



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS MOSSORÓ
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA
CENTRO DE ENGENHARIAS

RAMON CARLOS MARQUES BATALHA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO CARAPAÇA DE CARANGUEJO UÇÁ (*UCIDES
CORDATUS*) CALCINADA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO FELDSPATO EM
MASSA CERÂMICA PARA PORCELANA DENTÁRIA**

MOSSORÓ-RN

2017

RAMON CARLOS MARQUES BATALHA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO CARAPAÇA DE CARANGUEJO UÇÁ (*UCIDES
CORDATUS*) CALCINADA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO FELDSPATO EM
MASSA CERÂMICA PARA PORCELANA DENTÁRIA**

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

Orientador: Profº. Dr.Sc. Marcílio Nunes Freire
– UFERSA

MOSSORÓ – RN

2017

© 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 tornar-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.

B175i Batalha, Ramon Carlos Marques.
Incorporação Do Resíduo Carapaça De Caranguejo Uçá
(*Ucides Cordatus*) Calcinada Em Substituição
Parcial Ao Feldspato Em Massa
Cerâmica Para Porcelana Dentária/ Ramon
Carlos Marques Batalha. - 2017.
46 f. : il.

Orientador: Marcílio Nunes Freire.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2017.

1. Resíduo. 2. Caranguejo Uçá. 3. Cerâmica
dentárias. 4. Sistema Triaxial. I. Freire, Marcílio
Nunes, orient. II. Título.

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

RAMON CARLOS MARQUES BATALHA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO CARAPAÇA DE CARANGUEJO UÇÁ
(UCIDES CORDATUS) CALCINADA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO
FELDSPATO EM MASSA CERÂMICA PARA PORCELANA DENTÁRIA**

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

APROVADA EM: 22/05/2017

BANCA EXAMINADORA



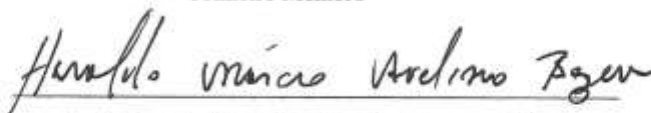
Prof. Dr. Marcílio Nunes Freire – UFERSA

Presidente



Prof. Dr. Wagner Lopes Torquato – IFRN

Primeiro Membro



Prof. Me. Haroldo Márcio Avelino Bezerra – IFRN

Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pai eterno e todo poderoso, digno de toda glória e louvor. Quero por meio destas humildes palavras agradecer por todas as graças alcançadas no meu tempo de vida, pela saúde, minha e da minha família, pelo alimento na mesa, pela minha morada e por proporcionar condições necessárias para que eu possa alcançar meus objetivos.

A meu pai Carlos Denis de Freitas Batalha, pela batalha diária e horas incontáveis de trabalho, para proporcionar a mim e a minha família a melhor condição possível para uma boa vivência, pelos ensinamentos de caráter e honestidade que foram partes fundamentais na minha formação.

A minha mãe Maria Helena Marques dos Santos, por ser a mulher da minha vida, minha base de sustentação, meu ponto de equilíbrio e de fé, onde eu tenho a certeza de segurança e proteção eterna.

A minha irmã Ravana Rany Marques Batalha, pelo exemplo de esforço e dedicação diário em que me espelho para conseguir realizar meus objetivos.

Aos meus avós Cicero Batalha e Teresinha de Freitas Batalha (*in memoriam*) Por sempre terem acreditado no meu potencial e serem os grandes fiadores da minha educação, pelos inúmeros momentos de felicidades que vocês trouxeram para a minha vida.

A todos os meus familiares, primos e primas, tios e tias que formam uma base sólida para que possamos sempre unidos resolver os eventuais problemas que possam aparecer em nossas vidas.

Aos meus amigos, a quem não me atrevo a citar nomes para não cometer injustiças, por serem anjos na minha vida, e irmãos que Deus me apresentou, em especial a galera do “terceirão 2010” e dos grupos “coisas de macho” e “KDT”, com quem passo grande parte do dia compartilhando momentos tristes e alegres pare que juntos possamos alcançar nossos sonhos mais malucos.

Ao meu orientador e amigo Profº. Dr. Marcílio Nunes Freire pela disponibilidade, confiança e dedicação em aceitar a orientação da elaboração desse trabalho, e assim ser parte da minha formação acadêmica tanto como professor acadêmico, como orientador sempre

desempenhando um excelente trabalho, te desejo tudo de bom, e que você possa realizar todos os seus objetivos.

Aos professores, Dr. Wagner Lopes Torquato e Me. Haroldo Márcio Avelino pela disponibilidade, tempo dedicado e contribuições para o presente trabalho.

De maneira geral a todos os professores que passaram por minha vida, quero registrar a minha enorme gratidão, por todo esforço e dedicação para transmitir conhecimentos indispensáveis na minha formação.

Aos técnicos Euclides Ferreira da Costa Neto e João Barbosa Neto pelas microscopia eletrônica e fluorescência de raio-X, respectivamente, importantíssimas contribuições durante a realização do trabalho.

A UERN que, através do laboratório de análises magnéticas e ópticas proporcionou a maior parte da realização do procedimento experimental, incluindo a determinação das propriedades.

RESUMO

A preocupação com a questão da sustentabilidade ambiental, juntamente com a busca constante pelo desenvolvimento de novos tipos de materiais para servirem como alternativa aos tradicionalmente usados, traz à tona a importância da pesquisa da introdução de resíduos sólidos no processo de fabricação dos mesmos. No presente trabalho buscou-se estudar propriedades mecânicas de cerâmicas dentárias com a incorporação do resíduo de carapaça de caranguejo Uçá em um sistema triaxial cerâmico através da tensão de ruptura e módulo de elasticidade via compressão diametral, mais absorção d'água, para isso foram produzidas quatro massas cerâmicas, sendo uma padrão do sistema triaxial (quartzo, feldspato e caulim), e as outras três com adição percentual do resíduo da carapaça de caranguejo Uçá (0,5 %, 1,0 % e 1,5 %) em substituição ao feldspato. São apresentados resultados de análises de MEV, Fluorescência de raio-X e propriedades como módulo de elasticidade, absorção de água, retração linear e densidade aparente, determinadas para um processo de sinterização lenta, em forno resistivo com atmosfera ambiente, a temperatura máxima de 1.100,0 °C. Os resultados obtidos demonstram um bom potencial da utilização dos resíduos no desenvolvimento de porosidade em materiais cerâmicos, com destaque a massa com 0,5 % de resíduo que obteve médias de módulo de elasticidade igual a $(21,6 \pm 1,5)$ MP, de absorção de água igual a $(1,3 \pm 0,3)$ %, de retração linear igual a $(10,8 \pm 0,6)$ % e, de densidade aparente igual a $(2,16 \pm 0,04)$ g.cm⁻³.

Palavras-Chave: Resíduo. Caranguejo Uçá. Cerâmica dentárias. Sistema Triaxial.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual em massa dos materiais.	28
Tabela 2 - Resumo dos resultados absorção de água para as 28 amostras.	35
Tabela 3 - Resumo cálculo retração linear para as 28 amostras.	36
Tabela 4 - Resumo das densidades aparentes para as 28 amostras.	37
Tabela 5 – Resumo das tensões de rupturas	38
Tabela 6 - Resumo módulos de elasticidade.	38
Tabela 7 - Resumo geral das propriedades	39
Tabela 8 - Composição química das massas cerâmicas	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coroas de cerâmica dentária.	15
Figura 2 - Forno resistivo.	20
Figura 3 - Esquema simplificado do princípio de funcionamento do MEV.....	21
Figura 4 - Prensagem uniaxial.	22
Figura 5 - Gradiente de densidade no processo de compactação.	23
Figura 6 - Fluxograma do processo experimental do trabalho.	27
Figura 7 - Diagrama geral de composições para produtos cerâmicos resultantes do sistema argila – feldspato – sílica.	29
Figura 8 - Amostras identificadas e acomodadas no dessecador.....	30
Figura 9 - Molde utilizado no processo de prensagem.	30
Figura 10 - Montagem para prensagem uniaxial.	31
Figura 11 - Corpos de prova identificados por composição.	32
Figura 12 - Processo de compressão diametral.	33
Figura 13 - Diagrama tensão-deformação para melhor amostra.	40
Figura 14 - Micrografia do corpo de prova com aumento de 500x.	40
Figura 15 - Micrografia do corpo de prova com aumento de 2000x.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral.....	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO SOBRE A LITERATURA	13
2.1 RESÍDUOS E SUSTENTABILIDADE.....	13
2.2 MATERIAIS CERÂMICOS	14
2.2.1 Biomateriais cerâmicos	14
2.2.2 Cerâmicas odontológicas.....	15
2.2.3 Cerâmicas dentarias feldspáticas	15
2.3 MATÉRIAS PRIMAS	16
2.3.1 Feldspato	16
2.3.2 Quartzo	17
2.3.3 Caulim	17
2.3.4 Carapaça de caranguejo Uçá.....	18
2.4 CALCINAÇÃO	18
2.5 SINTERIZAÇÃO	19
2.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	20
2.7 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X	21
2.8 COMPACTAÇÃO POR PRENSAGEM	22
2.9 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS MATERIAIS.....	23
2.9.1 O diagrama tensão-deformação	24
2.9.2 Módulo de elasticidade ou de Young	25
2.9.3 Ensaio de compressão diametral	25
3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS.....	27

3.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	28
3.1.1 Massas cerâmicas.....	28
3.1.2 Preparação das massas cerâmicas e Prensagem uniaxial	29
3.1.3 Sinterização e realização das medidas para cálculos das propriedades físicas	32
3.1.4 Absorção de água e realizações das medidas finais para cálculos das propriedades físicas.....	32
3.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL E SELEÇÃO DA MELHOR AMOSTRA PARA ANÁLISE	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS	35
4.1.1 Absorção de água.....	35
4.1.2 Retração linear.....	36
4.1.3 Densidade aparente	36
4.1.4 Tensão de ruptura e módulo de elasticidade.....	37
4.1.5 Resumo geral das propriedades físicas e mecânicas	38
4.2 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X E MEV	40
5 CONCLUSÕES.....	42
6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento industrial dos dias atuais traz consigo um aumento na demanda por matéria prima e, conseqüentemente, um número cada vez maior de geração de resíduos provenientes das mais variadas atividades presentes nesse meio. Segundo Menezes (2002) os resíduos industriais e urbanos vem se tornando um grande problema a ser enfrentado pela sociedade moderna, pelo fato de sua inadequada deposição provocar degradação do meio ambiente e outros problemas como contaminação dos mananciais de água e do solo.

O crescimento dos problemas ambientais provenientes da deposição de resíduos, em conjunto com a preocupação ambiental crescente nos últimos tempos, traz à tona o sistema de produção baseado na sustentabilidade, que visa o reaproveitamento desses resíduos com o intuito de minimizar os prejuízos causados ao meio ambiente e, conseqüentemente, a sociedade em geral, com o intuito de preservar a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas demandas.

Segundo Sousa (2014) o consumo de crustáceos, como o caranguejo, produz altos níveis de dejetos que nem sempre são descartados de forma adequada, o que gera uma grande quantidade de resíduos sólidos. Ainda segundo Sousa (2014) a indústria Cerâmica demonstra uma grande capacidade de utilização desse tipo de material na fabricação de seus produtos, tais como Cerâmica vermelha (tijolos, blocos de vedação, telhas e lajotas), Cerâmica de revestimento (pisos e parede), louças, cerâmicas avançadas etc. Nesse contexto, as cerâmicas dentárias apresentam uma nova via de reutilização para esse tipo resíduo.

Diante disto, o presente trabalho objetiva realizar a incorporação do resíduo carapaça do Caranguejo Uçá (*Ucides Cordatus*) em massa cerâmica para porcelana dentaria em um sistema triaxial (caulim, quartzo e feldspato), em substituição ao feldspato, com o intuito de estudar e, ainda, alcançar uma possível melhora do material em relação a suas propriedades físico-mecânicas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Utilizar o resíduo carapaça de caranguejo Uçá no desenvolvimento de porcelana dentaria através da sua incorporação em cerâmica triaxial do sistema caulim-resíduo-quartzo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar físico – quimicamente o resíduo carapaça de caranguejo;
- Estudar propriedades mecânicas de cerâmicas com a incorporação do resíduo de carapaça de caranguejo Uçá calcinada em um sistema triaxial cerâmico, através do módulo de elasticidade via compressão diametral, absorção de água, retração linear e densidade aparente.

2 FUNDAMENTAÇÃO SOBRE A LITERATURA

2.1 RESÍDUOS E SUSTENTABILIDADE

Segundo Silva *et al.* (2015) o resíduo pode ser definido como toda substância ou matéria resultante de um processo de produção, transformação ou de um bem móvel material, que em um determinado tempo e espaço é abandonada pelo seu proprietário. Para resíduos industriais, em específico, a definição abrange todos aqueles que são provenientes das atividades industriais, tais como processos químicos, petroquímicos, indústria papelreira, metalúrgica, alimentícia, dentre outros (GIANNINI, 2010). Desde o início a sociedade humana convive com resíduos e seu errado despejo no meio ambiente; os problemas ambientais, relacionados a esse contexto, se tornam mais evidente a medida em que a densidade demográfica mundial aumenta e, como consequência desse aumento, ocorre a expansão das estruturas das habitações humanas com maior demanda por bens de consumo por parte da sociedade. O aumento dessa demanda traz como consequência a elevação das atividades industriais que, por sua vez, ocasiona uma maior produção de resíduos provenientes das suas mais variadas atividades. Os problemas provenientes do despejo inadequado de resíduos no meio ambiente vão desde a poluição dos solos e mananciais até mesmo problemas relacionados a saúde podendo ser citados casos de dengue, que estão diretamente ligados ao acúmulo de água em resíduos despejados no meio ambiente.

O termo sustentabilidade segundo Mikhailova (2004) pode ser definido como a capacidade de explorar um recurso natural de forma a se sustentar de forma eterna. Em outras palavras, sustentabilidade é a capacidade de atender as demandas da sociedade atual sem afetar a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas demandas. Com o crescente aumento das questões ambientais nos dias atuais o termo sustentabilidade tem sido cada vez mais empregado nos diversos processos produtivos presentes na sociedade moderna, tornando-se cada vez mais importante. O aproveitamento dos resíduos sólidos mostra-se como uma via importante para o desenvolvimento sustentável da sociedade de tal modo que através dessa ação a quantidade desse tipo de material despejado no meio ambiente diminui consideravelmente trazendo benefícios para a sociedade em geral.

2.2 MATERIAIS CERÂMICOS

Segundo Callister (2008) as cerâmicas são compostos formados entre elementos metálicos e não-metálicos, consistindo na maioria das vezes, de óxidos, nitretos e carbetos. Alguns dos materiais cerâmicos comuns incluem o óxido de alumínio, ou alumina (Al_2O_3), o dióxido de silício, ou sílica (SiO_2), o carbetto de silício (SiC), o nitreto de silício (Si_3N_4) e, ainda, o que alguns referem como cerâmicas tradicionais, compostas por minerais agilosos como cimento e vidro (CALLISTER, 2008). De acordo com Callister (2008), os materiais cerâmicos são relativamente rígidos e resistentes, sendo tipicamente muito duros. Por outro lado, eles são extremamente frágeis, sendo altamente suscetíveis à fraturas. Outras características apresentadas pelas cerâmicas, segundo Callister (2008), são a sua capacidade isolante à passagem de calor e eletricidade e resistência a altas temperaturas. A variação de propriedades mecânicas e físicas dos materiais cerâmicos permite sua aplicação em campos distintos como fabricação de tijolos, louças, refratários, materiais magnéticos, dispositivos eletrônicos, fibras, abrasivos e biomateriais.

2.2.1 Biomateriais cerâmicos

De acordo com Rodrigues (2013) podemos classificar os biomateriais como a classe de material relacionada a dispositivos médicos, sobretudo àqueles que são temporária ou permanentemente implantados no corpo humano. Em outras palavras, biomateriais são materiais utilizados no corpo humano com o intuito de substituir partes danificadas ou perdidas que não desempenham mais sua função de forma efetiva. Um biomaterial necessita ter a capacidade de apresentar uma resposta adequada a uma situação específica, além de ter a capacidade de se adaptar ao corpo humano sendo aceito pelos tecidos e partes do corpo que estão nas suas proximidades (RODRIGUES, 2013).

Materiais biocerâmicos são aqueles projetados especificamente para serem usados na fabricação de implantes cirúrgicos, próteses e órgãos artificiais com o intuito de cumprir uma determinada função fisiológica no corpo humano (RODRIGUES, 2013). Ainda segundo Rodrigues (2013) as biocerâmicas possuem uma boa biocompatibilidade e são os melhores materiais em relação a interação entre implante e osso, outro fato citado é a similaridade com os componentes minerais do osso, fazendo com que a aplicação desse tipo de material seja muito ampla.

2.2.2 Cerâmicas odontológicas

A cerâmica odontológica, ou porcelana dental, é conhecida por ser um material de aparência semelhante aos dentes dos seres humanos, devido a sua adequada propriedade óptica e durabilidade química (GOMES *et al.*, 2008). De acordo com Amoroso *et al.* (2012) atualmente, as cerâmicas constituem a principal alternativa para restauração da estrutura dental devido as suas propriedades favoráveis como, por exemplo, resistência à compressão, condutibilidade térmica, semelhança aos tecidos dentais, dentre outras.

Segundo Bona (2014) citado por Gomes *et al.* (2008), as cerâmicas odontológicas são compostas por elementos metálicos (alumínio, cálcio, lítio, magnésio, potássio, sódio, lantânio, estanho, titânio e zircônio) e não metálicos (silício, boro, flúor e oxigênio) sendo caracterizadas por duas fases: uma fase cristalina circundada por uma fase vítrea. Ainda de acordo com Bona (2014) citado por Gomes *et al.*, (2008) a matriz vítrea é composta por uma cadeia básica de óxido de silício (SiO_4) estando ela relacionada à viscosidade e expansão térmica da porcelana, enquanto a natureza da fase cristalina está relacionada as propriedades mecânicas e ópticas. A Figura 1 apresenta exemplos de coroas de cerâmica dentária que tem por objetivo realizar o revestimento artificial de um dente comprometido.

Figura 1 - Coroas de cerâmica dentária.



Fonte: <http://easyclinic.pt> (2016).

2.2.3 Cerâmicas dentárias feldspáticas

As cerâmicas dentárias feldspáticas são corriqueiramente utilizadas para confecção de próteses dentárias com substituição a dentes danificados ou perdidos tendo como principal

vantagem a capacidade de simular fielmente a cor natural dos dentes (De SOUZA *et al.* 2007). Segundo Craig (2004) citado por Gomes *et al.* (2008) a cerâmica feldspática é definida como um vidro, composta por feldspato de potássio ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) e pequenas adições de quartzo SiO_2 , sendo que em altas temperaturas, o feldspato decompõe-se numa fase vítrea com estrutura amorfa e numa fase cristalina constituída de leucita ($KAlSi_2O_6$ ou $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$). De acordo com Anusavice (1996) conforme citado por Gomes *et al.* (2008) as cerâmicas feldspáticas podem ser classificadas de acordo com sua temperatura de fusão em: porcelana de alta fusão ($>1300\text{ }^{\circ}C$), média fusão ($1101-1300\text{ }^{\circ}C$), baixa fusão ($850-1100\text{ }^{\circ}C$) e ultrabaixa fusão ($650-850\text{ }^{\circ}C$).

2.3 MATÉRIAS PRIMAS

Matéria-prima pode ser entendida como um material que tem origem natural é que faz parte do processo de fabricação de um determinado produto. A seleção da matéria-prima adequada é de fundamental importância para a boa qualidade do produto para qual a mesma é destinada. O presente trabalho utiliza o feldspato, caulim, quartzo como matéria-prima base para massa cerâmica com adição do resíduo carapaça de caranguejo Uçá como forma de substituição parcial do feldspato.

2.3.1 Feldspato

O nome feldspato vem do alemão (feld = campo + spath = pedra) e refere-se a um grupo de minerais de aluminossilicato do tipo AB_4O_8 ($A = Ca, Na, K$ e $B = Al, Si$), com uma relação de Si:Al que variam de 3:1 a 1:1 (LIRA; NEVES, 2013, p.110). Ainda segundo (LIRA; NEVES, 2013) os feldspatos compõem os grupos dos minerais de maior abundância na crosta terrestre (cerca de 60%) e compreendem os silicatos de alumínio combinados com sódio, potássio, cálcio e, eventualmente, bário. De acordo com Ramos [s.d] citado por Freitas & Argenti (2010), para materiais cerâmicos, o feldspato atua como um fluxo formando um vidro no interior do corpo cerâmico. Esse fato se dá devido ao seu conteúdo em álcalis ($Na_2O + K_2O$).

O feldspato pode ser utilizado em diferentes indústrias, além da cerâmica, como por exemplo: na indústria de vidro, sendo utilizado como redutor de temperatura de fusão do quartzo, ajudando no controle da viscosidade do vidro sendo assim também utilizado em produtos vidrados, como louça sanitária e de cozinha; porcelana para aplicações elétricas; na indústria de borracha é utilizado como material para incorporação devido a sua boa

dispersibilidade, inércia química, pH estável e alta resistência a abrasão e congelamento; na indústria química, é utilizado como incorporação para tintas e plásticos; eletrodos de soldagem; abrasivos leves, produção de uretano, espuma de látex e agregados para construção (SOUSA, 2014).

De acordo com (LIRA; NEVES, 2013) no cenário atual, a produção mundial de feldspato é dominada por Itália, Turquia, China e Tailândia e apesar de ter sido afetada pela reciclagem do vidro e competição com outros materiais, a indústria de feldspato continua crescendo. O Brasil se encaixa nesse contexto como importador de matéria prima e exportador de revestimento cerâmico.

2.3.2 Quartzo

Segundo Lobato (2009) o óxido de silício pode ser encontrado na natureza sob as formas polimorfas: quartzo, tridimita e cristobalita. Com a variação de temperatura ocorrem as transformações de fase sendo cada uma delas caracterizadas por uma denominação específica. O quartzo alfa é estável à temperatura ambiente, transformando-se em beta a 573 °C e em tridimita a 870 °C, em 1470 °C ocorre a fase cristobalita e o ponto de fusão ocorre em 1713 °C.

Ainda de acordo com Lobato (2009) os cristais de quartzo podem ser obtidos de duas formas, na natureza em decorrência das jazidas, ou por crescimento hidrotérmico na indústria de cristais cultivados. Informações sobre as reservas mundiais de quartzo são escassas, sabe-se que o Brasil é detentor de 95 % das reservas mundiais, o equivalente a 78 milhões de toneladas com destaque para os estados do Pará, Minas Gerais e Santa Catarina.

O quartzo apresenta propriedades físicas significativas podendo ser destacada dureza elevada, brilho variando entre fosco e vítreo e notável estabilidade química e térmica (SOUSA, 2014). O que garante uma vasta área de aplicação como: areia para moldes de fundição. Fabricação de vidro, esmalte, saponáceos, dentifrícios, abrasivos, lixas, fibras óticas, refratários, cerâmicas, produtos eletrônicos, fabricação de instrumentos óticos; indústria civil entre outras aplicações Machado (2016).

2.3.3 Caulim

De acordo com Santos (1979) citado por Da Luz e Damasceno (1993), define-se caulim como uma rocha que é constituída de material argiloso, com baixo teor de ferro; os caulins são silicatos de alumínio hidratado cuja composição química aproxima-se de $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,

contendo outros metais como impureza. Segundo Da Luz e Damasceno (1993) o caulim possui um grande número de propriedades físicas que o torna um mineral bastante utilizada nas indústrias, tendo como principais características a inércia química, maciez, não abrasividade, coloração branca ou quase branca e baixa condutividade térmica e elétrica.

Para que o caulim possa ser utilizado na fabricação de cerâmicas algumas características são necessárias como: plasticidade, cor, ponto de vitrificação, retração linear e resistência mecânica a deformação. O caulim cerâmico deve possuir ainda um teor de caulinta entre 75 e 85 % e não ter minerais que influenciem na cor de queima (DA LUZ & DAMASCENO, 1993). O caulim é um mineral importante no ramo industrial nos vários mercados mundiais onde sua aplicação inclui cobertura e carga de papel, cerâmica, tintas, plásticos, borracha, fibras de vidro, suporte catalisadores de craqueamento de petróleo entre outras utilizações (BERTOLINO *et al.*, 2012).

2.3.4 Carapaça de caranguejo Uçá

O Uçá (*Ucides Cordatus*) é um caranguejo de grandes dimensões que vive nos manguezais, comestível, sendo ele uma importante fonte de subsistência das populações litorâneas e o caranguejo de maior interesse comercial dos manguezais brasileiros, com uma estimativa de coleta anual de até sete toneladas por km² de área do mangue. Os Uçás podem ser localizados desde a Flórida (EUA) até o Uruguai, passando por toda costa brasileira, eles vivem nos limites superiores dos manguezais, em árvores, terrenos pantanosos, entocados em galerias subterrâneas individuais com múltiplas entradas e até dois metros de profundidade (UÇÁ, 2016).

A indústria alimentícia produz uma grande quantidade de resíduos descartáveis e que, muitas vezes, são despejados de forma equivocada no meio ambiente. O consumo da carne do caranguejo Uçá é comum e os dejetos provenientes dessa atividade apresentam uma possibilidade de reutilização. Segundo Vijayaraghavan *et al* (2005) citado por Sousa (2014) a carapaça de caranguejo uça é um material que apresenta bastante resistência, possuindo como principais constituintes o carbonato de cálcio e quitina associada à proteínas e sais minerais.

2.4 CALCINAÇÃO

De acordo com Heck (2007), o termo calcinação é compreendido como o tratamento de remoção de água, CO₂ e de outros gases fortemente ligados quimicamente a uma substância, tipicamente hidratos de carbonato. É um processo vigorosamente endotérmico, ou seja, absorve

energia, sendo usado para produção de óxidos puro ou combinado Sousa (2014). A temperatura do processo de calcinação varia de acordo com os tipos de compostos que sofrerão tal processo (SOUSA, 2014). Segundo Heck (2007), o MgCO_3 se decompõe aproximadamente à temperatura de 400°C , enquanto que o CaCO_3 se decompõe em 900°C . Outra característica desse processo é a utilização de uma fase gasosa para transferir o calor necessário e, ao mesmo tempo, afastar os produtos gasosos de decomposição. O processo de calcinação é realizado em reatores do tipo forno cuba, forno rotativo e leito fluidizado (HECK, 2007). A calcinação é uma etapa importante no processamento das massas cerâmicas de modo que esse processo consiste na extração de fase líquida presente na superfície do particulado e ainda na decomposição de compostos químicos voláteis, ocasionando a agregação do particulado (DA SILVA, 2010).

2.5 SINTERIZAÇÃO

Sinterização pode ser definida como um processo físico, termicamente ativado, que faz com que um conjunto de partículas de um determinado material, inicialmente em contato mútuo, adquira resistência mecânica. Esse tipo de processo é utilizado na fabricação de peças metálicas, cerâmicas e compósitos metal-cerâmica, sendo parte integrante e principal de técnicas denominadas metalurgia do pó e cerâmica (SILVA & JUNIOR, 1998). A força motora para a ocorrência de qualquer tipo de sinterização é a diminuição da energia livre superficial do conjunto de partículas, isto ocorre através do desaparecimento da interface material/poro, sendo substituída pela interface material/material, quando a porosidade desaparece (SILVA & JUNIOR, 1998).

Durante o processo de sinterização a porosidade da estrutura é fechada, para que isso ocorra existe a necessidade do material se deslocar para preencher os espaços vazios, é justamente o modo como esse fato ocorre que indica o tipo de sinterização. Existem dois tipos básicos de sinterização: a sinterização por fase sólida, onde o material é transportado sem que haja qualquer tipo de líquido na estrutura, e a sinterização por fase líquida que acontece dividido à formação de fase líquida (SILVA & JUNIOR, 1998).

A sinterização mais utilizada, tanto em escala industrial como em escala de laboratório, é a sinterização por meio de forno resistivo. A estrutura é sinterizada apenas com o auxílio da temperatura, trabalhando-se, geralmente, com baixas temperaturas de aquecimento e resfriamento, devido à inércia térmica dos fornos (SILVA & JUNIOR, 1998). A Figura 2 mostra o exemplo de um forno resistivo.

Figura 2 - Forno resistivo.



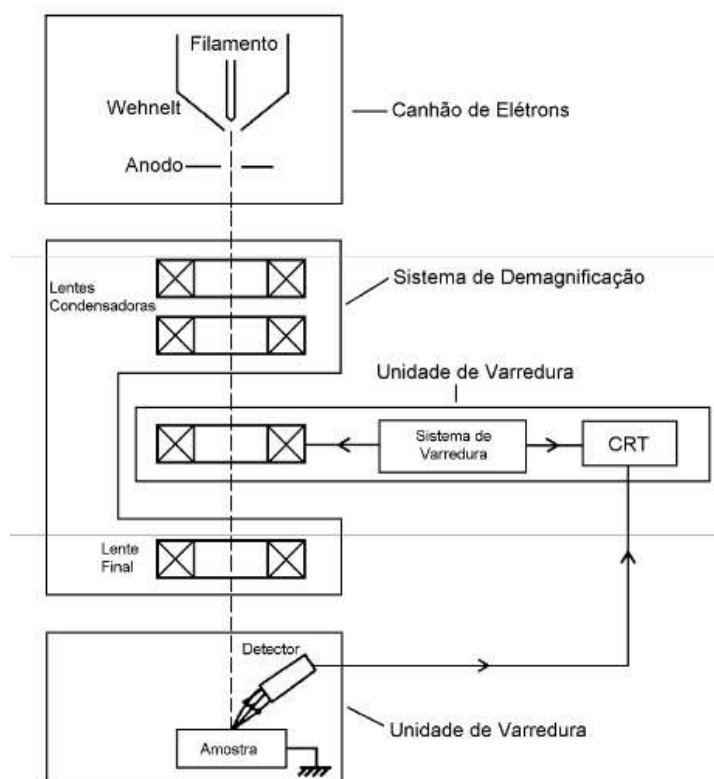
Fonte: <http://www.ppgem.eel.usp.br/infraestrutura> (2017).

2.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O principal objetivo de qualquer tipo de microscópio é criar a possibilidade do olho humano enxergar estruturas muito pequenas que não são possíveis de serem visualizadas a olho nu. O MEV, ou microscópio eletrônico de varredura, é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para realização de análise de microestrutura de objetos sólidos, podendo fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e elementos químicos de uma amostra, o principal motivo da sua utilidade é a alta resolução das amostras observadas na ordem de 2 a 5 nanômetros para instrumentos comerciais e 1 nm para instrumentos de pesquisa avançada (Dedavid, Gomes, *et al*, 2007).

O MEV é composto basicamente por cinco regiões distintas: a coluna ótico-eletrônica (canhão de elétrons e sistema de demagnificação), da unidade de varredura, da câmara de amostra, do sistema de detectores e do sistema de visualização de imagens. O canhão de elétrons é utilizado para produzir o feixe de elétrons com energia e quantidade suficiente para captação através dos detectores, esse feixe eletrônico é então demagnificado por várias lentes eletromagnéticas produzindo um feixe de elétrons focado em um pequeno diâmetro sobre uma determinada região da amostra, o detector transmite os dados para o sistema de visualização de imagens. A Figura 3 apresenta um esquema simplificado do funcionamento básico de um MEV (MALISKA, 2010).

Figura 3 - Esquema simplificado do princípio de funcionamento do MEV.



Fonte: Maliska (2010).

2.7 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

A análise por fluorescência de raio-X pode ter fins qualitativos ou quantitativos e tem como base a medição das intensidades dos raios-x característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas, além do processo mais utilizado utilizando tubos de raios-X (MELO JÚNIOR, 2007).

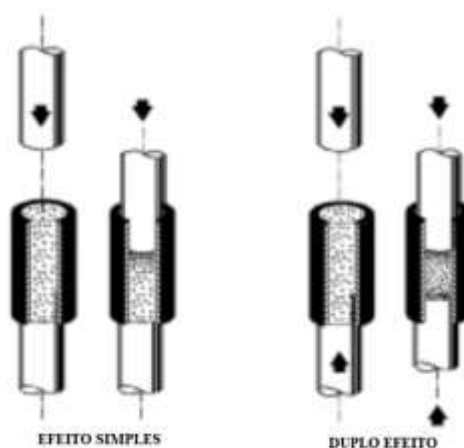
A técnica mais utilizada na determinação da composição química dos materiais cerâmicos é a espectrometria de fluorescência. Essa técnica baseia-se em determinar o comprimento de onda e a intensidade das radiações fluorescentes, ou secundárias, que os elétrons mais internos emitem quando esses são submetidos a um feixe de raio-x de alta energia. As radiações fluorescentes emitidas são características de cada elemento e é resultado das trocas eletrônicas de níveis mais internos. (FREIRE, 2007)

2.8 COMPACTAÇÃO POR PRENSAGEM

A prensagem é o processo de conformação que se baseia na compactação de um pó granulado contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão. De acordo com J.L Amorós e Albero (2000), a operação se dá em três etapas: Preenchimento da cavidade do molde, compactação do pó granulado e retirada da peça. Este é o processo de conformação mais utilizado pela indústria cerâmica por conta da sua elevada produtividade, facilidade de automação e variabilidade na produção de peças com baixa tolerância dimensional.

Ainda segundo Albero (2000) diferenciam-se duas grandes modalidades de prensagem: a prensagem uniaxial e a prensagem isostática. Para a prensagem uniaxial a compactação é dada por aplicação de pressão na direção axial, através de punções rígidos através de uma matriz rígida. Esse tipo de procedimento é realizado para conformar peças que não apresentam relevo superficial na direção de prensagem. Se a espessura da peça que se pretende obter é pequena e sua geometria é simples, a carga pode ser aplicada apenas em um sentido, conhecido como processo de ação simples. Para conseguir peças de grandes espessuras e geometrias complexas, torna-se indispensável que a prensagem seja feita em dois sentidos, processo conhecido como dupla ação (ALBERO, 2000). A Figura 4 ilustra os processos de prensagem de simples e dupla ação.

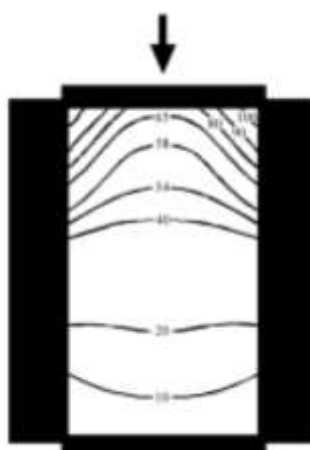
Figura 4 - Prensagem uniaxial.



Fonte: Albero, 2000.

A fricção entre as partículas do pó e entre elas com a superfície do molde impede que a pressão aplicada seja transmitida por inteiro e uniformemente a todas as regiões da peça, o que gera um gradiente de densidade nos corpos formados (Albero, 2000). A Figura 5 ilustra um exemplo de gradiente de densidade obtido através do processo de compactação.

Figura 5 - Gradiente de densidade no processo de compactação.



Fonte: Albero, 2000.

2.9 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS MATERIAIS

O comportamento mecânico de um material reflete a relação entre sua resposta ou deformação a uma carga ou força que esteja sendo aplicada. As propriedades mecânicas dos materiais são verificadas através de experimentos laboratoriais minuciosamente preparados, que produzem o mais fielmente possível as condições de serviço (CALLISTER, 2008).

Ainda, segundo Callister (2008), dentre os fatores a serem considerados incluem-se a natureza da carga aplicada (tração, compressão, ou de cisalhamento), a magnitude de carga (constante ao longo do tempo ou flutuante), o tempo (períodos curtos ou longos), e ainda, a temperatura. O resultado do ensaio pode fornecer dados referentes à capacidade de transmitir e resistir aos esforços aos qual o material foi submetido (CHIAVERINE, 1986).

2.9.1 O diagrama tensão-deformação

Com os dados obtidos em um ensaio de tração ou compressão, é possível calcular vários valores da tensão e da deformação correspondentes no corpo de prova e, então, construir um gráfico com esses resultados, a curva resultante é denominada diagrama tensão-deformação (HIBBELER, 2010). Com auxílio de dados registrados, podemos determinar a tensão nominal, ou tensão de engenharia, dividindo a carga aplicada pela área original da seção transversal do corpo de prova. Esse cálculo considera que a tensão é constante na seção transversal:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

onde:

σ = *Tensão nominal;*

P = *Carga aplicada;*

A_0 = *Área da seção transversal.*

A deformação nominal, ou deformação de engenharia, é determinada diretamente pela leitura da deformação no extensômetro, ou pela divisão da variação no comprimento de referência do corpo de prova pelo comprimento de referência original de corpo de prova:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad (2)$$

onde:

ϵ = *Deformação nominal;*

δ = *Variação no comprimento de referência do corpo de prova;*

L_0 = *Comprimento de referência original de corpo de prova.*

2.9.2 Módulo de elasticidade ou de Young

Segundo Hibbeler (2010), o diagrama tensão-deformação para a maioria dos materiais de engenharia exibe uma relação linear entre tensão e deformação dentro da região elástica, com isso, um aumento na tensão provoca um aumento proporcional na deformação. Pela lei de Hooke temos que o módulo de elasticidade ou modulo de Young é dado pela relação:

$$E = \frac{\sigma_r}{\epsilon} \quad (3)$$

onde:

E – *módulo de elasticidade*;

σ_r – *Tensão de ruptura do material*;

ϵ – *Deformação nominal*.

Essa medida é uma propriedade intrínseca dos materiais, com relação direta da composição química, microestrutural e aspectos físicos do material produzido como poros, trincas, entre outros, tendo ela uma grande importância para o estudo da engenharia (CALLISTER, 2008).

2.9.3 Ensaio de compressão diametral

O ensaio é determinado pela ação de duas forças de compressão distribuídas linearmente e diametralmente opostas. Essas ações são fornecidas por uma prensa mecânica, gerando ao longo do diâmetro solicitado, tensões uniformes perpendiculares ao diâmetro do corpo de prova (MIGLIORINI *et al.*, 2012). Se trata de um ensaio destrutivo, tendo em vista que as tensões são aplicadas até a ruptura do corpo de prova; a resistência à tração por compressão diametral é dada por:

$$f_{t,D} = \frac{2.F}{\pi.d.L} \quad (4)$$

onde:

$f_{t,D}$ – Resistência à tração por compressão diametral;

F – Carga máxima obtida no ensaio ;

d – Diâmetro do corpo de prova;

L – Comprimento do corpo de prova.

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Os materiais, caulim, feldspato, quartzo foram doados pela empresa ARMIL, com granulometria de # 200 mesh. Já o resíduo de carapaça de caranguejo Uçá, foi adquirido através do restaurante Barramares – Praia de Cotovelo, Parnamirim – RN, sendo o mesmo coletado após consumo no restaurante. A Figura 6 apresenta um fluxograma indicando a sequência de procedimentos que foram feitos para a formação dos corpos de prova, bem como os ensaios posteriores.

Figura 6 - Fluxograma do processo experimental do trabalho.



Fonte: Autoria própria.

Para o presente trabalho as massas das matérias primas utilizadas foram coletadas após o estágio de mistura do material e separação por percentual de substituição de feldspato pelo resíduo carapaça de caranguejo Uçá. Nesse presente trabalho tornou-se possível a produção de corpos de provas cilíndricos, por meio de prensagem uniaxial das massas cerâmicas em um molde com diâmetro de 10,05 mm, para a realização de ensaio de compressão diametral com o objetivo de realizar o estudo de propriedades mecânicas no material.

3.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

3.1.1 Massas cerâmicas

As massas das matérias primas foram coletadas após o estágio de substituição do feldspato pelo resíduo carapaça de caranguejo Uçá. As massas foram organizadas por percentual de substituição em massa do resíduo, misturadas, homogeneizadas e devidamente separadas em seus respectivos recipientes. A Tabela 1 detalha a composição de cada massa das matérias primas.

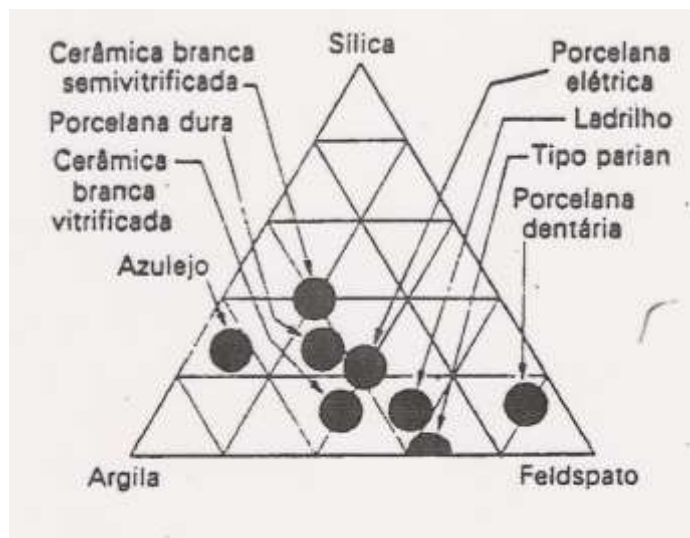
Tabela 1 - Percentual em massa dos materiais.

Massa Cerâmica	Caulim (%)	Feldspato (%)	Quartzo (%)	Resíduo (%)
Padrão	10	80	10	-
Incorporação 1	10	79,5	10	0,5
Incorporação 2	10	79,0	10	1,0
Incorporação 3	10	78,5	10	1,5

Fonte: Autoria própria.

A composição do corpo de prova padrão foi determinada na região prevista para porcelanas dentárias, utilizando o diagrama geral de composições ilustrado na Figura 7

Figura 7 - Diagrama geral de composições para produtos cerâmicos resultantes do sistema argila – feldspato – sílica.



Fonte: (NORTON, 1973, apud NUNES FREIRE, 2007).

O material residual utilizado tem como origem o carbonato de cálcio, que após calcinação forma óxido de cálcio, e esse que por sua vez é um óxido ácido que contribui junto com o fundente, o feldspato. Esse óxido apresenta característica bastante reativa que podem ocasionar formações de blocos no volume e proporciona defeitos como separações e porosidades, por esse motivo o mesmo deve ser adicionado a massa cerâmica de maneira controlada e em baixo percentual.

3.1.2 Preparação das massas cerâmicas e Prensagem uniaxial

Após a coleta das massas cerâmicas, devidamente separadas em frascos de acordo com o percentual de substituição de resíduo, as mesmas foram colocadas para secagem na estufa por 24 horas a uma temperatura de 110 °C. A etapa posterior foi a umidificação das massas cerâmicas; esse procedimento teve dois principais objetivos, o primeiro foi realizar uma melhor moldagem do material na etapa de conformação, o segundo foi garantir uma melhor lubrificação para o referido processo. A umidificação das massas cerâmicas foi realizada com auxílio de uma balança de precisão onde cada massa cerâmica foi depositada em um frasco posicionado na mesma e, em seguida, foi adicionado cuidadosamente um percentual em massa de água destilada equivalente a 7,6 % da massa cerâmica seca total. O Processo foi realizado separadamente para cada massa cerâmica (massa padrão, 0,5 %, 1,0 %, 1,5 %). Ao fim de cada umidificação, as massas cerâmicas foram misturadas para homogeneização, colocadas em sacos plásticos, devidamente identificadas por percentual de adição de resíduo, lacradas

Após 24 horas no dessecador, as massas cerâmicas foram retiradas, o próximo passo foi a realização da conformação das massas no molde. Foram confeccionados para utilização no ensaio de compressão diametral sete corpos de prova de cada massa cerâmica, ou seja, sete corpos da massa padrão, sete corpos de prova para cada incorporação, totalizando 28 corpos de prova. Os sacos plásticos com as massas cerâmicas foram abertos e, com auxílio da balança de precisão, foram pesadas a quantidade padrão de massa necessária para cada corpo de prova individual, em seguida essas porções de massa foram separadas adequadamente e depositadas no molde, uma por vez, com o auxílio de um pequeno funil e uma espátula. O molde foi posicionado adequadamente em uma prensa manual para a realização do processo de prensagem uniaxial, que ocorreu com aplicação de 70 MPa de pressão centralizada na parte superior do molde. Os corpos de prova passaram 30 segundo na carga de pressão máxima. A Figura 10 ilustra o esquema semelhante para o processo de prensagem.

Figura 10 - Montagem para prensagem uniaxial.



Fonte: Sousa (2014).

Os corpos de prova em formato cilíndrico foram então devidamente separados por composição e colocados na estufa por 24 horas a 110 °C.

3.1.3 Sinterização e realização das medidas para cálculos das propriedades físicas

Após a moldagem dos corpos de prova, o processo posterior realizado foi a sinterização, esse processo ocorreu em um forno resistivo da marca Jungo modelo 9 13 do ano 2008. As etapas desse procedimento estão detalhadas no fluxograma anteriormente citado nesse presente trabalho. Retirados do forno, os corpos de prova foram resfriados naturalmente até a temperatura ambiente (28° C). Os corpos de prova foram devidamente identificados por composição de substituição de resíduos, como mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Corpos de prova identificados por composição.



Fonte: Autoria própria.

O procedimento posterior foi a medição do diâmetro para cálculo da retração linear média entre os corpos e densidade aparente, esse foi realizado com o auxílio de um paquímetro Starrett com 0,05mm de resolução. Ocorreu, por fim, a pesagem dos corpos de prova (massa seca), com auxílio da balança com resolução de 0,0001g, para cálculos futuros de absorção de água.

3.1.4 Absorção de água e realizações das medidas finais para cálculos das propriedades físicas

Para a etapa da absorção de água, os corpos de prova foram mergulhados em água fervente por duas horas. Depois do tempo mencionado, as amostras foram retiradas e seu excesso de água foi reduzido cuidadosamente com o auxílio de um pano umedecido. Posteriormente os corpos de prova foram pesados com auxílio da balança (massa úmida) e seu comprimento foi medido com auxílio de um micrômetro da marca Mitutoyo com 0,01 mm de

resolução, medição essa necessária para o cálculo de densidade aparente e tensão de ruptura, esse realizado após o ensaio de compressão diametral.

3.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL E SELEÇÃO DA MELHOR AMOSTRA PARA ANÁLISE

Com a confecção dos corpos de prova, pelas etapas citadas anteriormente, tornou-se possível a realização do ensaio de compressão diametral. O Processo foi realizado com auxílio da máquina de ensaio universal DI-1000 da EMIC, com capacidade para 100 kN. O ensaio foi realizado sem a adição de pré carga nos corpos de prova, fato ocorrido pela possibilidade da ocorrência de destruição das amostras pela adição da pré carga devido à grande fragilidade das mesmas. A Figura 12 apresenta um detalhe da máquina de ensaio.

Figura 12 - Processo de compressão diametral.



Fonte: Autoria própria.

Com a realização do ensaio, tornou-se possível a aquisição de dados para os cálculos da tensão de ruptura e módulo de elasticidade para cada amostra. O corpo de prova que apresentou

o melhor resultado referente ao ensaio de compressão diametral foi selecionado para análise posterior, sendo realizada a fluorescência de raio-X e o MEV. O critério utilizado para seleção do melhor corpo de prova foi a tensão de ruptura onde, primeiramente, foi observado a incorporação que apresentou maior tensão de ruptura, em média, e dentre as amostras dessa incorporação, foi selecionada a que apresentou maior tensão de ruptura no geral.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

A partir das medições realizadas durante as etapas de preparação dos corpos de prova e do ensaio de compressão diametral, tornou-se possível realizar um levantamento das propriedades físicas e mecânicas das amostras, sendo detalhada nesse presente trabalho a absorção de água, retração linear, módulo de elasticidades, tensão de ruptura e densidade aparente.

4.1.1 Absorção de água

Para o cálculo da absorção de água foram utilizados os dados de massa seca (obtido após o procedimento de sinterização) e massa úmida (obtido após o procedimento de absorção de água), sendo a absorção de água dada por:

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (5)$$

onde:

$AA(\%) = \text{Absorção de água};$

$m_u = \text{Massa úmida};$

$m_s = \text{Massa seca}.$

A Tabela 2 apresenta as médias dos resultados obtidos para absorção de água em cada mistura, bem como seus desvios padrões:

Tabela 2 - Resumo dos resultados absorção de água para as 28 amostras.

Massa Cerâmica	Absorção de água Média (%)	Desvio padrão
Padrão	5,5	0,7
Incorporação 1	1,3	0,3
Incorporação 2	1,5	0,2
Incorporação 3	1,8	0,6

Fonte: Autoria Própria.

4.1.2 Retração linear

Para o cálculo da retração linear foram utilizados os dados de diâmetro inicial (obtido após o procedimento de conformação) e diâmetro final (obtido após o procedimento de absorção de água), sendo a retração linear dada por:

$$RL(\%) = \frac{d_i - d_f}{d_i} \times 100 \quad (6)$$

onde:

$RL(\%) = \text{Retração linear};$

$d_i = \text{Diâmetro inicial};$

$d_f = \text{Diâmetro final}.$

A Tabela 3 apresenta as médias dos resultados obtidos para retração linear em cada mistura, bem como seus desvios padrões:

Tabela 3 - Resumo cálculo retração linear para as 28 amostras.

Massa Cerâmica	Retração linear Média (%)	Desvio padrão
Padrão	8,7	0,7
Incorporação 1	10,8	0,6
Incorporação 2	10,8	0,4
Incorporação 3	10,8	0,5

Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Densidade aparente

Essa grandeza foi determinada pela expressão:

$$\rho_{ap} = \frac{m_s}{V_{ap}} \quad (7)$$

onde:

ρ_{ap} = Densidade aparente;

V_{ap} = Volume a partir das dimensões do corpo de prova após secagem.

A Tabela 4 apresenta as médias dos resultados obtidos para a densidade aparente em cada mistura, bem como seus desvios padrões:

Tabela 4 - Resumo das densidades aparentes para as 28 amostras.

Massa Cerâmica	Densidade aparente Média ($g \cdot cm^{-3}$)	Desvio padrão
Padrão	2,30	0,09
Incorporação 1	2,16	0,04
Incorporação 2	2,15	0,07
Incorporação 3	2,19	0,04

Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Tensão de ruptura e módulo de elasticidade

Através da realização do ensaio de compressão diametral na máquina de ensaio universais, tornou-se possível a aquisição dos dados da carga aplicada sobre os corpos de prova, assim como o deslocamento sofrida pelos mesmo. Com esses dados, em conjunto com o comprimento dos corpos de prova, foi possível realizar a plotagem do diagrama tensão-deformação para cada amostra ensaiada. As tensões foram encontradas utilizando a Equação 4 citada no presente trabalho. A deformação utilizada foi dada pela deformação percentual do corpo de prova onde:

$$\epsilon(\%) = \frac{\delta_{cp}}{d_f} \times 100 \quad (8)$$

onde:

$\epsilon(\%)$ = Deformação percentual do corpo de prova;

δ_{cp} = Deslocamento do corpo de prova;

d_f = Diâmetro final após sinterização.

A Tabela 5 apresenta as médias dos resultados obtidos para a tensão de ruptura em cada mistura, bem como seus desvios padrões.

Tabela 5 – Resumo das tensões de rupturas

Massa Cerâmica	Tensão de ruptura Média (MPa)	Desvio padrão
Padrão	10,1	2,3
Incorporação 1	15,5	1,6
Incorporação 2	14,6	2,9
Incorporação 3	12,9	1,4

Fonte: Autoria Própria

O módulo de elasticidade foi encontrado pela Equação 3. A Tabela 6 apresenta as médias dos resultados obtidos para os módulos de elasticidades em cada mistura, bem como seus desvios padrões.

Tabela 6 - Resumo módulos de elasticidade.

Massa Cerâmica	Módulo de elasticidade Média (MPa)	Desvio padrão
Padrão	14,5	3,1
Incorporação 1	21,6	1,5
Incorporação 2	20,8	2,6
Incorporação 3	18,4	3,0

Fonte: Autoria própria.

4.1.5 Resumo geral das propriedades físicas e mecânicas

A tabela 7 apresenta o resumo geral das propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova.

Tabela 7 - Resumo geral das propriedades

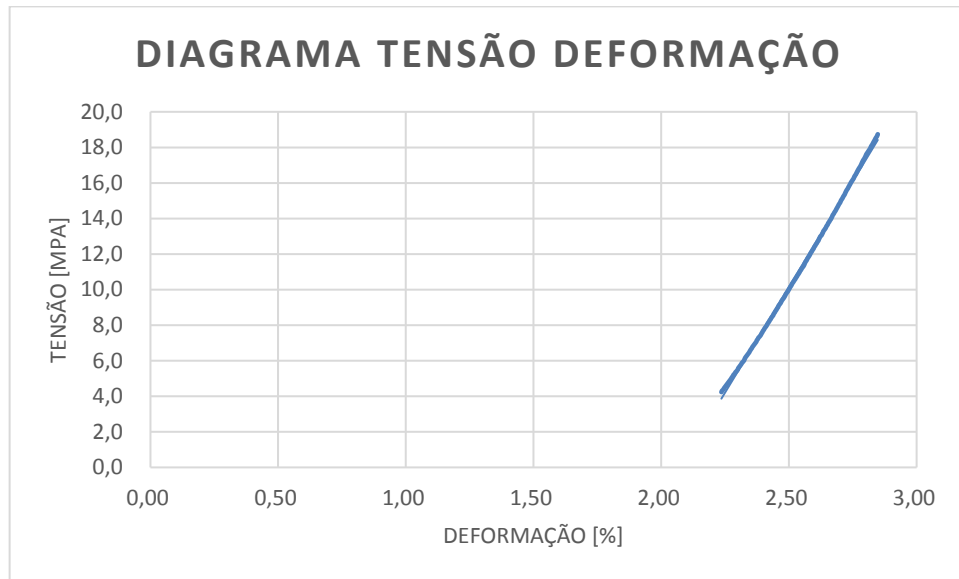
Massa Cerâmica	Retração linear (%)	Absorção de água (%)	Módulo de elasticidade (Mpa)	Tensão de ruptura (Mpa)	Densidade aparente ($g \cdot cm^{-3}$)
Padrão	$8,7 \pm 0,7$	$5,5 \pm 0,7$	$14,5 \pm 3,1$	$10,1 \pm 2,3$	$2,30 \pm 0,09$
Incorporação 1	$10,8 \pm 0,6$	$1,3 \pm 0,3$	$21,6 \pm 1,5$	$15,5 \pm 1,6$	$2,16 \pm 0,04$
Incorporação 2	$10,8 \pm 0,4$	$1,5 \pm 0,2$	$20,8 \pm 2,6$	$14,6 \pm 2,9$	$2,15 \pm 0,07$
Incorporação 3	$10,8 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,6$	$18,4 \pm 3,0$	$12,9 \pm 1,4$	$2,19 \pm 0,04$

Fonte: Autoria Própria

O que pode ser observado é o ganho de resistência para as misturas com incorporação do resíduo carapaça de caranguejo Uçá; fato esse que é percebido pelo aumento na tensão de ruptura e principalmente no módulo de elasticidade que é uma característica intrínseca do material. Os resultados mostram ainda uma tendência de perda de resistência proporcionalmente ao aumento de porcentagem de substituição de resíduo. Para a absorção de água os resultados mostram uma diminuição da mesma se comparado as massas com incorporação de resíduos para a padrão, fato esse que aponta uma menor porosidade e consequentemente um ganho de resistência para essas amostras, o que é condizente com a literatura que aponta que a absorção de água é um indicativo da resistência mecânica para as cerâmicas. As retrações lineares apresentaram um leve aumento para as misturas incorporados com resíduo sendo semelhantes para todas as composições. As absorções de água apresentam uma leve diminuição para as misturas incorporadas com resíduo sendo elas também semelhantes para todas as composições. Diante dos dados apresentados a massa cerâmica que demonstrou melhor resultado geral em média foi a com incorporação de 0,5% de resíduo carapaça de caranguejo Uçá, no qual apresentou maior módulo de elasticidade, e menor absorção de água.

O melhor corpo de prova, entre as amostras com 0,5% de incorporação do resíduo, foi selecionado pela sua maior resistência mecânica. A Figura 13 apresenta o diagrama tensão-deformação da região elástica para o corpo de prova de melhor resultado.

Figura 13 - Diagrama tensão-deformação para melhor amostra.

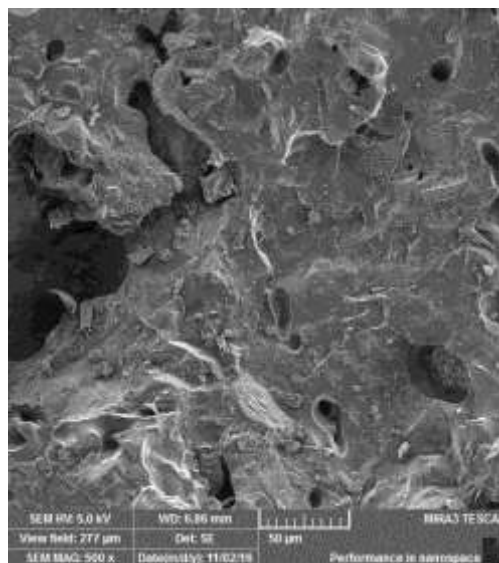


Fonte: Microsoft Excel 2017.

4.2 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X E MEV

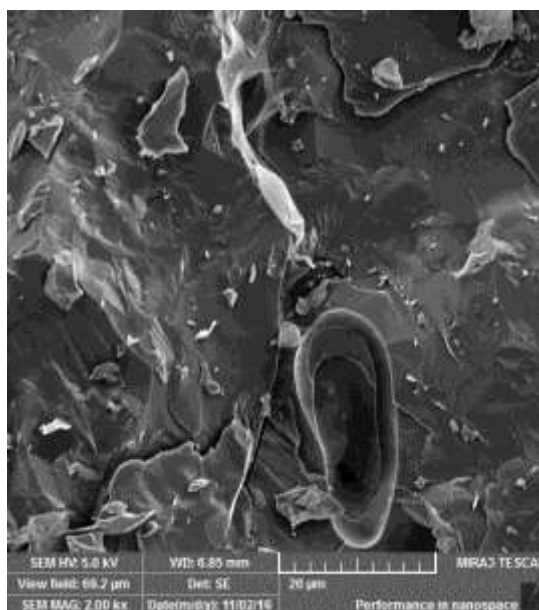
Após a seleção da melhor amostra, a mesma foi submetida a fluorescência de raios-X e ao MEV. A Figura 14 apresenta a micrografia do corpo de prova fraturado com aumento de 500x e a Figura 15 para 2000x.

Figura 14 - Micrografia do corpo de prova com aumento de 500x.



Fonte: MIRA3 TESCAN (2016).

Figura 15 - Micrografia do corpo de prova com aumento de 2000x.



Fonte: MIRA3 TESCAN (2016).

Na ampliação de 2000x, percebe-se a existência de fase vítrea, rodeada de aglomerados de partículas que possivelmente não dissolveram e de fendas que caracterizam a porosidade. A Tabela 8 apresenta a composição química das massas cerâmicas sinterizadas e não sinterizadas de melhores resultados.

Tabela 8 - Composição química das massas cerâmicas

(% em Massa)								
Padrão	Si	Al	K	Na	Ca	Fe	Ti	Mn
Não Sinterizada	64,798	20,139	11,771	2,936	0,142	0,177	0,018	0,019
Sinterizada	63,697	20,598	12,419	2,892	0,129	0,227	0,018	0,020
Incorporação	Si	Al	K	Na	Ca	Fe	Ti	Mn
Não Sinterizada	64,312	20,027	11,623	3,142	0,679	0,188	0,016	0,013
Sinterizada	63,128	20,717	11,789	3,481	0,660	0,206	0,017	0,002

Fonte: Autoria própria

O dióxido de silício e o óxido de alumínio, presentes em maiores quantidades são dominantes no fenômeno da sinterização. O terceiro menor elemento, que apresenta concentração sempre menor que os dois anteriores, mostra característica de feldspato potássico.

5 CONCLUSÕES

Com o presente trabalho foi possível elaborar um estudo sobre a incorporação do resíduo carapaça de caranguejo Uçá calcinada em substituição parcial ao feldspato, em massa cerâmica para porcelana dentária. Através dos resultados obtidos é possível afirmar que o resíduo cumpriu seu papel principal, que era proporcionar uma melhora na resistência mecânica da massa cerâmica, fato esse visível principalmente pela melhora no módulo de elasticidade do material, que é uma propriedade intrínseca da matéria. Essa constatação demonstra potencial para utilização futura do resíduo na rota de fabricação de porcelanas, o que traria também um grande ganho ambiental, se levado em consideração que a reutilização agregará valor ao resíduo, que pode causar dano ao meio ambiente, quando não descartado corretamente, assim como à saúde humana. É importante considerar que a carapaça descartada inatura contém matéria orgânica e, sua cavidade leva ao acúmulo de água de chuva que pode potencializar o aumento do criadouro de mosquitos da dengue

Por fim, é possível afirmar que a composição cerâmica com melhores resultados foi aquela com substituição de 0,5 % do feldspato, no qual obteve melhores resultados relacionados a resistência mecânica, fato evidenciado pelo módulo de elasticidade.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Realizar um estudo para o mesmo sistema triaxial e com o mesmo resíduo da seguinte forma:

- Utilizar taxa de substituição de resíduo nos valores de 0,4%; 0,5% e 0,6%;
- Realizar estudo sobre dureza e,
- Realizar o trabalho com temperatura máxima de sinterização de 1150 °C, 1175 °C e 1200 °C.

REFERÊNCIAS

- AMOROSO, Andressa Paschoal et al. **CERÂMICAS ODONTOLÓGICAS: PROPRIEDADES, INDICAÇÕES E CONSIDERAÇÕES CLÍNICAS. Revista Odontológica de Araçatuba**, Araçatuba, v. 33, n. 2, p.19-25, dez. 2012.
- BERTOLINO, L. C. et al. **CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E BENEFICIAMENTO DO CAULIM DE PRADO (BA). Holos**, Natal, Rn, v. 5, n. 1, p.83-92, ago. 2012.
- CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia dos materiais: Uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro, Rj: Ltc, 2008.
- CHIAVERINE, V. **Tecnologia Mecânica**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, v.1, 1986. 266p
- DA LUZ, A.B.; E.C. (1993) **Caulim um Mineral Industrial Importante**. CETM/CNPq, Série Tecnologia Mineral nº 65, Rio de Janeiro, RJ. 29p.
- DA SILVA, S. A. **Síntese química e calcinação por microondas de pós nanoestruturados de alumina**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- De SOUZA, J. C. M.: Do Nascimento, R. M.: Martilelli, A. E. **Efeito da condensação e queima na formação de defeitos microestruturais em cerâmicas feldspáticas dentárias. Cerâmica 53**, 2007. P. 288 – 294.
- Dedavid, B. A.; Gomes, C. I. & Machado, G. - **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**, EDIPUCRS, Porto Alegre (2007).
- FREIRE, Marcílio Nunes. **Uso de matérias – primas argilosas do estado do Rio de Janeiro em massas cerâmicas para porcelanato: Formulação, propriedades físicas e microestrutura**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharias de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2007.
- FREITAS, J. ARGENTIN, P.M. **K-Feldspato**. Unicamp, Campinas, 2010. p.1-20.
- GIANNINI, Camila Fernanda. **Gestão dos resíduos industriais e a qualidade de vida**. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 4., 2010, Campo Mourão. **Anais...**. Campo Mourão: Fecilcam, 2010. p. 1 - 9.
- GOMES, E. A.; ASSUNCAO, W. G.; ROCHA, E. P. e SANTOS, P. H.. **Cerâmicas odontológicas: o estado atual. Cerâmica** [online]. 2008, vol.54, n.331, pp.319-325. ISSN 0366-6913. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132008000300008>.
- HECK, N.C. **Metalurgia Extrativa dos Metais Não – Ferrosos II-A – CALCINAÇÃO**. P.4 - 6.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. Traduzido por Marques, A. S. 7.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 637p.

ALBERO, J. L. A operação de prensagem: Considerações técnicas e sua aplicação industrial. Parte I: O preenchimento das cavidades do molde. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.1, p.23-28. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n05/v5n5_4.pdf>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2014. J.L.ALBERO

LIRA, H. L.; NEVES, G. A.. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, Pb, v. 8, n. 3, p.110-117, 22 nov. 2013.

LOBATO, Emílio. **A MINERAÇÃO BRASILEIRA**. [s.i]: Ministério de Minas e Energia, 2009.

MACHADO, Fábio Braz. **Quartzo**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/tectossilicatos/quartzo.html>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

MALISKA, Ana Maria. **MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA**. Florianópolis, Sc: Lcm, 2010.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncrotron**. Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

MENEZES, Romualdo Rodrigues. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **O Estado da Arte Sobre O Uso de Resíduos Como Matérias-primas Cerâmicas Alternativas**, Campina Grande, Pb, v. 6, n. 2, p.303-3113, jun. 2002.

MIGLIORINI, A. V.; GUIMARÕES, A. T. C.; OZÓRIO, B. P. M. Verificação das resistências do concreto exposto ao ambiente marítimo com inserção de fibras de aço em teor próximo ao volume crítico. **Vetor**, v.21, n. 1, p. 130-148, 2012.

MIKHAILOVA, Irina. SUSTENTABILIDADE: EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS TEÓRICOS E OS PROBLEMAS DA MENSURAÇÃO PRÁTICA. **Revista Economia e Desenvolvimento**, Santa Maria, Rs, v. 16, n. 1, p.22-42, 3 jun. 2004.

PAREDES, Yolanda del Rocío Angulo. **Desenvolvimento e caracterização de dispositivos fosforescentes baseados em compostos orgânicos de baixo peso molecular**. 2012. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rj, 2012.

RODRIGUES, Luciano Brito. Aplicações de biomateriais em ortopedia. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.63-76, 4 out. 2013. UNISINOS - Universidade do Vale do Rio Dos Sinos. <http://dx.doi.org/10.4013/ete.2013.92.02>.

SILVA, A. G. P.; JÚNIOR, C. A. A sinterização rápida: sua aplicação, análise e relação com as técnicas inovadoras de sinterização. **Cerâmica**, v.44, n.290, p. 225-232. 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69131998000600004>>. Acesso em: 28 de abril de 2013.

SILVA, Gildemberg Pereira de Barros et al. O USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS COMO FORMA ALTERNATIVA PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA CERÂMICA COM FOCO NA REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35., 2015, Fortaleza. **Anais...** . Rio de Janeiro: Abepro, 2015. p. 1 - 13.

SOUSA, Diego de Lima. **ESTUDO SOBRE PORCELANA COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO CARAPAÇA DE CARANGUEJO CALCINADO**. 2014. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

UÇÁ. Disponível em:

<http://www.planetainvertebrados.com.br/index.asp?pagina=especies_ver&id_categoria=25&id_subcategoria=24&com=1&id=178&local=2>. Acesso em: 30 nov. 2016.