



SÃO PAULO

FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA  
REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA

**DETERMINAÇÃO DA PLACA ORTOPÉDICA DE MENOR RESISTÊNCIA À DOBRA NUMA FAMÍLIA DE PRODUTOS POR MEIO DE ENSAIO UTILIZANDO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

**DETERMINATION OF ORTHOPEDIC PLATE OF LOWEST BENDING STRENGTH IN A FAMILY OF PRODUCTS BY MEANS OF TEST USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

**Marcelo Pontes Gimenes<sup>1, i</sup>**

**Dagoberto Gregório<sup>2, ii</sup>**

**RESUMO**

O objetivo desse trabalho é definir, por meio de elementos finitos, qual é o produto mais crítico em relação à resistência mecânica à dobra numa família de placas para implantes usadas na ortopedia atualmente. As placas usadas neste estudo são aplicadas em fraturas no osso do fêmur, que normalmente são causadas em acidentes de grande impacto, ou em quedas de lugares altos. Três modelos principais de placas para implante ortopédico (DCP, LC-DCP e LCP) serão submetidas à análise do método de elementos finitos por meio do software Dassault Catia V5. O método utilizado para ensaio será baseado nas especificações da norma norte-americana ASTM F899. O resultado gerado pelo software, por meio de cálculos, mostra que a placa LCP obteve a maior tensão (663,17 MPa) durante o ensaio, conseqüentemente, obtendo menor resistência mecânica em comparação com as outras amostras. Isso permite identificar, dentre os modelos de placas ensaiadas, a que menos suportará cargas mecânicas excessivas implantadas in vivo. Com isso, pode-se reservar este modelo de implante e submetê-lo à ensaios mecânicos reais, que têm resultados verdadeiros e confiáveis, e servem para validar o projeto em si. Obteve um ganho de tempo e custo para desenvolvimento de um projeto, focando apenas no modelo de placa mais crítico propiciando aprovação dos modelos mais robustos.

Palavras-chave: Placas ósseas. Elementos finitos. ASTM F899. Caso crítico.

**ABSTRACT**

The aim of this work is to define, by means of finite element, which is the most critical product in relation to the mechanical resistance to bending in a family of plates for implants used in orthopedics actually. The plates used in this study are applied in the femur bone fractures, which are often caused by a great impact accidents or falls from high places. Three main models plates for orthopedic implant (DCP, LC-DCP e DCP) will be submitted to analysis of finite element method using Dassault Catia V5 software. The method used for testing will be based on the specifications of the American ASTM F899. The result generated by the software,

<sup>1</sup> Pós-Graduando em Projeto, Manufatura e Engenharia Auxiliados por Computador (CAD/CAM/CAE). E-mail: mpgimenes@gmail.com.

<sup>2</sup>Orientador: Doutorando em Engenharia Mecânica. E-mail: dagoberto.gregorio@sp.senai.br.

by means of calculations, shows that the LCP plate had the highest strength (663,17 MPa) during the test, thus, obtaining lower mechanical strength compared with other samples. It allows to identify, among of tested plates, which bear less excessive mechanical loads implanted in vivo. With this, we can reserve this implant model and submit it to the real mechanical tests, which are true and reliable results, and serve to validate the project itself. Gained time and cost for development of a project, focusing only on a more critical plate model giving approval of the most robust model.

Keywords: Bone plates. Finite elements. ASTM F899. Critical case.

Data de submissão: 16/12/2016

Data de aprovação: 25/07/2018

## 1 INTRODUÇÃO

As fraturas diafisárias do fêmur ocorrem normalmente em acidentes de automóveis, quedas de altura e acidentes no trabalho. De acordo com análises de fraturas de fêmur, a maior causa desse tipo de fratura são em acidentes de carro, moto e atropelamento (GUERRA et al, 2010).

Atualmente existem vários métodos diferentes que podem ser utilizados para reparar esse tipo de fratura. O parâmetro de maior relevância para a escolha do método é o traço da fratura, com base na classificação de fraturas da *Association for Osteosynthesis/Association for the Study of Internal Fixation (AO/ASIF)*.

Em 1886 Hansmann realizou a primeira fixação óssea interna por meio de uma placa. Desde esse momento ocorreu uma evolução constante no desenvolvimento de modelos diferentes de placas para tratamento de fraturas femorais (NASSIRI; MACDONALD; O'BYRNE, 2013).

A função da placa cirúrgica é a estabilização do osso fraturado (vide exemplo na Figura 1), que garante uma consolidação óssea eficiente, e como consequência disso, o retorno do paciente às atividades que tinha antes do ocorrido.

**Figura 1 - Radiografia de um osso canino, onde à esquerda tem-se o osso fraturado, e à direita o implante realizado por meio de placa e parafusos**



Fonte: Rüedi; Murphy (2000).

O tempo médio da consolidação óssea da diáfise do osso femoral é de aproximadamente de 2 a 3 meses. Isso significa que a placa implantada na região da fratura deverá suportar grande parte das forças atuantes no fêmur durante esse período.

Durante esses meses é recomendável ao paciente não realizar atividades físicas pesadas que possam comprometer a estabilização da placa implantada. A explantação da placa deve ser realizada após a constatação da restauração completa do osso.

Em 1969 a Placa dinâmica de compressão *Dynamic Compression Plate* (DCP) foi desenvolvida pelo grupo *Arbeitsgemeinschaft fur Osteosynthesefragen* (AO), que permitia que ocorresse uma compressão axial da área fraturada por meio de furos ovais excêntricos ao longo da placa. Essa união entre as fraturas facilita a consolidação óssea, que é o objetivo principal do tratamento para regeneração óssea (NIEMEYER; SÜDKAMP, 2006).

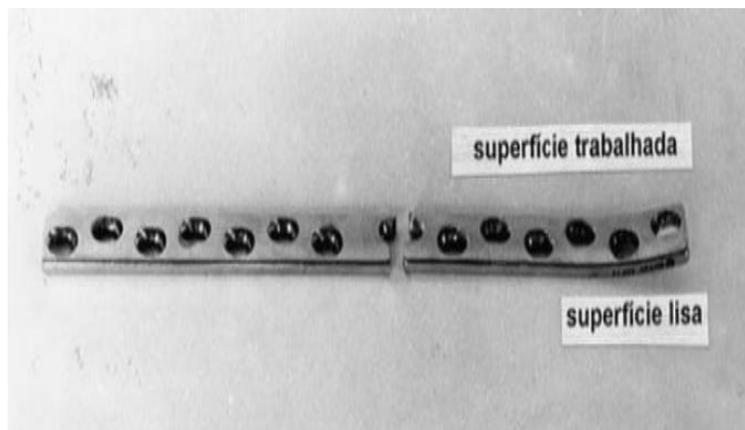
Posteriormente, o grupo suíço AO desenvolveu a placa *Low Contact – Dynamic Compression Plate* (LC-DCP), que diminuía a área de contato da placa com o osso fraturado, facilitando a circulação sanguínea na região da fratura. A placa LC-DCP contém o mesmo mecanismo de compressão axial dinâmico da placa DCP, e, além disso, rasgos na parte inferior da placa (UHTHOFF; POITRAS; BACKMAN; 2006).

A última evolução foi a *Locking Compression Plate* (LCP), onde consistia em manter todos os recursos da placa LC-DCP juntamente com um sistema de fixação com parafuso bloqueado, gerando uma maior estabilização do sistema placa-osso. Sua desvantagem é o custo, que ainda é muito alto se comparada aos outros modelos de placas citados anteriormente.

Para que ocorra uma junção entre a placa e o osso, são usados parafusos, onde a parte rosqueante do parafuso (corpo) deve estar presa no osso, e a cabeça do parafuso deve estar alojada nos orifícios da placa.

As placas metálicas que são usadas em implantes ortopédicos devem ser testadas com base em normas para garantir sua eficácia durante seu uso in vivo. Caso a placa implantada não tenha garantia de resistência mecânica, pode ocorrer a quebra (pode-se observar um exemplo disso na Figura 2), gerando danos ao paciente e, conseqüentemente, induzindo-o a uma cirurgia de revisão e substituição do implante.

**Figura 2 - Exemplo de falha de implante feito de aço inoxidável**



Fonte: Azevedo; Hippert (2002).

O método de elementos finitos auxilia no ganho de tempo e custo de ensaios que são realizados virtualmente, simulando um ambiente real, podendo obter resultados satisfatórios e úteis para análises e posterior melhorias no implante ensaiado.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Características técnicas das placas

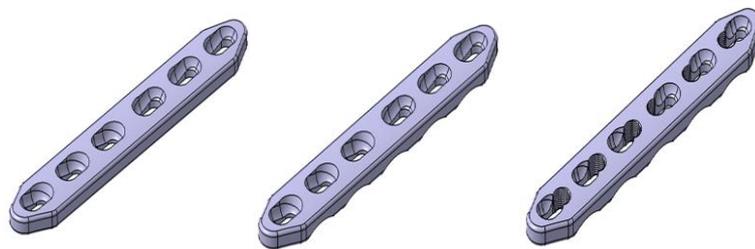
As placas DCP, LC-DCP e LCP seguirão um padrão das suas características dimensionais e técnicas para poder comparar os resultados e definir qual delas é o caso mais crítico.

As placas modeladas terão 5mm de espessura, 17,5mm de largura, 116mm de comprimento, 18mm de distância entre os orifícios e o material será aço inoxidável conforme ASTM F138-13a (*American Society for Testing and Materials*), que é um material utilizado para implantes ortopédicos, tendo sua biocompatibilidade testada e aprovada por meio de testes e ensaios. A condição do material a ser escolhida será “cold worked” (trabalhado a frio) conforme a norma, pois é um material com tensão de cisalhamento de 690MPa, sendo o mais adequado para esse modelo de implante.

A norma ASTM F382-14 especifica que os dois roletes superiores que transmitirão a carga de teste para a placa deve estar entre os dois orifícios centrais da placa; e os dois roletes inferiores de suporte devem estar, no mínimo a uma distância entre eles de um furo da placa. Ou seja, para que o ensaio seja feito de acordo com a norma, é necessário que a placa contenha no mínimo 4 orifícios. Adotou-se um valor padrão de 6 orifícios nas placas ensaiadas porque normalmente os orifícios da extremidade da placa são desconsiderados por não terem apoio suficiente para os roletes inferiores.

O software utilizado para o modelamento 3D será o Dassault Catia V5R20. A Figura 3 mostra as placas modeladas tridimensionalmente.

Figura 3 - Modelo para ensaio da placa DCP (à direita), LC-DCP (centro) e LCP (à esquerda)



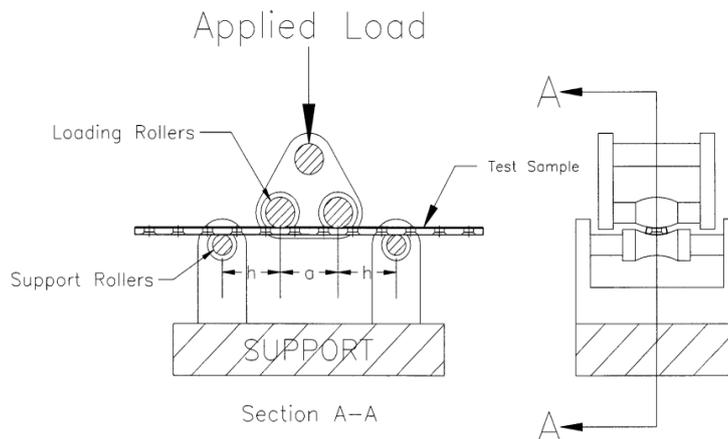
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.2 Método de ensaio por 4 pontos

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é um método matemático onde os corpos de prova a serem submetidos a ensaios são subdivididos em pequenas partes por meio de malhas, mantendo suas propriedades inalteradas; posteriormente, sujeitas a cálculos matemáticos (LOTTI, 2006).

Para garantir que essas placas não quebrem durante o tempo que estiverem implantadas, é necessário que elas sejam ensaiadas conforme a norma ASTM F382-14. Esta norma especifica o método de ensaio de placas metálicas que determinam sua resistência à dobra e sua rigidez, que pode ser observado na Figura 4.

**Figura 4 – Método de ensaio conforme a norma ASTM F382-14**



Fonte: ASTM F382-14 (2014).

Existe também a norma ISO 9585:1990 (*International Organization for Standardization*) que são similares, mas não equivalentes em relação ao método do ensaio. Um exemplo desse ensaio realizado num laboratório pode ser observado na Figura 5.

**Figura 5 – Representação esquemática de um ensaio realizado em laboratório**



Fonte: Jebur (2014).

Para realizar o ensaio virtual foi necessário seguir algumas etapas importantes antes da execução dos cálculos realizados pelo software Catia. Foram 3 ensaios ao todo (um para cada modelo de placa).

Em primeiro lugar, foi realizada a montagem dos suportes inferior e superior com a placa. Foi aplicada uma restrição “Clamp” nos dois roletes do suporte inferior para que tivesse um suporte fixo, onde serviu de apoio para a placa. Em seguida, interligou a placa com os roletes do suporte inferior e superior por meio do comando “Fastened Connection Property”, fazendo com que os componentes estivessem em contato.

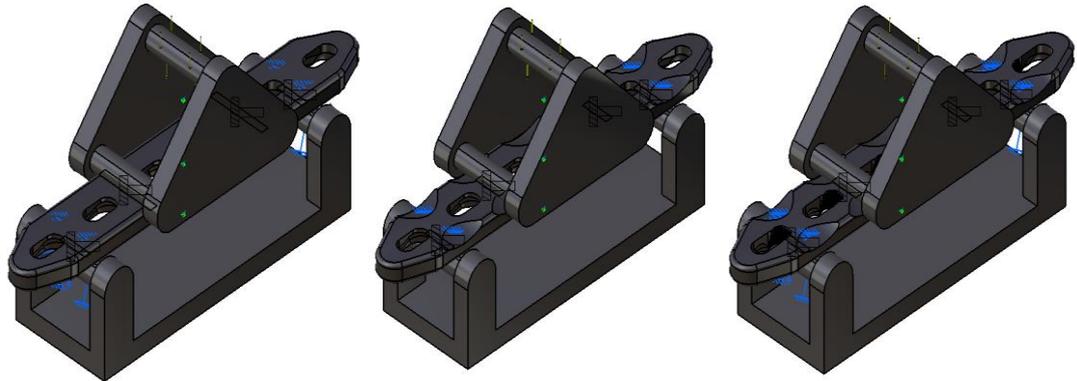
Aplicou-se uma carga (*Applied Load*) no sentido vertical no rolete superior do suporte superior. Como a norma não especifica o valor da carga a ser aplicada, foi adotado um valor de 1000N para todos os 3 casos.

Por último, foi definida a malha que discretizou (subdividiu) os elementos do ensaio. Foi utilizado o tetraédrico do tipo parabólico, que é o formato ideal para uma análise com elementos tridimensionais. O tamanho do tetraédrico foi definido por meio do “size” e “sag”,

que teve o valor de 1mm e 0,2mm respectivamente. Essas características da malha foram adotadas para todos os componentes com o intuito de manter uma padronização no ensaio.

Com esses parâmetros definidos, o modelo esquemático estava pronto para executar os cálculos (Figura 6).

**Figura 6 – Conjunto modelado preparado para ensaio virtual. Montagem com a placa DCP (à esquerda), LC-DCP (centro) e LCP (à esquerda)**

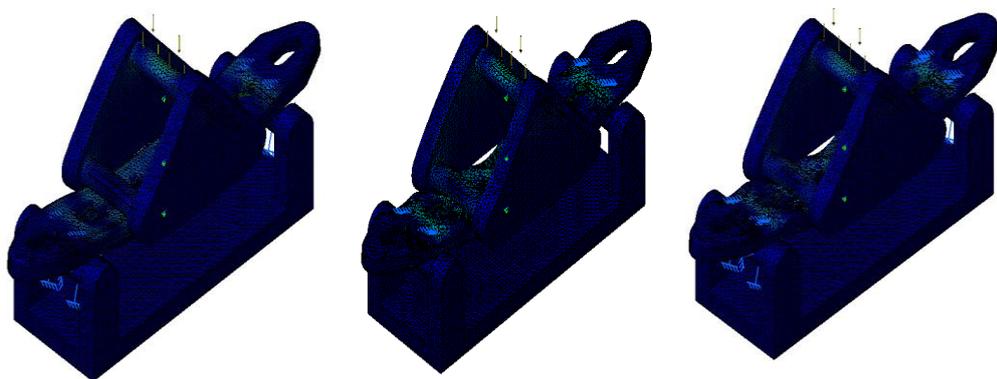


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.3 Resultados

O resultado do ensaio pode ser verificado na Figura 7. Note que há uma ampliação de 100 vezes na magnitude do que realmente ocorreu para que fosse possível enxergar melhor o comportamento dos elementos ensaiados. Caso isso não tivesse sido feito, seria praticamente impossível verificar a movimentação realizada, pois o maior deslocamento da placa foi menor que 0,1mm (algo imperceptível a olho nu).

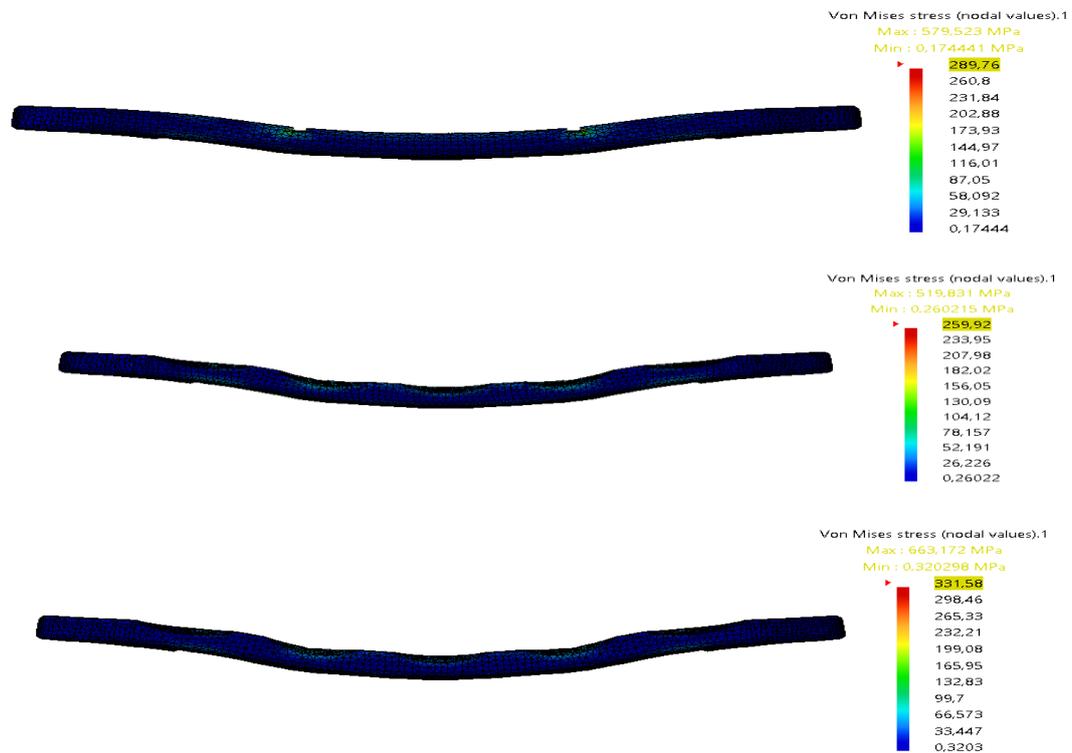
**Figura 7 – Resultado do ensaio. Placa DCP (à esquerda), LC-DCP (centro) e LCP (à direita)**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como foi apenas analisando o elemento “placa”, foram desconsiderados os resultados do suporte inferior e do suporte superior (Figura 8).

**Figura 8 – Resultados de elementos finitos por meio de Von Mises. Placa DCP (acima), LC-DCP (meio) e LCP (abaixo)**



Fonte: Elaborado pelo autor

Nenhum componente dos 3 ensaios realizados geraram uma tensão maior que a tensão de escoamento do material (690MPa), o que garante a integridade dos componentes, não gerando deformações plásticas nem trincas.

O caso mais crítico entre as 3 placas ensaiadas foi a placa LCP. A tensão interna que a placa sofreu durante o teste é consequência das forças que serão sofridas enquanto estiver implantada. As forças podem ser diretas (exemplo: o próprio caminhar ou subir as escadas) ou indiretas (exemplo: choques por meio de tombo ou tropeço).

O método de elementos finitos não é totalmente confiável porque existem muitos outros fatores que não foram considerados durante o ensaio. O próprio software exibe um valor de “erro global”, que é a porcentagem de desvio dos valores calculados virtualmente em comparação com valores que seriam obtidos por outros métodos reais realizados em laboratórios. O maior erro global entre os 3 ensaios foi de 15,68%, o que pôde ser considerado sendo um valor aceitável por causa do objetivo a ser atingido nesse estudo, que não é descobrir o valor exato da resistência mecânica das placas, e sim qual modelo resulta num valor de tensão menor em relação aos outros modelos.

O Quadro 1 apresenta o resumo do ensaio realizado.

**Quadro 1 – Resumo do resultado do ensaio realizado pelo software Catia**

Modelo de Placa	Tensão Máxima (Mpa)	Porcentagem atingida do Limite de escoamento do material – 690 MPa (%)	Deslocamento Máximo (mm)	Erro Global (%)
DCP	579,52	83,99	0,051	15,68
LC-DCP	519,83	75,34	0,067	15,14
LCP	663,17	96,11	0,067	15,29

Fonte: Elaborado pelo autor

Mesmo não tendo uma total confiança dos resultados obtidos, esse estudo ajudou a descobrir, numa família de alguns modelos de placas ósseas, qual delas que é o modelo mais crítico em relação à resistência mecânica à dobra.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ANVISA (Agência de Vigilância Sanitária), que regulamenta o setor de implantes para ortopedia, exige que sejam necessários testes e ensaios baseados em normas para que o projeto seja validado. Esses testes e ensaios devem ser realizados em laboratório acreditados pela ANVISA, o que garante a qualidade e veracidade dos resultados.

O resultado do ensaio virtual realizado nesse estudo serviu para encontrar esse produto crítico dentre 3 modelos similares. Assim, tem-se apenas um modelo de produto para posteriores ensaios mecânico em laboratórios aceitos pelo órgão regulamentador ANVISA.

### REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM F138 - 13a - Standard Specification for Wrought 18Chromium-14Nickel-2.5Molybdenum Stainless Steel Bar and Wire for Surgical Implants** (UNS S31673). ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

\_\_\_\_\_. **ASTM F382-14 - Standard Specification and Test Method for Metallic Bone Plates**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

AZEVEDO, C. R. F.; HIPPERT, E. Jr. Failure analysis of surgical implants in Brazil. **Engineering Failure Analysis** 9, 621 – 633, São Paulo 2002.

GUERRA, Marcelo Teodoro Ezequiel et al. Evolução clínica de pacientes operados por fraturas diafisárias do fêmur em um serviço especializado: Um estudo prospectivo. **Revista da AMRIGS**, Porto Alegre, 54 (3): 300-305, jul.-set. 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9585:1990 - Implants for surgery - Determination of bending strength and stiffness of bone plates**. Genebra, 1990.

JEBUR, Alaa A. Four points bend fixture bone plate. **International Journal of Modern Communication Technologies & Research**, Volume 2, Iraque 2014.

LOTTI, Raquel S. et al. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**, Maringá, v.11, n.2, p.35 – 43, mar./abril 2006.

NASSIRI, M.; MACDONALD B.; O'BYRNE J. M. Computational modelling of long bone fractures fixed with locking plates – How can the risk of implant failure be reduced? **Journal of Orthopaedics**, 10 (1), 29-37 – 2013.

NIEMEYER Philipp, SÜDKAMP N. P. Principles and clinical application of the locking compression plate (LCP) **Revista Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Chechoslovaca**, 73, 2006, p.221-228.

RÜEDI, Thomas P.; MURPHY, William M. AO Principles of Fracture Management. **AO Publishing**, Stuttgart, 2000.

UHTHOFF, Hans K.; POITRAS Philippe; BACKMAN, David S. Internal plate fixation of fractures: short history and recent developments. **Journal of Orthopaedic Science**, 11(2): 118-126 – 2006.

## AGRADECIMENTOS

Aos professores do curso de Pós graduação Projeto, Manufatura e Engenharia auxiliados por computador (CAD/CAM/CAE) do SENAI Armando de Arruda Pereira – São Caetano do Sul, pela ótima qualidade no ensino das disciplinas e pela atenção dada aos alunos durante o curso.

## Sobre os autores:

---

### <sup>i</sup> MARCELO PONTES GIMENES



Possui curso superior em Tecnologia Mecatrônica Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2011), cursando atualmente a Pós Graduação em Projeto, Manufatura e Análise de Engenharia Auxiliados por Computador (CAD/CAM/CAE) pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2016). Tem experiência na área de Projetos, com ênfase em Projetos de Implantes Ortopédicos. É desenhista mecânico na empresa Impol Instrumental e Implantes, sendo parte da equipe de planejamento e desenvolvimento

### <sup>ii</sup> DAGOBERTO GREGÓRIO



Doutorando em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2012), Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2006), Aperfeiçoamento na área de CAD/CAM/CAE na Dassault Systemes Paris, Graduação em Engenharia Mecânica pela Fundação Armando Álvares Penteado (1985). Docente do curso de "Pós Graduação em Projeto, Manufatura e Análise de Engenharia", e do curso "Superior de Tecnologia Mecatrônica Industrial" na Faculdade SENAI "Armando de Arruda Pereira" atuante na área de CAD/CAE/PLM Realidade Virtual e Prototipagem Rápida. Experiência Industrial tendo atuado como Engenheiro de Desenvolvimento de novas Tecnologias, Gerente da Qualidade e Gerente de Engenharia