

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

RICARDO YSAAC GARCIA NUNEZ

**IMPRESSÃO 3D DA DISPLASIA COXOFEMORAL CANINA: MODELOS
ANATÔMICOS E RADIOGRAFIAS**

**RIO BRANCO
ACRE – BRASIL
MAIO – 2018**

RICARDO YSAAC GARCIA NUNEZ

IMPRESSÃO 3D DA DISPLASIA COXOFEMORAL CANINA: MODELOS
ANATÔMICOS E RADIOGRAFIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sanidade e Produção Animal Sustentável na Amazônia Ocidental da Universidade Federal do Acre, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

RIO BRANCO
ACRE – BRASIL
MAIO – 2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

N972i Nunez, Ricardo Ysaac Garcia, 1976-
Impressão 3D da displasia coxofemoral canina: modelos anatômicos e radiografias / Ricardo Ysaac Garcia Nunez. – 2018.
30 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Sanidade e Produção Animal Sustentável da Amazônia Ocidental, mestrado em Ciência Animal. Rio Branco, 2018.

Inclui referências bibliográficas e anexos.

Orientador: Prof. Dr. Yuri Karaccas de Carvalho.

1. Cães – Displasia coxofemoral. 2. Modelagem 3D. 3. Ortopedia veterinária. I. Título.

CDD: 636

Bibliotecária: Alanna Santos Figueiredo CRB-11º/1003

RICARDO YSAAC GARCIA NUNEZ

IMPRESSÃO 3D DA DISPLASIA COXOFEMORAL CANINA: MODELOS
ANATÔMICOS E RADIOGRAFIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sanidade e Produção Animal Sustentável na Amazônia Ocidental da Universidade Federal do Acre, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

APROVADA: 06 de abril de 2018

Dra. Soraia F. de Souza
UFAC

Dr. Charles Pelizzari
UFAC

Dr. Yuri Karaccas de Carvalho
UFAC
(Orientador)

*À minha mãe, Virginia Nunez.
À minha esposa Katherine Gonzales.
Aos meus filhos, Andrés; Franco e
Mariana.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Virginia Nunez, pelo amor e apoio incondicional em todos meus empreendimentos e por acreditar sempre em mim.

À minha esposa, Katherine Gonzales, meu suporte e meu fortaleza. O que difícil seria a vida sem você do meu lado.

Aos meus amados filhos, Andrés e Franco; e minha amada princesa Mariana, vocês são o melhor que a vida me deu.

Ao meu orientador, professor Dr. Yuri Karaccas de Carvalho, pela amizade mesmo e por me trazer até aqui, obrigado professor.

Ao Programa de Alianças Estratégicas para a Educação e a Capacitação (PAEC) através da Organização de Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB). Pela oportunidade de realizar meus estudos fora do meu país.

A Universidade Federal do Acre (UFAC) e ao Programa de Pós-Graduação em Sanidade e Produção Animal Sustentável na Amazônia Ocidental (PPGESPA) pelas oportunidades oferecidas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

A todos os docentes do PPGESPA pelos conhecimentos passados.

Aos amigos ganhos nesta caminhada.

CERTIFICADO DO COMITÊ DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS –UFAC

Título do projeto: Impressão 3D da displasia coxofemoral canina: modelos anatômicos e radiografias.

Processo número: 23107.007273/2017-49.

Protocolo número: 09/2017.

Responsável: Prof. Dr. Yuri Karaccas de Carvalho.

Data de aprovação: 30/09/2017.

RESUMO

NUNEZ. Ricardo Ysaac Garcia. Universidade Federal do Acre, abril de 2018. **Impressão 3D da displasia coxofemoral canina: modelos anatômicos e radiografias.** Orientador: Yuri Karaccas de Carvalho. A Displasia Coxofemoral Canina é uma condição patológica articular dos cães, de grande prevalência na clínica médica de pequenos animais. A radiografia é o método de diagnóstico por imagem padronizado para determinar a presença e a gravidade da doença. Onde é fundamental o conhecimento profundo da anatomia articular específica. O foco da pesquisa foi reproduzir e criar por meio da impressão 3D modelos anatômicos representativos de cada grau da enfermidade, procurando as deformações ósseas preconizadas pela FCI e a angulação segundo Norberg. Nesse sentido foram escaneados o coxal, os fêmures e as patelas de um cachorro sadio para a obtenção dos arquivos digitais onde realizaram-se as alterações e deformações ósseas de acordo à classificação adotada, logo os arquivos ósseos foram impressos e cada modelo montado para finalmente realizar as radiografias de cada grau. Os modelos obtidos conseguiram imitar fielmente os ossos digitalizados preservando suas particularidades anatômicas. As imagens radiográficas obtidas mostram as mesmas qualidades que as radiografias tradicionais. Evidenciando que a tecnologia de impressão 3D continua sendo uma alternativa viável, barata e de fácil acesso na criação de modelos anatômicos.

Palavras-chaves: Prototipagem rápida, Radiologia, Diagnóstico por Imagem, Ângulo de Norberg, Modelagem 3D.

ABSTRACT

NUNEZ. Ricardo Ysaac Garcia. Universidade Federal do Acre, April 2018. **3D printing of canine hip dysplasia: anatomic models and radiographies.** Advisor: Yuri Karaccas de Carvalho. The Canine Hip Dysplasia is an articular pathological condition of dogs, of high prevalence in clinic of small animals. Radiography is the standardized imaging method to determine the presence and severity of the disease. Where deep knowledge of the specific articular anatomy is fundamental. The aim of the research was to reproduce and create by means of the 3D impression representative anatomical models of each degree of the disease, looking for the bone deformations advocated by the FCI and Norberg angle. In this sense, the coxal, femurs and patella of a healthy dog were scanned to obtain the digital files where the bone alterations and deformations were performed according to the classification adopted, then the bone files were printed and each model was assembled to finally perform the radiographs of each degree. The obtained models were able to faithfully imitate the digitized bones preserving their anatomical peculiarities. The radiographic images obtained show the same qualities as the traditional radiographs. Evidence that 3D printing technology remains a viable, inexpensive and easily accessible alternative to creating anatomical models.

Key words: Rapid Prototyping, Radiology, Diagnostic Imaging, Norberg Angle, 3D Modeling.

SUMÁRIO

	págs.
RESUMO	
ABSTRACT	
1 ARTIGO	1
1.1 Artigo 1	1
ANEXO	17

1 ARTIGO

1.1 Artigo 1

Impressão 3D da displasia coxofemoral canina: modelos anatômicos e radiografias.

Ricardo Ysaac Garcia Nunez, Leonardo Kouri Albuquerque, Patrícia Ferreira Peruqueti, Rita de Cássia Ribeiro Pereira, Romeu Paulo Martins Silva, Yuri Karaccas de Carvalho.

Submetido a: Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia em 24 de maio de 2018.

Impressão 3D da displasia coxofemoral canina: modelos anatômicos e radiografias

[3D printing of canine hip dysplasia: anatomic models and radiographies]

RESUMO

A Displasia Coxofemoral Canina é uma condição patológica articular dos cães, de grande prevalência na clínica médica de pequenos animais. A radiografia é o método de diagnóstico por imagem padronizado para determinar a presença e a gravidade da doença. Onde é fundamental o conhecimento profundo da anatomia articular específica. O foco da pesquisa foi reproduzir e criar por meio da impressão 3D modelos anatômicos representativos de cada grau da enfermidade, procurando as deformações ósseas preconizadas pela FCI e a angulação segundo Norberg. Nesse sentido foram escaneados o coxal, os fêmures e as patelas de um cachorro sadio para a obtenção dos arquivos digitais onde realizaram-se as alterações e deformações ósseas de acordo à classificação adotada, logo os arquivos ósseos foram impressos e cada modelo montado para finalmente realizar as radiografias de cada grau. Os modelos obtidos conseguiram imitar fielmente os ossos digitalizados preservando suas particularidades anatômicas. As imagens radiográficas obtidas mostram as mesmas qualidades que as radiografias tradicionais. Evidenciando que a tecnologia de impressão 3D continua sendo uma alternativa viável, barata e de fácil acesso na criação de modelos anatômicos.

Palavras-chave: Prototipagem rápida, radiologia, diagnóstico por imagem, ângulo de Norberg, modelagem 3D.

ABSTRACT

Canine Hip Dysplasia is an articular pathological condition of dogs, of high prevalence in general veterinary medicine of small animals. Radiography is the standardized diagnostic imaging method to determine the presence and the severity of the disease, in which deep knowledge of the specific articular anatomy is fundamental. The aim of the research was to reproduce and to create by means of 3D printing representative anatomical models of each degree of the disease, trying to reproduce the bone deformations advocated by the FCI and the Norberg angle. In this sense, the hip bone, femurs and patellae of a healthy dog were scanned to obtain the digital files where the bone alterations and deformations were performed according to the

classification adopted, then the bone files were printed and each model was assembled to finally perform the radiographs of each degree. The obtained models were able to faithfully imitate the digitized bones preserving their anatomical features. The radiographic images obtained show the same qualities as the traditional radiographs, which is an evidence that the 3D printing technology remains a viable, inexpensive and easily accessible alternative to creating anatomical models.

Key words: Rapid prototyping, radiology, diagnostic imaging, Norberg angle, 3D modeling.

INTRODUÇÃO

A Displasia Coxofemoral Canina (DCC) é uma condição de desenvolvimento que pode acarretar desordens musculoesqueléticas da articulação coxofemoral. Caracteriza-se pela instabilidade e a incongruência das estruturas articulares envolvidas, originando luxação e/ou osteoartrite, em uma ou ambas articulações. É uma das doenças mais prevalentes dos cães, de origem hereditária e multifatorial. Manifestando-se com dor, claudicação e rigidez (Soo e Worth, 2015).

A radiografia tem sido o procedimento padrão para avaliar e quantificar as mudanças anatomopatológicas associadas à DCC. Dentre os diferentes métodos utilizados para o diagnóstico radiográfico preciso da doença e seus diferentes graus de apresentação, temos o Ângulo de Norberg e seu índice (Janssens *et al.*, 2013).

O conhecimento da anatomia da articulação coxofemoral e os diferentes graus de manifestação da DCC é um componente essencial na formação do médico veterinário, pois exige que profissionais e futuros profissionais saibam reconhecer o estágio da doença para promover o melhor tratamento clínico/cirúrgico (Schachner e López, 2015).

Nesse contexto, o advento da impressão 3D possibilitou as instituições de Ensino, desenvolverem modelos anatômicos baratos a partir do uso de scanner e impressoras 3D, permitindo que estudantes e professores possam ter acesso a treinamento e capacitação em áreas que precisam de planejamento prévio, além do que, é capaz de produzir modelos anatômicos com facilidade (Lim *et al.*, 2016).

Em uma área, na qual o uso de animais está cada vez mais restrito é necessário lançar mão de novas alternativas para o treinamento e o entendimento da DCC (McMenamin *et al.*, 2014). O propósito do estudo foi reproduzir e criar por meio da impressão 3D modelos anatômicos viáveis, fidedignos e representativos de cada grau

da enfermidade, procurando as deformações ósseas preconizadas pela FCI e a angulação segundo Norberg da DCC.

MATERIAIS E METODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, AC, Brasil no Laboratório de Tecnologias Educacionais 3D e foi registrada e aprovada com número de processo 23107.007273/2017-49 no Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA- Ufac), pois utilizaram-se os seguintes ossos: coxal (*os coxae*), dois fêmures (*os femoris*) e duas patelas (*patella*) de um mesmo cão sadio provenientes do acervo do Laboratório de Anatomia Animal da Ufac, ossos que foram minuciosamente preparados e disponibilizados para sua digitalização.

A digitalização tridimensional foi realizada individualmente com um escâner 3D Matter and Form (Matter and Form®, Toronto, Canada), o qual possui o sensor HD CMOS e dois lasers, com precisão de escaneamento de 0,43mm e tamanho da captura de $\pm 0,25$ mm.

Nos arquivos digitais obtidos, foram executadas as alterações e deformações anatômicas necessárias, a fim de se obter os cinco níveis que classificam a severidade da DCC e respeitam a classificação preconizada pelo Colégio Brasileiro de Radiologia Veterinária ABRV (2016) e os critérios de avaliação da Federação Cinológica Internacional (FCI) e tem como referência a mensuração do ângulo de Norberg (Tab.1). Utilizou-se o software Autodesk Meshmixer® (Autodesk Inc., Califórnia, Estados Unidos).

Tabela 1. Alterações anatômicas visíveis nos diferentes graus da Displasia Coxofemoral Canina de acordo à classificação da Federação Cinológica Internacional

GRAU	ÂNGULO	ALTERAÇÕES ANATÔMICAS VISÍVEIS
0	$\geq 105^\circ$	Congruência. Borda craniolateral pontiaguda e ligeiramente arredondada. Espaço articular estreito e regular.
I	$< 105^\circ$	Ligeira incongruência. Centro da cabeça do fêmur se apresenta medialmente à borda acetabular dorsal.
II	$\geq 100^\circ$	Incongruência. Ligeiro achatamento da borda acetabular craniolateral. Pequenos sinais de osteoartrose das margens acetabulares ou na cabeça e colo do fêmur.
III	$\geq 90^\circ$	Incongruência evidente. Sinais de subluxação. Achatamento da borda craniolateral ou osteoartrose.
IV	$< 90^\circ$	Evidentes alterações displásicas da articulação. Sinais de luxação. Achatamento da borda acetabular cranial. Deformação da cabeça do fêmur. Osteoartrose.

Adaptado de (Flückiger, 2007)

Uma vez conseguidas as deformações de cada grau, os arquivos foram impressos separadamente em uma impressora 3D Up Mini© (Beijing Tiertime Technology Co. Ltd., Beijing, China) que usa a tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling), usando filamento termoplástico ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) com qualidade fina, preenchimento interno de 99% e espessura de camada de 0.2mm. Após essa etapa, os modelos foram montados com a preservação das articulações coxofemorais.

Todos os Modelos Anatômicos da Displasia Coxofemoral Canina 3D (MADCC 3D) impressos foram submetidos ao teste radiográfico, num aparelho de raios X digital marca General Electric modelo DR-F (General Electric Company©, Estados Unidos), exposição nas condições de 50 kv de intensidade de radiação e tempo de exposição 6,3 mAs. Cada imagem radiográfica dos MADCC 3D foi avaliada mensurando os ângulos segundo Norberg por meio do software RadiAnt DICOM Viewer© (2009-2017 Medixant©, Poznan, Polônia).

O posicionamento radiográfico adotado foi o padronizado pela Federação Cinológica Internacional ou “Posicionamento 1” do procedimento radiográfico para avaliação da DCC. O procedimento consistiu em: decúbito dorsal, membros pélvicos estendidos, paralelos entre si e em relação à coluna vertebral; articulações fêmoro-tíbio-patellares rotacionadas medialmente para que as patelas fiquem sobrepostas aos sulcos trocleares e sejam completamente visíveis na imagem radiográfica entre os côndilos trocleares; pelve em posição horizontal procurando a simetria entre os dois forâmens obturadores e o canal pélvico ovalado. Toda a pelve, fêmures e joelhos deveriam estar presentes na imagem ou filme radiográfico (Fig.1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A digitalização inicial dos ossos com o scanner, demonstrou ser uma etapa fundamental no desenvolvimento da pesquisa, permitindo obter os arquivos digitais originais de excelente qualidade e resolução, sendo possível distinguir com detalhe, todas as estruturas ósseas que compõem cada uma das peças anatômicas e suas diversas estruturas utilizadas na criação dos MADCC 3D. Esta constatação corrobora com as afirmações de Ugidos Lozano *et al.* (2018) e Li *et al.* (2018), os quais indicam a grande efetividade na utilização do scanner, na digitalização de peças anatômicas e sua posterior impressão 3D na criação de modelos anatômicos.

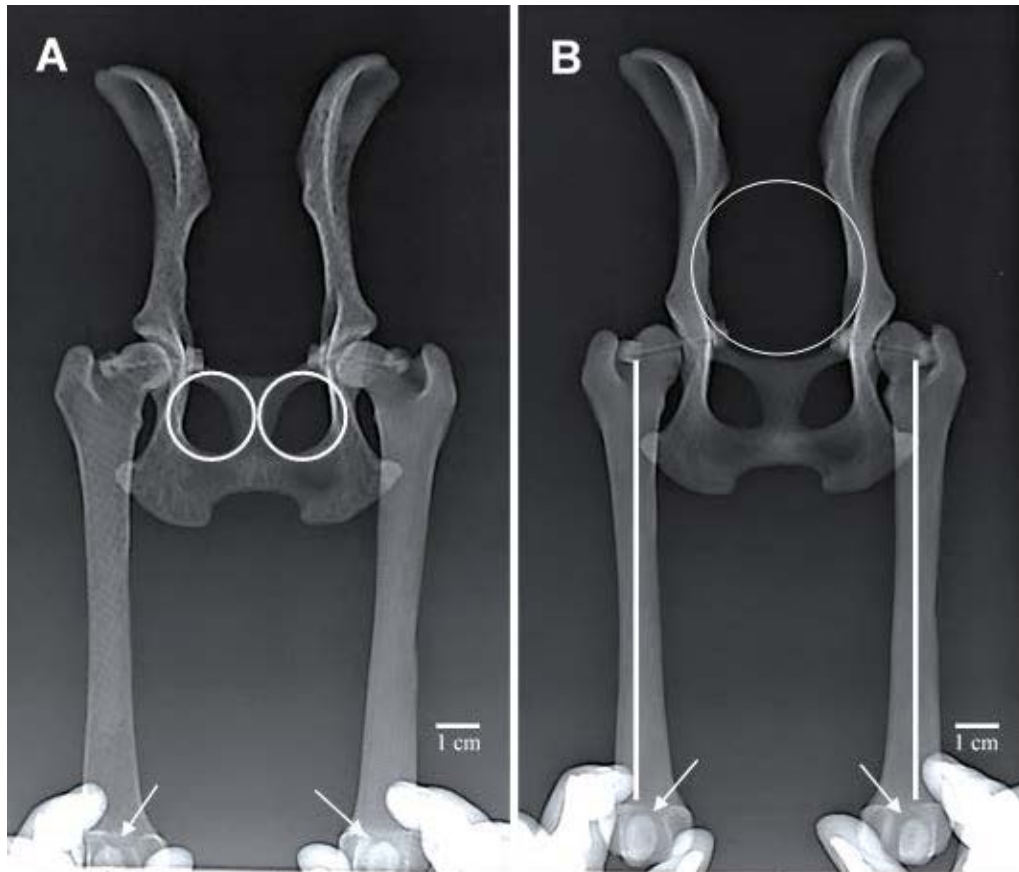


Figura 1. Imagens radiográficas completas de dois Modelos Anatômicos de Displasia Coxofemoral Canina 3D em projeção ventrodorsal padronizada. **A.** Observa-se a simetria dos forâmens obturadores (círculos); e as patelas acima dos sulcos trocleares (setas). **B.** Observa-se a simetria do canal pélvico (círculo); os fêmures paralelos (linhas); e as patelas acima dos sulcos trocleares (setas). (Fonte: arquivo próprio)

Os arquivos digitais obtidos pelo escaneamento dos ossos *in natura*, seguiram o mesmo procedimento reportado por Thomas *et al.* (2016); onde após a digitalização foram realizados apenas pequenos ajustes com a finalidade de disponibilizar o modelo base, o qual não possuía nenhum sinal de deformidade anatômica e permitiu classificá-lo como completamente normal ou Grau 0, e é caracterizado pela correta conformação óssea e articular. A partir dos arquivos digitais do modelo base foram geradas as alterações e deformações anatômicas dos seguintes estágios da doença.

As peças anatômicas impressas que compõem o modelo base, demonstraram grande precisão na replicação, onde foi possível observar que os ossos impressos mantem o mesmo comprimento, largura e espessura dos ossos *in natura*. Igualmente, cada uma das estruturas ósseas foi representada em detalhe. No coxal, o acetábulo manteve a profundidade e a forma da concavidade da fossa acetabular; as bordas

acetabulares dorsais ficaram perfeitamente visíveis e apresentaram a mesma espessura do osso original; os forâmens obturadores, mantiveram o formato ovalado e a simetria entre eles, além das demais estruturas anatômicas características. No fêmur, a cabeça e o colo conservaram as mesmas linhas suaves e definidas que delimitam suas partes, além de ser viável perceber os trocânteres maior e menor, os côndilos trocleares e o sulco troclear. A patela preservou sua forma ovalada, e a direção da sua extremidade distal (Fig.2).

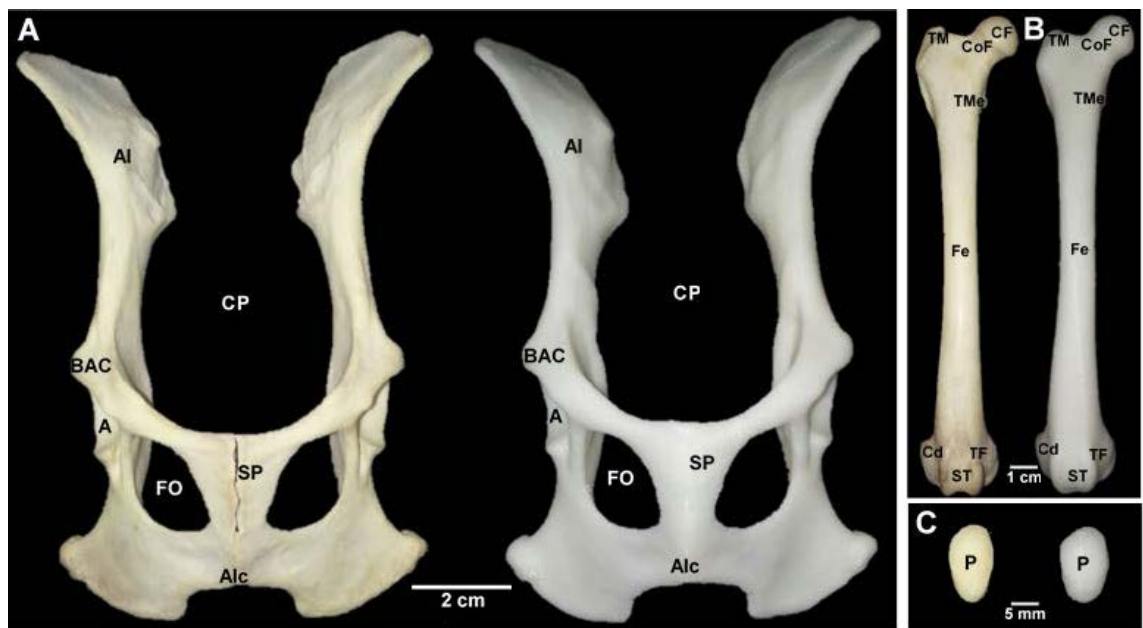


Figura 2. Ossos *In natura* e impressos 3D de Cão. **A.** Coxal; **B.** Fêmur direito; **C.** Patela. AI-Asa do Ílio; CP-Canal Pélvico; BAC-Borda Acetabular Cranial; A-Acetábulo; FO-Forâmen Obturador; SP-Sínfise Pélvica; Alc-Arco Isquiático; TM-Trocânter Maior; CF-Cabeça do Fêmur; CoF-Colo do Fêmur; TMe-Trocânter Menor; Fe-Corpo do Fêmur; TF-Tróclea Femoral; Cd-Côndilo Femoral; ST-Sulco Troclear; P-Patela. (Fonte: arquivo próprio)

Após a impressão das peças anatômicas separadas que conformam o modelo base, este foi montado preservando suas articulações utilizando filamento elástico e o extremo de fechamento das abraçadeiras de nylon com ação de fechamento autotravante em cada extremo do filamento. Observou-se a perfeita replicação dos movimentos característicos da articulação (rotação, abdução e adução), o que favoreceu a adoção do posicionamento radiográfico adequado.

Para a correta reprodução das deformações ósseas requeridas na replicação dos diferentes graus da DCC é fundamental compreender a complexidade do processo de criação dos modelos anatômicos, pois existe variação entre o modelo e a anatomia real (Abudayyeh *et al.*, 2017). Neste sentido, o processo de criação dos MADCC 3D exigiu o domínio completo do software adequado para a geração correta das deformidades requeridas, mantendo sempre as proporções apropriadas e conservando a estética óssea e estrutural.

Para a determinação dos custos finais de impressão e a quantidade de material utilizado na fabricação dos MADCC 3D apresenta-se a seguinte tabela (Tab.2).

Tabela 2. Parâmetros de criação e fabricação dos Modelos Anatômicos da Displasia Coxofemoral Canina 3D

PARTES DO MADCC 3D	TEMPO DE CRIAÇÃO (h)	TEMPO DE IMPRESSÃO (h)	MATERIAL UTILIZADO (g)	CUSTO (\$)
Coxal	6.0	6.5	54.77	1.75
Fêmur Direito	4.0	3.9	36.82	1.12
Fêmur Esquerdo	4.0	3.9	36.82	1.12
Patela Direita	0.5	0.2	0.88	0.03
Patela Esquerda	0.5	0.2	0.88	0.03
TOTAL				
1 MADCC 3D	15.0	14.7	130.17	4.05
5 MADCC 3D	60.0*	73.5	653.55	20.25

(h)-Horas; (g)-gramas; (\$) -Dólares; Referência \$ 1.00 = R\$ 3.30

(*) O tempo de criação aplica-se só para quatro MADCC 3D. (Fonte: elaboração própria)

A Tabela 2 também oferece informação sobre a quantidade de tempo gasto para a criação de cada modelo, levando em consideração o trabalho feito sobre cada peça óssea para a correta replicação dos graus da doença; desde o tempo requerido para o escaneamento, até o tempo para replicação das deformações ósseas e estruturais concordantes com a classificação adotada.

Na determinação dos custos econômicos dos MADCC 3D foi considerado o valor total para cada 1000 gramas de filamento termoplástico ABS de (US dólar) \$ 30,30. Valor obtido a partir da somatória dos valores, a saber: filamento utilizado para

a construção da peça e do material estrutural gerado automaticamente e descartado ao final da impressão; valores da depreciação do equipamento e consumo de energia elétrica.

Em alguns experimentos similares; Watson e Francis (2015); Chung *et al.* (2018); Li *et al.* (2018) os valores dos custos de impressão aparecem muito similares aos achados nesta pesquisa (\$ 4.05 por modelo). Por outro lado, o tempo de impressão do MADCC 3D (14.7 horas) foi superior ao descrito pelos autores. Fato este resultado da influência dos parâmetros de impressão adotados, como a qualidade fina e o preenchimento interno de 99%, critérios que repercutem diretamente na velocidade de impressão.

O tempo total consumido para a impressão de todos os MADCC 3D (73.5 horas) aparece relativamente alto. Comparando-se com outros métodos de fabricação, deve ser levado em consideração que o procedimento tradicional de produção e usinagem requer primeiramente a geração dos protótipos iniciais, a partir dos quais podem ser fabricados os modelos finais, que resulta em um tempo total maior (David Müzel e Alves, 2017). Nesse sentido é claro que o tempo gasto para a criação e fabricação dos MADCC 3D foram convenientes, já que num período de tempo curto foi possível conseguir o objetivo desejado.

O desenvolvimento dos MADCC 3D, partiu da necessidade de reproduzir os diferentes graus de severidade da DCC, principalmente para disponibilizar um acervo de modelos anatômicos específicos, que sirvam como ferramenta didática complementar no Ensino Médico Básico e Especializado, auxiliando na formação dos discentes e visando a familiarização com os achados anatomopatológicos futuros, aprimorando um conteúdo específico (McMenamin *et al.*, 2014); além de auxiliar a consulta e melhorar o treinamento médico veterinário.

Recentemente, foram desenvolvidos estudos detalhados sobre a morfologia patológica da Displasia Coxofemoral em humanos, principalmente nas alterações patológicas no acetábulo e sua verificação por meio da impressão 3D (Cai *et al.*, 2018), o que disponibiliza resultados atuais nessa área. Mas no campo da Medicina Veterinária, é muito difícil conseguir um registro físico dos diferentes graus da DCC, questão que impossibilita ter a mão o material de consulta preciso no momento certo.

No mercado atual existem diferentes modelos anatômicos didáticos disponíveis para venda, mas os mesmos não ilustram a variação biológica e carecem de autenticidade patológica, que pode levar a diagnósticos e práticas erradas nos cenários

clínicos reais (Sugand *et al.*, 2010). Nesse contexto não foram encontrados modelos anatômicos da DCC para venda.

Com o uso da tecnologia de impressão 3D, as deformidades pélvicas podem ser melhor avaliadas examinando modelos palpáveis da anatomia óssea real. A estrutura interna foi representada como uma estrutura 3D de tamanho real que pode ser manipulada, girada e visualizada (Hughes *et al.*, 2017) como se fez nessa pesquisa.

O Grau 0 foi o modelo base, lembrando que não possuía sinal de deformação anatômica e não foi realizada nenhuma alteração (Fig.3A). No Grau I foram realizadas apenas pequenas alterações na superfície articular da Cabeça do Fêmur e levemente nos Acetábulos, principalmente na Fossa Acetabular, reduzindo levemente a concavidade, para conseguir a pouca incongruência anatômica descrita (Fig.3B).

Para os Graus II, III e IV, as alterações feitas foram mais profundas na Cabeça do Fêmur, com a finalidade de conseguir replicar os sinais da osteoartrose correspondentes a cada grau, além de replicar o achatamento da Borda Acetabular Cranial conforme a classificação adotada. As deformações feitas foram necessárias para conseguir os níveis de luxação descritos, com a finalidade de obter as angulações correspondentes a cada grau de doença, além de exibir macroscopicamente as alterações anatômicas correspondentes (Fig.3C, D, E).

A impressão 3D é utilizada em combinação com as imagens médicas, como uma poderosa ferramenta de diagnóstico, facilitando a obtenção de modelos anatômicos patológicos a partir de equipamento médico especializado usando dados reais de imagem do paciente, favorecendo um ambiente seguro e realista para Ensino e treinamento (Marro *et al.*, 2016).

Ao contrário do que a literatura aponta a respeito da criação de modelos anatômicos a partir de imagens diagnósticas (Eltorai *et al.*, 2015; Liew *et al.*, 2015), os MADCC 3D proporcionaram uma situação inusitada e viável, no sentido contrário do que é preconizado, que foi a obtenção de um acervo de imagens radiográficas a partir dos modelos criados (Fig.4).

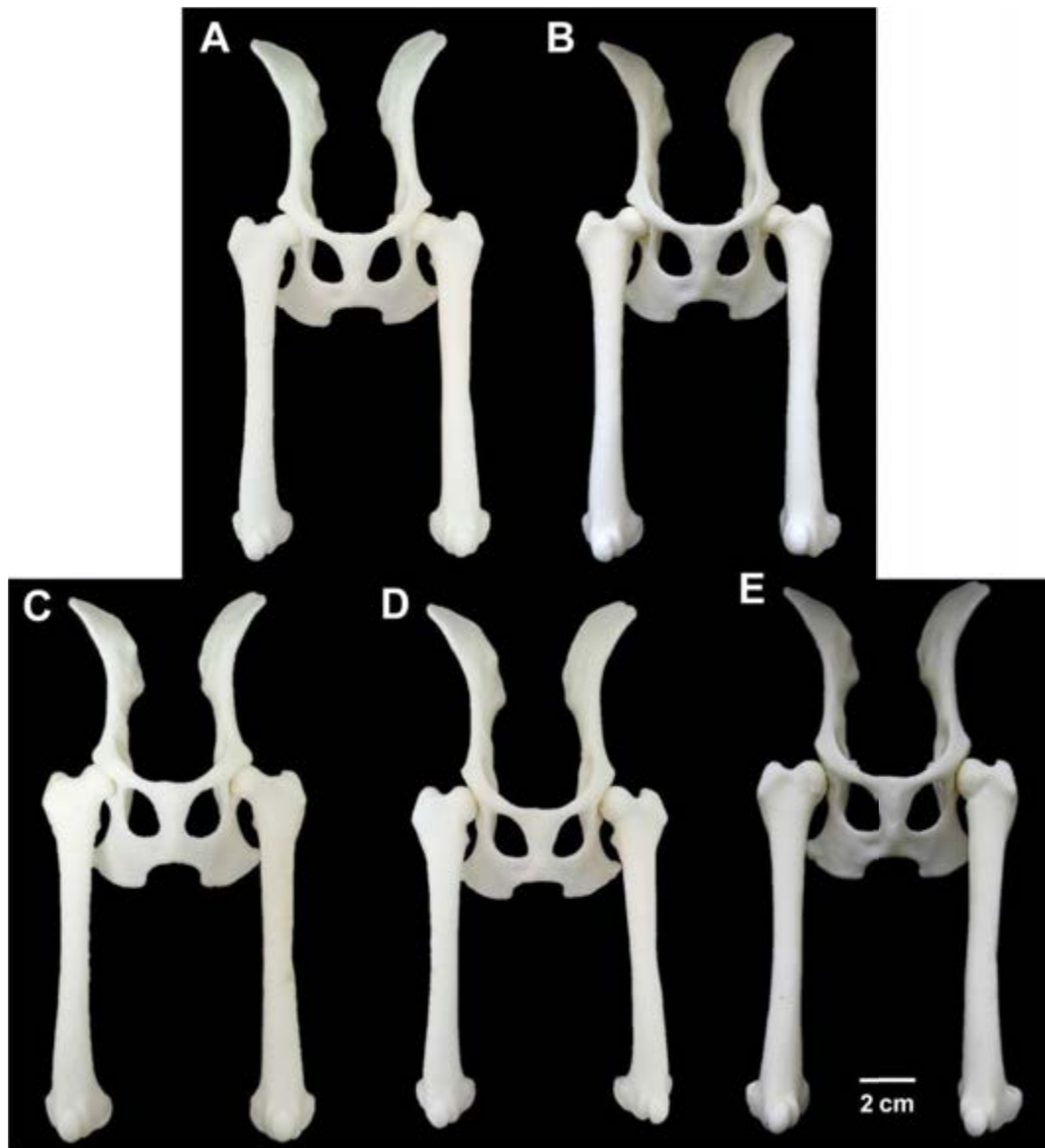


Figura 3. Modelos Anatômicos da Displasia Coxofemoral Canina 3D. Detalhe das deformações macroscópicas nas Bordas Acetabulares Craniais, e na Cabeça e Colo do Fêmur. **A.** Grau 0; **B.** Grau I; **C.** Grau II; **D.** Grau III; **E.** Grau IV. (fonte: arquivo próprio)

As radiografias reveladas dos MADCC 3D mostram grande similaridade com radiografias regulares, revelando claramente zonas radiopacas e radiolúcidas. Nas radiografias é possível observar e determinar cada um dos ossos e suas partes correspondentes, assim como das articulações coxofemorais. O que permite replicar o posicionamento certo padronizado para o diagnóstico da DCC, além de possibilitar a determinação acertada dos pontos precisos para determinar os ângulos segundo Norberg. (Fig.4A – E)

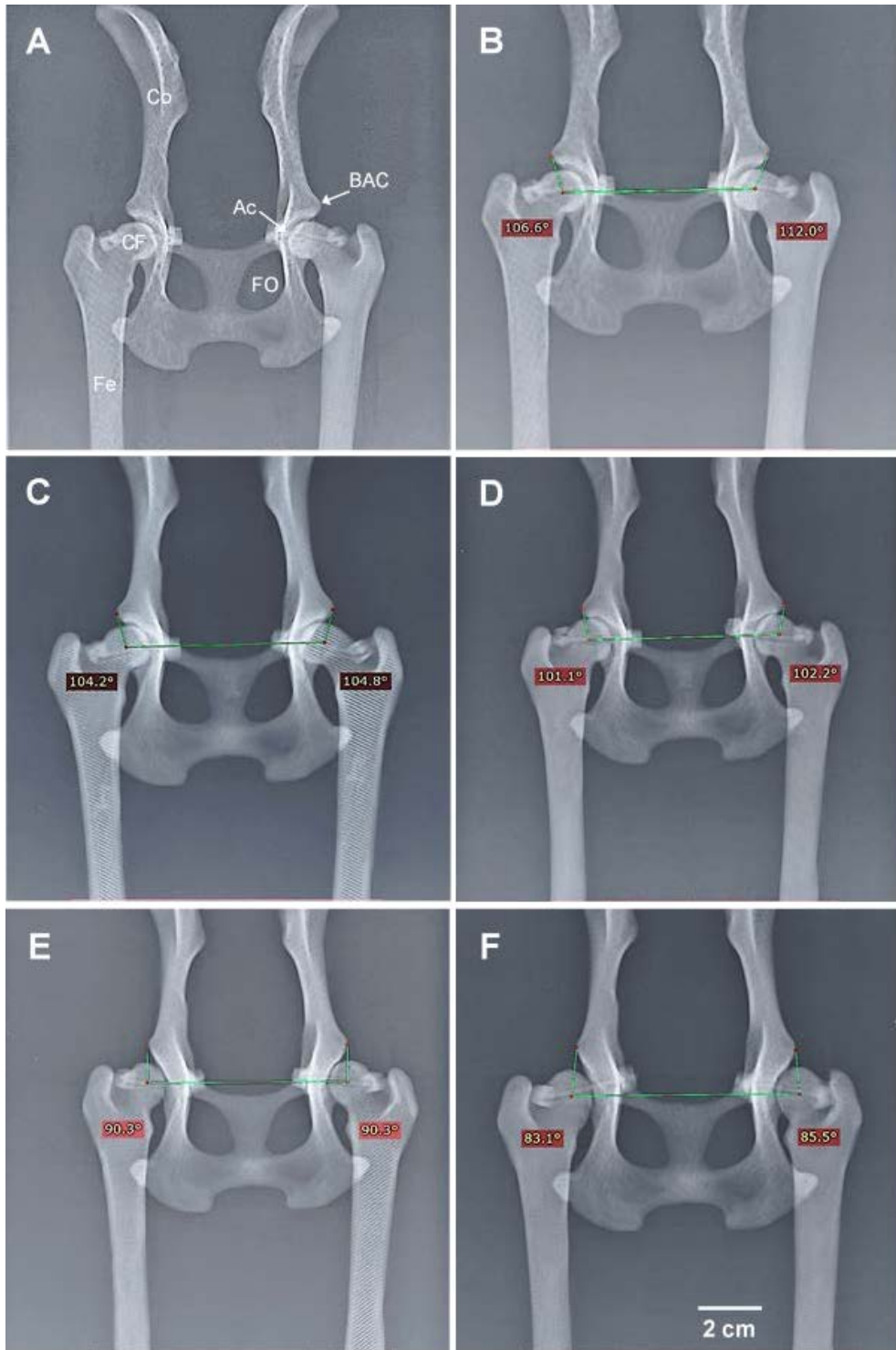


Figura 4. Imagens radiográficas dos Modelos Anatômicos da Displasia Coxofemoral Canina 3D com seus respectivos ângulos segundo Norberg. **A:** Detalhe da radiografia do Modelo. **B:** Grau 0. **C:** Grau I. **D:** Grau II. **E:** Grau III. **F:** Grau IV. Co-Coxal, CF-Cabeça do Fêmur, Fe-Fêmur, Ac-Acetábulo, FO-Forâmén Obturador, BAC-Borda Acetabular Cranial. (Fonte: arquivo próprio)

As radiografias dos MADCC 3D dos diferentes graus revelam aspectos como: posicionamento radiográfico adequado em todas as exposições, incongruência

articular; níveis de luxação; presença ou ausência de osteoartrose; os sinais de deformidade anatômica das porções ósseas envolvidas; e os respectivos ângulos mensurados. (Tab.3)

Tabela 3. Sinais Clínicos, Alterações Anatômicas Visíveis e Ângulos Mensurados Segundo Norberg dos MADCC 3D.

CARACTERÍSTICA	GRAUS DA DISPLASIA COXOFEMORAL									
	0		I		II		III		IV	
POSICIONAMENTO RADIOGRÁFICO	✓		✓		✓		✓		✓	
INCONGRUÊNCIA	Não		Não		Leve		Moderada		Severa	
LUXAÇÃO	Não		Não		Leve		Moderada		Severa	
OSTEOARTROSE	Não		Não		Sim		Sim		Sim	
DEFORMAÇÃO ANATÔMICA	Não		Leve na superfície articular da cabeça do fêmur e do acetábulo.		Cabeça do fêmur ampliada e ligeiramente comprimida. Colo do fêmur reduzido e curto. Acetábulo reduzido. Borda acetabular cranial arredondada e levemente reduzida.		Cabeça do fêmur curto e reto. Colo do fêmur pequena e achatada. Concavidade do acetábulo quase desaparece. Borda acetabular cranial desgastada e romba.		Arrasamento do acetábulo. Borda acetabular cranial quase ausente. Colo do fêmur reto. Cabeça do fêmur pequena, plana e curta.	
ANGULAÇÃO ESPERADA	≥ 105°		< 105°		≥ 100°		≥ 90°		< 90°	
ANGULAÇÃO OBTIDA	DIR	ESQ	DIR	ESQ	DIR	ESQ	DIR	ESQ	DIR	ESQ
	106.6°	112.0°	104.2°	104.8°	101.1°	102.2°	90.3°	90.3°	83.1°	85.5°

(✓)-Adequado; DIR-Direita; ESQ-Esquerda.

Os modelos anatômicos oferecem aos radiologistas a oportunidade de melhorar a compreensão da imagem médica, já que permitem a completa manipulação do modelo para a correta interpretação da estrutura estudada, assim como das relações espaciais com os tecidos adjacentes (Ballard *et al.*, 2017). Daí a importância da avaliação radiológica feita a cada MADCC 3D para a comprovação da angulação preconizada pela FCI na determinação da gravidade da doença. Onde ficou claramente demonstrado que a impressão 3D é capaz de reproduzir a região cortical óssea dos modelos, do mesmo modo que no trabalho feito por Inzunza *et al.* (2015).

Esse acervo de imagens radiográficas de MADCC 3D permitirá a Hospitais e Clínicas Veterinárias, assim como Centro de Diagnósticos e de Formação Profissional possuir todos os diferentes graus da doença para consulta. Com isso, proporcionando uma referência para laudos médicos e melhor capacitação e treinamento dos futuros profissionais.

CONCLUSÕES

O estudo comprova a possibilidade de reproduzir as diferentes variações anatomopatológicas que caracterizam os diferentes níveis da Displasia Coxofemoral Canina. Com a criação dos MADCC 3D dispõe-se de cada um dos graus representativos da doença e que classificam a gravidade da mesma, facilitando que discentes e profissionais da Medicina Veterinária tenham a oportunidade de olhar, tocar, girar, mensurar e manipular os modelos anatômicos representativos e ficar familiarizados com os aspectos anatômicos e patológicos visíveis macroscopicamente, além de poder avaliar a anatomia da região. Ademais, os MADCC 3D permitem obter radiografias e imagens radiográficas de excelente qualidade que representam fidedignamente a conformação estrutural da articulação coxofemoral.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Alianças Estratégicas para a Educação e a Capacitação (PAEC) através da Organização de Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A Universidade Federal do Acre (UFAC).

REFERÊNCIAS

- ABUDAYYEH, I. et al. A Practical Guide to Cardiovascular 3D Printing in Clinical Practice: Overview and Examples. *Journal of Interventional Cardiology*, p. 1 - 9, 2017.
- BALLARD, D. H. et al. Clinical Applications of 3D Printing: Primer for Radiologists. *Academic Radiology*, v. 24, n. 10, p. 1 - 14, outubro 2017.
- CAI, Z. et al. Can Computed Tomography Accurately Measure Acetabular Anteversion in Developmental Dysplasia of the Hip? Verification and Characterization using 3D Printing Technology. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, v. 38, n. 1, p. 1 - 6, Janeiro 2018.

CHUNG, M. et al. On the Optimization of Low - Cost FDM 3D Printers for Accurate Replication of Patient - Specific Abdominal Aortic Aneurysm Geometry. *3D Printing in Medicine*, v. 4, n. 2, 2018.

NORMAS PARA AVALIAÇÃO DA DISPLASIA COXOFEMORAL EM CÃES Brasil: Colégio Brasileiro de Radiologia Veterinária, 2017. Disponível em: < <http://www.abrv.org.br/arquivos/normas-do-colegio.pdf> >. Acessado em: 12 jan. 2017.

DAVID MÜZEL, S.; ALVES, M. Estudo da Usinagem dos Compósitos Plástico Madeira e Madeira Plástica. UNESP. 161. 2017.

ELTORAI, A. E. M.; NGUYEN, E.; DANIELS, A. H. Three - Dimensional Printing in Orthopedic Surgery. *The Cutting Edge*, p. 684 - 687, 2015.

FLÜKIGER, M. Scoring Radiographs for Canine Hip Dysplasia - The Big Three Organizations in the World. *European Journal of Companion Animal Practice*, v. 17, n. 2, p. 135 - 140, 2007.

HUGHES, A. J. et al. 3D Printing Aids Acetabular Reconstruction in Complex Revision Hip Arthroplasty. *Advances in Orthopedics*, p. 7, 2017.

INZUNZA, O. et al. Impresiones 3D, Nueva Tecnologia que Apoya la Docencia Anatómica. *International Journal of Morphology, Temuco*, v. 33, n. 3, p. 1176 - 1182, 2015.

JANSSENS, L. et al. Comparing Norberg Angle, Linear Femoral Overlap and Surface Femoral Overlap in Radiographic Assessment of the Canine Hip Joint. *Journal of Small Animal Practice*, p. 135 - 138, 2013.

LI, F. et al. Production of Accurate Skeletal Models of Domestic Animals Using Three-Dimensional Scanning and Printing Technology. *Anatomical Sciences Education*, v. 11, n. 1, p. 73-80, Janeiro 2018.

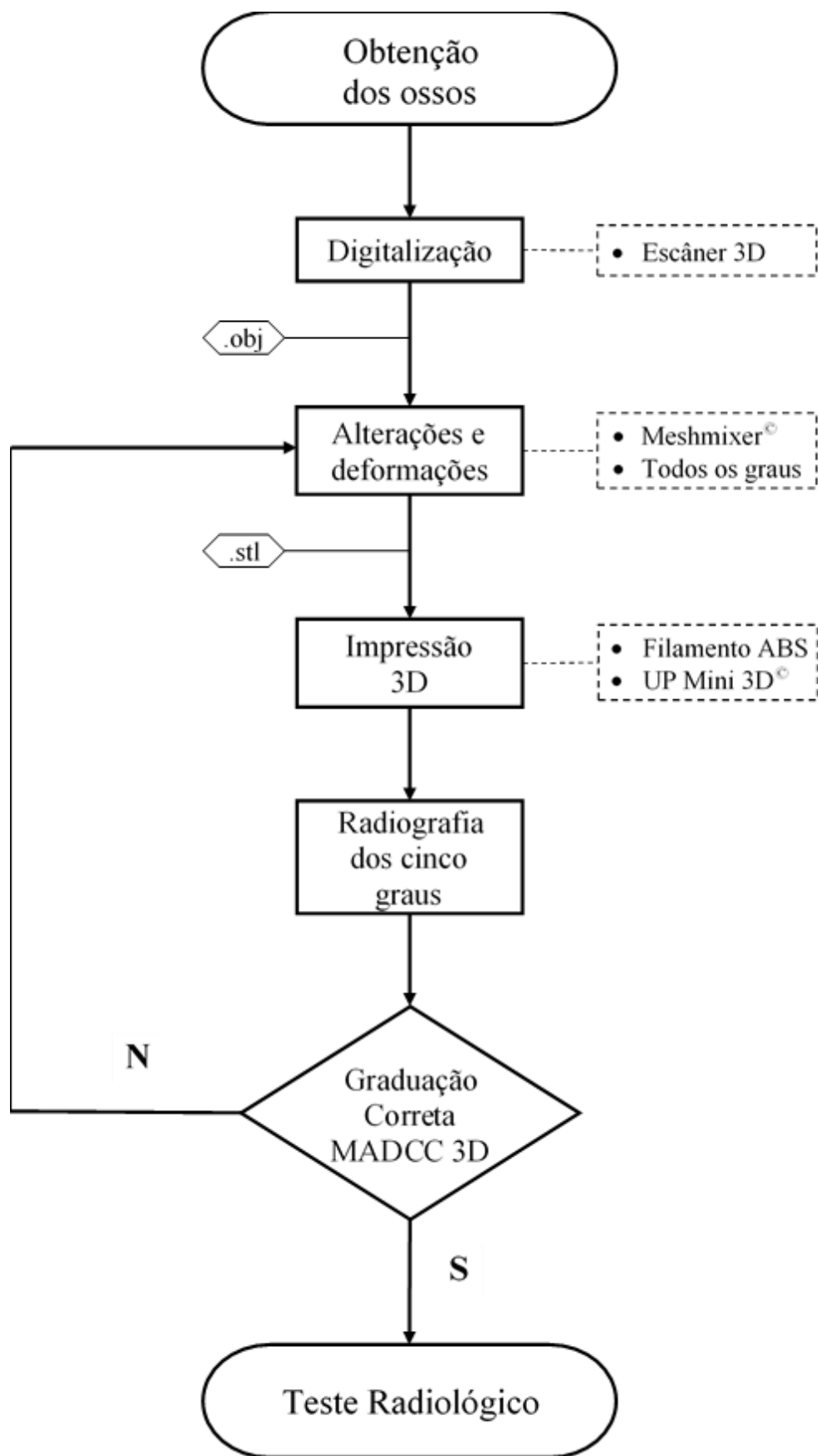
LIEW, Y. et al. 3D Printing of Patient - Specific Anatomy: A Tool to Improve Patient Consent and Enhance Imaging Interpretation by Trainees. *British Journal of Neurosurgery*, p. 1 - 3, 2015.

LIM, K. H. A. et al. Use of 3D Printed Models in Medical Education: A Randomized Control Trial Comparin 3D Prints Versus Cadaveric Materials for Learning External Cardiac Anatomy. *Anatomical Science Education*, p. 213 - 221, 2016.

MARRO, A.; BANDUKWALA, T.; MAK, W. Three - Dimensional Printing and Medical Imaging: A Review of the Methods and Applications. *Current Problems in Diagnostic Radiology*, v. 45, n. 1, p. 2 - 9, 2016.

- MCMENAMIN, P. G. et al. The Production of Anatomical Teaching Resources Using Three-Dimensional (3D) Printing Technology. *Anatomical Sciences Education*, v. 7, n. 6, p. 1 - 8, junho 2014.
- SCHACHNER, E. R.; LÓPEZ, M. J. Diagnosis, Prevention and Management Canine Hip Dysplasia: A Review. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, p. 181 -192, 2015.
- SOO, M.; WORTH, A. J. Canine Hip Dysplasia: Phenotypic Scoring and the Role of Estimated Breeding Value Analysis. *New Zealand Veterinary Journal*, v. 63, n. 2, p. 69-78, 2015.
- SUGAND, K.; ABRAHAMS, P.; KHURANA, A. The Anatomy of Anatomy: A Review for its Modernization. *Anatomical Sciences Education*, v. 3, n. 2, p. 83 -93, abril 2010.
- THOMAS, D. B. et al. 3D Scanning and Printing Skeletal Tissues for Anatomy Education. *Journal of Anatomy*, v. 229, n. 3, p. 473-481, 2016.
- UGIDOS LOZANO, M. T. et al. Different Digitalization Techniques for 3D Printing of Anatomical Pieces. *Journal of Medical Systems*, p. 42 - 46, Janeiro 2018.
- WATSON, C. M.; FRANCIS, G. R. Three Dimensional Printing as an Effective Method of Producing Anatomically Accurate Models for Studies in Thermal Ecology. *Journal of Thermal Biology*, v. 51, p. 42 - 46, Julho 2015.

ANEXOS



ANEXO A. Fluxograma do processo de criação e fabricação de modelos anômicos da displasia coxofemoral canina 3D.