm 5,0332$ c
300 μm	$4,0000 \pm 1,7321$ c

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Figura 3: Na imagem superior encontra-se as amostras preparadas, e na imagem inferior o resultado de tal amostra.



Fonte: Pereira, N.C.

Todos os corpos-de-prova e planejamentos que utilizaram rejeito de granito seco foram elaborados com granulometria 425 μm , entretanto os que levaram rejeitos de granito lavado não obteve uma granulometria padrão devido a sua umidade que dificultava o processo de peneiração.

Foi possível observar que o C2 obteve uma reação exotérmica durante sua preparação. O PL2 apresentou um aspecto menos consistente que as demais amostras. Todas as amostras de rejeito de granito seco e sem areia se tornaram mais secas precisando de uma quantidade maior de água. As amostras com rejeitos de granito lavado, devido sua umidade, esperava-se uma quantidade menor de água, mas se mantiveram perto do padrão.

Após 3 horas da preparação, também foi possível observar que as amostras começaram a pegar consistência, exceto o C3, o mesmo teve um aspecto semelhante a argamassa durante a preparação como mostra a figura 4.

Figura 4: Aspecto do corpo-de-prova 3 durante sua preparação.



Fonte: Pereira, N. C.; 2018

A análise de compressão, ilustrado na figura 5, ressaltou os resultados de cada amostra apresentados na tabela 12. A tabela 13 representa os valores estatísticos da análise. É possível observar que todas as amostras tiveram uma área padrão de 19,63 cm². O C4 obteve uma resistência à compressão superior aos demais, enquanto o PL2 obteve um uma resistência inferior.

Figura 5: Analise de resistência à compressão do controle 7.



Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Tabela 12: Resultados da análise de resistência à compressão das amostras.

Ordem de rompimento	Código	Carga de ruptura (tf)	Área (cm ²)	Resistência à comp. (MPa)
1	Controle 7	5,94	19,63	30,25
2	P1	6,26	19,63	31,88
3	Controle 5	6,89	19,63	35,09
4	Controle 6	6,87	19,63	34,99
5	PL4	5,34	19,63	27,20
6	PL3	4,69	19,63	23,89
7	PL2	4,67	19,63	23,78
8	Controle 1	7,22	19,63	36,77
9	Controle 3	6,56	19,63	33,41
10	Controle 4	7,83	19,63	39,88
11	Controle 2	6,77	19,63	34,48
12	PL1	6,59	19,63	33,56
13	P4	5,77	19,63	29,39
14	P3	5,43	19,63	27,65
15	P2	6,44	19,63	32,80

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Tabela 13: Valores estatísticos da análise de resistência à compressão das amostras.

Grupo	Nº cps	Média (tf)	Média (MPa)	Desv. Pad. (MPa)	Coef. De var. (%)
Controle	7	6,87	34,98	2,95	8,44%
P	4	5,98	30,43	2,35	7,71%
PL	4	5,32	27,11	4,59	16,92%

Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Todas as amostras apresentaram valores de resistência à compressão superiores ao estabelecido pela NBR 7215:1996, aos 7 dias de cura que é 20 MPa. As amostras C1, C2, C3 e C6 apresentam valores superiores ao mínimo estabelecido pela norma para um tempo de cura de 28 dias (32 MPa), mesmo tendo sido realizado os ensaios com tempo de cura inferior a este. Desta forma, atesta-se a viabilidade da aplicação do rejeito de serragem de granito na produção de compósitos cimentícios e argamassas.

Na figura 06 está apresentada a curva padrão de difração de raios X do rejeito lavado, a figura 07 apresenta a curva padrão do rejeito seco. Pode-se observar

que o rejeito de granito utilizado, tanto lavado quanto o seco apresentam, quartzo, albita, microclínio, biotita, feldspato magnésio, dolomita e calcita.

Figura 6: Difratograma de Raios-x do rejeito lavado.

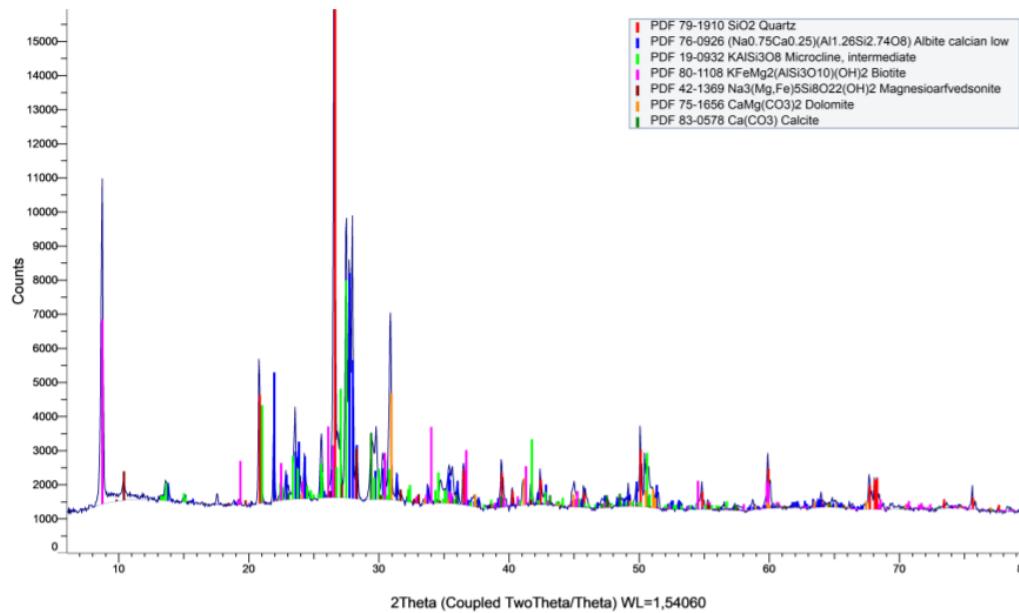
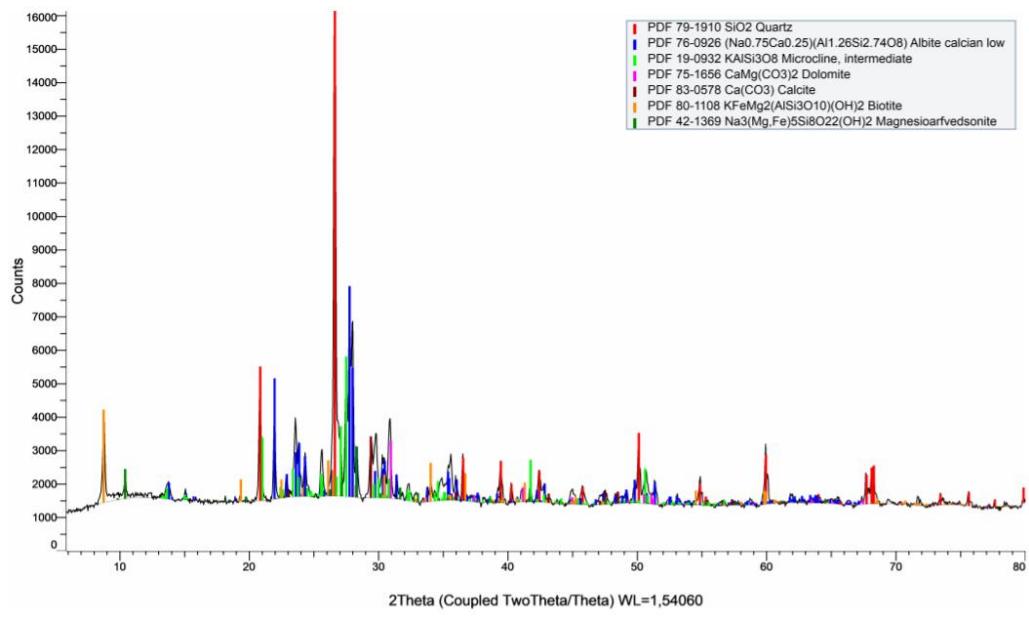


Figura 7: Difratograma de Raios-x do rejeito seco.

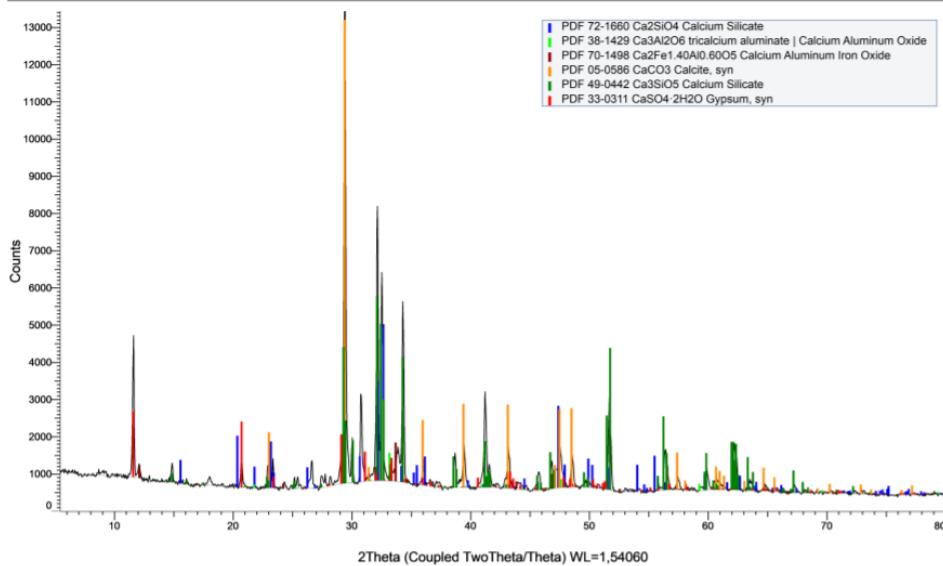


Fonte: Pereira, N. C.; 2018

A forma mais comum da sílica é o quartzo, sendo também o mais abundante mineral da terra. Possui estrutura cristalina trigonal composta por tetraedros de sílica e tem como principais características sua elevada dureza e alto ponto de fusão (aproximadamente 1650 °C). A albita e o microclínio são feldspatos que desempenham a função de fundentes. Desta forma são componentes formadores de fase vítreia em corpos cerâmicos e esmaltes, auxiliando no fechamento da porosidade entre as partículas, conferindo aumento da densidade relativa do material sinterizado (CABRAL, 2009).

A figura 08 apresenta a curva padrão de difração de raios X do cimento utilizado para obtenção dos compósitos.

Figura 8: Difratograma de Raios-x do cimento.



Fonte: Pereira, N. C.; 2018

Analizando o difratograma observa-se a presença de silicato de cálcio, aluminato tri cálcio, óxido cálcio alumínio, calcita e gipsita. Desta forma pode-se a partir destas análises realizar ensaios de forma se obter compósitos com percentuais menores de cimento substituindo-o pelo rejeito que apresenta em sua composição a calcita, em comum com o cimento e grande quantidade de quartzo. O quartzo é o componente da areia, SiO₂, e por isso se obteve resultado satisfatório quando foram feitas amostras substituindo totalmente a areia pelo rejeito de pós de granito.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem de resíduos está cada vez mais sendo visada em razão do grande volume gerado pelo setor. Assim, este trabalho tem por finalidade expor uma visão geral sobre os efeitos da utilização dos resíduos industriais(granito), apresentando também resultados de trabalhos executados nesta área. Comprovou-se a viabilidade da reutilização de rejeitos de pó de serragem de granito na produção de materiais compósitos que possam ser empregados na construção civil. Para os materiais compósitos contendo nanotubos de carbono, de acordo com os ensaios realizados até o momento, por apresentarem percentuais muito baixo de NTC (0,0008 % e 0,002%) não apresentarem incremento significativo estatisticamente. A amostra que apresentou maior resistência foi obtida exclusivamente com MWCNT e cimento (40 MPa). MWCNTs preenchem os espaços (bolhas de ar) que geralmente existem após o processo de cura do cimento. Desta forma, tem-se um aumento na resistência. As

interações do CNT com cimento e CNT funcionalizados poderão ser estudadas. Além disso, observou-se que o rejeito apresenta em sua composição química alguns componentes presentes no cimento, indicando que se pode realizar ensaios para substituir em parte ou totalmente o cimento na preparação de alguns materiais.

REFERÊNCIAS

1. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Requisitos. Rio de Janeiro.2014.
2. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7170. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro. 1983.
3. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215: Cimento Portland- Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro.1996
4. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.
5. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006.
6. AMORIM, Luciana Viana et al. Reciclagem de rejeitos da construção civil para uso em argamassas de baixo custo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, p. 222-228, 1999
7. Arnaldo M. P. Carneiro. Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia -sistematica das empresas de construção civil de Porto Alegre. P. 15, 1993.
8. CALMON, J. L. et. all., Anais II Simp. Bras. Tecnol. Argamassas, Salvador, BA, p. 40, 1997.
9. CARDOSO, Wanderleiton et al. AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO EM CONCRETO PARA PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS PARA PAVIMENTAÇÃO. Revista Ifes Ciência, v. 7, n. 1, p. 01-17, 2021.
10. CARNEIRO, Arnaldo M. P. Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia - sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre. Porto Alegre, 1993

11. CEZÁRIO, Janaína Aparecida et al. Previsão da geração de resíduos sólidos urbanos para o aterro sanitário no município de Campina Grande-PB. 2022.
12. COELHO, P.E.; CHAVES A.P. Reciclagem de entulho - Uma opção de negócio potencialmente lucrativa e ambientalmente simpática. Areia e Brita, São Paulo, v. 2, n. 5, p. 31-35, 1998.
13. DA CONCEIÇÃO PEREIRA, Natália et al. Reuso de rejeitos do granito para obtenção de compósitos utilizando materiais cimentícios. BrazilianJournalofDevelopment, v. 6, n. 9, p. 72244-72255, 2020.
14. DA SILVA, Narciso Gonçalves. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2006.
15. DRESSELHAUS, M.S.; DRESSELHAUS, G.; EKLUND, P.C. Science ofFullerenesandCarbonNanotubes. San Diego: Academic Press, 1996
16. FARIA FILHO, João de et al. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito. 2007.
17. FILHOS, C. D.; RODRIGUES, E. P., Rochas de Qualidade. V. 1, p. 37, 1978.
18. FM VENTURA, Ana Mafalda. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. 2009.
19. FREIRE, A. S.; MOTTA, J. F.; Rochas de Qualidade, v. 16, n.123, p. 98,1995.
20. GARCIA, Gian et al. Estudo sobre a Viabilidade de Utilização do Resíduo Proveniente do Setor de Moagem em uma Formulação de Engobe Cerâmico. Cerâmica Industrial, v. 22, n. 2, p. 20-24, 2017.
21. G. C. Xavier, F. Saboya, P. C. A. Maia, J. Alexandre. Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. Cerâmica, Vol. 55, p. 1, 2009.
22. Geól. Cid Chiodi Filho. O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais. ABIROCHAS, Vol 1, p. 4, 2018.
23. IIJIMA, S. Helicalmicrotubulesofgraphiticcarbon. Nature, v. 354, p. 56-58, nov. 1991
24. JUNIOR, João Alves Pereira et al. USO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO E MÁRMORE NA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE CONCRETO (MEIO-FIO ECOLÓGICO). In: VIII Mostra Científica Interdisciplinar de Pesquisa e Extensão. 2017.

25. KAJIURA, H. TSUTSUI, S.; KADONO, K.; KAKUTA, M.; ATA, M.; MURAKAMI, Y. Hydrogen storage capacity of commercially available carbon materials at room temperature. *Applied Physics Letters*, v. 82, n. 7, p. 1105, fev. 2003.
26. KERMAN, K.; MORITA, Y.; TAKAMURA, Y.; TAMIYA, E.; MAEHASHI, K.; MATSUMOTO, K. PeptideNucleic Acid – Modified Carbon Nanotube Field-Effect Transistor for Ultra-Sensitive Real-Time Detection of DNA Hybridization. *Carbon*, n. 4, p. 65–70, mar. 2005.
27. LIMA, Rosa do Carmo Oliveira et al. Aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmicas de baixo custo. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 6, n. 3, p. 163-169, 2011.
28. MEDEIROS, Atália Farias de et al. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil: principais desafios e perspectivas. 2022.
29. NETO, B. B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, E. *Como Fazer Experimentos*. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
30. NETO, B. B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, E. *Como Fazer Experimentos*. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
31. OLIVEIRA, Larissa Jhennifer Conceição et al. Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 24447-24462, 2020.
32. PANZERA, T. H. et al. Propriedades mecânicas de materiais compósitos à base de cimento Portland e resina epóxi. *Cerâmica*, v. 56, p. 77-82, 2010.
33. PASCINI, Antônio de Pádua Gouvêa et al. UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA. 2020.
34. PUERTAS, F. et all. Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production, Cement and Concrete and other composites, v.30, n. 9, p. 798-805, out 2008.
35. ROMUALDO R. M, GELMIRES de A. N & HEBER C. F. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matéria-prima cerâmicas alternativas. Campina grande/PB, 2001 FILHOS, C. D.; RODRIGUES, E. P., Rochas de Qualidade, v. 27, n. 147, p. 86, 1999.
36. ROMUALDO R. M, GELMIRES de A. N, HEBER C. F. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matéria-prima cerâmicas alternativas. Campina Grande/PB, 2001

37. ROMUALDO, R. et. all. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. Journal of the European Ceramic Society, v.25, n. 7, p. 1149-1158, may 2005.
38. SABBATINI, F. H. Patologia das argamassas de revestimentos - aspectos físicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 1986, São Paulo. Anais... São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986, p. 69-76.
39. SANTOS, Robson A.; LIRA, Belarmino Barbosa; RIBEIRO, Ana Carolina Marinho. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. Holos, v. 5, p. 125-135, 2012.
40. SAUTERÉY, R. in: Proceedings Aiaeepc, v. 1, p. 37, 1978.
41. SILVA, M. C. et. all. Aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmicas de baixo custo, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.6, n. 3, p. 163-169, 2011.
42. SILVA, N. I. W. et all. Anais 42º Cong. Bras. Cerâm, Poços de Caldas, SP, p. 97, 1998.
43. SOUZA FILHO, Antônio Gomes de; FAGAN, Solange Binotto. Funcionalização de nanotubos de carbono. Química nova, v. 30, p. 1695-1703, 2007.
44. Szigethy Leonardo, Antenor Samuel. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. Centro de pesquisa em ciência, Tecnologia e Sociedade. Publicado 09/07/2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>
45. THOSTENSON, E. Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. Composites Science and Technology, v. 61, n. 13, p. 1899–1912, out. 2001.
46. VILLARI, A.C. Transformar entulho em material útil reduz o custo da construção, O Estado de São Paulo, São Paulo, Caderno de Negócios e Oportunidades, p. 1, 18 de out. 1992
47. XAVIER, G. C, SABOYA, F, MAIA, P. C. A, ALEXANDRE, J. Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. Campos dos Goytacazes/RJ, 2009.

48. ZARBIN, Aldo JG; OLIVEIRA, Marcela M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis? Química Nova, v. 36, p. 1533-1539, 2013.