UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - EESC

NOME NNNOOO NONONO NANANAN

**DESENVOLVIMENTO DE PÓS DE HIDROXIAPATITA ASSOCIADO COM PROTOTIPAGEM RÁPIDA VISANDO APLICAÇÕES BIOMÉDICAS**

São Carlos

2021

NOME NNNOOO NONONO NANANAN

DESENVOLVIMENTO DE PÓS DE HIDROXIAPATITA ASSOCIADO COM PROTOTIPAGEM RÁPIDA VISANDO APLICAÇÕES BIOMÉDICAS

Observações Importantes

* Tudo que estiver em vermelho não deve constar do relatório (deve ser excluído, pois são instruções somente).
* Tudo que estiver em azul de ser personalizado de acordo com o projeto de cada aluno.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenherio XXXXXXXX.

Área de Concentração: Tribologia e Compósitos

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Fortulan.

São Carlos

2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

**FOLHA DE AVALIAÇÃO**

**Candidato:** RSFSF AEL DE SOSSS

**Título:** DEFINIÇÃO E NCNDJD ISYFLOFI.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  Escola de Engenharia de São Carlos da  Universidade de São Paulo  Curso de Engenharia Mecânica |

**BANCA EXAMINADORA**

Eng. GUIFGF JJHF TYYGB

Instituição: Rdldsl Ind

Nota atribuída: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(assinatura)

Prof. Dr. JOMMM MAFSR DSDFWE

Instituição: SMM – EESC – USP

Nota atribuída: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(assinatura)

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO FORTULAN (Orientador)

Instituição: SEM – EESC - USP

Nota atribuída: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(assinatura)

Média: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_)

Resultado: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Data: 04/12/2021

**Este trabalho tem condições de ser hospedado no Portal Digital da Biblioteca da EESC:**

**\_\_\_SIM \_\_\_Não, Visto do orientador \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

*A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado. A imaginação circunda o mundo.*

**Albert Einstein**

**RESUMO**

NANANAN, N.N.N. Desenvolvimento de pós de hidroxiapatita associado com prototipagem rápida visando aplicações biomédicas – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

O relatório de TTC é uma monografia que não precisa atender ao método científico ou seja: **Observação**, proposição de **hipótese**, teste de hipótese (**experimentação**) e **conclusão**, no entanto, se faz uso de muita pesquisa bibliográfica e ai precisa ter cuidado para não cometer plágio, para isso toda parte escrita retirada da bibliografia pertinente precisa estar citada sua fonte. O trabalho será checado quanto ao Plágio pelo Turnitin.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

permitiu a prototipagem de escafoldes com resistência mecânica suficiente ao manuseio.

Palavras-chave: prototipagem rápida, hidroxiapatita, usinagem à verde, LSD, biomaterial.

**ABSTRACT**

NANANAN, N.N.N. **Development of hydroxyapatite powders associated with rapid prototyping aiming biomedical applications** – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

The study deals with the direct manufacturing of hydroxyapatite scaffolds using rapid prototyping. .

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

tests indicated that the incidence of the laser fluence of 170 mW.s/mm2 promoted the resin healing with 0.5 mm of diameter and about 0.5 mm in depth, that allowed the prototyping of scaffolds with sufficient mechanical strength to manipulation.

Keywords: rapid prototyping, hydroxyapatite, green machining, LSD, biomaterial.

**LISTA DE FIGURAS**

[Figura 2.1 – Osso cortical e esponjoso. Arranjo da hidroxiapatita e colágeno na formação de tecidos duros (VALLET-REGÍ; GONZÁLEZ-CALBET, 2004). 21](#_Toc324186251)

[Figura 2.2 – Esquema de um osso cortical, ilustrando os sistemas de Havers e as lamelas circunferenciais externas e internas. O sistema de Havers, no alto e à esquerda, mostra a orientação das fibras de colágeno em cada lamela. À direita, o sistema de Havers mostra um capilar sanguíneo central (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1995). 23](#_Toc324186252)

[Figura 2.3 – Peças que podem ser implantadas no corpo humano (VALLET-REGÍ, [200-]) 27](#_Toc324186253)

Para atualizar a LISTA DE FIGURAS basta clicar com a tecla direita do mouse sobre a lista de figuras e optar por ***Atualizar campo***, em seguida se pode optar por ***Atualizar o índice inteiro***.

**LISTA DE TABELAS**

[Tabela 2.1 – Propriedades mecânicas para vários tipos de ossos. 22](#_Toc324186281)

[Tabela 2.2 – Tipos de biomateriais: vantagens e desvantagens. 26](#_Toc324186282)

Para atualizar a LISTA DE TABELAS basta clicar com a tecla direita do mouse sobre a lista de figuras e optar por ***Atualizar campo***, em seguida se pode optar por **Atualizar o índice inteiro**.

**LISTA DE SIGLAS**

|  |  |
| --- | --- |
| 3DP | *3D Printing* |
| ACP | Fosfato de cálcio amorfo |
| ASTM | *American Society for Testing and Materials* |
| CAD | Computer-aided design |

**LISTA DE SÍMBOLOS**

|  |  |
| --- | --- |
| ∅ee | Diâmetro médio equivalente |
| σRT | Resistência à flexão |
| µm | Micrometro |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**SUMÁRIO**

[1 INTRODUÇÃO 17](#_Toc324186462)

[2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21](#_Toc324186463)

[2.1 Tecido ósseo 21](#_Toc324186464)

[2.2 Biomateriais 25](#_Toc324186465)

[2.5.5 LSD – *Laywise Slurry Deposition* 42](#_Toc324186475)

[2.5.6 Usinagem a verde 42](#_Toc324186476)

[2.5.7 Comparação entre as técnicas de PR 42](#_Toc324186477)

[2.5.8 Prototipagem rápida de biocerâmicas 44](#_Toc324186478)

[3 MATERIAIS E MÉTODOS 47](#_Toc324186479)

[3.1 Etapas realizadas 47](#_Toc324186480)

[3.1.1 Processamento da hidroxiapatita 48](#_Toc324186481)

[3.1.2 Caracterização da hidroxiapatita 50](#_Toc324186482)

[3.1.9 Microdureza Vickers 54](#_Toc324186489)

[3.1.10 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 54](#_Toc324186490)

[3.2 Etapas futuras 55](#_Toc324186491)

[3.2.1 Prototipagem rápida 3DP 55](#_Toc324186492)

[3.2.2 Prototipagem utilizando laser azul e resina (LSD) 56](#_Toc324186493)

[4 RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO 59](#_Toc324186494)

[4.1 Caracterização da hidroxiapatita 59](#_Toc324186495)

[4.2 Moagem 62](#_Toc324186496)

[4.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) 70](#_Toc324186502)

[5 CONCLUSÕES PARCIAIS 77](#_Toc324186503)

[6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS1 79](#_Toc324186504)

Para atualizar o SUMÁRIO a lista de tabelas basta clicar com a tecla direita do mouse sobre a lista de figuras e optar por ***Atualizar campo***, em seguida se pode optar por **Atualizar o índice inteiro**.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude dos avanços

Este estudo tem como objetivo a obtenção de implantes por prototipagem rápida da hidroxiapatita obtida a partir de.

A partir da ceramização de ossos e flexível.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
   1. Tecido ósseo

O tecido ósseo é um .... tecidos e órgãos.

Como ilustrado na Figura 3.1 os cristais 50 % do volume é de hidroxiapatita.



Figura 2.1 – Osso cortical e esponjoso. Arranjo da hidroxiapatita e colágeno na formação de tecidos duros (VALLET-REGÍ; GONZÁLEZ-CALBET, 2004).

O tecido .... do osso e as solicitações mecânicas. A Tabela 3.1 apresenta as propriedades mecânicas para vários tipos de tecido ósseo.

Tabela 2.1 – Propriedades mecânicas para vários tipos de ossos.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo de Osso** | **Direção do teste** | **Resistência à tensão (MPa)** | **Resistência à compressão (MPa)** | **Módulo elástico (GPa)** |
| Fêmur | Longitudinal | 121 | 167 | 17,2 |
| Tíbia | Longitudinal | 140 | 159 | 18,1 |
| Osso esponjoso | - | 1,2 | 1,9 | 0,09 |
| Crânio | Tangencial | 25 | - | - |
| Radial | - | -97 | - |

Fonte: KATTI, 2004, PARK, 1980.

Os ossos .... remodelação dos ossos (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1995). A Figura 2.2 apresenta a estrutura básica de um osso compacto.



Figura 2.2 – Esquema de um osso cortical, ilustrando os sistemas de Havers e as lamelas circunferenciais externas e internas. O sistema de Havers, no alto e à esquerda, mostra a orientação das fibras de colágeno em cada lamela. À direita, o sistema de Havers mostra um capilar sanguíneo central (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 1995).

Os osteócitos são ...e de novos materiais para aplicações em biomateriais.

* 1. Biomateriais

O termo biomaterial foi definido ..... à utilização como dispositivos médicos. A Tabela 2.2 apresenta algumas vantagens e desvantagens .......erial.

Tabela 2.2 – Tipos de biomateriais: vantagens e desvantagens.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Biomaterial** | **Exemplos** | **Vantagens** | **Desvantagens** |
| Metal | Aço inoxidável | Alta energia de deformação | relação ao tecido. |
| Compósito | Carbono  Fosfo geno | Boa biocoe, aplicações | Inco de fabricação |

Fonte: PARK, 1984.

A Figura 2.3 mostra os locais do corpo humano onde há possibilidade de utilização de biomateriais.



Figura 2.3 – Peças que podem ser implantadas no corpo humano (VALLET-REGÍ, [200-])

Os biomateriais .....ção e interação da radiação com o núcleo e com a nuvem eletrônica dos átomos (MELO, 2004).

* + 1. Classificação dos biomateriais

Os biomateriais são classificados usualmente de acordo com sua origem, quanto ao seu mecanismo de ação e de acordo com seu comportamento fisiológico (DALAPICULA et al., 2006). Camilo (2006) apresenta ...).

1. ...o.
   * 1. Biocompatibilidade

...am que os escafoldes produzidos por SLS tem bom potencial para aplicação em engenharia de tecidos.

1. MATERIAIS E MÉTODOS

Na busca da .... dos aglomerados.

* 1. Etapas realizadas

Nos subitens abaixo são descritas as etapas deste trabalho de pesquisa realizadas até o presente momento.

* + 1. Processamento da hidroxiapatita

Neste trabalho ... na Figura 3.1.



Figura 3.1 – Fluxograma de processamento para obtenção da hidroxiapatita.

* + 1. Caracterização da hid....a

Para caracterização da ... através do picnômetro de hélio da Micromeritics AccuPyc 1330.... A e tempo de cura de 100 segundos com aplicação de 30 mW/cm2.

1. RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO

Após as ......tra a Figura 4.1.



Figura 4.1 – Hidroxiapatita bovina.

* 1. Caracterização da hidroxiapatita

Os espectros de DRX e FTIR

atômico.

* 1. Moagem

O material calcinado

* 1. Sinterização

A Figura 4.6 mostra

1. CONCLUSÕES

As conclusões além das técnicas relacionadas ao título e objetivo e podem trazer detalhes que ocorreram ao longo do desenvolvimento do trabalho e que ilustrem as dificuldades encontradas e as sugestões a serem feitas para melhorar a sistemática sugerida e adotada como referência.

1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS1

Todas as fórmulas, textos, dados e tabelas sem as devidas referências bibliográficas são consideradas de autoria do Projetista;

Como consequência, todas as fórmulas, textos, dados e tabelas, que não são de autoria do Projetista, tem que ter a respectiva referência bibliográfica;

Todo o procedimento coberto por Normas Técnicas tem que estar explicitamente indicado com os respectivos números da norma (ABNT, DIN, ASME, ASLE, JIS, BS).

As referências citadas devem atender as normalizações aceitas e recomendadas pela USP, dentre elas a ABNT, ISO, APA ou Voncouver e podem estar em ordem alfabética ou numeradas seguindo a ordem de citação no texto. Para isso existem ferramentas de produtividade que alunos da USP tem o acesso e as principais são: Mendeley (Scopus) e My Endnote (myendnoteweb.com).

1. ALMEIDA FILHO, E.; ASSIS, C. M.; VERCIK, L. O.; GUASTALDI, A. C. Biomateriais: deposição de hidroxiapatita sobre superfície de ti-cp modificada por aspersão térmica. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1229-1232, 2007.
2. AOKI, H. **Science and medical applications of hydroxyapatite**. Tokyo: Takayama Press System Center, 1991. 214 p.
3. BAUER, T; MUSCHLER, G. F. Bone Graft Materials. An overview of the basic science. Clinical Orthopaedics & Related Research, v. 371, p. 10-27, 2000.