

PUC-SP - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Trabalho de Conclusão de Curso

Título: Planejamento pré-cirúrgico através de impressão 3D para implantação de endoprótese

Pesquisador Responsável

Prof. Eng. Lucio Flavio de Magalhães Brito

Pesquisadores associados

Jessica Yang Chang; Tarsila Canhete Gatti

Novembro/2023

RESUMO

O osteossarcoma é um tumor ósseo maligno que afeta principalmente jovens, com uma incidência mais alta em homens. O tratamento tradicional envolvia a amputação, mas avanços nas terapias sistêmicas, técnicas cirúrgicas e uso de endopróteses melhoraram a qualidade de vida dos pacientes. A impressão 3D desempenha um papel fundamental no planejamento pré-cirúrgico, permitindo a personalização das endopróteses. A escolha dos materiais é crucial para garantir a segurança e eficácia das endopróteses, com aço inoxidável, titânio e polietileno de alto peso molecular sendo opções com vantagens e desvantagens. O uso da impressão 3D melhora a precisão do planejamento cirúrgico, proporcionando melhores resultados para os pacientes. A pesquisa explorou o osteossarcoma, seus tratamentos e o uso da impressão 3D no planejamento cirúrgico, com dados de bancos acadêmicos. Imagens médicas DICOM foram processadas para criação de modelos 3D. As autoras buscaram usar a impressão 3D para melhorar o planejamento cirúrgico do osteossarcoma. A pesquisa revelou a eficácia das cirurgias guiadas por planejamento digital. No entanto, a obtenção de imagens DICOM adequadas enfrentou desafios de custo e acesso, levando à criação de modelos 3D a partir de imagens de raio X disponíveis. Este estudo foca na aplicação da impressão 3D no planejamento cirúrgico para osteossarcoma, evitando amputações com endopróteses. A literatura sugere que isso leva a cirurgias mais rápidas e seguras. No entanto, a obtenção de imagens DICOM foi desafiadora. As autoras criaram modelos 3D a partir de imagens de raio X, demonstrando a viabilidade da abordagem. A pesquisa aponta para a promissora implementação da impressão 3D no planejamento cirúrgico de osteossarcoma, reduzindo o tempo de cirurgia e proporcionando uma análise precisa da extensão do tumor. A impressão 3D no planejamento pré-cirúrgico do osteossarcoma beneficia a cirurgia, reduzindo o tempo e melhorando a qualidade de vida dos pacientes, apesar dos desafios na obtenção de imagens DICOM. Estudos clínicos são necessários para validar a metodologia.

Palavras-chave: Osteossarcoma. Endoprótese. Ortopedia. Fêmur. Impressão 3D. Planejamento Pré-Cirúrgico.

ABSTRACT

Osteosarcoma is a malignant bone tumor that primarily affects young individuals, with a higher incidence in males. Traditional treatment involved amputation, but advances in systemic therapies, surgical techniques, and the use of endoprostheses have improved patients' quality of life. 3D printing plays a crucial role in pre-surgical planning, allowing for the customization of endoprostheses. The choice of materials is crucial to ensure the safety and effectiveness of endoprostheses, with stainless steel, titanium, and high molecular weight polyethylene being options with advantages and disadvantages. The use of 3D printing enhances the accuracy of surgical planning, providing better outcomes for patients. The research explored osteosarcoma, its treatments, and the use of 3D printing in surgical planning, using data from academic databases. DICOM medical images were processed to create 3D models. The authors sought to use 3D printing to improve osteosarcoma surgical planning. The research revealed the effectiveness of digitally guided planning surgeries. However, obtaining suitable DICOM images faced challenges of cost and access, leading to the creation of 3D models from available X-ray images. This study focuses on the implementation of 3D printing in surgical planning for osteosarcoma, avoiding amputations with endoprostheses. The literature suggests that this results in faster and safer surgeries. However, obtaining DICOM images proved to be challenging. The authors created 3D models from X-ray images, demonstrating the feasibility of the approach. The research points to the promising implementation of 3D printing in osteosarcoma surgical planning, reducing surgery time and providing an accurate analysis of the extent of the tumor. 3D printing in the pre-surgical planning of osteosarcoma benefits surgery, reducing time and improving patients' quality of life, despite challenges in obtaining DICOM images. Clinical studies are needed to validate the methodology.

Keywords: Osteosarcoma. Endoprosthesis. Orthopedics. Femur. 3D Printing. Pre-surgical Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Incidência de sarcomas ósseos por gênero.....	8
Figura 2 - Etapa de torção do nervo na cirurgia de rotoplastia	9
Figura 3 - Endoprótese de fêmur com joelho articulado implantada e tumor ressecado.....	10
Figura 4 - Comparativo entre modelos de endoprótese para proximal de fêmur (4a - peças modulares em titânio; 4b - montagem de endoprótese modular; 4c - endoprótese não convencional de Fabroni)	12
Figura 5 - Imagem de ressonância magnética em PNG	17
Figura 6 - Conversão direta do PNG para o STL	18
Figura 7 - Imagem de raio X de osteossarcoma.....	19
Figura 8 - Destaque dos limites físicos do tumor utilizados pelas autoras para realizar a modelagem 3D.....	19
Figura 9 - Modelagem 3D do osso e tumor a partir de imagem de raio X	20
Figura 10 - Modelagem 3D do fêmur completo e tumor a partir de imagem de raio X	21
Figura 11 - Resultado da impressão 3D com filamento da modelagem osso e tumor	22
Figura 12 - Resultado da impressão 3D com filamento da modelagem fêmur completo e tumor	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS	16
4 RESULTADOS.....	17
5 DISCUSSÃO	24
6 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS.....	27
BIBLIOGRAFIA	30

1 INTRODUÇÃO

O osteossarcoma é um tumor ósseo maligno, mais frequentemente primário (MISAGHI, 2018). No surgimento desse tumor se dá a derivação de células mesenquimais primitivas que formam o osso, conhecido como osteoide, resultando em neoplasia óssea - crescimento de massa anormal de tecido ósseo (PRATER; MCKEON, 2022). O osteossarcoma é uma doença conhecida como um tumor de alto grau de células malignas que produzem o osteoide (BURGER *et al.*, 2018).

De acordo com Mirabello, Troisi e Savage (2009), a incidência do osteossarcoma é mais consistente internacionalmente nas pessoas com 24 anos ou mais. O pico de incidência de osteossarcoma no sexo masculino é de 15 a 19 anos e no sexo feminino é de 10 a 14 anos. Entretanto, na maioria dos países, a doença é mais comum em homens.

A amputação foi por muitos anos o tratamento de escolha para os tumores ósseos malignos. Porém, nas últimas décadas, ocorreu uma grande evolução no tratamento dessas neoplasias através de terapias sistêmicas eficazes, novas técnicas cirúrgicas de reconstrução e avanços na qualidade dos exames de imagem, resultando no aumento da sobrevida dos pacientes com neoplasias como o osteossarcoma. A ressecção desses tumores frequentemente deixa uma falha óssea significativa a ser reconstruída, e as endopróteses têm papel central na cirurgia preservadora de membro (PEREIRA *et al.*, 2022).

Para Camargo *et al.* (1995), apesar da reconstrução biológica, sempre que possível, ser a primeira opção nas neoplasias primárias, a endoprótese tem ainda sua indicação, sobretudo nas lesões metastáticas em geral e nas primárias com envolvimento articular, como, por exemplo, na maioria dos osteossarcomas ao nível do joelho.

De acordo com Tanaka e Sakabe (2002), o modelo e os materiais a serem utilizados na implantação da endoprótese variam conforme localização, tamanho e extensão do tumor. Eles também apontam que o custo elevado dos materiais é um empecilho para tal tratamento em nosso país.

Segundo Rodrigues Jr., Cruz e Sarmanho (2018), a área da saúde focada em amparar pessoas com deficiências, incapacidades ou mobilidade reduzida é a área da Tecnologia Assistiva, auxiliando na qualidade de vida e desempenho ocupacional

de usuários através de dispositivos ou sistemas desenvolvidos por terapeutas ocupacionais.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 1,3% dos brasileiros declara ter algum tipo de deficiência física, sendo destas 0,3% deficiências genéticas e 1% adquiridas por doença ou acidente. O estudo ainda aponta que cerca de 47% da população deficiente física declara ter grau intenso ou muito intenso de limitação.

Um equipamento de grande auxílio para a Tecnologia Assistiva hoje é a impressão 3D. “A impressora 3D, nos últimos anos, vem prover uma nova forma de se pensar a confecção de próteses e utensílios para a Tecnologia Assistiva” (RODRIGUES Jr.; CRUZ; SARMANHO, 2018, p. 399).

Baseando-se no conceito apresentado pelos autores em que a impressão 3D abre portas para diferentes maneiras de confeccionar próteses e adaptando o mesmo para as endopróteses, por exemplo, uma hipótese que surge é: podemos unir a impressão 3D e a cirurgia para implantação de endopróteses?

De acordo com Ranzzi *et al.* (2021), uma boa maneira de utilizar a impressão 3D em cirurgias ortopédicas é implementá-la no planejamento cirúrgico.

Dessa forma, a presente pesquisa se propõe a estudar o aprimoramento do planejamento pré-cirúrgico de endopróteses utilizando a impressão 3D.

Segundo Mirabello, Troisi e Savage (2009), o osteossarcoma é o câncer ósseo mais fácil de ser diagnosticado. Corresponde a apenas 1% de todas as doenças oncológicas diagnosticáveis e de 3 a 5% dos cânceres da população infanto-juvenil.

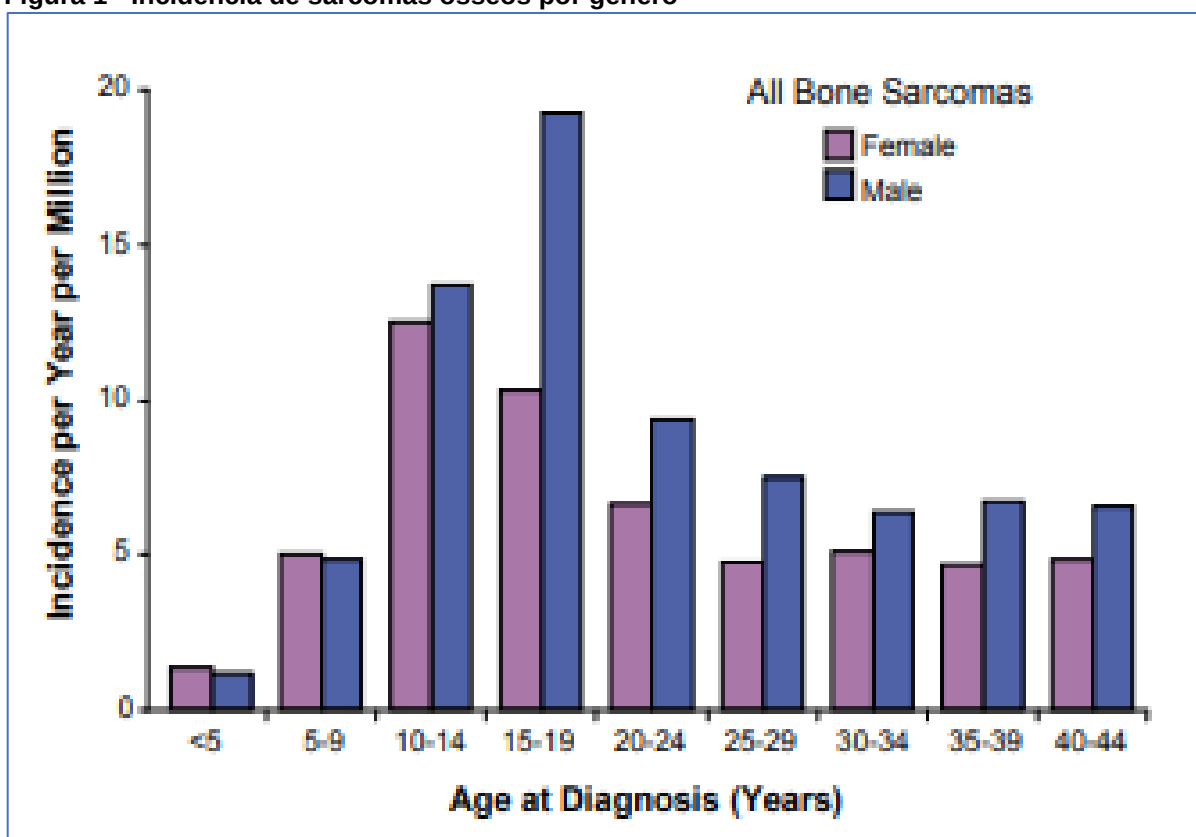
O estudo de Collins *et al.* (2013) apresentou dados de 4.838 pacientes com osteossarcoma, sendo 59% homens e 41% mulheres, e 100% dessa amostra de pacientes tiveram uma média de idade de 15 anos em uma faixa de 2 a 73 anos.

O estudo de Mirabello, Troisi e Savage (2009) também mostrou dados semelhantes, ou seja, a incidência do osteossarcoma ocorre com mais frequência em pacientes com 24 anos ou menos. Internacionalmente, em levantamento feito entre 1973 e 2004, a doença afeta mais os homens do que as mulheres e a faixa etária mais afetada em homens é de 15 a 19 anos. Para cada um milhão de homens, 3 a 5 possuem osteossarcoma e para cada um milhão de mulheres, 2 a 4 possuem osteossarcoma.

No livro *Cancer Epidemiology in Older Adolescents and Young Adults 15 to 29*

Years of Age, Bleyer *et al.* (2006) constataram que o osteossarcoma corresponde a aproximadamente 47% de todos os tumores ósseos malignos incidentes na faixa etária de 15 – 29 anos. A incidência do osteossarcoma em todos os sarcomas ósseos são maiores no sexo masculino a partir dos 9 anos de idade. Isso se dá pelo fato do desenvolvimento no sexo feminino ocorrer em idade prévia à idade dos homens.

Figura 1 - Incidência de sarcomas ósseos por gênero



Fonte: BLEYER *et al.*, 2006, p. 100

Segundo Prater e McKeon (2022), os membros mais afetados e suas porcentagens de ocorrência são o fêmur (42%), a tíbia (19%) e o úmero (10 %), ou seja, os membros inferiores e superiores nos ossos longos. Os locais mais raros são crânio ou mandíbula (8%) e pélvis (8%).

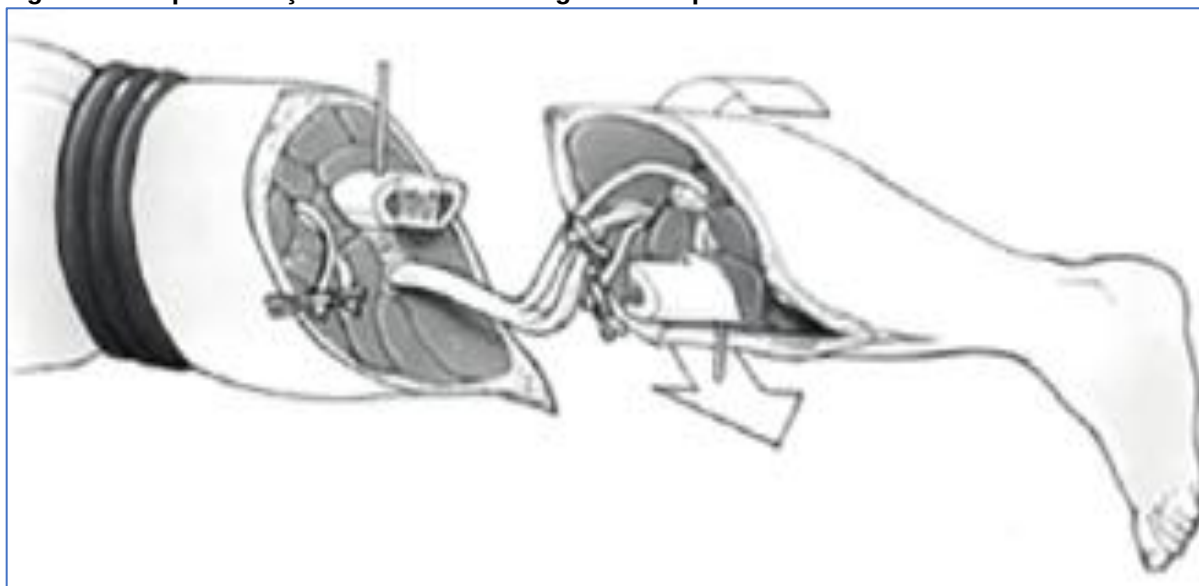
Com essas informações é possível entender que a incidência do osteossarcoma é mais comum no sexo masculino da faixa etária de 15 a 19 anos e a área do corpo mais afetada pela doença é o fêmur.

Considerando esta incidência e a gravidade e intensidade destes sarcomas, é evidente a necessidade de buscar a melhor qualidade de vida possível para os pacientes durante o tratamento e após a doença (BASTOS *et al.*, 1999).

Atualmente temos três opções principais de cirurgias para tratamento de pacientes com osteossarcoma. A primeira é a amputação total do membro, mesmo em casos de uma articulação afetada. No caso de um joelho afetado a amputação da perna seria praticamente total. Segundo Burger *et al.* (2018), até a década de 70 a amputação e desarticulação do membro era o único tratamento realizado pelos profissionais em seus pacientes com osteossarcoma. Segundo Dhammi e Kumar (2014), um duplo trauma mental é causado por conta do medo que os pacientes têm em relação à doença e à amputação. Quando submetidos à amputação podem sofrer de diferentes níveis de ansiedade, depressão e desesperança (SABINO; TORQUATO; PARDINI, 2013).

A segunda é a rotoplastia, uma cirurgia de amputação, mas não de membro inteiro. Aqui se o tumor se localiza na parte superior do braço ou da perna, ele é removido e a parte inferior do braço ou perna é ligada à parte superior, resultando em um membro mais curto, mas funcional (KOWALCZYK; JARZAB, 2021).

Figura 2 - Etapa de torção do nervo na cirurgia de rotoplastia

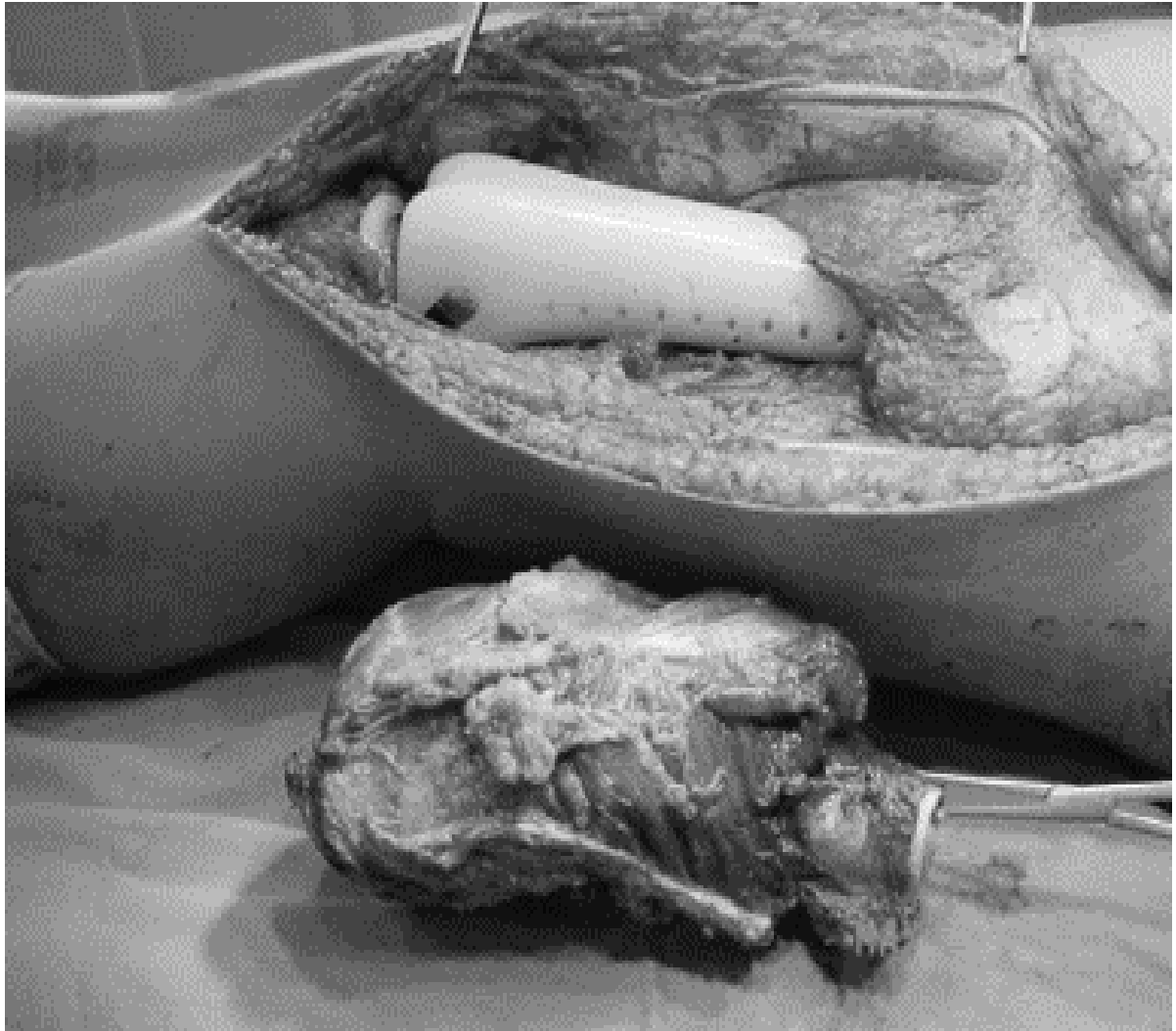


Fonte: KOWALCZYK; JARZAB, 2021, p. 57

A terceira opção é a cirurgia de salvamento de membro, também conhecida como preservação de membros. É a opção ideal quando se pretende manter o

membro funcional e no comprimento original. Esta cirurgia envolve a ressecção do tumor por inteiro e preservação do membro afetado. Aqui o cirurgião precisa preservar tendões, nervos e vasos sanguíneos e inserir uma endoprótese (prótese interna) para substituir o osso retirado (REBOLLEDO, 2011).

Figura 3 - Endoprótese de fêmur com joelho articulado implantada e tumor ressecado



Fonte: TANAKA; SAKABE, 2002, p. 21

Antes da cirurgia de salvamento de membro o paciente passa por quimioterapia neoadjuvante (pré-operatória) induzindo a necrose tumoral e resultando na redução do tumor para facilitar a ressecção durante a cirurgia.

Após a cirurgia, a quimioterapia adjuvante (pós-operatória) é aplicada para matar as células cancerígenas que restarem no organismo do paciente e reduzir o risco de retorno da doença e de morte do paciente (WITTIG *et al.*, 2002).

De acordo com Carrle e Bielack (2006), a sobrevida do paciente que passa pelo tratamento do osteossarcoma com a endoprótese através da cirurgia de salvamento de membros é de 60 a 70% livre da doença a longo prazo.

Em 1920 se o membro fosse ou não amputado o paciente morreria. O principal motivo era a falta de conhecimento da quimioterapia na época (CADE, 1955).

Atualmente a cirurgia de salvamento de membro é a mais indicada por conta das suas vantagens em comparação às outras formas de tratamento, como maior estabilidade, mobilidade, tempo de operação e internação reduzidos e introdução facilitada à fisioterapia (ORLIC *et al.*, 2006).

De acordo com Park e Kang (2021), a cirurgia de preservação de membros por osteossarcoma enfrenta desafios devido a diferenças na localização anatômica, tamanho e forma dos defeitos ósseos dos diferentes pacientes. O preenchimento total do defeito é essencial. Entretanto, nos dias atuais comercialmente temos limitações de tamanho e localização, o que torna esse tipo de cirurgia inadequada principalmente para crianças por conta do tamanho das endopróteses. O planejamento pré-cirúrgico pode inverter essa situação trabalhando na eficiência da cirurgia e em uma prótese customizada.

O planejamento pré-cirúrgico com impressão 3D é iniciado a partir do momento da caracterização detalhada do paciente. Junto com os exames é preciso um modelo digital em 3D para a fabricação do produto tridimensional que pode ser obtido a partir de imagens radiológicas digitais, digitalização tridimensional, *design* computacional ou engenharia reversa (CALVO-HARO *et al.*, 2021).

Park e Kang (2021) apontam que as imagens dos exames do local afetado são usadas para construir um modelo ósseo e tumoral em 3D usando um *software*. A partir desta imagem é feita a impressão do produto tridimensional para análise do local afetado e definição da ressecção do tumor ósseo.

Aiba *et al.* (2023) ressalta que esta recente inovação cria guias de corte específicos para o paciente o que auxilia os cirurgiões na obtenção de ressecção do tumor com margens negativas, reduzindo a perda de sangue e o tempo de cirurgia e elevando sua eficiência.

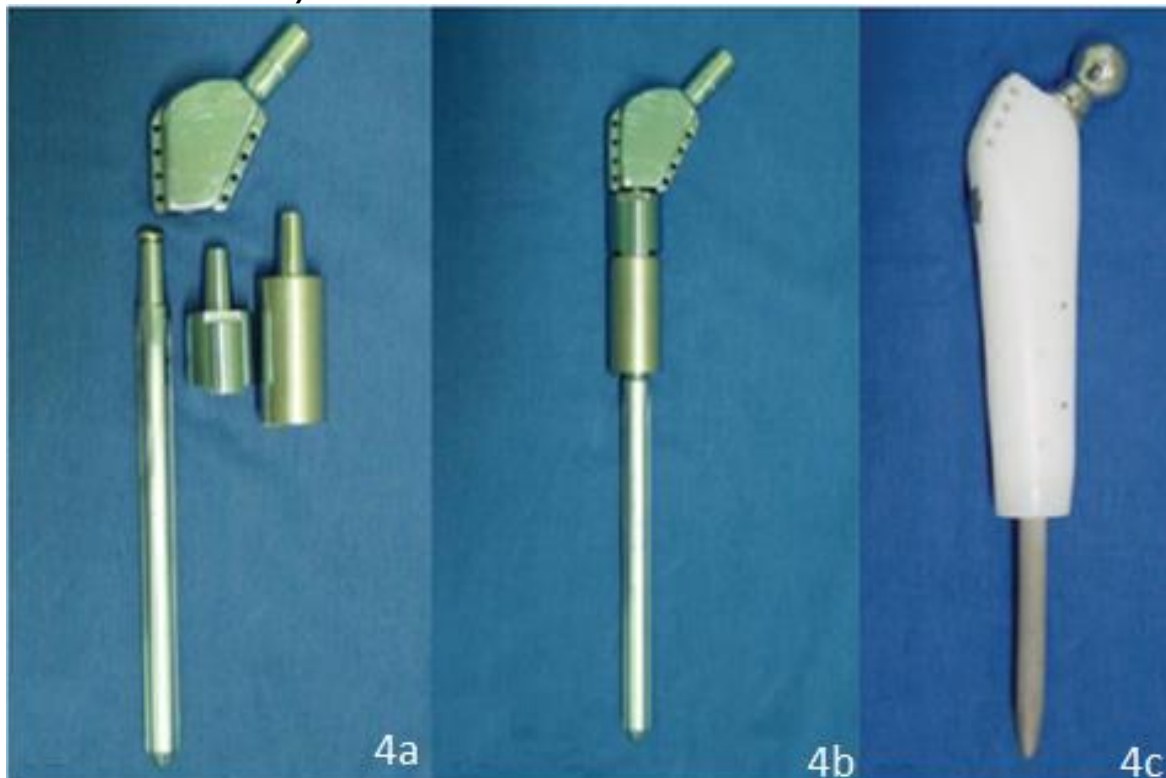
Além disso, o guia de corte específico pode ser combinado com uma reconstrução mais precisa usando implantes customizados e beneficiando ainda mais o paciente.

As endopróteses não convencionais são divididas em dois grupos: modulares e de Fabroni.

As endopróteses não convencionais modulares são aquelas que foram desenvolvidas para serem montadas no momento da cirurgia, ou seja, possuem peças menores que permitem uma montagem de encaixe para proporcionar adaptabilidade e mais personalização em cada paciente. São inteiramente fabricadas em titânio (Figura 4 – modelo 4a e 4b).

As endopróteses não convencionais de Fabroni possuem hastes de implantação intramedular em aço inoxidável com revestimento em titânio e corpo anatômico ao osso em polietileno. Permitem certa adaptabilidade, como prolongadores de hastes, mas de maneira geral apresentam os corpos de polietileno em dimensões pré-definidas dentro de uma métrica estimada (Figura 4 – modelo 4c).

Figura 4 - Comparativo entre modelos de endoprótese para proximal de fêmur (4a - peças modulares em titânio; 4b - montagem de endoprótese modular; 4c - endoprótese não convencional de Fabroni)



Fonte: TANAKA; SAKABE, 2002, p. 20

Os implantes ortopédicos requerem matérias-primas que atendam a rigorosas especificações definidas por órgãos reguladores como a *American Society for Testing Materials* e a *International Organization for Standardization*, ambas

aprovadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A escolha desses materiais é crucial devido às demandas rigorosas do ambiente interno do corpo humano.

Segundo Giordani, Ferreira e Balancin (2007), o aço inoxidável ASTM F138 é amplamente utilizado, apesar de sua baixa resistência mecânica após recozimento e suscetibilidade à corrosão, enquanto o aço austenítico com alto teor de nitrogênio é uma alternativa mais resistente, porém com custos elevados. O titânio é ideal em termos mecânicos, mas seu custo limita sua produção em massa, levando à utilização de aço revestido com liga de titânio em próteses. Além disso, o polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) é amplamente aplicado em próteses articulares devido às suas excelentes propriedades mecânicas, baixo coeficiente de fricção e biocompatibilidade, sendo utilizado tanto na substituição da cartilagem quanto no suporte de estruturas maiores como *scaffolds*¹ para crescimento celular e suporte muscular em endopróteses.

A seleção da matéria-prima para implantes ortopédicos é fundamental para garantir a segurança e eficácia desses dispositivos médicos. Materiais como o aço inoxidável, o titânio e o polietileno de ultra alto peso molecular desempenham papéis essenciais, cada um com suas vantagens e desvantagens (GONÇALVES, 2012).

O aço inoxidável, embora amplamente utilizado, pode apresentar limitações em termos de resistência mecânica e suscetibilidade à corrosão, enquanto o titânio oferece propriedades mecânicas ideais, mas seu alto custo pode ser uma barreira à produção em grande escala.

O UHMWPE, por sua vez, é preferido para próteses articulares devido a suas excelentes propriedades mecânicas e biocompatibilidade, sendo aplicado tanto na substituição de cartilagem quanto no suporte de várias estruturas ortopédicas. A escolha do material deve ser cuidadosamente considerada, levando em conta as necessidades específicas de cada implante ortopédico.

Tradicionalmente o protocolo cirúrgico utilizado envolve o estudo e análise do quadro clínico do paciente através de imagens médicas 2D, como tomografias computadorizadas e ressonâncias magnéticas. Certa desvantagem desse processo

¹ *Scaffold* é o nome dado aos materiais que desempenham um papel fundamental na promoção da formação de novos tecidos, fornecendo suporte que imita o tecido natural e pistas bioquímicas e biofísicas apropriadas para apoiar a proliferação e diferenciação celular. Um scaffold transplantado com sucesso permite a formação da estrutura tridimensional do tecido, facilita a migração celular podendo até mesmo favorecer a formação de novos vasos sanguíneos.

se dá pela leve distorção de tamanhos para a formação da imagem. Assim quando a cirurgia envolve a implantação de uma prótese é sempre necessário levar algumas opções de tamanhos variados em relação ao estimado pelos exames.

Já no protocolo cirúrgico utilizando a impressão 3D é possível tornar palpável o quadro clínico antes de levar o paciente à sala de cirurgia, permitindo que o médico tenha real noção da extensão do dano, ampliando sua visão clínica e dando mais segurança sobre qual caminho seguir, duração da cirurgia e tamanho das próteses.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar a metodologia de planejamento pré-cirúrgico utilizando impressão 3D de endopróteses para analisar sua aplicabilidade através da impressão de segmento ósseo afetado.

2.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos estão:

- Analisar o planejamento pré-cirúrgico com e sem impressão 3D.
- Propor o planejamento pré-cirúrgico com e sem impressão 3D.
- Realizar impressão 3D de segmento ósseo afetado por osteossarcoma.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise de dados qualitativos e revisão bibliográfica acerca do osteossarcoma, sua incidência e, principalmente, seus tratamentos ocorreram através de pesquisas em bancos de dados como Google Academy, Science Direct, PubMed e RBO, entre outros similares por ter acesso gratuito e grande acervo de artigos nacionais e internacionais, permitindo pautar o desenvolvimento mundial em torno deste assunto. Os filtros utilizados para obtenção destes artigos foram: foco no osteossarcoma, tratamentos para osteossarcoma, tumores ósseos nos membros inferiores, artigos que indicassem faixa etária dos pacientes estudados, não houve preocupação quanto à quantidade de pacientes utilizados.

O estudo da metodologia de planejamento pré-cirúrgico e do uso de impressão 3D para aprimorar esta etapa das cirurgias também ocorreu por estudos científicos recolhidos nos mesmos bancos de dados, no caso desta coleta de dados os filtros utilizados foram basicamente estudos que utilizassem impressão para o planejamento pré-cirúrgico que descrevessem a metodologia utilizada e possuísem avaliação pós-cirúrgica dos pacientes analisados, não houve restrições em relação à tipo de cirurgia, faixa etária ou quantidade de pacientes.

Buscaram aplicar a metodologia citada nos artigos para executar uma impressão 3D de planejamento pré-cirúrgico através do processamento de imagens médicas para obter um arquivo 3D. Pesquisaram por imagens DICOM em bancos de imagens *online* gratuitos que se encaixassem em um quadro de osteossarcoma.

Para o processo de impressão 3D, as imagens digitais foram criadas a partir de um processo chamado modelagem 3D, utilizando o *software* Blender. Nesse processo, um modelo é criado a partir de imagens de referência a fim de criar a peça a ser impressa dentro do computador.

Depois disso, o modelo 3D passa por um processo chamado fatiamento, onde será dividido em camadas finas de 0.3 mm de altura. Este é um processo de impressão com filamento 3D.

Com o fatiamento pronto, é criado o programa de impressão 3D que será inserido na máquina. A partir dele a impressora dá início ao processo que no caso deste trabalho levou cerca de 10 horas.

4 RESULTADOS

A busca por estudos que aplicavam a impressão 3D em planejamentos pré-cirúrgicos mostrou-se positiva.

De acordo com Santos Filho (2020), as cirurgias guiadas por planejamento digital são mais efetivas e precisas, gerando planejamento mais assertivo e reduzindo a necessidade de modelagem de placas no ato cirúrgico, que por consequência oferece um pós-operatório mais confortável para o paciente.

Uma vez que estas autoras não têm acesso a um setor médico de oncologia, a um médico cirurgião ortopedista ou um paciente que sofra com osteossarcoma, seus primeiros passos foram a obtenção de uma imagem 2D que possibilitasse a conversão 3D para a impressão da parte óssea afetada.

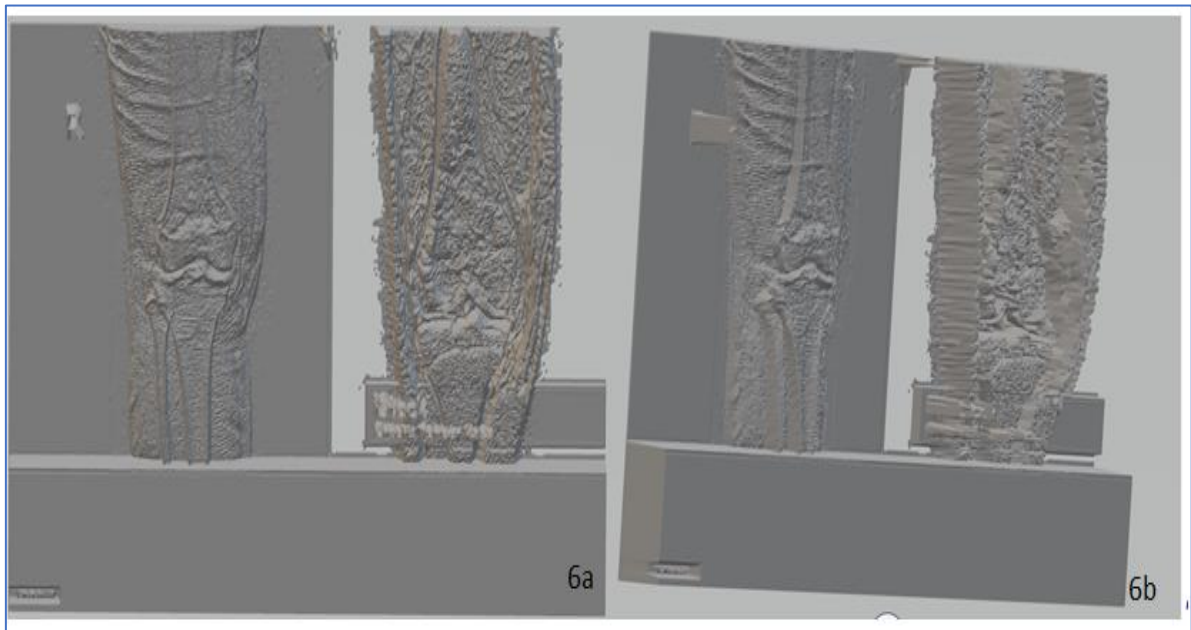
A primeira tentativa decorreu de um banco de imagens médicas gratuitas disponíveis *online*. Contudo a imagem possibilitava apenas dois ângulos da parte óssea afetada, e no momento da conversão de arquivo PNG para STL o resultado foi de uma terceira dimensão da topografia da imagem, como demonstrado na Figura 5.

Figura 5 - Imagem de ressonância magnética em PNG



Fonte: KASA, 2020. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/foto/articula%C3%A7%C3%A3o-do-joelho-de-raio-x-visualiza-uma-mulher-de-15-anos-mostrando-gm1263635713-369902456?phrase=osteossarcoma+joelho>

Figura 6 - Conversão direta do PNG para o STL



Fonte: AS AUTORAS, 2023

Diante deste percalço, as autoras buscaram contato com uma empresa especializada em impressão 3D que informou a necessidade de um arquivo de origem DICOM para conseguir realizar a volumetria da peça.

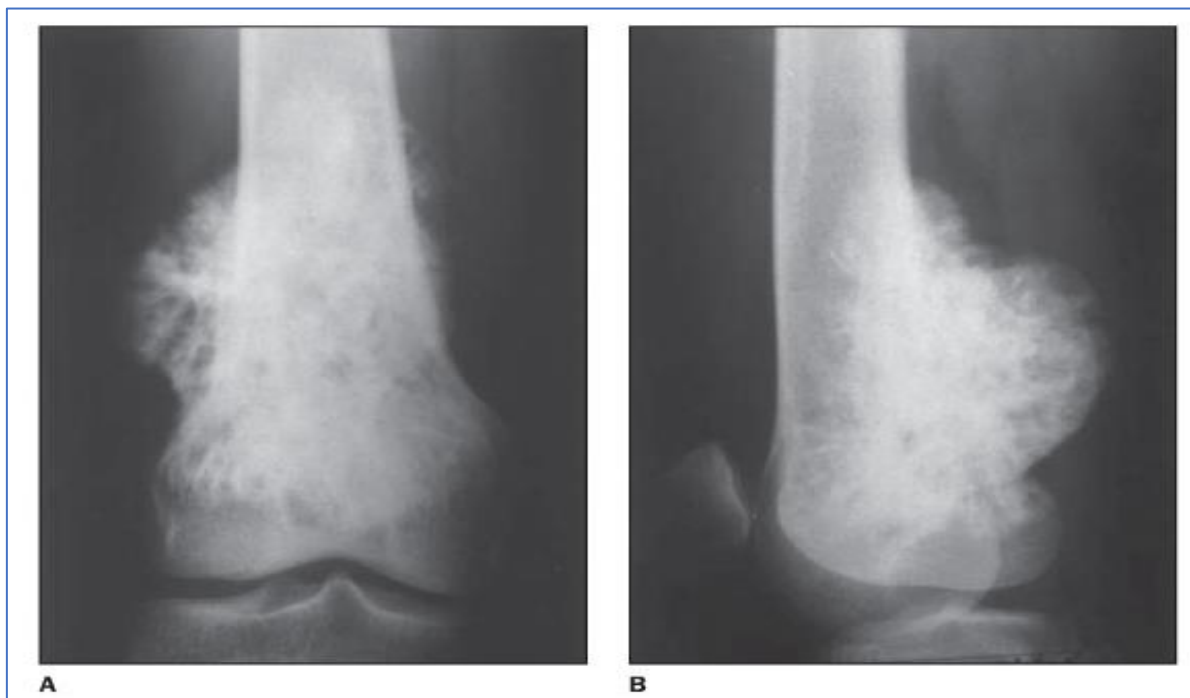
Assim iniciaram a busca por um arquivo DICOM que fosse compatível com os casos descritos nas literaturas encontradas.

Além do alto custo das imagens DICOM disponíveis em bancos de dados na internet, os encontrados não possuíam busca intuitiva, ou seja, as imagens em grande maioria eram identificadas por códigos não conhecidos.

As autoras conseguiram alguns contatos de ex-alunos da Engenharia Biomédica da PUC-SP que atuam na área hospitalar com imagens médicas, mas infelizmente o processo burocrático dos hospitais em que trabalham não disponibilizariam as imagens em tempo para a conclusão deste projeto.

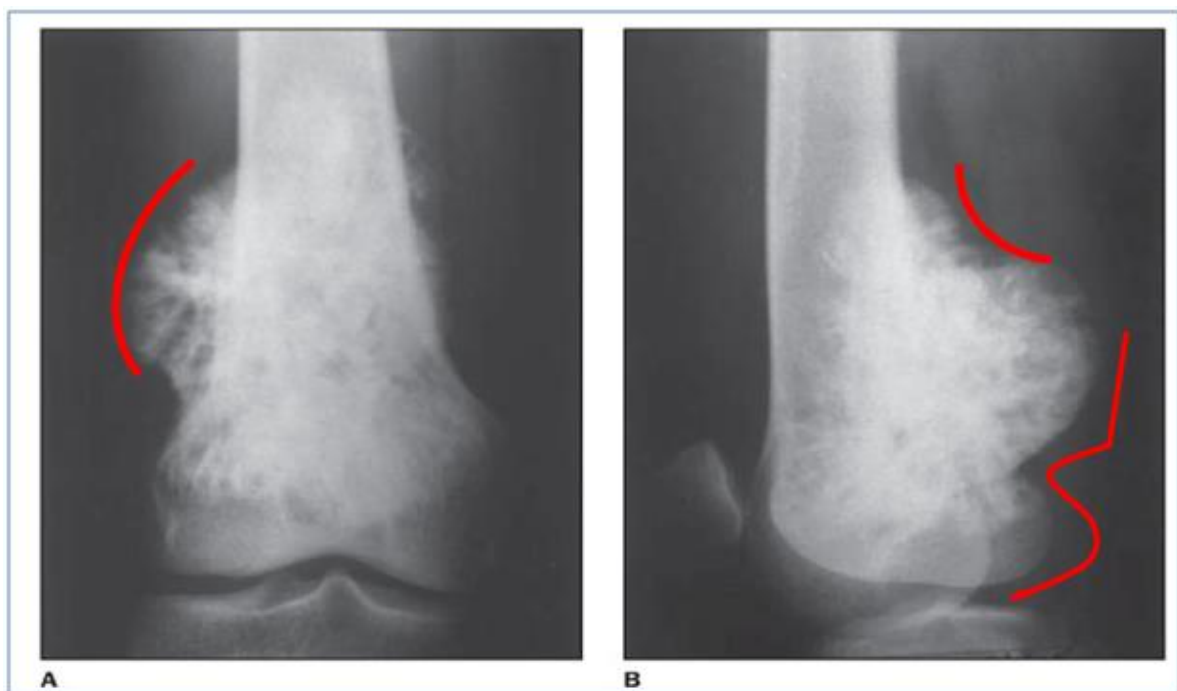
Por fim optaram por realizar uma modelagem 3D apenas utilizando uma imagem de raio X com apenas 2 ângulos disponíveis, frontal e lateral, obtendo assim uma peça maciça de osso e tumor o mais próximo da situação real do paciente.

Figura 7 - Imagem de raio X de osteossarcoma



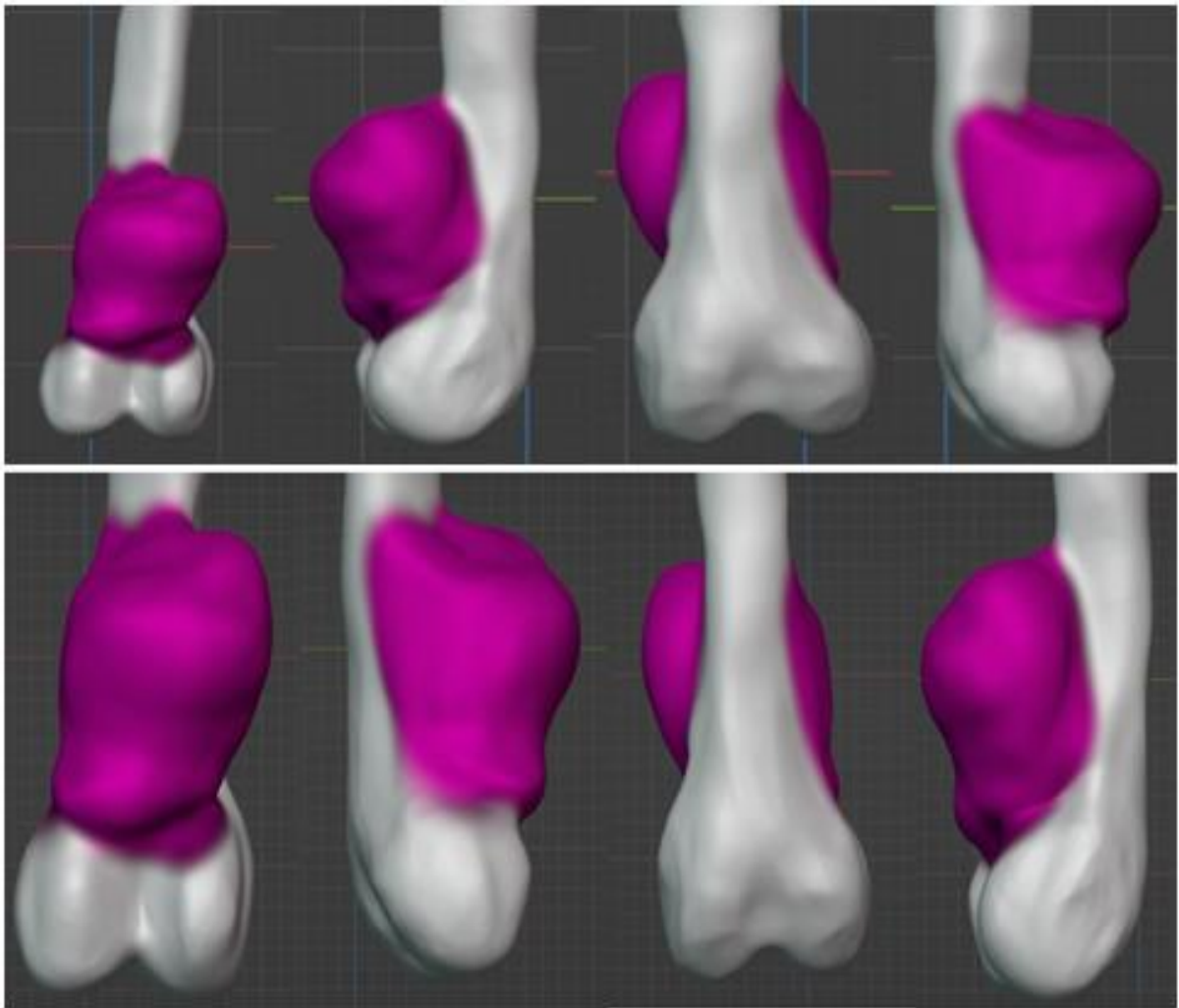
Fonte: NANJI NETO *et al*, 2007, p. 83

Figura 8 - Destaque dos limites físicos do tumor utilizados pelas autoras para realizar a modelagem 3D



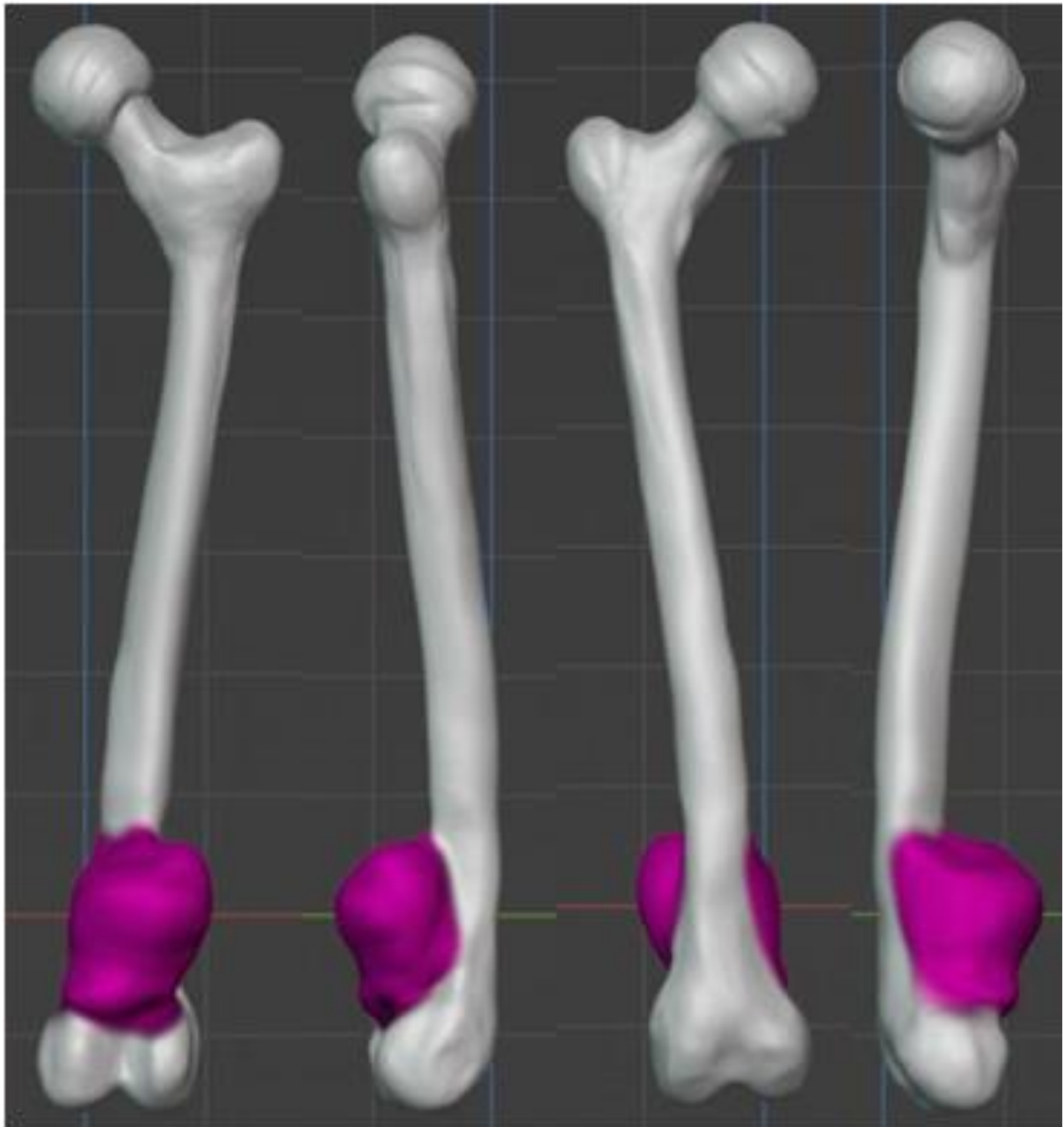
Fonte: AS AUTORAS, 2023

Figura 9 - Modelagem 3D do osso e tumor a partir de imagem de raio X



Fonte: AS AUTORAS, 2023

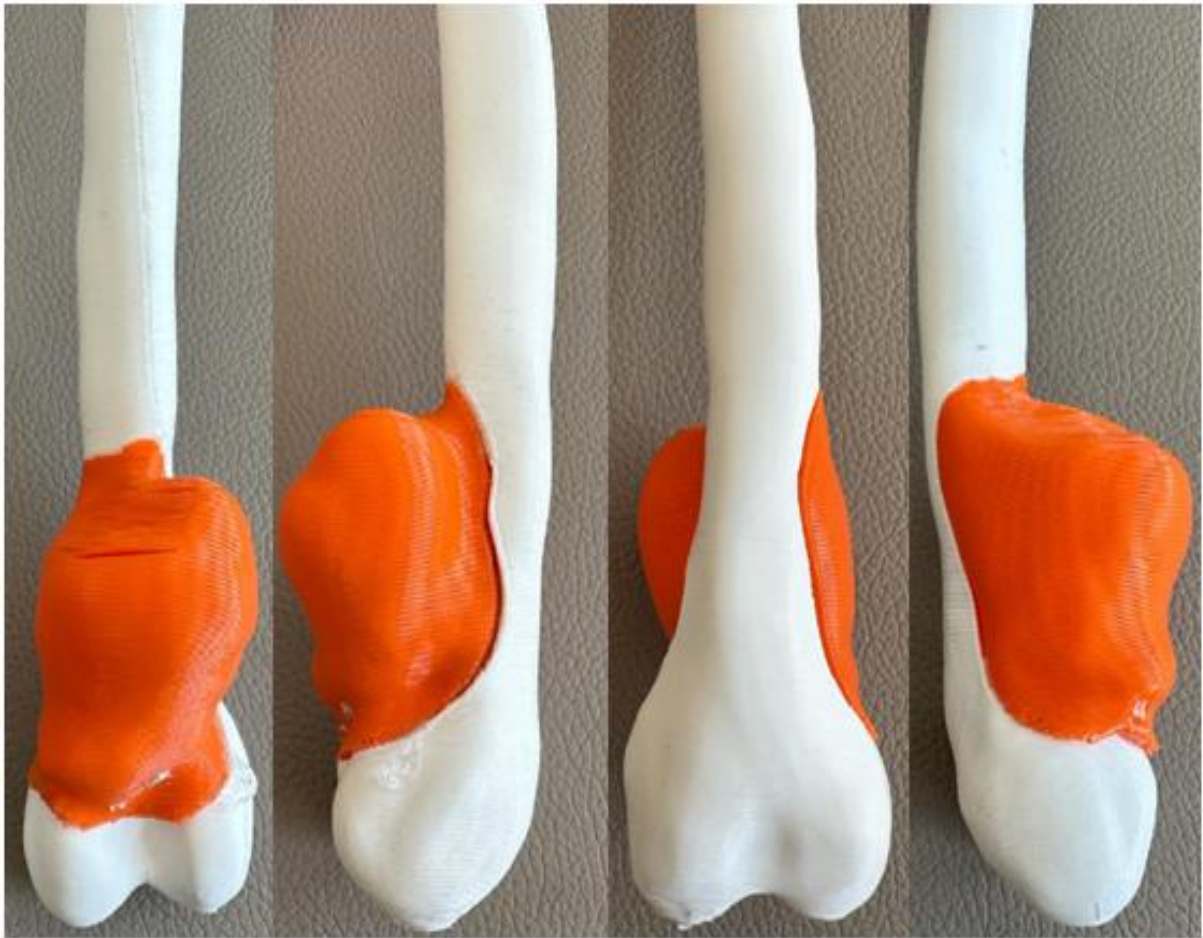
Figura 10 - Modelagem 3D do fêmur completo e tumor a partir de imagem de raio X



Fonte: AS AUTORAS, 2023

Diante da modelagem realizaram a impressão 3D em filamento por empresa terceiriza, e por questões orçamentárias, considerando que o resultado desta impressão não seria utilizado de fato em uma cirurgia, optaram por realizá-la em tamanho reduzido e não o natural humano.

Figura 11 - Resultado da impressão 3D com filamento da modelagem osso e tumor



Fonte: AS AUTORAS, 2023

Figura 12 - Resultado da impressão 3D com filamento da modelagem fêmur completo e tumor



Fonte: AS AUTORAS, 2023

5 DISCUSSÃO

Este projeto visa estudar a fundo a impressão 3D no planejamento pré-cirúrgico em casos de osteossarcoma para evitar a amputação através da implantação de endopróteses para substituição do membro.

A aplicação da tecnologia mostra-se promissora e positiva. As literaturas encontradas apontam procedimentos mais rápidos, assertivos, seguros e como consequência, garantem um processo pós-cirúrgico mais agradável para o paciente, como indicado pelos estudos de HENRIQUE WOBETO DA COSTA MELO e WILLIAM DOS SANTOS PEDDINGHAUS, 2019 e estudos de LEONARDO CARDOSO MIRALDO, 2019.

Quanto à aquisição de imagens médicas DICOM, fica clara a facilidade de acesso de autores e pesquisadores de certa forma associados a um hospital. No caso destas autoras que não possuíam tal acesso, a busca por contato externo e/ou virtual foi uma enorme barreira a ser enfrentada.

A alternativa encontrada para testar a efetividade e propor sua implementação só foi possível graças ao conhecimento das autoras acerca da anatomia humana para desenhar o segmento ósseo afetado conforme raio X indicado na Figura 7.

Apesar das dificuldades encontradas, o resultado da impressão nos permitiu confirmar algumas das afirmações feitas nos estudos abordados, ou seja, a impressão possibilita uma dimensão palpável e mais realista da extensão do tumor no osso saudável.

Quanto a rapidez no procedimento e a redução de implantes teste, as autoras necessitam aprofundar o estudo e terem acesso a um hospital interessado em estudar tal aplicação.

As referências bibliográficas deste estudo reforçam os resultados positivos do planejamento pré-cirúrgico utilizando a impressão 3D, trazendo mais assertividade, rapidez e segurança.

Além destes benefícios, as autoras comprovaram a possibilidade de se obter uma modelagem 3D através de um profissional que, com conhecimento de anatomia e do sistema CAD/CAM², consegue realizar a etapa de modelagem utilizando uma

² O software de projeto assistido por computador e fabricação assistida por computador (CAD/CAM – *Computer-aided design/computer-aided manufacturing*) é usado para o *design* e a fabricação de protótipos, produtos acabados e execuções de produção de produtos.

imagem de raio X alcançando resultados muito similares ao original da anatomia do paciente.

A impressão 3D mesmo em tamanho reduzido possibilita uma noção da extensão do tumor no osso, fornecendo ao médico a capacidade de estimar a proporção de perda óssea, prótese a ser utilizada, tempo de cirurgia e com mais desenvolvimento na causa, é possível realizar simulação do procedimento cirúrgico antes de intervir no paciente fisicamente.

Com base no estudo realizado no decorrer deste trabalho, ao analisar de maneira técnica, contudo não médica, as imagens de raio x e principalmente, a impressão 3D, é notável o tamanho do tumor em relação a região distal do fêmur, que será totalmente retirada na cirurgia de ressecção, ocasionando perda significativa do volume ósseo da região. Diante do estudo a sugestão proposta é para a implantação de uma Endoprótese Não Convencional Fabroni Distal de Fêmur Articulado, mesmo modelo utilizado na Figura 3 deste documento.

A limitação em testar esta metodologia em uma cirurgia não permitiu às autoras afirmar a prática dos resultados, mas as literaturas apontam uma base promissora para assegurar que esta metodologia apresenta vantagens suficientes para ser considerada aplicável.

Relacionando tais considerações sobre o planejamento pré-cirúrgico com a implantação de endopróteses nos casos de osteossarcoma, a impressão do segmento ósseo afetado permite uma análise mais dinâmica sem precisar abrir o paciente na mesa de cirurgia, proporcionando também uma análise minuciosa sobre a extensão da ressecção do tumor. Tendo em mãos a área que será perdida na cirurgia também é possível definir previamente os tamanhos e peças das endopróteses que serão utilizadas, reduzindo o tempo de cirurgia.

6 CONCLUSÃO

Este estudo permite concluir que a impressão 3D no planejamento pré-cirúrgico reduz o tempo de cirurgia, diminui a quantidade de testes de próteses utilizados, garante maior assertividade e segurança no procedimento, além de um processo de recuperação mais agradável e confortável ao paciente.

Apesar da dificuldade em acessar bancos de dados de imagens DICOM para realizar o processamento da imagem, utilizar a imagem de raio X não trouxe perda significativa em termos práticos.

As autoras concluem que a impressão 3D no planejamento pré-cirúrgico para endopróteses é uma boa alternativa ao planejamento tradicional e garante melhora na qualidade de vida dos pacientes operados. São necessários estudos mais profundos para comprovar em hospitais e centros cirúrgicos a prática desta metodologia.

REFERÊNCIAS

- ALBA, H. *et al.* Conceitos atuais na ressecção de tumores ósseos usando um guia de corte impresso tridimensional específico do paciente. **Current Oncology**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 3859-3870, 29 mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/curroncol30040292>. Acesso em: 08 nov. 2023.
- BASTOS, T. M. M. *et al.* Osteossarcoma: tratamento e fatores prognósticos. **Revista Brasileira de Ortopedia**, São Paulo, v. 34, n. 1, 1999. Disponível em: <https://www.rbo.org.br/detalhes/234/pt-BR/osteossarcoma--tratamento-e-fatores-prognosticos-> >. Acesso em: 29 abr. 2023.
- BLEYER, A. *et al.* (Ed.). Cancer Epidemiology in Older Adolescents and Young Adults 15 to 29 Years of Age, Including SEER Incidence and Survival: 1975-2000. **National Cancer Institute**, NIH Pub. No. 06-5767. Bethesda, MD 2006. Disponível em: https://seer.cancer.gov/archive/publications/aya/aya_mono_complete.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.
- BURGER, N. B. *et al.* Osteossarcoma: atualização. **Acta Médica**, Porto Alegre, v. 39, n. 2, 2018. Disponível em: <https://editora.pucrs.br/edipucrs/acessolivre//periodicos/acta-medica/assets/edicoes/2018-2/arquivos/pdf/28.pdf> >. Acesso em: 29 abr. 2023.
- CADE, S. Sarcoma osteogênico: um estudo baseado em 133 pacientes. **JR Coll Surg Edinb**, v. 1, n. 2, p. 79-111, 1955. PMID: 13307660.
- CALVO-HARO, J. A. *et al.* Evolução conceitual da impressão 3D em cirurgia ortopédica e traumatologia: do “faça você mesmo” à “Fabricação no local de atendimento”. **Distúrbios musculoesqueléticos do BMC**, [S.L.], v. 22, n. 360, 16 abr. 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12891-021-04224-6>. Acesso em: 08 nov. 2023.
- CAMARGO, O. P. de. *et al.* O sistema de endoprótese modular na reconstrução após ressecção ampla de neoplasias metastáticas e primárias. **Revista Brasileira de Ortopedia**, São Paulo, v. 30, n. 11-12, dez. 1995. Disponível em: <https://cdn.publisher.gn1.link/rbo.org.br/pdf/30-11-12/ndz95815.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- CARRLE, D.; BIELACK, S. S. Estratégias atuais de quimioterapia no osteosarcoma. **International Orthopaedics**, [S.L.], v. 30, n. 6, p. 445-451, dez. 2006. DOI: 10.1007/s00264-006-0192-x.
- COLLINS, M. *et al.* Benefícios e eventos adversos em pacientes mais jovens versus mais velhos recebendo quimioterapia neoadjuvante para osteossarcoma: achados de uma meta-análise. **Revista de Oncologia Clínica**, [S.L.], v. 31, n. 18, jun. 2013. DOI: 10.1200/JCO.2012.43.8598.
- DHAMMI, I. K.; KUMAR, S. Osteossarcoma: uma jornada da amputação ao salvamento do membro. **Indian Journal Of Orthopaedics**, [S.L.], v. 48, n. 3, p. 233-234, jun. 2014. DOI: [10.4103/0019-5413.132486](https://doi.org/10.4103/0019-5413.132486).

GIORDANI, E. J.; FERREIRA, I.; BALANCIN, O. Propriedades mecânicas e de corrosão de dois aços inoxidáveis austeníticos utilizados na fabricação de implantes ortopédicos. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n. 1, mar. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rem/a/JsLwyxfWtkghVcTQSqD5YBG/>>. Acesso em 15 abr. 2023.

GONÇALVES, F. de A. Caracterização de Revestimento de Titânia Aplicado por Aspersão Térmica a Plasma em Liga Ti-6Al-4V para Aplicação em Implantes. 2012. 97 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/855964>>. Acesso em: 15 abr. 2023.

KOWALCZYK, K.; JARZAB, S. Procedimento de rotoplastia. **Cosmetologia Estética e Medicina**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 55-58, 2021. DOI: 10.52336/acm.2021.10.2.02.

MIRABELLO, L.; TROISI, R. J.; SAVAGE, S. A. Padrões internacionais de incidência de osteossarcoma em crianças e adolescentes, de meia-idade e idosos. **International Journal of Cancer**, [S.L.], fev. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/ijc.24320>.

MISAGHI, A. *et al.* Osteossarcoma: uma revisão abrangente. **SICOT-J**, Paris, v. 4, n. 12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/sicotj/2017028>.

NANCI NETO, F. *et al.* Osteossarcoma parosteal: aspectos na radiologia convencional. **Radiologia Brasileira**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 81-86, 2007. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/v40n2a04.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2023.

ORLIC, D. *et al.* Cirurgia de resgate de membros inferiores: endoprótese modular no tratamento de tumores ósseos. **International Orthopaedics**, [S.L.], v. 30, n. 6, p. 458-464, 2006. DOI: [10.1007/s00264-006-0193-9](https://doi.org/10.1007/s00264-006-0193-9).

PARK, J. W.; KANG, H. G. Application of 3-dimensional printing implants for bone tumors. **Clinical and Experimental Pediatrics**, [S.L.], v. 65, n. 10, p. 476-482, 23 dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3345/cep.2021.01326>. Acesso em: 08 nov. 2023.

PEREIRA, C. M. *et al.* Reconstrução com endoprótese não convencional após ressecção de tumores ósseos primários de fêmur distal: sobrevida do implante e resultados funcionais. **Revista Brasileira de Ortopedia**, São Paulo, v. 57, n. 6, p. 1030-1038, dez. 2022. DOI: [10.1055/s-0042-1748966](https://doi.org/10.1055/s-0042-1748966).

PRATER, S.; MCKEON, B. **Osteossarcoma**. Bethesda: StatPearls, 29 mai. 2022. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549868/#:~:text=The%20most%20common%20locations%20include,proximal%20portion%20of%20the%20bone>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

RANZZI, A. *et al.* Estudo comparativo com e sem o uso de prototipagem em 3D de uma técnica não convencional no planejamento cirúrgico de revisão de artroplastia

total de quadril. **Revista Brasileira de Ortopedia**, São Paulo, v. 57, n. 5, p. 884-890, 2021. DOI: [10.1055/s-0041-1731659](https://doi.org/10.1055/s-0041-1731659).

REBOLLEDO, D. C. S. Tradução e Validação do instrumento Musculoskeletal Tumor Society Rating Scale (MSTS) para avaliação da função em pacientes com sarcomas ósseos dos membros inferiores. 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5140/tde-05042012-095050/publico/DanielCesarSequelRebolledo.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

RODRIGUES Jr., J. L.; CRUZ, L. M. de S.; SARMANHO, A. P. S. Impressora 3D no desenvolvimento de pesquisas com próteses. **Revista Interinstitucional Brasileira de Terapia Ocupacional**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 398-413, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufrrj.br/index.php/ribto/article/view/15022>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SABINO, S. D. M.; TORQUATO, R. M.; PARDINI, A. C. G. Ansiedade, depressão e desesperança em pacientes amputados de membros inferiores. **Acta Fisiátrica**, São Paulo, v. 20, n. 4, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5935/0104-7795.20130037>.

SANTOS FILHO, R. A. dos. **Utilização do sistema CAD/CAM para o planejamento cirúrgico de reconstruções ósseas mandibulares revisão de literatura**. 2020. 52f. Monografia (Graduação em Odontologia) – Centro Universitário Fametro, Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://repositorio.unifametro.edu.br/handle/123456789/760>. Acesso em: 08 nov. 2023.

TANAKA, M. H.; SAKABE, N. Utilização das endopróteses não convencionais no tratamento dos tumores ósseos. **Técnicas em Ortopedia**, São Paulo, v. 2, n. 2, 2002. Disponível em: <https://rto.emnuvens.com.br/revista/issue/view/6>. Acesso em: 18 jun. 2023.

WITTIG, J. C. *et al.* Osteossarcoma: uma abordagem multidisciplinar para diagnóstico e tratamento. **American Family Physician**, [S.L.], v. 65, n. 6, p. 1123-1133, 2002. Disponível em: <https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2002/0315/p1123.html>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BIBLIOGRAFIA

MELO, H. W. da C.; PEDDINGHAUS, W. dos S. **Aplicação da tecnologia de impressão 3D no planejamento cirúrgico: um estudo de caso**. 2019. 61f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24019>. Acesso em: 08 nov. 2023.

MIRALDO, L. C. **Impressão 3D em ortopedia – aplicações no presente e futuro**. 2019. 71f. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2019. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/89834>. Acesso em: 08 nov. 2023.