



Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(organizador)

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS:

Conhecimento e informação

 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(organizador)



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
E ENGENHARIAS:

Conhecimento e informação

 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof<sup>o</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
C569	Ciências exatas e da terra e engenharias: conhecimento e informação / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0853-6 DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.536220612">https://doi.org/10.22533/at.ed.536220612</a>  1. Ciências exatas e da terra. 2. Engenharia. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.  CDD 507
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Ciências Exatas, da Terra e Engenharias: Conhecimento e informação” é constituído por doze capítulos de livros que foram organizados em quatro tópicos: *i)* fitoquímica e produtos naturais; *ii)* educação, meio ambiente e sustentabilidade e; *iii)* análise, estudo e desenvolvimento de ferramentas e materiais para diferentes aplicações.

Os capítulos I e II se constituem em trabalhos de revisão da literatura na qual se investigaram, respectivamente, a capacidade antioxidante de inúmeras espécies de plantas e; as inúmeras doenças encontradas em orquídeas causadas por diferentes espécies de fungos e quais as ferramentas disponíveis para uma identificação mais precisa destes micro-organismos.

O terceiro capítulo apresenta um estudo de caso na qual se avaliou a importância do tutor no processo de ensino-aprendizagem no curso de licenciatura em Física, na modalidade de educação à distância (EAD), da Universidade Estadual de Maringá (UEM). O capítulo IV se constitui em um estudo no qual se investigou a forma na qual as cidades da microrregião de Maringá/PR tem realizado os levantamentos de georreferenciamento, bem como os procedimentos e os profissionais que atuam no cadastramento de áreas urbanas. Já o capítulo V apresenta um estudo de análise de consumo de energia na Universidade do Estado do Amazonas (UEA) por meio de análise quantitativa que envolveu a iluminação e a climatização das dependências internas da instituição. Por fim, o sexto capítulo apresenta um estudo que avaliou a precipitação pluviométrica no período compreendido entre 01/01/1967 a 31/12/2016 na cidade de Belém/PA.

Os capítulos de VII a XII apresenta trabalhos de diferentes natureza e finalidades, entre os quais: *i)* utilização do *software* TQS (*Software* Definitivo para Engenharia de Estruturas) no cálculo estrutural de diferentes lajes convencionais; *ii)* avaliação dos principais fatores que afetam o desempenho e funcionalidade das máquinas rotativas e as possíveis soluções para melhorias; *iii)* utilização da dosimetria termoluminescente como ferramenta de controle de qualidade no tratamento e/ou diagnóstico de pacientes com câncer; *iv)* utilização da técnica de Monte Carlo na descrição da trajetória de elétrons e fótons em intervalos de energia; *v)* utilização de ferramentas para desenvolvimento e criação de ontologias a serem utilizadas de diferentes formas e; *vi)* reutilização e reciclagem de vidros de para-brisas para a produção de vitrocerâmicas com a adição de diferentes concentrações de pentóxido de nióbio ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ).

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.




**CAPÍTULO 1 ..... 1****COMPOSTOS COM CAPACIDADE ANTIOXIDANTE ENCONTRADOS EM PLANTAS MEDICINAIS E SEUS BENEFÍCIOS PARA SAÚDE: UMA REVISÃO**

Sharise Beatriz Roberto Berton

Milena do Prado Ferreira

Jomar Berton Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206121>**CAPÍTULO 2 ..... 7****DOENÇAS COM ETIOLOGIA FÚNGICA EM PLANTAS DA FAMÍLIA ORCHIDACEAE**

Taciana Ferreira dos Santos

Jaqueline Figueredo de Oliveira Costa

Tiago Silva Lima


Cecília Hernandez Ramirez

Jackeline Laurentino da Silva

Maria Jussara dos Santos da Silva

Gaus Silvestre Andrade Lima

Iraíldes Pereira Assunção

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206122>**CAPÍTULO 3 .....35****PAPEL DOS TUTORES NAS PERSPECTIVAS DOS ACADÊMICOS DO CURSO DE FÍSICA (MODALIDADE A DISTÂNCIA) DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ/PR**


Glécilla Colombelli de Souza Nunes

Carolina da Silva Gonçalves

Karina Midori Endo

Lilian Felipe da Silva Tupan

Luciano Gonsalves Costa


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206123>**CAPÍTULO 4 .....49****CADASTRO TERRITORIAL URBANO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PROCEDIMENTOS E EXIGÊNCIAS DOS MUNICÍPIOS QUE COMPÕE A MICORREGIÃO DE MARINGÁ, PR**

Adriano Antonio Tronco

Claudia Regina Grégio d'Arce Filetti

Marcelo Luis Chicati


Roney Berti de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206124>**CAPÍTULO 5 .....62****ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM PRÉDIO PÚBLICO – UM ESTUDO DE CASO**

Nayra Gomes Neves

Phellipe Tocchetto Dinardi


Vinícius Cabral de Serra  
Walter Andrés Vermehren Valenzuela

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206125>

**CAPÍTULO 6 .....75**

ANALYSIS OF PRECIPITATION IN BELÉM-PA CITY (PERIOD 1967-2016)


Ronaldo Rosales Mendoza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206126>

**CAPÍTULO 7 .....88**

ANÁLISE COMPARATIVA ESTRUTURAL ENTRE LAJES MACIÇAS CONVENCIONAIS E LAJES NERVURADAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE CÁLCULO MANUAL E O SOFTWARE TQS

João Paulo dos Santos Lima


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206127>

**CAPÍTULO 8 ..... 105**

FALHAS NO COMPORTAMENTO DE SISTEMAS ROTATIVOS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Jomar Berton Junior


Sharise Beatriz Roberto Berton

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206128>

**CAPÍTULO 9 .....112**

DOSIMETRIA TERMOLUMINESCENTE


Luciana Tourinho Campos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5362206129>

**CAPÍTULO 10.....119**

CÓDIGO DE MONTE CARLO APLICADO A RADIOTERAPIA


Luciana Tourinho Campos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.53622061210>

**CAPÍTULO 11 ..... 129**

FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO E CRIAÇÃO DE ONTOLOGIAS

Henderson Matsuura Sanches

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.53622061211>

**CAPÍTULO 12..... 135**

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE VITROCERÂMICAS OBTIDAS A PARTIR DE PÓ DE VIDRO RECICLADO DE PARA-BRISAS E ADIÇÃO DE Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Hiasmim Rohem Gualberto

Mônica Calixto de Andrade

Edgard Poiate Júnior

Luiz Carlos Bertolino

Domenio de Souza Faria

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.53622061212>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 146**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 147**

# PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE VITROCERÂMICAS OBTIDAS A PARTIR DE PÓ DE VIDRO RECICLADO DE PARA-BRISAS E ADIÇÃO DE $Nb_2O_5$

*Data de aceite: 01/12/2022*

### **Hiasmim Rohem Gualberto**

Instituto Politécnico - IPRJ, Universidade  
do Estado do Rio de Janeiro - UERJ,  
Nova Friburgo - RJ  
Instituto Federal Fluminense – IFF,  
campus Quissamã, Rio de Janeiro - RJ

### **Mônica Calixto de Andrade**

Instituto Politécnico - IPRJ, Universidade  
do Estado do Rio de Janeiro - UERJ,  
Nova Friburgo - RJ

### **Edgard Poiate Júnior**

Instituto Politécnico - IPRJ, Universidade  
do Estado do Rio de Janeiro - UERJ,  
Nova Friburgo - RJ

### **Luiz Carlos Bertolino**

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM,  
Rio de Janeiro - RJ

### **Domenio de Souza Faria**

Instituto Politécnico - IPRJ, Universidade  
do Estado do Rio de Janeiro - UERJ,  
Nova Friburgo - RJ

matriz amorfa com cristais dispersos e podem ser produzidas a partir da cristalização controlada do vidro. Esse trabalho propôs a produção de vitrocerâmicas a partir de pó de vidro oriundo de para-brisas descartados, agregando valor ao resíduo. Também foram adicionadas diferentes concentrações de pentóxido de nióbio ( $Nb_2O_5$ ) para atuar como agente nucleante e facilitar a cristalização. Foram obtidas quatro composições: sem  $Nb_2O_5$ , com 5%, 10% e 15% de  $Nb_2O_5$ . No processo de produção foi adotada a temperatura de sinterização de 700°C e dois tempos de sinterização, 1 h e 3 h. Foram realizadas a difração de raios x para análise das estruturas cristalinas, e microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura. Para caracterização mecânica foi realizada a tração diametral. As medidas dos CPs (corpos de prova) foram avaliadas pela retração linear e por análise do volume. A difração de raios x mostrou a presença de fases cristalinas em 700°C apenas na presença do agente nucleante. Além disso, foi evidenciada a estrutura cristalina isoleucita referente ao niobato de sódio, que apresenta propriedades dielétricas de interesse. Já a retração linear foi reduzida a medida que o  $Nb_2O_5$  era adicionado, mostrando que o agente nucleante dificulta

**RESUMO:** A reutilização e a reciclagem de produtos em final de vida útil são cruciais quando se consideram os problemas ambientais causados pelos resíduos gerados. Vitrocerâmicas apresentam uma

a sinterização das peças. Sem a adição do agente nucleante, foram obtidas as maiores resistências à tração diametral, sendo a maior de 25,57 MPa. No entanto, o desvio padrão foi elevado, fato que foi reduzido na presença do pentóxido de nióbio. Assim, mesmo o  $Nb_2O_5$  tendo reduzido a resistência mecânica das vitrocerâmicas, ele ajudou a promover a cristalização, o que pode favorecer a reprodutividade das propriedades mecânicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vitrocerâmicas, Reciclagem, Difração de Raios X, Tração Diametral, Pentóxido de Nióbio.

## PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF GLASS-CERAMICS OBTAINED FROM RECYCLED GLASS POWDER OF WINDSHIELDS AND ADDITION OF $Nb_2O_5$

**ABSTRACT:** The reuse and recycling of end-of-life products is crucial when considering the environmental problems caused by the generated wastes. Glass ceramics have an amorphous matrix with dispersed crystals that can be produced from the controlled crystallization of glass. In this work, it is proposed the production of glass ceramics from glass powder obtained from discarded windshields, adding value to the waste. Additionally, different concentrations of niobium pentoxide ( $Nb_2O_5$ ) were considered to act as a nucleating agent and facilitate the crystallization. Four compositions were obtained: without  $Nb_2O_5$  and with 5%, 10% and 15% of  $Nb_2O_5$ . In the production process, a sintering temperature of 700 °C and two sintering times of 1 h and 3 h were adopted. To study the produced glass ceramics, different characterization analyses were carried out. X-ray diffraction was performed to analyze the crystalline structures, and scanning electron microscopy (SEM) of the fracture surface. For the mechanical characterization, diametral traction was performed. Measurements of the specimens were performed by the linear shrinkage of the volume. By X-ray diffraction it was found that the presence of crystalline phases at 700 °C only occurs in the presence of the nucleating agent. In addition, the isoleucite crystal structure referring to sodium niobate was evidenced, which presents interesting dielectric properties. The linear shrinkage was reduced as the  $Nb_2O_5$  was added, showing that the nucleating agent makes the sintering of the pieces more difficult. Without the addition of the nucleating agent, the highest diametral tensile strengths were obtained, with the highest being 25.57 MPa. However, the standard deviation were higher without the addition of the nucleating agent, being reduced with the presence of niobium pentoxide. Thus, even though  $Nb_2O_5$  reduced the mechanical strength of glass-ceramics, it promotes crystallization, which may favor the reproducibility of mechanical properties.

**KEYWORDS:** Glass-ceramics, Recycling, X-Ray Diffraction, Diametral Traction, Niobium Pentoxide.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com a obsolescência programada dos produtos, muito resíduo tem sido gerado (CASTRO, SOUZA, GONÇALVES, 2012). A fim de minimizar os efeitos do lixo gerado, legislações vêm surgindo, buscando promover a logística reversa, tal que a responsabilidade do destino do produto após o seu fim de vida é compartilhada tanto pelos consumidores

quanto pelos produtores. No Brasil tem-se a PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), Lei nº 12.305/10 (LEI Nº 12.305, 2010), que busca exercer esse papel. Pensando nisso, tem-se buscado novas utilidades para os materiais descartados, sempre associadas ao aumento do valor agregado e à diminuição de gastos energéticos (LU, et al, 2016; MI, et al., 2017; AVANCINI et al., 2018; SPÍNOLA, Danielle CS et al, 2019)

Um exemplo de material amplamente utilizado pela sociedade são os vidros, que podem ser reciclados ou reaproveitados de diversas maneiras. Quando se observa a indústria automobilística, nota-se uma montante de vidro elevada, pois cerca de 3% do peso de um veículo é composta por vidro (CASTRO, SOUZA, GONÇALVEZ, 2012), sendo que os para-brisas e janelas são trocados ao longo da vida útil do veículo. Além disso, segundo *WardsAuto* (2019), que apresenta uma das melhores estimativas sobre o número de veículos no mundo, há cerca de 1,32 bilhões de veículos nas ruas, sendo que esse número é crescente (VOLANTEC, 2019).

Visto que há muito vidro descartado necessitando de um destino, buscou-se um destino para os para-brisas descartados, produzir vitrocerâmicas a partir de resíduo do vidro dos para-brisas. Vitrocerâmicas são materiais compostos de uma matriz amorfa com cristais dispersos, que podem ser obtidos a partir da cristalização controlada de vidros (CHO, 2016). Além disso, apresentam excelentes propriedades mecânicas, estabilidade química e térmica, podendo ser usadas em uma ampla faixa de aplicações, como cooktops, espelho de telescópios, (ZANOTO, 2010; WANG, 2017; FAN,& LI, 2013).

Partindo de um material amorfo pré-existente, o vidro, reduz-se os gastos com a produção de vitrocerâmicas e a retirada de recursos da natureza. Assim, dá-se destino a um resíduo, produzindo um material com valor agregado. Logo, esse trabalho objetivou produzir vitrocerâmicas a partir de vidro de para-brisas, usando óxido de nióbio como agente nucleante, e avaliar a influência de diferentes concentrações desse agente nucleante e do tempo de sinterização nas propriedades mecânicas, e na variação dimensional das vitrocerâmicas produzidas.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Produção das vitrocerâmicas

As etapas dos processos realizados desde a obtenção do para-brisa até a produção da vitrocerâmica são apresentadas na Figura 1. A transformação do vidro em pó foi realizada através de corte, seguido de um processo de moagem, depois peneiramento em peneira com granulometria de 210  $\mu\text{m}$  (Bertel, Brasil), em que as partículas maiores e os pedaços do PVB (polivinil butiral) foram removidos.

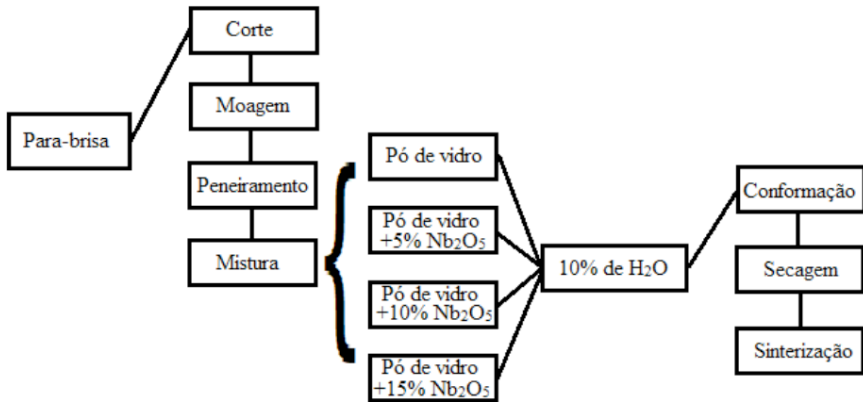


Figura 1: Esquema do processo de produção das vitrocerâmicas.

Após a obtenção do pó de vidro, este foi misturado com diferentes concentrações de óxido de nióbio. Sendo usados 5%, 10% e 15% p/p de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , além da composição sem esse óxido, ou seja, com 0%. Para facilitar a conformação foram adicionados 10% p/p de água, para atuar como agente aglutinante e facilitar a remoção da peça do molde.

O processo de conformação foi realizado em matriz circular metálica de 24,03 mm de diâmetro, com prensagem uniaxial com aplicação de uma carga de 25,77 MPa. Foram utilizados 3 g da mistura com 10% de água. Depois de conformadas, as peças produzidas foram secas em  $110^\circ\text{C}$  por um período de 1 h para remoção da água que foi adicionada. Em seguida foram sinterizadas em  $700^\circ\text{C}$  usando uma taxa de  $5^\circ\text{C}/\text{min}$  partindo da temperatura ambiente (N1100, Fornitec, Brasil) e ficando por 1 h em  $700^\circ\text{C}$ , para um grupo e 3 h para outro grupo de peças. Assim, foram produzidas vitrocerâmicas com quatro composições e dois tempos de sinterização, o que gerou 8 grupos de vitrocerâmicas.

A fim de facilitar a identificação desses lotes, eles foram chamados de L, sendo usado o número 1 ou 3 antes do L para representar o tempo de sinterização e os números 1, 2, 3 e 4 depois do L, que estão relacionados às porcentagens de 0%, 5%, 10% e 15% respectivamente. Por exemplo, o lote 3L4 representa o grupo de vitrocerâmicas que foram produzidas com 3 h de sinterização e com 15% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ .

## 2.2 Caracterização

A Difração de Raios X foi realizada no pó das vitrocerâmicas produzidas, utilizando radiação Cu K $\alpha$  (40 kV/25 mA), velocidade do goniômetro de  $0,02^\circ 2\theta$  por passo, com tempo de contagem de 1 segundo por passo, sendo coletados de  $4$  a  $70^\circ 2\theta$  (Bruker-D8, Endeavor, Estados Unidos). As interpretações qualitativas foram feitas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF2 (ICDD, 2006).

A Retração Linear do diâmetro (R) foi calculada para avaliar a variação das dimensões dos CPs após a sinterização, Eq. (1).

$$R = \frac{C_i - C_f}{C_i} 100\% \quad (1)$$

onde  $C_i$  é o diâmetro inicial do corpo de prova e  $C_f$  é o diâmetro após a sinterização. Além do diâmetro também foi medida a espessura. Tanto o diâmetro quanto a espessura são a média de 3 medições ao longo de cada CP. A avaliação da retração linear e das variações de dimensões, foi feita a partir da média de 10 CPs de cada lote.

Para as propriedades mecânicas foi realizado o teste de tração diametral segundo a norma ASTM D 3967 – 05, *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens* (2005). Nesse ensaio é aplicada uma carga de compressão para gerar uma tensão de tração. Na Figura 2, tem-se a configuração deste ensaio (AGX-Plus, Shimadzu, Japão). Nessa figura, também se observa um dispositivo usado para manter o CP na posição desejada durante a aproximação e contato com a base de aplicação da carga. Recomenda-se o uso de no mínimo 10 amostras para cada lote.

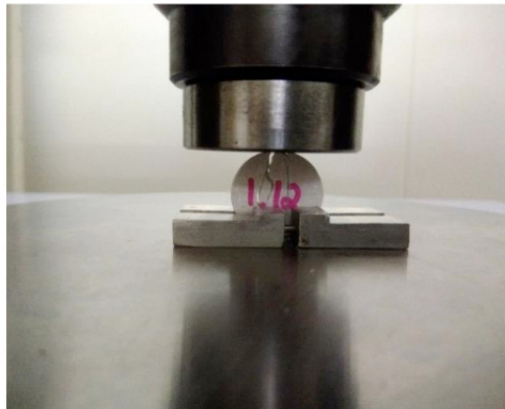


Figura 2: Aparato do ensaio de tração diametral pos teste do CP.

Pela Equação 2, determina-se a resistência à ruptura da Tração Diametral,  $\sigma_t$ . Nessa Equação,  $P$  é a carga em que a ruptura ocorreu,  $L$  e  $D$  são a espessura e o diâmetro do CP, respectivamente.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

Para as vitrocerâmicas desse trabalho, foi usada a taxa de deslocamento de 0,5 mm/min, visto que a fratura deve ocorrer em um intervalo de tempo entre 1 a 10 minutos.

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada nos CPs na superfície de fratura das vitrocerâmicas. Além disso, como os materiais vitrocerâmicos não são condutores, foi necessário recobrir com ouro (JSM-6510LV JEOL, Japão). As imagens



geradas foram feitas com aumento de 1000x.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A difração de raios x das vitrocerâmicas produzidas é apresentada na Figura 3, em (a) tem-se os difratogramas das peças sinterizadas por 1 h e em (b) das sinterizadas por 3 h. Foram identificadas as estruturas cristalinas Zeolita (Z), Estilbita (S), Isoleucita (I) e Quartzo (Q), sendo este último uma estrutura imperfeita, pois é evidenciado apenas um pico referente a estrutura.

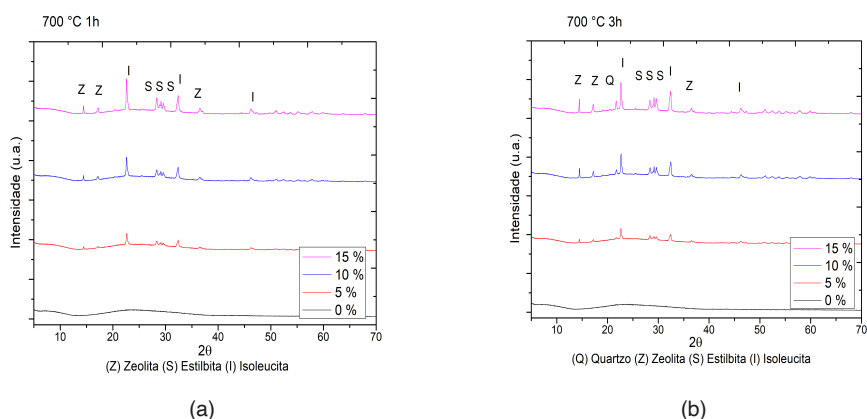


Figura 3: Difratogramas das vitrocerâmicas sinterizadas por 1 h (a) e por 3 h(b)

Percebe-se que sem a adição de  $Nb_2O_5$ , o vidro não cristaliza em nenhum dos tempos de sinterização. As diferentes adições de  $Nb_2O_5$  revelam que a cristalização é facilitada, visto que os picos dos minerais característicos foram se tornaram mais intensos. Além disso, os picos da estrutura Isoleucita (I), que é uma estrutura peroviskita, apresentam elevada intensidade, o que revela um aumento da concentração dessa estrutura. Essa estrutura trata-se de um niobato de sódio, que apresenta propriedades elétricas diferentes das vitrocerâmicas com somente pó de vidro reciclado (AZEVEDO, 2010).

Em relação aos diferentes tempos de sinterização, percebe-se que há uma redução no pico em  $22,61^\circ$ , o de maior intensidade da estrutura cristalina Isoleucita, quando sinterizada em 3 h. Todavia, evidenciou-se um novo pico em  $21,74^\circ$ , não notado quando sinterizado por 1 h. Como mencionado anteriormente, esse pico pode estar relacionado ao Quartzo (GUALBERTO, 2019).

Na Tabela 1 são apresentadas as dimensões das vitrocerâmicas, bem como o volume obtido e a retração linear do diâmetro ocorrida depois do processo de sinterização. No geral, o maior tempo de sinterização contribuiu para diminuição da espessura, diâmetro e

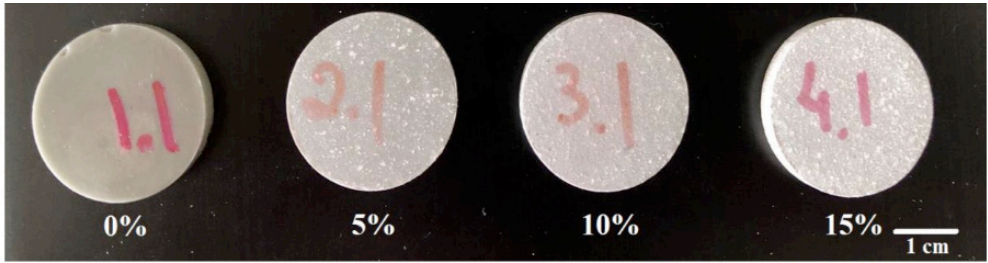
volume e consequentemente elevação da retração linear, em relação às peças sinterizadas por 1 h. Em relação à influência do  $Nb_2O_5$ , nota-se que há uma diminuição da espessura, mas aumento do diâmetro com o aumento da adição do  $Nb_2O_5$ , em ambos os tempos. Essas alterações também resultaram em redução da retração linear e aumento do volume da peça.

Lote	Descrição		Média 1 h	D.P.	Média 3 h	D.P.
L1	Pó de vidro + 0% de $Nb_2O_5$	Espessura (mm)	3,29	0,03	3,28	0,05
		Diâmetro (mm)	20,69	0,02	20,64	0,03
		Retração linear (%)	13,88	0,08	14,11	0,13
		Volume ( $mm^3$ )	1108,22	10,87	1097,55	15,91
L2	Pó de vidro + 5% de $Nb_2O_5$	Espessura (mm)	3,26	0,05	3,24	0,03
		Diâmetro (mm)	20,97	0,02	21,00	0,03
		Retração linear (%)	12,75	0,08	12,61	0,10
		Volume ( $mm^3$ )	1126,91	17,90	1121,32	14,68
L3	Pó de vidro + 10% de $Nb_2O_5$	Espessura (mm)	3,26	0,06	3,14	0,03
		Diâmetro (mm)	21,44	0,02	21,40	0,02
		Retração linear (%)	10,77	0,11	10,95	0,09
		Volume ( $mm^3$ )	1173,04	29,73	1128,76	13,12
L4	Pó de vidro + 15% de $Nb_2O_5$	Espessura (mm)	3,27	0,06	3,17	0,09
		Diâmetro (mm)	22,10	0,06	21,94	0,03
		Retração linear (%)	8,03	0,25	8,68	0,13
		Volume ( $mm^3$ )	1249,83	26,61	1188,81	11,69

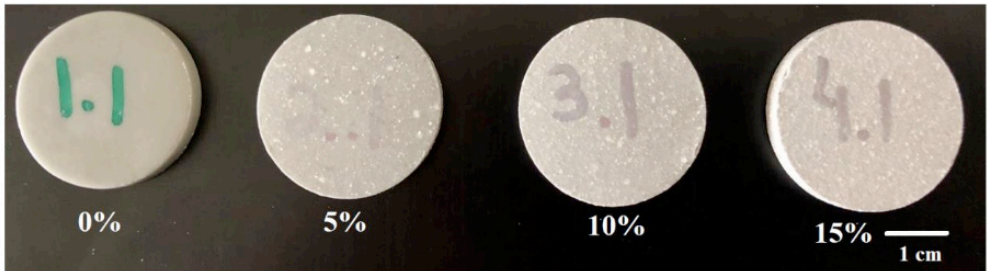
Tabela 1: Propriedades dimensionais das vitrocerâmicas.

As alterações de dimensão são visíveis entre os lotes, como pode ser observado na Figura 4. Nesta figura, tem-se em (a) os lotes sinterizados por 1 h e em (b) os lotes sinterizados por 3 h. Também, observa-se mudança na aparência das vitrocerâmicas, mudando de uma superfície lisa e mais cinza para uma superfície rugosa, mais clara e com pontos brancos que podem ser relacionados ao óxido de nióbio.

Como foi observada na difração de raios x, a cristalização só é desencadeada em 700°C quando há a presença do agente nucleante. Estudos mostram que o processo de sinterização desse tipo de material ocorre por meio de fluxo viscoso (GUALBERTO, 2019). Quando a cristalização ocorre antes do término da sinterização, ela pode prejudicar a sinterização produzindo um material menos denso, ou seja, mais volumoso, que teve menor retração linear. O surgimento dos cristais aumenta a viscosidade do fluxo e dificulta a densificação (FAN & LI 2013; FREDERICCI, 2011).



(a)



(b)

Legenda: (a) Vitrocerâmicas sinterizadas por 1 h e (b) vitrocerâmicas sinterizadas por 3 h.

Figura 4: Amostras das vitrocerâmicas de cada lote produzido.

Os resultados da caracterização mecânica realizada por meio de tração diametral são apresentados na Figura 5. Nota-se que a adição do  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  traz uma redução significativa nos valores da resistência quando comparado com os resultados das vitrocerâmicas sem o uso do agente nucleante. Ocorre uma queda de aproximadamente 25 MPa para valores menores que 10 MPa. Por outro lado, quando observado o desvio padrão, esse tem uma redução quando as vitrocerâmicas são produzidas com  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . Isso revela que o uso desse óxido produz vitrocerâmicas com melhor reprodutibilidade, podendo estar relacionado à maior homogeneização dos cristais no interior da vitrocerâmica proporcionada pelo agente nucleante.

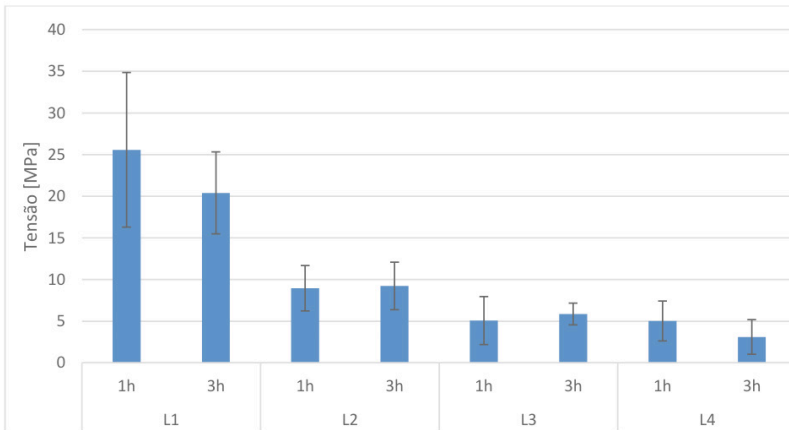
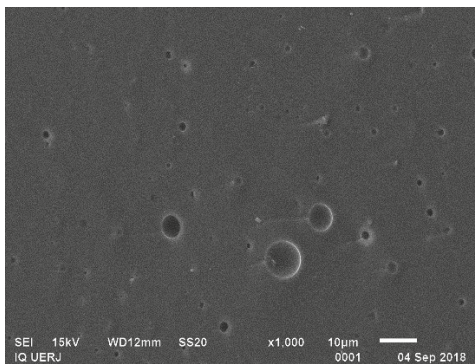
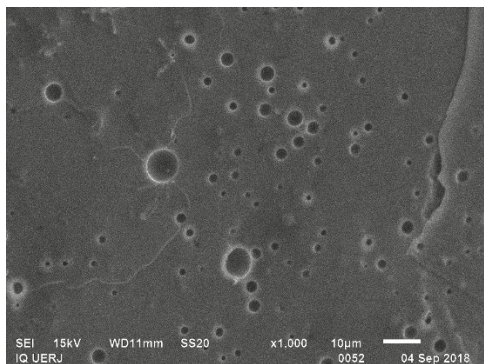


Figura 5: Resistência à tração indireta das vitrocerâmicas produzidas em 700°C.

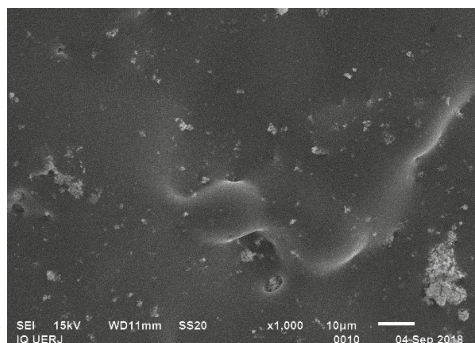
A Figura 6 apresenta as fractografias das vitrocerâmicas produzidas. Por essas micrografias pode-se observar a presença de poros e aglomerados de óxido de nióbio. Esses fatos podem estar relacionados com a redução de resistência ocorrida com a adição de  $Nb_2O_5$ .



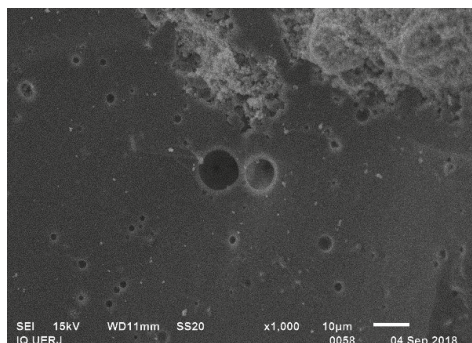
(a)



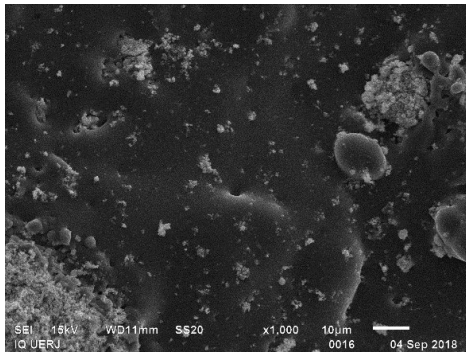
(b)



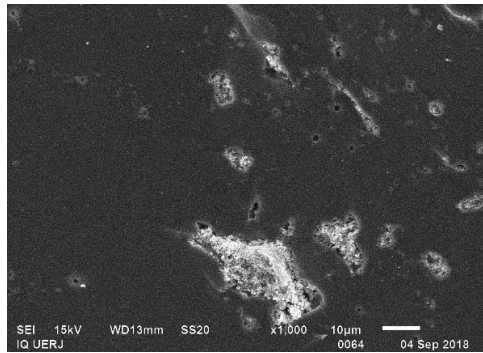
(c)



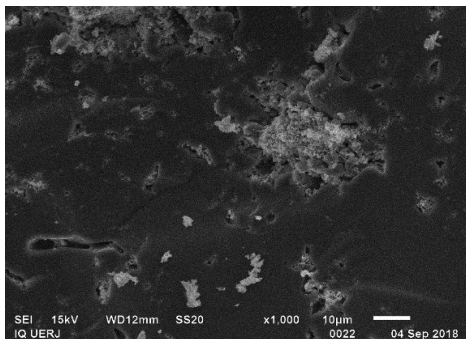
(d)



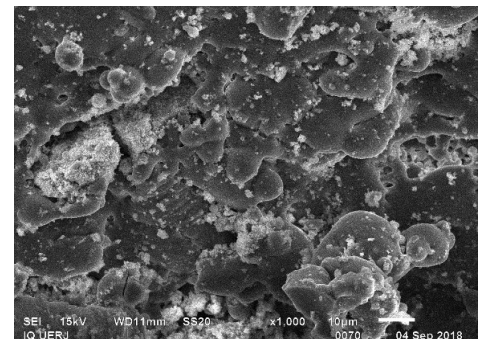
(e)



(f)



(g)



(h)

Legenda: Vitrocerâmicas produzidas com: (a) 0% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em 1 h, (b) 0% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em 3 h, (c) 5% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em 1 h, (d) 5% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em 3 h, (e) 10% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em 1 h, (f) 10% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em 3 h, (g) 15% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em 1 h, (h) 15% de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  em 3 h.

Figura 6: MEV da superfície de fratura das peças sinterizadas em 700 °C.

## 4 | CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada a produção de vitrocerâmicas a partir de vidro de para-brisas descartados. Notou-se que a adição do  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  permite a cristalização do vidro em 700°C, além de favorecer a formação da fase cristalina de uma estrutura piezoelétrica, o niobato de sódio. Em relação ao uso de maior tempo de sinterização, este não trouxe melhorias significativas a ponto de compensar os gastos energéticos com o maior tempo de sinterização. Já em relação às propriedades mecânicas obtidas pela tração diametral, elas revelaram redução da resistência com a adição do agente nucleante. Por outro lado, houve redução do desvio padrão, além de permitir a cristalização na temperatura de 700°C.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e a FAPERJ pelo apoio financeiro ao projeto.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D. 2938-95. **Standard test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens**. West Conshohocken, USA, 2005. 4 f.

AVANCINI, T. G. et al. Magnetic properties of magnetite-based nano-glass-ceramics obtained from a Fe-rich scale and borosilicate glass wastes. **Ceramics International**, 2018.

AZEVEDO, Luciana Maria dos Santos. **Síntese do niobato de sódio a partir do óxido de nióbio e do nióbio metálico**. 2010. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) -Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2010.

CASTRO, D. E., DE SOUZA, V. L. M., GONÇALVES, A. **Reciclagem & sustentabilidade na indústria automobilística**. Belo Horizonte: Bovolenta, 2012.

CHO, I. S.; KIM, D.W. Glass-frit size dependence of densification behavior and mechanical properties of zinc aluminum calcium borosilicate glass-ceramics. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 686, p. 95-100, 2016.

FAN, C.S.; LI, K.C. Production of insulating glass ceramics from thin film transistor-liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass and calcium fluoride sludge. **Journal of cleaner production**, v. 57, p. 335-341, 2013.

FREDERICCI, C. et al. Effect of temperature and heating rate on the sintering of leucite-based dental porcelains. **Ceramics International**, v. 37, n. 3, p. 1073-1078, 2011.

GUALBERTO, Hiasmim Rohem. **Influência das variáveis de sinterização nas propriedades mecânicas e elétricas de vitrocerâmicas produzidas a partir de pó de vidro reciclado e adição de  $Nb_2O_5$** , 2019. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2019.

L. E. I. Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato200, p. 7-2010>.

LU, X. et al. Effect of composition and sintering process on mechanical properties of glass ceramics from solid waste. **Advances in Applied Ceramics**, v. 115, n. 1, p. 13-20, 2016.

MI, H. et al. Preparation of ultra-light ceramic foams from waste glass and fly ash. **Advances in Applied Ceramics**, v. 116, n. 7, p. 400-408, 2017.

SPÍNOLA, Danielle CS et al. Preparation of glass-ceramic materials using kaolin and oil well drilling wastes. **Journal of Materials Research and Technology**, 2019.

VOLANTEC. **Quantos carros existem no mundo?** Disponível em <https://volantesic.pt/detalhes-noticia/quantos-carros-existem-mundo/ID=1399>. Acessado em: 28 de agosto de 2019.

WANG, X. et al. Preparation and characterization of SO<sub>3</sub>-doped barium borosilicate glass-ceramics containing zirconolite and barite phases. **Ceramics International**, v. 43, n. 1, p. 534-539, 2017.

ZANOTTO, E. D. Bright future for glass-ceramics. **American Ceramics Society Bulletin**, v. 89, n. 8, p. 19-27, 2010.

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA** - Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Bacharel em Química pela Universidade de Uberaba (2011), em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única. Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), com ênfase no desenvolvimento de um bioadsorvente para remoção de íons As(V), Sb(III) e Se(IV) em diferentes matrizes aquáticas. Doutorado em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2018), com ênfase em Processos Oxidativos Avançados [fotocatálise heterogênea ( $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  e  $\text{TiO}_2/\text{Solar}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$ ) para remoção de contaminantes de preocupação emergente (CPE) em diferentes matrizes aquáticas. Realizou o primeiro estágio de Pós-Doutorado (de maio de 2019 a junho de 2021) na Universidade Federal de Uberlândia com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de CPE em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atualmente realiza estágio pós-doutoral em Química na UFU na mesma linha de pesquisa e vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de acompanhamento do CPE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV C}$ ,  $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$  e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências da Natureza.

**A**

Alcalóides 3

Anti-inflamatórias 4

Antioxidantes 1, 2, 4

Armadilhas 114, 115, 116

Átomos excitados 120

AVA (Ambiente Virtual de Aprendizagem) 38, 39, 40, 45, 46

**B**

Banda de condução 114

Banda de valência 113, 114

*Bio-climatic zone* 75

*Biodiversity* 75, 87

*BlackBoard* 44

Buraco 114

**C**

Cadastros urbanos 49, 50, 59

Código de Monte Carlo 119, 120

Colisões inelásticas 120

Compostos fenólicos 2, 3

Concreto armado 88, 89, 90, 103, 104

CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia) 50, 51, 52, 57, 60

**D**

Desalinhamento angular 108

Desalinhamento paralelo 108

Desbalanceamento 105, 106, 107, 110

Desvanecimento 115, 116

Diagnose 7, 8, 9

Difração de Raios X (DRX) 135, 136, 138, 139, 141

Discente 38

Dosimetria 112, 113, 115, 118, 119

**E**

*Ecosystems* 75, 85

Eficiência energética 62, 63, 64, 65, 66, 74



EGSnrc (*Electron Gamma Shower of National Research Council Canada*) 120, 121, 124, 125, 126, 127

Eixos de rotação 109

Elétrons 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126

Emissão de luz 113, 114, 116

## F

*Feedback* 45

Ferramentas 5, 8, 16, 106, 129, 130, 132, 133, 134

Fitopatógenos 8, 9, 28

Fitoquímicos 3, 4

Flavonóides 1, 3, 4

Forças centrífugas 107

Fóton 120, 121, 123

Frenamento 120, 121, 123, 124, 125

Fungos 7, 9, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 30, 31, 32

## G

Georreferenciamento 49, 50, 56, 58, 59, 60

*Google for Education* 44

*Guamá River* 78

## H

*Hazard* 76

## I

Indústria 4.0 106

## L

Lajes maciças 88, 89, 90, 93, 95, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104

Lajes nervuradas 88, 89, 96, 101, 103, 104

Lâmpada fluorescente 70

Logística reversa 136

## M

Máquinas rotativas 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111

MEC (Ministério da Educação) 36, 37, 48

Meio ambiente 29, 31, 107

Micrografias 142

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 135, 139

MOODLE 44

Multifinalitário 50, 51, 52, 57, 58, 60, 61

## N

Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Pentóxido de nióbio) 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144

NEAD (Núcleo de Educação a Distância) 37, 42

## O

Ontologia 129, 130, 131, 132, 133

*Orchidaceae* 7, 8, 10, 12, 14, 15, 17, 23, 25, 30, 32, 33, 34

Orquídeas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 27, 28, 30, 31, 32, 33

Orquidicultura 11

OWL (*Ontology Web Language*) 129, 130, 132, 133

## P

*Pará River* 78

Plano diretor 50

Plantas medicinais 1, 2, 3, 4

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) 136, 144

## R

Reciclagem 135, 136, 144

Resíduos 135, 136, 144, 146

*Resource Description Framework* (RDF) 130

Reutilização 135

Rotor 105, 106, 107, 110, 111

## S

Sistemas energéticos 62, 63

Sustentabilidade 63, 144

## T

Taninos 3

Termoluminescente 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118

TQS (*Software Definitivo para Engenharia de Estruturas*) 88, 89, 91, 92, 93, 94,

95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103

Tutor 35, 36, 38, 39, 40, 42, 45, 46, 47, 48

## U

UAB (Universidade Aberta do Brasil) 36, 37, 38, 39, 42, 46, 48

UEM (Universidade Estadual de Maringá) 1, 35, 36, 38, 40, 41, 42, 47, 105

## V

Vibrações mecânicas 109

Vidro 135, 136, 137, 139, 140, 143, 144

Vitrocerâmicas 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144

## W

*Water* 76, 77, 84, 85, 86

*Web Semântica* 129, 130, 131, 132, 133

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS:

Conhecimento e informação

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS:

Conhecimento e informação

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)