



CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO E GRADUAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM MEDICINA

BRUNO MORAES MONTEIRO
JEFFERSON LUIZ SACRAMENTO DE SOUSA JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO ANATÔMICO TRIDIMENSIONAL DE
SISTEMA VENTRICULAR ENCEFÁLICO PELO MÉTODO DE MANUFATURA
ADITIVA POR IMPRESSÃO 3D**

BELÉM – PARÁ

2019

BRUNO MORAES MONTEIRO
JEFFERSON LUIZ SACRAMENTO DE SOUSA JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO ANATÔMICO TRIDIMENSIONAL DE
SISTEMA VENTRICULAR ENCEFÁLICO PELO MÉTODO DE MANUFATURA
ADITIVA POR IMPRESSÃO 3D**

Trabalho de Conclusão de Curso
Apresentado ao Centro Universitário do
Estado do Pará como requisito obrigatório
para obtenção do bacharelado em
Medicina, sob orientação do Prof. MSc
Wellington Pinheiro de Oliveira e co-
orientação do Prof. Dr. Cláudio Eduardo
Correa Teixeira.

BELÉM – PARÁ

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
Biblioteca do Cesupa, Belém – PA

Monteiro, Bruno Moraes.

Desenvolvimento de modelo anatômico tridimensional de sistema ventricular encefálico pelo método de manufatura aditiva por impressão 3D / Bruno Moraes Monteiro, Jefferson Luiz Sacramento de Sousa Júnior; orientador Wellington Pinheiro de Oliveira, co-orientação de Cláudio Eduardo Correa Teixeira. – 2019.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário do Estado do Pará, Medicina, Belém, 2019.

1. Medicina – Estudo e ensino. 2. Impressão 3D. 3. Anatomia. I. Sousa Júnior, Jefferson Luz Sacramento de. II. Oliveira, Wellington Pinheiro de, *orient.* III. Teixeira, Cláudio Eduardo Correa, *coorient.* IV. Título.

Dedicamos este trabalho às nossas famílias, pois um homem que não se dedica à família jamais será um homem de verdade.

AGRADECIMENTOS

Ao concluir mais esta etapa percebo que sou eternamente grato a Deus, que sempre iluminou meus pensamentos e guiou meus passos. À minha mãe Lindalva que nunca descansou, sempre resistiu e lutou com pura fibra, inclusive nos momentos mais delicados de nossas vidas para que eu tivesse a melhor formação moral e acadêmica possível. Sou grato também ao pai João Pedro que me proporcionou momentos felizes de lazer e sempre financiou boas escolas para minha formação. Aos meus tios Ricardo, Liana, Marcelo e Luciana que contribuíram com a gentileza e paciência em serem meus fiadores, além de todo o amor que me foi dado. Grato ao meu irmão Pedro, que sempre dividiu das mesmas dores emocionais e dificuldades enfrentadas por mim, lembrando-me que eu nunca estava sozinho. Por fim, sou muito grato a Bárbara, que sempre me ouviu, incentivou e alegrou durante todos esses dias. Sem eles, nada disso seria possível. Da matrícula na faculdade até o presente momento muita coisa aconteceu, precisei me conhecer, reinventar-me e, sobretudo, entregar-me a esse estilo de vida que é a medicina. Muito mais que uma profissão, ser médico me fez conhecer a dor, a dúvida e a indignação, da mesma forma que me ensinou, na prática, o que é acalantar, estar convicto e o que é o sossego. Como toda grande jornada, tudo se inicia com o primeiro passo, a partir de agora, mais do que nunca, peço a Deus sabedoria, humildade e foco para exercer com excelência o que me foi ensinado – a arte de cuidar de pessoas.

(Bruno Moraes Monteiro)

No encerramento deste ciclo, agradeço primeiramente à Deus por me fornecer a força e sabedoria necessárias ao longo do árduo caminho percorrido. Aos meus pais, Jefferson e Ângela, por todo o suporte e confiança. Aos meus avós (*in memoriam*) pelo carinho em vida e esperança na realização deste sonho. Às minhas amadas tias Fátima, Lourdes, Carmem, Trindade, Terezinha, pelo amor materno e cuidado durante toda minha vida. À minha amada Thaiza, pelo companheirismo, afeto e resiliência ao longo desses 6 anos, sempre disposta a me ouvir e auxiliar, além de mostrar que a distância é um mero acaso geográfico. À minha amada filha Luna, por nunca me fazer esquecer o porquê de estar longe e sempre me lembrar qual o maior motivo de voltar para casa. Aos meus amigos de Macapá, irmãos que a vida me deu, sempre dispostos a ajudar e incentivar. Aos meus amigos de Belém, presentes que a

Medicina me deu, em especial, meu amigo Leonardo Magalhães, pelo forte laço construído ao longo do internato e por todo o auxílio na realização deste trabalho. Por fim, agradeço profundamente ao Prof. Wellington Oliveira pela disponibilidade e paciência, Prof. Cláudio Teixeira por sempre contribuir com ideias relevantes e ao Raphael Rocha, por ser nosso guia no mundo da Engenharia e Impressão 3D, sempre disposto a ajudar e ensinar. Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, todos foram de extrema importância, prova de que o ser humano sozinho não é nada. Peço agora a Deus, discernimento e sabedoria, para curar quando possível, mas sempre prover conforto e alívio no exercício desta bela profissão.

(Jefferson Luiz Sacramento de Sousa Junior)

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano”. (Isaac Newton)

RESUMO

O estudo da anatomia humana é comum a praticamente todas as escolas médicas. Atualmente, essa disciplina tem passado por reformulações a fim de tornar este conteúdo mais alinhado à prática médica, despertando maior interesse dos alunos. A impressão por meio de manufatura aditiva de peças anatômicas em 3D tem se mostrado uma possibilidade para esta realidade. Além de ser novidade ainda no meio médico acadêmico, a modelagem em impressão 3D abre um leque de oportunidades na produção de novos modelos, incluindo os patológicos, para maior acervo técnico e didático nas aulas de anatomia humana, garantindo um baixo custo. Esta pesquisa teve como objetivo criar peças anatômicas por meio de manufatura aditiva por impressão 3D do sistema de ventrículos encefálicos. As peças foram selecionadas e trabalhadas em softwares gratuitos e de domínio público, produzidas por impressora 3D pelos próprios autores, traduzidas para um formato em que seja possível a sua utilização nas aulas de anatomia humana. Foram impressas 4 peças anatômicas em 3D do sistema de ventrículos encefálicos, sendo uma referente aos ventrículos encefálicos anatômicos, uma segunda simulando estas estruturas acometidas pela microcefalia, uma terceira semelhante, mas demonstrando o acometimento por hidrocefalia e, por fim, uma quarta peça, toda desarticulada, dos ventrículos anatômicos para melhor demonstração da criação das peças. Ao final da pesquisa, foi possível confeccionar peças por meio de impressora 3D com alto grau de semelhança aos modelos reais, respeitando as escalas de tamanho e domínios anatômicos e patológicos evidenciados em tomografia computadorizada e ressonância magnética, para as patologias hidrocefalia e microcefalia e sua configuração anatômica padrão.

Palavras-Chaves: Ventrículos Encefálicos; Impressão em 3D; Anatomia; Educação Médica.

ABSTRACT

The study of human anatomy is common to practically every medical school. Currently, this discipline has undergone reformulations in order to make this content more profitable, raising students' interest better. The impression by means of additive manufacture of anatomical pieces in 3D has been shown a possibility for this reality. In addition to being a novelty in the medical academic environment, 3D printing modeling opens up a range of opportunities in the production of new models, including pathological ones, for a greater technical and didactic collection in human anatomy classes, guaranteeing a low cost. This research aimed to create anatomical parts by means of additive manufacture by 3D printing of the brain ventricle system. The pieces were selected and worked on public domain software, produced by the 3D printer by the authors themselves, translated into a format in which it is possible to use them in human anatomy classes. Four anatomical pieces were printed in 3D of the brain ventricle system, one of them being the anatomical encephalic ventricles, a second one simulating these structures affected by microcephaly, a third similar, but demonstrating the involvement by hydrocephalus and, finally, a fourth piece, all disassembled anatomical ventricles for better demonstration of the creation of the pieces. At the end of this research, it was possible to make pieces using a 3D printer with a high degree of resemblance to the real models, respecting the anatomical and pathological size scales and anatomical and pathological domains evidenced in computed tomography and magnetic resonance, for hydrocephalus and microcephaly pathologies and their configuration anatomical pattern.

Key-Words: Brain Ventricles; 3D Printing; Anatomy; Medical Education.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
2. OBJETIVOS	20
2.1. Objetivo Geral	20
2.2. Objetivos Específicos	20
3. METODOLOGIA	21
4. RESULTADOS	26
5. DISCUSSÃO	37
6. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXOS / APÊNDICES	48

1 INTRODUÇÃO

A Anatomia tem os seus primeiros relatos desde o início da civilização, quando o homem pré-histórico passou a observar nos animais a sua volta as várias diferenças na constituição de seus corpos. Com isso, passou a registrar nas paredes das cavernas e fazer esculturas, até que da simples observação passou a dissecação¹.

A busca pelo conhecimento do corpo humano surgiu da necessidade e desejo de preservação do corpo com o intuito de superar a morte, sendo os egípcios os pioneiros no conceito de conservação do corpo através da mumificação. Acreditando-se que os mortos continuariam vivos no túmulo, foi através dessa técnica de mais de 5.000 anos que foi possível desenvolver os primeiros estudos anatômicos das doenças, constituindo passo fundamental para o avanço do conhecimento da anatomia humana¹.

A anatomia humana (AH) é disciplina fundamental para a área da saúde, especialmente no ensino médico. Consiste em uma das ciências médicas mais antigas, voltada para o estudo das estruturas do corpo e suas respectivas funções. No período medieval seu ensino era baseado na dissecação de animais e em manuscritos oriundos da Grécia e Itália. Posteriormente, com o advento da impressão, livros de anatomia provenientes da Itália e França foram impressos e começaram a mudar sua forma de ensino. A dissecação passou a ser feita em corpos de presos condenados à morte, inclusive, em locais públicos. A partir da criação de hospitais de caridade, a dissecação passou a ser realizada em cadáveres oriundos dessas instituições. Desde a antiguidade, porém, já havia a dificuldade em conseguir a quantidade de cadáveres necessária para estudo².

O estudo da AH, como um dos pilares do ensino médico, fornece subsídios para um exame físico e história clínica direcionadas e consistentes, além da correta interpretação de exames de imagem. Diante disso, é fundamental assegurar que o ensino anatômico seja proveitoso, independente da metodologia utilizada, sejam aulas expositivas, práticas com cadáveres, com modelos anatômicos, entre outras. Sem, é claro, deixar de levar em consideração as dificuldades dos alunos, com relação ao tamanho de órgãos, a terminologia anatômica, escassez de cadáveres e peças inadequadas, alguns dos motivos pelos quais se deve impulsionar a busca de metodologias alternativas².

Em relação a Neuroanatomia não é diferente. O ensino desta disciplina passou por diversas mudanças ao longo da história. Nos anos 1980, foi proposta uma reforma no treinamento médico por pesquisadores da área anatômica com objetivo de integrar e dirigir o estudo para o doente, criticando principalmente o aprendizado por memorização e falhas nos processos de associação entre aspectos básicos e clínicos. O aprendizado baseado na discussão de casos clínicos foi uma inovação, o que acabou resultando na redução do tempo dedicado ao ensino da anatomia em si. Nessa mesma época, a introdução da computação e da informática médica começou a ocupar o grande espaço anteriormente preenchido pelo cadáver e dissecação³.

Nos anos 1990, ocorreu uma lenta mudança nos currículos médicos, passando de uma abordagem convencional baseada no indivíduo, para uma abordagem integrada e multidisciplinar, incluindo não apenas fatos e princípios aplicados ao corpo humano, mas também aqueles relacionados ao comportamento e aos aspectos sociais relacionados ao processo de saúde e doença. Atualmente, novas reformas estão em curso, na tentativa de reduzir ainda mais o tempo de horas em laboratório e dissecação semanal, e aumentar a integração entre ciência básica e clínica nos anos iniciais da formação médica, além da utilização dos avanços eletrônicos e tecnológicos disponíveis. Essa mudança das disciplinas tradicionais, de aulas teóricas para o ensino interdisciplinar, em grupo e baseado na resolução de problemas e casos clínicos, reduziram ainda mais o tempo dedicado ao estudo da anatomia e dissecação³.

Nos últimos anos, programas multimídia para anatomia foram desenvolvidos visando facilitar o aprendizado e servir de suporte ao ensino tradicional da anatomia. Essas ferramentas permitem aos estudantes rever o conteúdo de maneira interativa, contribuindo para um aprendizado ativo e colaborativo. Pesquisas tem comprovado que o estudo da anatomia através de atlas computadorizados bidimensionais associado ao método tradicional com livros-texto e peças naturais é mais eficiente do que o método tradicional isolado³.

Ao longo dos anos, os métodos de ensino da anatomia passaram da simples observação à dissecação de cadáveres e atualmente busca o aprendizado assistido por computadores. O alto custo para manutenção de um laboratório com cadáveres e questões legais e culturais tem contribuído para a maior utilização de recursos multimídia e computacionais em detrimento da dissecação em cadáveres³.

Paralelamente a isso, o avanço da tecnologia por impressão 3D (Três Dimensões) na medicina tem proporcionado muitos benefícios, desde a customização e personalização de produtos médicos, até medicamentos e equipamentos que podem ser utilizados tanto na prática médica quanto no ensino. Como exemplo, pode-se citar a importante vertente do *Bioprinting*, campo da engenharia de tecidos que permite projetar e fabricar dispositivos biomédicos complexos, mas também voltada ao ensino médico, com a criação de simuladores e modelos anatômicos para o treinamento em Neurocirurgia e estudo anatômico^{4,5}.

A tecnologia de impressão 3D (Três Dimensões) cresceu de forma exponencial nos últimos anos. Seu método de produção deu novo enfoque sobre o processo criativo em diversos nichos, desde a medicina, educação e até mesmo indústria automotiva, engenharia civil, entretenimento, ciência e tecnologia. O processo de produção de objetos através da impressão 3D materializou uma tecnologia que até então estava apenas restrita ao campo das ideias. Hoje conhecida como fabricação de aditivos, essa tecnologia acelerou processos de prototipagem seja para indústria ou para produção de itens personalizados para comércio, com a possibilidade de produzir desde itens mais simples, como engrenagens e peças de automóveis até próteses e órteses para uso em medicina⁶.

Em diversos países, o crescimento na venda de impressoras 3D e o incremento das pesquisas na área demonstra a necessidade de conhecimento técnico acerca do processo de funcionamento e configuração desses aparelhos afim de corresponder a essa nova demanda do mercado. Diferentemente dos Estados Unidos da América (EUA), onde esse conhecimento é mais difundido em instituições de ensino, o Brasil ainda caminha na construção desse conhecimento sobre o funcionamento de impressoras 3D e sua inserção final no mercado e na vida de pessoas comuns⁶.

As vantagens do uso dessa tecnologia são diversas, por exemplo, a diminuição do custo de produção devido ao uso de materiais mais baratos como matéria-prima para impressão, a redução do tempo gasto no processo de prototipagem de um produto, por conta da maior facilidade em constatar nos modelos tridimensionais, o que pode ou não ser implementado. Além disso, se torna cada vez mais fácil a aquisição de conteúdo digital para fins didáticos na internet, como animações sobre fisiologia humana e procedimentos cirúrgicos e até mesmo modelos tridimensionais estáticos para estudo anatômico. E sua aplicabilidade estende-se até

o uso de novas tecnologias como o escaneamento tridimensional, vertente que tem sido importante para várias especialidades médicas, dentre as quais a traumatologia e ortopedia, que analisa e investiga as fraturas ósseas possibilitando uma visualização mais precisa e um planejamento cirúrgico mais efetivo⁷.

Seguindo a linha da inovação de recursos educacionais para a formação e atualização médica, a modernização de recursos tecnológicos que vem ocorrendo de forma acelerada, agrega além da computação gráfica em 3D de alta qualidade, objetos digitais em sistemas computacionais, realidade virtual, jogos interativos e impressoras 3D. Embora resultem de pesquisas realizadas desde o final da década de 1980, foi recentemente que essas tecnologias sofreram substancial melhoria na qualidade e redução dos seus custos de produção, fato que tem possibilitado sua popularização⁸.

Um grande exemplo de inovação e aplicabilidade dessas tecnologias na educação médica é o Projeto Homem Virtual, desenvolvido na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), que visa atrelar o uso da comunicação gráfica em 3D em associação com recursos dinâmicos para gerar produções intelectuais específicas baseadas em literaturas científicas e experiências profissionais. Sendo uma de suas grandes características a possibilidade de concentrar grandes quantidades de conteúdo científico em uma sequência de curtos vídeos capazes de transmitir as informações de forma organizada e fluida, dessa forma possibilitam ao professor economizar 70% do tempo durante o ensino-aprendizagem em anatomia, fisiologia, fisiopatologia, dentre outras áreas⁸.

Essa ferramenta possibilita ao professor maior tempo de interação com os alunos, visando desenvolver neles maior capacidade de observação, análise crítica, raciocínio, além de contextualização prática dos assuntos abordados. Além disso, por ser inteiramente digital, o acervo pode ser disponibilizado pela internet e, assim, acessado e reproduzido em qualquer ponto do país e do mundo, seja através de impressoras 3D, aplicativos interativos, e até mesmo aplicativos de realidade virtual ou aumentada⁸.

Outro projeto que merece destaque foi desenvolvido na Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde (FCMS) da PUC – SP com o objetivo de criar modelos 3D de peças embriológicas do sistema nervoso central humano em diferentes estágios de desenvolvimento para auxiliar o aprendizado dessas estruturas pelos alunos da graduação. A percepção da importância de um projeto com essa finalidade veio após

a observação de que, na maioria das vezes, os alunos optam por estudar decorando os processos e fazendo desenhos bidimensionais (2D), o que não condiz com o processo dinâmico da embriogênese humana além de não sedimentar o conhecimento a longo prazo⁹.

A compreensão do desenvolvimento embriológico humano é fundamental para a graduação e formação do profissional médico, pois possibilita a interpretação do desenvolvimento anatômico normal e suas correlações com as malformações congênitas, principalmente as relacionadas a embriogênese do sistema nervoso. Os modelos do estudo já foram produzidos e encontram-se em fase final de testes para aplicação durante as aulas, em seguida questionários serão aplicados aos alunos para avaliar o grau de satisfação com a metodologia utilizada e o conhecimento adquirido em comparação com o ensino tradicional sem os modelos⁹.

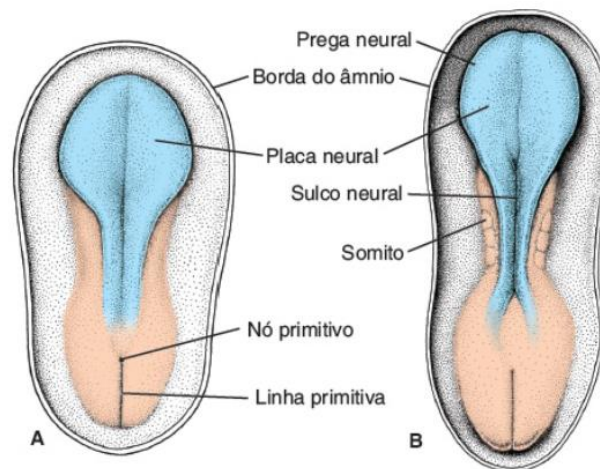
A importância do reconhecimento anatômico de estruturas encefálicas reflete-se nas pesquisas que estudam doenças de grande relevância clínica para a saúde pública. Recentemente houve um surto de microcefalia no nordeste do Brasil, no qual a infecção pelo vírus Zika foi definida como responsável por esta má formação que acarreta graves sequelas. Além disso, a hidrocefalia é outra patologia que acomete os ventrículos encefálicos, fortemente relacionada com infecções congênitas durante a gestação. Em virtude disso, é fundamental o conhecimento não somente da embriologia do Sistema Ventricular, mas também sua anatomia e correlação com patologias como a microcefalia e hidrocefalia⁹.

O sistema ventricular encefálico humano consiste em uma série de espaços virtuais conectados entre si, que são preenchidos por líquido cefalorraquidiano (LCR). Esse sistema é formado por dois ventrículos laterais, o terceiro ventrículo e o quarto ventrículo, os quais são conectados por pequenos forames e por canais maiores¹⁰.

Os forames interventriculares ou de Monro, conectam os ventrículos laterais ao terceiro ventrículo. O terceiro ventrículo está ligado ao quarto ventrículo através de um canal denominado aqueduto de Sylvius ou aqueduto Mesencefálico, até o quarto ventrículo, que se alonga para formar o canal central ao longo da medula espinhal, também preenchido por LCR. Os ventrículos fornecem um caminho para a circulação do LCR em todo o sistema nervoso central (SNC). Esse fluido tem por função não só proteger as estruturas encefálicas e a medula espinhal de traumas, mas também fornecer nutrientes para o funcionamento do SNC¹⁰.

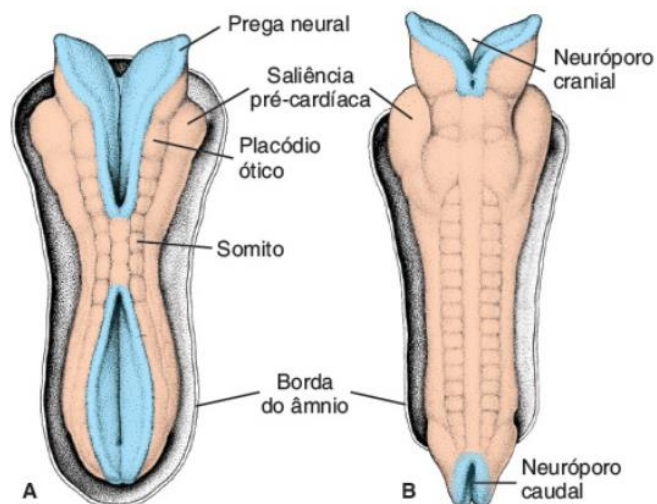
Para compreender melhor essas estruturas, é importante que se conheça seu processo de formação embriológica. O SNC surge no começo da terceira semana de gestação como uma placa de ectoderma espesso, chamada placa neural. Em pouco tempo, suas bordas laterais se elevam e formam as pregas neurais. Com o desenvolvimento embrionário, as pregas neurais continuam a se elevar até ficarem próximas umas das outras na linha média, formando, assim, o tubo neural, como evidenciado nas Figuras 1 e 2 ¹¹.

Figura 1 – Embriões 18 dias (A) e 20 dias (B) de gestação.



Fonte: Langman (2016).

Figura 2 – Embriões 22 dias (A) e 23 dias (B) de gestação.



Fonte: Langman (2016).

A extremidade cefálica do tubo neural apresenta três dilatações, conhecidas por vesículas encefálicas primárias. São elas: prosencéfalo, mesencéfalo e o rombencéfalo. Após 5 semanas, as vesículas cerebrais primárias se diferenciam

em 5 vesículas secundárias, sendo estas: telencéfalo e o diencéfalo, o mesencéfalo permanece, e o rombencéfalo dá origem ao metencéfalo e o mielencéfalo. Cada uma dessas novas vesículas dará origem a uma parte diferente do encéfalo. Dessa forma, o telencéfalo formará os hemisférios cerebrais; o diencéfalo formará a vesícula óptica, tálamo, hipotálamo e glândula hipófise; o mesencéfalo dará origem aos colículos anterior (visual) e posterior (auditivo); o metencéfalo originará o cerebelo e ponte e, por fim, o mielencéfalo dará lugar ao bulbo¹¹.

O lúmen da medula espinhal, conhecido por canal central, é comunicado com o lúmen das vesículas encefálicas. Sendo assim, a cavidade do rombencéfalo corresponde ao quarto ventrículo, a do diencéfalo ao terceiro ventrículo, e a dos hemisférios cerebrais aos ventrículos laterais. O lúmen do mesencéfalo conecta o terceiro e quarto ventrículos, formando o aqueduto de *Sylvius*, evidenciado na Figura 3. Por fim, cada ventrículo lateral se comunica com o terceiro ventrículo por meio do forame interventricular de Monro¹¹.

Figura 3 – Encéfalo no 32º dia de gestação.



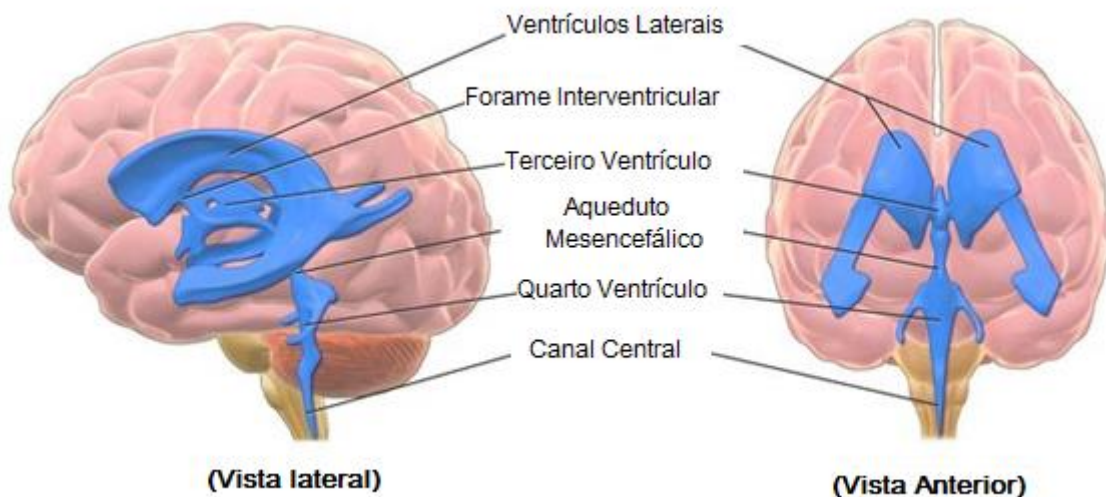
Fonte: Langman (2016).

Conhecido o processo de formação embriológica dos ventrículos encefálicos, é importante entender sua composição e distribuição que acontecem de maneira diferente. Os ventrículos laterais, compostos por dois ventrículos, um em cada hemisfério cerebral, são os maiores e possuem extensões que se assemelham

a chifres. Eles se estendem através de todos os quatro lobos do córtex cerebral, com sua área central sob os lobos parietais conectando-se ao terceiro ventrículo através dos forames interventriculares¹².

O terceiro ventrículo está localizado no diencéfalo, medialmente ao tálamo e abriga parte do plexo coroide, responsável pela produção do LCR. É conectado ao quarto ventrículo por meio do aqueduto que se estende através do mesencéfalo cujas conexões permitem que o LCR flua por meio deles. O quarto ventrículo está localizado no tronco cerebral, posterior à ponte e ao bulbo, estando contínuo ao aqueduto cerebral e ao canal central da medula espinal, conforme observado na Figura 4. Possui íntima conexão com o espaço subaracnóideo, um espaço virtual entre a aracnoide e a pia-máter. Sua conexão com as meninges e o canal central permite que o LCR circule pelo SNC¹³.

Figura 4 – Sistema ventricular encefálico.



Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:2199907>

O líquido cefalorraquidiano é uma substância aquosa clara que é produzida pelo plexo coroide, uma rede de capilares e tecido epitelial especializado chamado epêndima. É encontrado na pia-máter das meninges e produzido pelas células endimárias que filtram o sangue. Além de produzir o LCR, o plexo coroide junto da

membrana aracnoide formam a barreira Hematoencefálica a qual protege o encéfalo contra substâncias nocivas no sangue. O LCR é produzido e reabsorvido, no sistema venoso, quase na mesma proporção para evitar variações bruscas na pressão intracraniana. O fluxo do LCR através dos ventrículos é proveniente da pressão hidrostática, do movimento dos cílios das células endoteliais e das pulsações das artérias¹⁴.

Esse sistema também pode ser acometido por patologias, como a ventriculite e a hidrocefalia, condições que impedem o seu funcionamento normal. A ventriculite é uma inflamação dos ventrículos normalmente em decorrência de uma infecção viral ou bacteriana, sendo mais comumente observada em indivíduos submetidos a neurocirurgias invasivas. Já a hidrocefalia é produto do acúmulo excessivo de LCR no cérebro e esse excesso de fluido promove o alargamento dos ventrículos e pressão sobre o cérebro, além de bloquear e estreitar as conexões ventriculares¹⁵.

O termo hidrocefalia vem do grego e significa “água na cabeça”. Não se caracteriza como uma doença específica, mas sim como um grupo de diversos distúrbios, que resultam em comprometimento da circulação e absorção do LCR ou aumento de sua produção. Dentre os fatores etiológicos estão a teratogênese, má nutrição materna, estenose do aqueduto mesencefálico, cistos benignos, tumores congênitos, anomalias vasculares e doenças como toxoplasmose, rubéola, citomegalovírus, sífilis, poliomielite e hepatites infecciosas, além de fatores genéticos como a hidrocefalia ligada ao cromossomo X. As hidrocefalias adquiridas podem ter como causa a meningite, traumas e hemorragia subaracnóidea¹⁶.

Pode-se suspeitar de hidrocefalia se a criança apresentar as fontanelas tensas, aumento rápido do perímetro cefálico, sinal do sol poente (quando a criança parece olhar somente para baixo), irritabilidade, letargia, convulsões. As manifestações clínicas dependem do grau de obstrução liquórica, da capacidade de absorção e do tempo de evolução. A macrocefalia é o sinal mais importante nos recém-nascidos (RN) e lactentes, logo, é fundamental as medidas repetidas do perímetro cefálico, em todas as consultas pelo menos até os dois anos de idade. Se não for tratada adequadamente, a hidrocefalia pode provocar grave retardo mental por compressão do tecido cerebral pelo LCR contra a calota craniana causando danos irreparáveis¹⁶.

A hidrocefalia pode ser tratada de forma transitória ou definitiva, através de condutas invasivas e não invasivas, sendo utilizadas drogas com a finalidade de inibir a produção de líquido ou estimular sua absorção, a Acetazolamida e a Furosemida são exemplos. Como medida provisória podem ser utilizados os diuréticos osmóticos como o Manitol, porém, são ineficientes nas hidrocefalias de grande volume, além de apresentarem diversos efeitos colaterais como o efeito rebote (hipernatremia e desidratação). Os corticoides como a Dexametasona e a Metilprednisolona também podem ser utilizados auxiliando na redução da resposta inflamatória e reabsorção de líquido. Punções lombares seriadas são úteis no alívio da pressão intracraniana (PIC), redução de proteínas e sangue no LCR e prevenção da formação de fibrina, porém, podem complicar com meningite, osteomielite e hipernatremia¹⁷.

Uma alternativa seria a realização de uma Ventriculostomia com implante de um cateter interno ou externo, principalmente na impossibilidade provisória de uma derivação permanente, infecções, hematomas intracranianos, convulsões e deslocamento de cateter são suas principais complicações. O tratamento definitivo pode ser através da remoção de processos obstrutivos ou implante de derivações extracranianas (peritoneais, atriais), sendo a derivação peritoneal a mais utilizada, na qual o LCR é drenado através de um sistema com válvula unidirecional para a cavidade peritoneal onde será absorvido. A derivação atrial é mais complexa, com menor incidência de complicações, porém de maior gravidade, como trombose venosa, endocardite e septicemia¹⁷.

Outra patologia que acomete os ventrículos encefálicos e distorce sua anatomia é a microcefalia, com origem em anomalias congênitas ou após o parto. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a microcefalia é caracterizada pela medida do crânio realizada, pelo menos 24 horas após o nascimento e dentro da primeira semana de vida (até 6 dias e 23 horas), por meio de técnica e equipamentos padronizados, em que o perímetro cefálico (PC) apresente medida inferior a menos dois (-2) desvios-padrões da média específica para sexo e idade gestacional. Além disso, a OMS considera que a medida inferior a menos três (-3) desvios-padrões é definida como microcefalia grave. Em alguns casos, considera-se que crianças com microcefalia possam apresentar alterações no desenvolvimento e na arquitetura cerebral¹⁸.

A microcefalia, possui etiologia complexa e multifatorial, envolvendo fatores genéticos e ambientais. Dentre eles: infecções congênitas ("TORCHS", Zika),

teratógenos, traumas vasculares, meningites, encefalites, encefalopatia pelo HIV, intoxicação por cobre e falência renal crônica. A identificação da microcefalia se dá pela medição do PC durante a antropometria do RN em sala de parto e em todas as consultas de puericultura, pelo menos até os dois anos de idade, sendo os valores registrados em gráfico de crescimento craniano para construção da curva de cada criança e comparação com valores de referência. Mudanças súbitas no padrão de crescimento e valores anormalmente pequenos para a idade e o peso (menor que dois desvios-padrões) devem ser investigados. A relação entre microcefalia, associada ou não a alterações do sistema nervoso central (SNC), e a infecção pelo Vírus Zika na gestação está sendo descrita pela primeira vez na história, com base no surto ocorrido no Brasil¹⁸.

Diante do exposto, nota-se que o avanço tecnológico das últimas décadas tem se mostrado fundamental no ensino e na prática médica. O desenvolvimento de aplicativos, softwares, plataformas de ensino e pesquisa, tem se consolidado como ferramentas de auxílio ao médico e demais profissionais da área da saúde. Nesse contexto, a elaboração de modelos anatômicos tridimensionais dos ventrículos cerebrais através da manufatura aditiva por impressão 3D, ganha fundamental importância para o ensino e aprendizado dos alunos, inaugurando um universo de novas possibilidades de estudo, haja vista que os ventrículos são espaços virtuais ensinados apenas através de modelos bidimensionais ou meramente descritos em textos e imagens. Essa perspectiva também se aplica aos modelos patológicos que simulam Hidrocefalia e Microcefalia, constituindo ferramentas para o estudo das alterações ocasionadas por essas doenças. Diante disso, sugere-se que os modelos anatômicos tridimensionais certamente terão impacto positivo importante no ensino-aprendizagem da anatomia humana.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

Confeccionar modelos anatômicos e patológicos tridimensionais dos ventrículos encefálicos pelo método de manufatura aditiva por impressão 3D.

2.2. Específicos

✓ Selecionar um modelo anatômico tridimensional virtual referente aos ventrículos encefálicos a partir de plataformas abertas de impressão 3D.

✓ Produzir uma peça anatômica tridimensional dos ventrículos encefálicos por meio da impressão 3D.

✓ Desenvolver modelos patológicos tridimensionais referentes aos ventrículos encefálicos como de Hidrocefalia e Microcefalia, pela modelagem orgânica computadorizada.

✓ Produzir modelos patológicos tridimensionais referentes aos ventrículos encefálicos de Hidrocefalia e Microcefalia, por meio da impressão 3D.

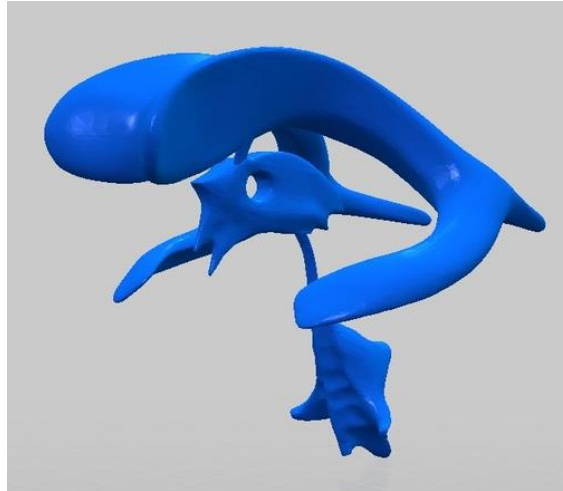
3 MÉTODO

Para a produção das peças impressas em 3D foram necessárias algumas etapas. Tudo se iniciou pela busca ativa do modelo que se pretendia imprimir. Após isso, o modelo foi transferido para o *software* de modelagem para que fosse feita a adaptação necessária ao respectivo projeto. Posteriormente o arquivo foi transferido para o *software* que executou as funções da impressora fazendo a impressão propriamente dita e, por fim, fez-se o acabamento da peça, resumindo em 4 etapas o processo.

Este trabalho teve por base a busca de imagens de estruturas do Sistema Nervoso Central, em bancos de dados na internet, que possuísem representações no formato STL (*Stereolithography*) e que se adequassem aos objetivos do projeto. Durante o processo de busca ativa foram encontradas diversas imagens do cérebro de maneira genérica, dentre outras partes do corpo humano, como estruturas mais específicas, a exemplo o polígono de Wyllis, e finalmente o próprio sistema ventricular.

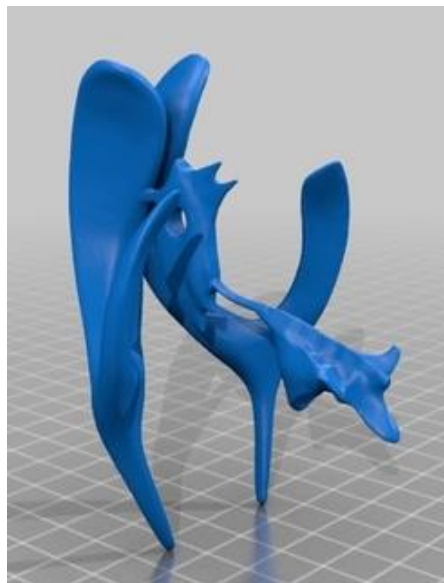
Para a produção do modelo, foi utilizado como referência um arquivo extraído da internet, especificamente, do banco de arquivos para impressão chamado *Thingiverse*, demonstrado nas figuras 5 e 6. Esta é a primeira etapa, nela é preciso se atentar para a busca de uma imagem sem ruídos ou falhas, a fim de se obter maior êxito durante o processo de impressão, além de verificar se o tamanho e os cortes nos planos são comportados pela área de impressão da impressora, o que pode variar dependendo do modelo de cada impressora 3D. Em seguida, o modelo encontrado foi trabalhado com técnicas de modelagem orgânica digital por meio do *software Zbrush*, para a maior acurácia dos ventrículos impressos com os modelos que retratam o sistema ventricular encefálico normal e aquele acometido pela microcefalia e hidrocefalia, concluindo a segunda etapa. O serviço de modelagem orgânica foi realizado com o apoio de um profissional habilitado em modelagem tridimensional anatômica.

Figura 5 – Vista lateral do sistema ventricular.



Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:2199907>

Figura 6 – Vista inferior-oblínua do sist. Ventricular.



Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:2199907>

As modificações dimensionais realizadas foram baseadas em imagens de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética, de domínio público, encontradas na internet na qual se observa aumento ou diminuição predominante nos ventrículos laterais, porém com comprometimento estrutural de todo o sistema ventricular.

A terceira e mais trabalhosa etapa consistiu na busca de subsídios para manuseio da impressora 3D, incluindo o entendimento sobre o funcionamento do processo de impressão de qualquer objeto (dos mais simples como um cubo e até os mais complexos como um pequeno barco). O processo de produção das peças anatômicas parte do princípio básico de funcionamento da impressora 3D (*Fused Deposition Modeling* – FDM) que consiste no aquecimento e extrusão de polímeros (filamentos termoplásticos) por meio de sobreposição camada por camada do plástico aquecido sobre uma mesa/plataforma aquecida, para que haja melhor fixação da peça durante a impressão. Todos esses componentes já fazem parte da impressora.

Antes de executar o processo de impressão em si, é necessário realizar um pré-processamento que consiste no fatiamento de um modelo 3D por meio de *softwares* que calculam a quantidade de material a ser utilizado, método de fatiamento e tempo de produção.

A produção se faz pela movimentação dos eixos da impressora simultaneamente a extrusão do termoplástico, camada por camada, que se unem para formar a peça. No momento da extrusão, o bico ejetor – extrusor – fica à uma temperatura pré-estabelecida de 195°C e a mesa, sob a qual a extrusão do polímero é feita, fica em torno de 70°C. Essas temperaturas são todas determinadas e controladas em tempo real pelo software *Simplify 3D*. Nele também são feitos os ajustes de tamanho da peça, escolha do melhor ângulo sobre a mesa aquecida para manter a peça sempre estável durante a impressão, cria-se suportes (melhor citado posteriormente neste manuscrito) para maior fixação da peça sobre a mesa aquecida e é por meio dele que se acompanha cada segundo de produção, desde o histórico detalhado de cada procedimento executado até a parada de emergência da execução caso haja algum imprevisto, entendendo-se que todas as funções da impressora possam ser comandadas por ele. Vale lembrar que todos os comandos podem ser controlados manualmente também por meio do painel de controle próprio da impressora¹⁹.

Em relação ao acabamento – quarta etapa – trata-se da finalização da peça pós-impressão, dependendo da qualidade e do fatiamento. Pode envolver também utilização de produtos químicos, lixas e diferentes tipos de pintura visando melhorar a qualidade final da peça. No caso das peças produzidas para este trabalho não foi necessário nenhum acabamento específico²⁰.

Os materiais mais utilizados nessa tecnologia são filamentos de plástico: ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) e PLA (ácido polilático). Porém, não são os únicos, existem diversos outros materiais disponíveis variando em propriedades de preenchimento de madeira até materiais flexíveis e condutores²⁰.

Este trabalho foi produzido com PLA por meio de *Additive manufacturing*. Tal termo serve de forma genérica para representar diferentes tipos de tecnologia para impressão 3D. O Políácido Láctico é um polímero sintético termoplástico biocompatível e biodegradável que possui diversas utilidades, sendo utilizado para fabricação de dispositivos médicos, garrafas, copos, canetas, filamentos de impressão 3D dentre outros. É derivado de recursos renováveis, como amido de milho, raízes de mandioca ou cana de açúcar, e a título de comparação, um item feito de poliácido láctico leva de 6 meses a 2 anos para degradar-se no oceano enquanto que os plásticos convencionais levam de 500 a 1.000 anos²¹.

Embora degrade-se naturalmente quando exposto, o PLA, é muito resiliente quando usado em qualquer item impresso, brinquedos, peças mecânicas de uma impressora, etc, comparando-se, inclusive, com o ferro, nesse sentido. Se for exposto a umidade contínua torna-se inutilizável em curto prazo. No entanto, quando armazenado adequadamente, em temperatura ambiente e baixa umidade, sua durabilidade é indefinida²².

Sua exposição a temperaturas a partir de 60°C pode resultar em deformidades nos modelos, não sendo aconselhável manter em exposição direta ao sol. No entanto, as deformidades podem ser utilizadas para moldar os objetos após a impressão. Métodos utilizando vapor d'água e sopradores de ar quente podem servir para diversos tipos de acabamentos²³.

Visto que o objeto é em 3D, e tecnicamente fica flutuando sobre uma malha virtual em três dimensões no *software*, é preciso criar pontos de apoio – suportes, conectando toda a superfície do modelo à base, como evidenciado na figura 7. Os suportes foram gerados com um preenchimento – *infill* – de 0%, ficando quebradiços e fáceis de serem removidos após a impressão, diferente das peças propriamente ditas que foram feitas com preenchimento à 100%.

Figura 7 – Suportes.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

O tratamento final foi feito manualmente, necessitando apenas da retirada de fios residuais e dos suportes.

4 RESULTADOS

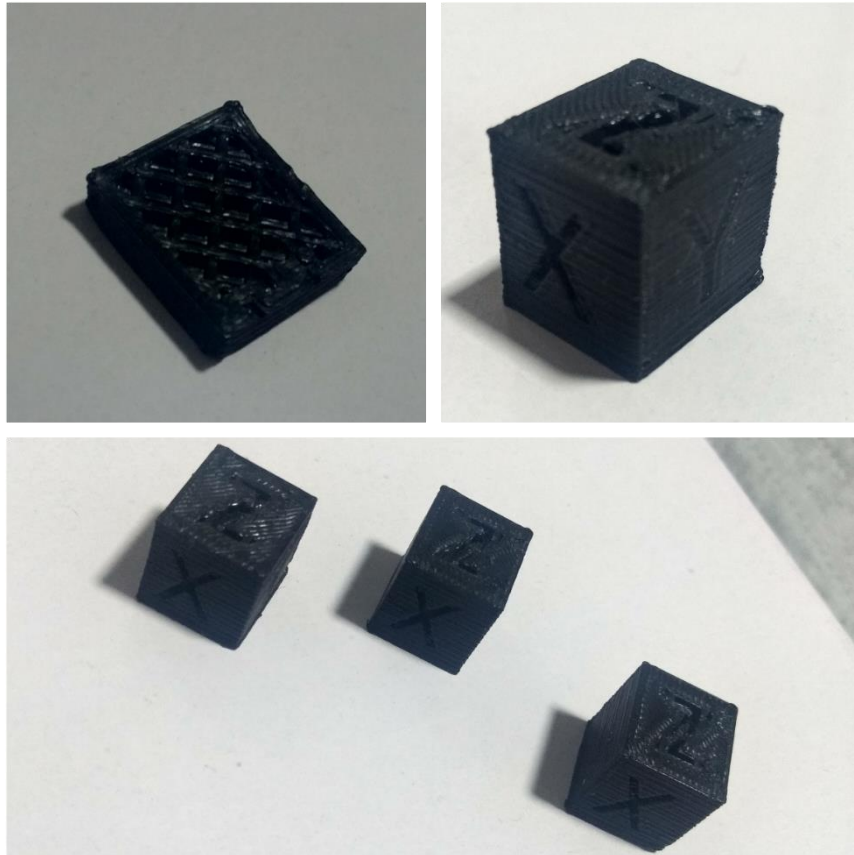
Foram produzidas 4 peças finais: uma de toda a estrutura ventricular sem comorbidades, em seu formato anatômico real, respeitando-se suas dimensões. Outra semelhante, embora desmontada, que será utilizada para manuseio e demonstração ao público, tornando mais fácil a explicação do processo de confecção aos alunos e demais interessados. Além disso, duas peças com deformidades e alteração de tamanho foram criadas para exemplificar, com a maior proximidade da realidade, como as patologias hidrocefalia e microcefalia atingem os ventrículos cerebrais.

Os modelos anatômicos produzidos foram de boa qualidade, uma vez que apresentam resistência ao que se propõem e fidedignidade às imagens computadorizadas. A impressão, porém, foi um processo delicado, por limitações inerentes a própria peça. Quanto menores as dimensões das estruturas a serem impressas, maiores são as dificuldades na impressão. Seja por falha no processo de preenchimento, variações na temperatura do bico, da mesa de impressão, ou derretimento da matéria-prima (o PLA).

Considerando a dificuldade em encontrar um modelo adequado aos objetivos, pode-se considerar o resultado satisfatório, visto que as peças ficaram semelhantes às estruturas anatômicas reais, incluindo as dos ventrículos acometidos pelas patologias já citadas logo nas primeiras três tentativas de cada peça diferente, divergindo do que se observa na maioria dos produtos de produção em série em que há muitas perdas e gastos iniciais até que se encontre a forma ideal. O acabamento das peças é fino, destacando cada detalhe dessas estruturas anatômicas, muito leves e compactas, fáceis de transportar e manusear, ótimas para serem utilizadas nas aulas do laboratório morfofuncional, por exemplo. Não foram necessários o uso de lixas ou quaisquer outros artifícios para o acabamento das peças. O material utilizado confere resistência à água, rigidez, porém com certa flexibilidade.

Para chegar a esse resultado final satisfatório, foram necessárias algumas tentativas com erros e acertos. A primeira peça a ser impressa foi um cubo simples para o treinamento dos autores sobre a manipulação do software *Simplify 3D*, como demonstrado na figura 8.

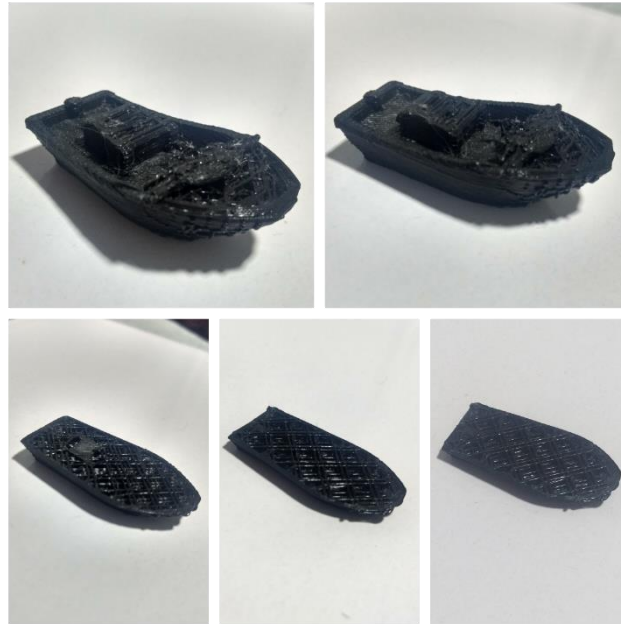
Figura 8 – Cubo fase de aprendizado.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Após o domínio das ferramentas básicas do software, houve um aprendizado de configurações mais avançadas, como determinar a temperatura ideal do extrusor e mesa, colocação de suporte e pontes. Para isso foi feita a tentativa de impressão de um barco, visto na figura 9, modelo este mais complexo que o cubo.

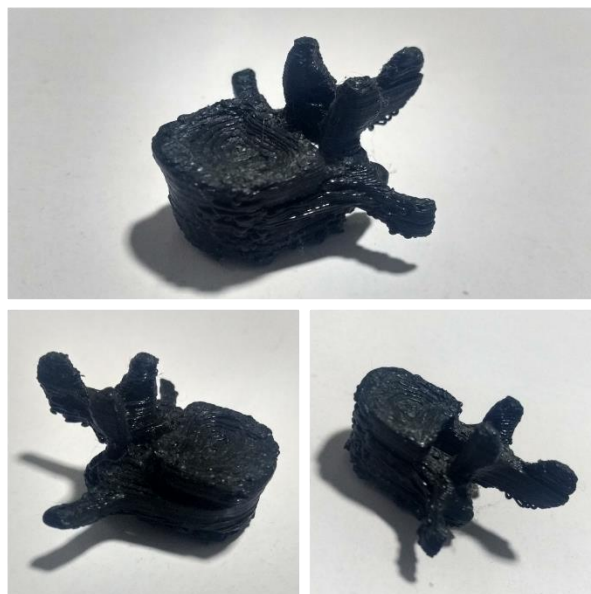
Figura 9 – Barco fase de aprendizado.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Com o entendimento das principais funções, a primeira peça de anatomia humana feita foi uma vértebra humana em dimensões reduzidas, observada na figura 10.

Figura 10 – “Vértebra fase de aprendizado”



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Por fim, iniciada a produção do sistema ventricular encefálico. O tempo de impressão de cada peça final foi em média de 4 horas, sendo de 3 horas do modelo

de ventrículo acometido por microcefalia (peça menor), 4 horas o modelo dos ventrículos anatômicos (peça média) e de 5 horas para a impressão do modelo dos ventrículos acometidos por hidrocefalia (peça maior).

Durante as tentativas, houve 1 erro com a produção da peça média devido a configuração dos suportes, uma vez que ainda se buscava a melhor configuração para a impressão da peça. 3 erros ocorreram com a impressão da peça menor devido a falta de energia elétrica e desconfiguração da impressora e 2 erros na impressão da peça maior por conta de correções do modelo. O tempo gasto com todas as tentativas frustradas foi de 10 horas.

Para que o modelo fosse impresso, foram necessárias estruturas de suporte, que são adicionadas nos próprios softwares de fatiamento e simulação, como citado anteriormente. Quanto maior a quantidade de suportes, maior o reforço estrutural do material impresso. Vale ressaltar que os suportes não comprometem em nada a fidedignidade das peças, pois são facilmente retirados após a impressão.

Contudo, devido ao cuidado em reproduzir peças o mais próximo possível da realidade, há também pontos de fragilidade. Locais em que a estrutura natural é delgada e delicada, como o aqueduto mesencefálico e o canal central, estão mais suscetíveis a danos caso haja um manuseio grosseiro.

O maior desafio foi justamente a criação dos modelos referentes aos ventrículos patológicos, uma vez que não existia nenhuma produção semelhante. De nada adiantaria aumentar ou diminuir os vetores e dimensões para simular o efeito da hidrocefalia e microcefalia, respectivamente. Caso fosse feito dessa maneira, teríamos 3 peças idênticas, mudando apenas o tamanho. Nesse ponto que o trabalho surpreendeu com seu resultado final, pois a partir do modelo ventricular anatômico e estudo de imagens de tomografia computadorizada e ressonância magnética de ventrículos com as patologias em questão, foi possível projetar por meio de modelagem orgânica digital um sistema ventricular aumentado, “túrgido” e robusto, assim como um menor, mais delgado e rústico, simulando com alto grau de semelhança os ventrículos doentes.

O resultado deste trabalho foi justamente a confecção de modelos anatômicos inéditos, ricos em detalhes, de fácil manuseio, baixo custo, fácil reprodução e ecologicamente viáveis por serem biodegradáveis. Diferentemente das peças anatômicas que são conhecidas pelo meio acadêmico, que exige importação, elevando o custo e dificultando a reposição.

O custo para a produção das peças foi bem justo, principalmente se tratando de instrumentos para educação médica. Cada peça consumiu entre 55 e 60 gramas (incluindo os suportes) de PLA, sendo que o valor de 1 quilo deste polímero custa R\$125,00. Logo, cada peça custou entre R\$6,87 e R\$7,50. A quantidade total gasta, em gramas, para a produção incluindo a fase erros foi de 420g, restando 580g para a confecção de novos modelos ou para a reposição desses. A melhor relação custo benefício já vista ao se tratar de modelos anatômicos tridimensionais de qualidade para educação e graduação médica, uma vez que o modelo semelhante vigente no mercado custa R\$726,00 cada um sem contar o valor referente ao frete, como evidenciado no site da *3B Scientific*, principal produtora destes artigos.

Dessa forma, é possível que a sua aplicabilidade prática seja de suma importância para o aprendizado, tanto das estruturas ventriculares quanto das patologias que deformam sua anatomia. Além de mostrar que é possível criar novas peças de qualidade para outros conteúdos que sofrem da mesma dificuldade em encontrar modelos anatômicos para estudo, como malformações cardíacas ou patologias de outros órgãos. Assim, nota-se a possibilidade de ser criado o próprio acervo da instituição para reposição de peças que venham a ser danificadas ou atualizadas.

As figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 demonstram o resultado das peças.

Figura 11 – Vista caudal do sist. Ventricular anatômico.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 12 – Vista lateral do sist. Ventricular anatômico.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 13 – Vista caudal do sist. Ventricular com hidrocefalia.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 14 – Vista lateral do sist. Ventricular com hidrocefalia.



Fonte: Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 15 – Vista caudal do sist. Ventricular com microcefalia.



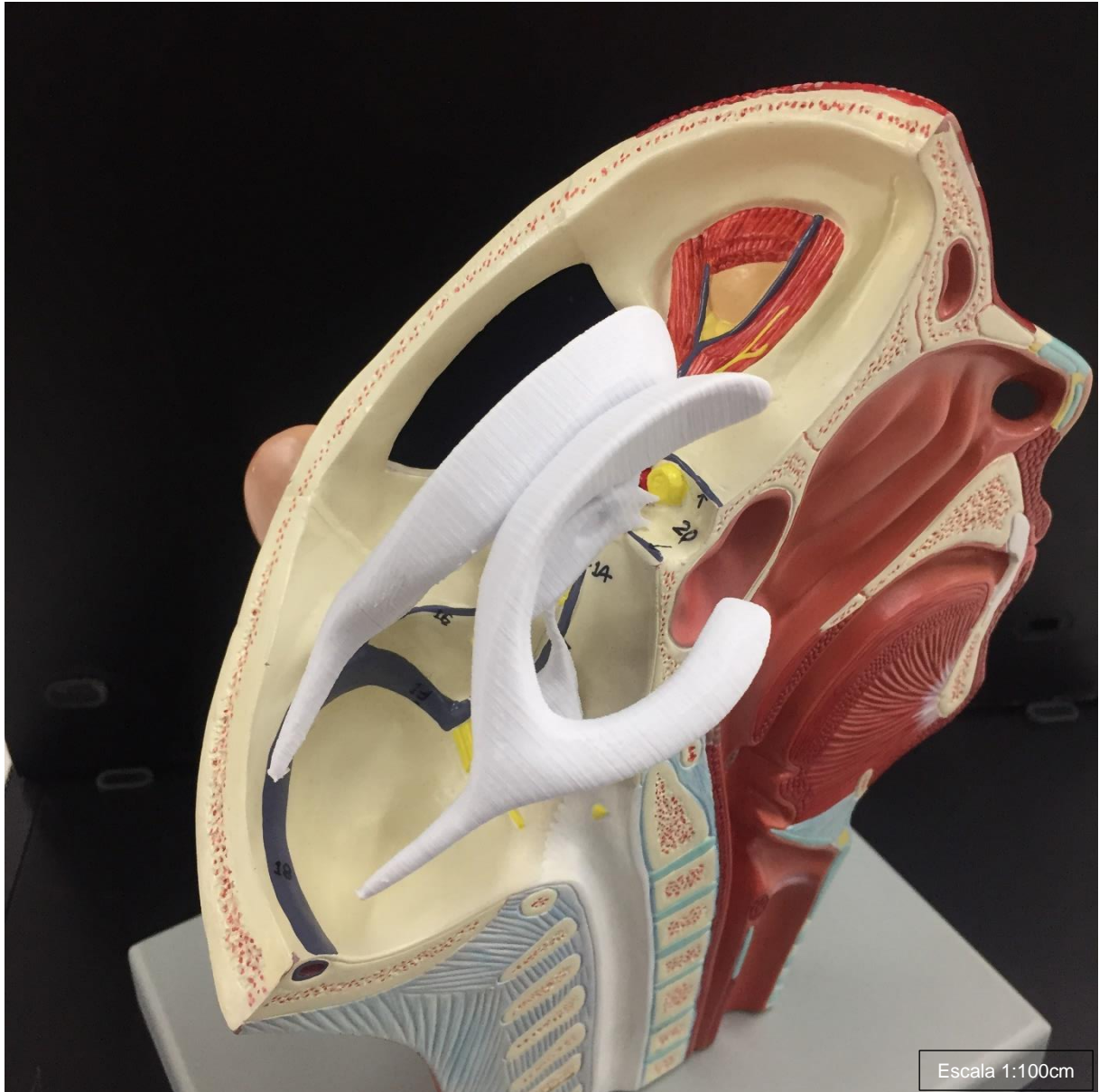
Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 16 – Vista lateral do sist. ventricular com microcefalia.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 17 – Sist. Ventricular em peça anatômica de cabeça humana.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 18 – Sist. Ventricular em crânio humano real.



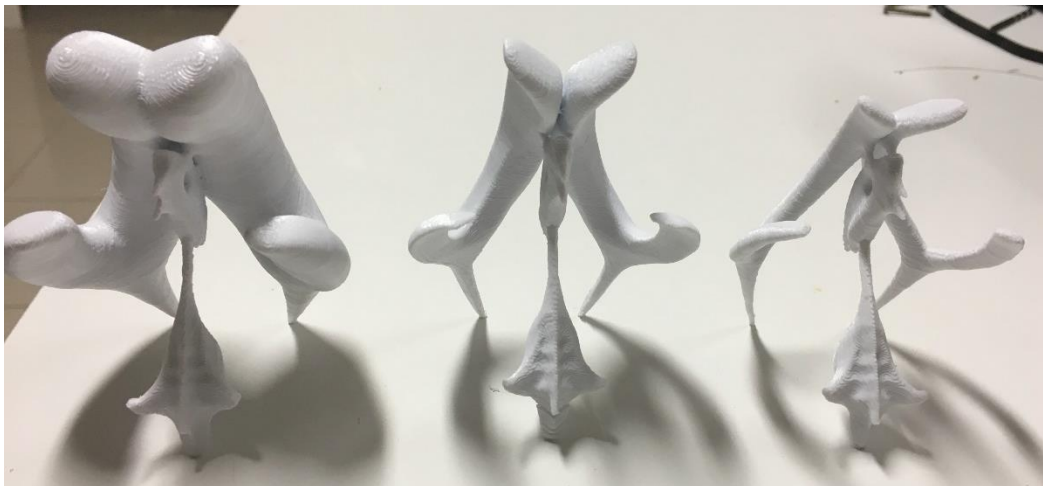
Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 19 – Vista posterior de todas as peças em comparação.



Fonte: Acervo dos autores (2019).

Figura 20 – Vista anterior de todas as peças em comparação



Fonte: Acervo dos autores (2019).

5 DISCUSSÃO

A anatomia humana é uma das ciências médicas básicas mais antigas. Seu estudo teve início cerca de 500 a.C. no Egito, e desde então, os principais meios de estudo da anatomia humana são cadáveres e peças anatômicas reais, tanto nos primórdios, como citado anteriormente, como nos dias atuais. Contudo, é frequente a dificuldade em encontrar essas ferramentas de ensino em bom estado de conservação. A maior parte das Instituições de Ensino Superior – IES – apresentam peças e cadáveres com determinado grau de deterioração. Além disso, há diversas estruturas no corpo humano que são “virtuais” ou necessitam do organismo vivo para serem observadas, como é o caso dos ventrículos cerebrais²⁴.

Devido toda essa dificuldade, muitas IES lançam mão de livros texto e imagens bidimensionais para o ensino dessas estruturas. No entanto, sabe-se que dessa forma há lacunas no processo de aprendizagem e até heterogeneidade na qualidade da fixação do conteúdo entre os alunos, uma vez que é necessário imaginação e bom senso entre estes para que haja a visualização de tais estruturas.

Observando todos esses pontos, entendeu-se a necessidade da produção de peças anatômicas inéditas para somar à compreensão dos alunos no quesito estudo da anatomia humana. Há no mercado diversas opções para a criação desses modelos, que passeiam desde escultura manual em gesso, alginato e resina até moldes de silicone feitos com formas pré-moldadas²⁵.

Todas essas técnicas podem apresentar pontos negativos, seja pela qualidade do material e fácil degradação, ou pela falta de fidedignidade às estruturas reais. Diante disso, decidiu-se tentar a produção de peças anatômicas fabricadas por meio de manufatura aditiva 3D. Assim, é possível recriar determinada estrutura a partir da sua forma original. Diversas técnicas podem ser utilizadas, desde ressonância magnética até criação em *softwares* especializados em modelamento orgânico.

Não obstante à Anatomia Humana representar uma disciplina essencial ao conhecimento teórico e à prática clínica, ainda se observam muitas dificuldades no seu aprendizado, pelos mais diversos motivos. Dentre eles, a própria terminologia anatômica, o tamanho e diversidade das estruturas, o preparo de peças e fatores individuais como falta de motivação, atenção, medo ou receio ao lidar com cadáveres humanos²⁶.

Por essas dificuldades, diversos estudos já constataram que o estudo anatômico na graduação está em redução da sua carga-horária, seja por falta de incentivo ou até mesmo por mudanças na metodologia de ensino, sendo necessário haver um equilíbrio entre assimilação e aplicabilidade da anatomia. Para tanto, fica evidente a forte correlação entre a percepção da aprendizagem e o envolvimento do aluno com a matéria; quanto mais contato e mais diversas as metodologias de ensino, melhor é o entendimento e a aplicação dos conhecimentos anatômicos²⁶.

No estudo de Claudiojanes Reis et al, foi observado uma maior frequência na utilização de livros-texto e atlas, semanalmente, enquanto peças naturais e artificiais são utilizadas em menor frequência. Na mesma pesquisa, mais de 80% dos alunos se mostraram insatisfeitos com os conhecimentos anatômicos e cerca de 60% acreditaram que as metodologias de ensino-aprendizagem estão adequadas. Boa parte dos alunos acreditam que aulas expositivas e utilização de peças anatômicas atrelados à abordagem clínica, são um fator facilitador da aprendizagem²⁶.

Neste mesmo estudo, os acadêmicos sugeriram como forma de estimular a aprendizagem um aumento nas aulas teóricas e práticas, com ênfase nas correlações clínicas, além de maior disponibilidade de peças naturais e artificiais. Foram citados como fatores que influenciam positivamente no aprendizado; a dedicação, equilíbrio, entendimento da função das estruturas, assim como a visualização tridimensional das mesmas²⁶.

Atualmente tem sido caloroso o debate acerca de como deve ser o ensino da anatomia. Muitos cirurgiões e anatomistas ainda defendem o ensino tradicional, baseado na dissecação de cadáveres e conhecimento detalhado das estruturas. Do outro lado, estão os entusiastas de novas modalidades de ensino, educadores modernos, incentivadores da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Aprendizagem Auxiliada por Computador (AAC). Na ABP há o enfoque em desenvolver o raciocínio clínico, permitindo a associação entre diversas áreas do conhecimento afim de proporcionar o autodidatismo do aluno. Nesse contexto, a dissecação se tornou sinônimo dos cursos tradicionais e antítese da ABP²⁶.

Um exemplo do ensino da Anatomia Humana inserida na grade curricular moderna é encontrado na Harvard Medical School. Nesta, o conteúdo é dividido nas primeiras oito semanas do curso, havendo espaço para discussão tutorial de casos clínicos, aulas teóricas, e em laboratório de anatomia ou histologia. Nesse contexto, observa-se um ensino da anatomia de forma multidisciplinar, com visão ampla ao

discente, aplicação prática do conteúdo teórico e correlação com achados clínicos, radiológicos e histológicos²⁶.

Para compensar as dificuldades na obtenção de cadáveres e a crescente falta de profissionais aptos ao ensino anatômico, a tecnologia vem sendo utilizada como importante ferramenta para o estudo anatômico. Como exemplo, podemos citar Simuladores de realidade virtual que mostram estruturas anatômicas no interior do corpo humano, atlas multimídia em 3D que permitem rotação e dissecação virtual e até mesmo possibilitando criação de testes para avaliar aprendizagem²⁶.

Essas novas ferramentas servem de propulsor para que as universidades não negligenciem o ensino anatômico, uma vez que o mesmo é essencial para a formação de profissionais capazes de exercer a medicina com segurança. Cabe agora às instituições adequarem seus currículos, disponibilizando aos discentes novas formas de aprendizagem da anatomia de acordo com suas possibilidades²⁶.

Segundo Cléton Salbego et al, é necessário construir vínculo entre professor e aluno, pautado no diálogo e interlocução das diferentes percepções para se ter um bom planejamento de aula, que parta de um processo reflexivo, a fim de motivar o discente e qualificar a prática docente. Em sua pesquisa, fica claro que a melhor forma de aprender os conteúdos propostos pela Anatomia Humana é, sem dúvida, pela realização de estudos práticos, sem, no entanto, desconsiderar a teoria como elemento relevante²⁷.

Convém ressaltar que os discentes consideram a visualização de fundamental importância para o aprendizado, amparada no uso de recursos multimídia, imagens estáticas, gráficas ou vídeos. No entanto, o contato manual com as estruturas anatômicas facilita a compreensão dos detalhes, dimensões, texturas e propriedades físicas, como peso, rigidez e elasticidade, sendo fundamental o uso do laboratório com essa finalidade²⁷.

Ainda nessa linha de raciocínio, foi conduzido um estudo na Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN com o objetivo de desenvolver estratégias teórico-práticas do estudo anatômico, no qual os estudantes deveriam empregar fórmulas criativas e artísticas para expressar as situações-problemas selecionadas, estimulando a criatividade e o desenvolvimento de habilidades naturais dos discentes, tais como desenho, pintura, escultura, modelagem, design gráfico, computação, etc. Nesse contexto, foram produzidos diversos modelos anatômicos artesanais, alguns

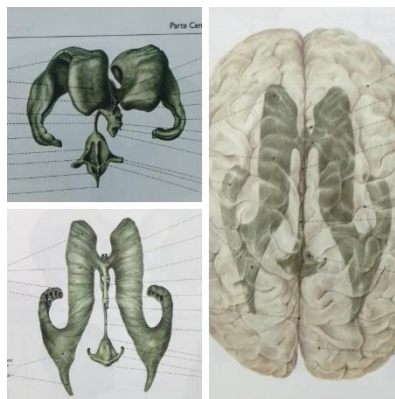
com elevada qualidade artística e quase sempre utilizando materiais recicláveis e de baixo custo²⁸.

Após a produção, foi realizado uma apresentação nos moldes “feira de ciências”, onde os discentes deveriam apresentar os modelos anatômicos criados e conhecer os modelos dos outros colegas, intercambiando conhecimento. Os estudantes demonstraram bastante interesse pela nova abordagem, produzindo trabalhos criativos e de excelente qualidade, além de significativo rendimento no aprendizado. A avaliação foi desenvolvida em clima de colaboração mútua, tendo possibilitado aos estudantes a utilização de suas habilidades naturais para construção do conhecimento anatômico²⁸.

Além disso, a metodologia empregada possibilitou a abrangência de diferentes domínios da aprendizagem, rompendo com a percepção do ensino restrito a memorização. Os estudantes demonstraram a capacidade em transferir o conteúdo aprendido para situações práticas da vida diária de médicos, bem como elaborar esses conteúdos sob novos formatos e estratégias²⁸.

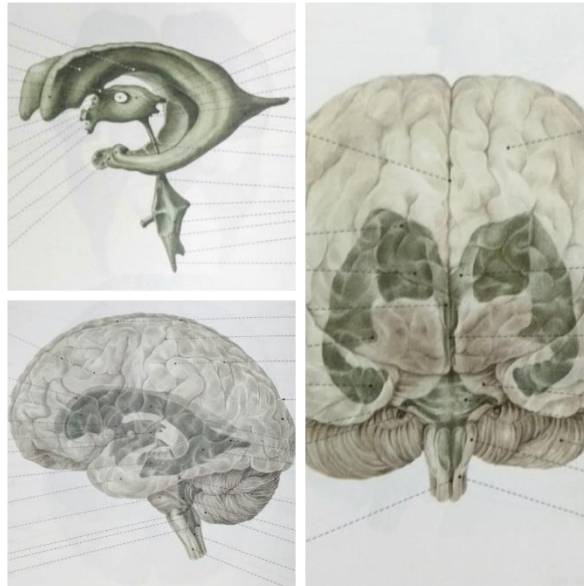
Diante disso, percebe-se a importância de considerar a impressão 3D de peças anatômicas para as aulas de anatomia humana nas escolas médicas. A seguir, apresenta-se imagens de um Atlas de Anatomia Humana para que seja comparado ao que se tem atualmente de material de estudos de ventrículos encefálicos, como evidenciado na figura 21 e 22. Em praticamente todas as escolas médicas atlas e livros texto são utilizados para representação dos ventrículos²⁹.

Figura 21 – Ventrículos Atlas Anatomia Humana 1.



Fonte: Petra Köpf-Mayer (2013).

Figura 22 – Ventrículos Atlas Anatomia Humana 2.



Fonte: Petra Köpf-Mayer (2013).

É notório, portanto, que a qualidade das ilustrações encontradas hoje em dia nos livros e atlas são excelentes, a questão é que elas não permitem maior aprofundamento no tema para otimizar o aprendizado, além do que não permitem a interação dos alunos com os objetos de estudo. Com as peças fabricadas pela impressora 3D é possível realizar a manipulação e observação de determinadas estruturas em profundidade, observá-las em detalhes e, dependendo da parte anatômica, é possível reproduzi-la inclusive em textura. Tudo isso de forma rápida e acessível a qualquer IES, desde que se tenha o interesse na aquisição ou fabricação de suas próprias impressoras.

Em outro estudo, conduzido na Universidade Federal de Goiás, foi abordado o estudo da anatomia humana através de uma atividade de extensão, na qual eram realizadas reuniões entre alunos e professores para discutir os temas que seriam abordados nas atividades teórico-práticas no laboratório de anatomia. Posteriormente, para avaliação do aprendizado e da importância do estudo, foram utilizados questionários para medir o grau de aproveitamento da prática³⁰.

As atividades se desenvolveram a partir de uma aula teórica de aproximadamente uma hora de duração, que servia de base para o posterior estudo com peças naturais e o cadáver além de material audiovisual. Num primeiro momento, houve certo estranhamento e medo dos estudantes ao entrarem em contato com as

peças e o cadáver, pois para muitos era o primeiro contato com o estudo anatômico em cadáveres. Porém, no decorrer da atividade e, posteriormente, após a avaliação dos questionários, ficou claro que a ampla maioria dos participantes do estudo gostou da forma como o tema foi abordado, ressaltando a importância de ambos os momentos, teórico e prático, para o estudo anatômico³⁰.

Dessa forma, esses resultados corroboram com a visão de que o estudo anatômico deve ser teórico-prático, com atividades dinâmicas, de interação e contato do discente com peças anatômicas, sejam elas naturais ou sintéticas. No entanto, sugere-se que uma abordagem prévia, com a utilização de peças sintéticas antes de abordagem direta com peças naturais e o cadáver, possa acarretar menores traumas aos estudantes³⁰.

É importante ressaltar que essas novas metodologias de ensino não são restritas apenas ao ambiente universitário. Em um estudo desenvolvido em uma escola de Ensino Fundamental no campus da Universidade de Pernambuco em Petrolina, alunos do 8º ano foram divididos em grupos experimental e controle, sendo um submetido ao ensino tradicional com práticas inovadoras e o outro apenas ao ensino tradicional comum³¹.

Na abordagem ao grupo experimental foram ofertadas oficinas práticas pelos pesquisadores, nas quais eram abordados os conteúdos já estudados em sala, porém sendo agora trabalhados de maneira lúdica e interativa junto a monitores no laboratório de anatomia da universidade. Foi possível interagir com peças sintéticas e também peças naturais, sendo as dúvidas dos participantes esclarecidas pelos monitores. Num segundo momento, os alunos foram instigados a usar sua concentração e criatividade para produção de estruturas anatômicas com materiais de baixo custo (biscuit, isopor, tinta colorida, barbante, pinces e massa de modelar). Posteriormente, as peças produzidas foram utilizadas para revisão dos assuntos estudados, e por fim, foi realizado um concurso de desenho a partir de uma temática de estudo previamente sorteada, finalizando assim as atividades³¹.

Para avaliar, quantificar e comparar o interesse pelo estudo anatômico entre os grupos, os pesquisadores lançaram mão de um questionário que, em linhas gerais, apresentou resultado muito satisfatório para o grupo experimental em termos de interesse do estudo anatômico. Este fato foi atribuído às atividades lúdicas e dinâmicas na metodologia utilizada pelo grupo experimental. A confecção de modelos anatômicos humanos foi um ponto central, que serviu de alicerce aos alunos para a

construção do seu próprio conhecimento, mostrando que o ensino prático, dinâmico e interativo permitiu um aprendizado mais conciso quando comparado ao estudo meramente expositivo³¹.

Ainda sobre o estudo anatômico, uma pesquisa realizada no Peking Union Medical College (PUMC) em Pequim, na China, publicada na revista *Nature*, reuniu alunos do terceiro ano do curso de medicina, dividindo-os em três grupos randomizados. Cada grupo seria avaliado a partir de uma metodologia, que seriam o uso de crânios impressos em 3D, crânios de cadáveres e atlas anatômicos. Aliado a isso, os alunos eram orientados quanto ao estudo anatômico através dessas ferramentas, incluindo uma palestra introdutória e discussões em grupo. Para avaliação foram utilizados testes antes e depois do estudo³².

Os resultados pós teste mostraram que o modelo impresso em 3D facilitou a aprendizagem da anatomia do crânio em comparação com o atlas tradicional e modelos de crânio de cadáveres, além de facilitar o reconhecimento espacial de estruturas anatômicas, corroborando com a tese de que a impressão 3D pode servir como um complemento ao estudo tradicional e uma alternativa econômica e conveniente, além de evitar os desafios envolvidos na aquisição, cuidados e aspectos éticos do estudo com cadáveres³².

Vale ressaltar que os resultados desse estudo mostraram que os crânios em 3D eram melhores que os crânios de cadáveres já parcialmente danificados, o que não quer dizer que seriam melhores se comparados a crânios perfeitamente conservados. No entanto, o grande diferencial é que os modelos impressos em 3D também ajudam a solucionar os problemas relacionados a conservação das peças naturais que, naturalmente, são danificadas pelo manuseio e ação do tempo, perdendo sua eficiência educativa³².

6 CONCLUSÃO

Foi possível observar no presente estudo que a utilização da tecnologia para obtenção de imagens e seleção de modelos anatômicos e confecção de peças se mostrou satisfatório para a reprodução dos ventrículos encefálico humanos.

Demonstrou-se que a seleção de modelos anatômicos tridimensionais digitais dos ventrículos encefálicos a partir de plataformas abertas de impressão 3D é uma ferramenta útil na preparação para impressão em 3D.

Observou-se que a utilização da modelagem orgânica computadorizada para elaboração dos modelos digitais patológicos dos ventrículos com Hidrocefalia e Microcefalia é factível.

Portanto, a confecção das 4 peças produzidas por manufatura aditiva por impressão 3D, tanto dos ventrículos encefálicos anatômicos normais, quanto dos ventrículos encefálicos simulando patologias, constituíram um acervo inovador e qualificado para o estudo anatômico do sistema nervoso, com baixo custo de produção e replicação acessíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boechat JCS, Gama Filho RV, Sales EC, Silva MA, Manhães FC. Um estudo sobre abordagens didático-pedagógicas no ensino da anatomia humana. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Revista Científica Internacional. 2016; 11(1).
2. Cintra RB. Desafios do Ensino da Anatomia Humana em Faculdades de Medicina. Universidade Mogi das Cruzes. Revista Científica. 2017; 2(1).
3. Faria JWV, Figueiredo EG, Brito DR, Teixeira MJ. A evolução histórica do ensino da neuroanatomia / History of neuroanatomy: the representation of the neural structures. Rev Med. 2014; 93(4): 146-50.
4. Matozinhos IP, Madureira AAC, Silva, GF, Madeira GCC, Oliveira IFA, Corrêa CR. Impressão 3D: inovações no campo da medicina. Revista Interdisciplinar Ciências Médicas. 2017; 1(1): 143-162.
5. Coelho G, Zymberg S, Lyra M, Zanon N, Warf W. New anatomical simulator for pediatric neuroendoscopic practice. Child's Nervous System. 2015; 31 (2).
6. Rocha RS. Análise de desempenho de impressora 3D a partir de softwares de fatiamento utilizando técnicas de simulação e aferição por prototipagem. Centro Universitário do Estado do Pará: 2017.
7. Morada JFD, Barros Filho EM. Uso da modelagem tridimensional como ferramenta de apoio à medicina. Encontros Universitários da Universidade Federal do Ceará. 2016; 1(1).
8. Wen CL. Homem Virtual (Ser Humano Virtual 3D): A Integração da Computação Gráfica, Impressão 3D e Realidade Virtual para Aprendizado de Anatomia, Fisiologia e Fisiopatologia. Revista de Graduação da Universidade de São Paulo. 2016; 1(1).
9. Muniz AL, Moraes SG. Utilização de Modelos 3D como recurso didático no ensino de Embriologia do Sistema Nervoso Central. Congresso Internacional de Educação e Tecnologias. 2018.
10. Purves D. Cerebrospinal fluid. Encyclopedia Britannica. 2017; 21(4): 123-129.
11. Sadler TW. Embriologia Humana – Langman. 12. ed. Brasil. Guanabara Koogan Editora. 2013.
12. Machado A, Haertel LM. Neuroanatomia Funcional. 3. Ed. Brasil. Atheneu Editora. 2013.

13. Moreira ES. Sistema Ventricular, plexo coroide e meninges. Centro Universitário de Volta Redonda Fundação Oswaldo Aranha. 2017; 18(47).
14. Bear MF, Connors BW, Paradiso MA. Neurociências: Desvendando o Sistema Nervoso. 4. Ed. Brasil. Artmed Editora. 2017.
15. Silva A, Corrêa MJU, Bastos AM. Sistema Ventricular: anatomia e patologia aplicadas ao diagnóstico por imagem. *Jornal Brasileiro de Neurocirurgia*. 2003; 14(2): 60-5.
16. Sousa NG, Feijó EJ, Farias A, Lima A, Souza K, Conceição P. Hidrocefalia: revisão de literatura. Universidade Salgado de Oliveira. *Revista de Trabalhos Acadêmicos*. 2012; 4(6).
17. Cunha AHGB. Hidrocefalia na Infância. *Revista Brasileira de Neurologia e Psiquiatria*. 2014; 18(2): 85-93.
18. Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. Protocolo de vigilância e resposta à ocorrência de microcefalia e/ou alterações do sistema nervoso central (SNC). 2015. Brasília – DF. 2ª edição.
19. Redwood B, Schffer F, Garret B. *The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications*. 1. ed. 2017. 3D Hubs.
20. Bruice PY. *Organic Chemistry*. 6. ed. 2011. Pearson Prentice Hall.
21. Santana L, Ahrens CH, Sabino Netto AC, Oliveira GMB, Merlini C. Avaliação da composição química e das características térmicas de filamentos de PLA para impressoras 3D de código aberto. Universidade Federal de Santa Catarina: 2016.
22. Sukindar NAB, Ariffin MKABM, Baharudin BTHTB, Jaafar CNAB, Bin Ismail MIS. Analysis on temperature setting for extruding polylactic acid using open-source 3D printer. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017; 12 (4).
23. Ventola CLMS. *Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected uses*. 2014; 39:10.
24. Dalley AF, Moore KL. *Anatomia Orientada para a Clínica*. 5. ed. 2007. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
25. Santos AJCA, Silva ELA, Barbosa MG, Brito VC. Modelos anatômicos como auxílio no processo ensino aprendizagem de anatomia humana. Universidade Federal Rural de Pernambuco: 2013.

26. Avaliação de Discentes sobre Estudo Anatômico. Reis C, Martins MM, Mendes RAF, Gonçalves LB, Sampaio Filho HC, Moraes MR, et al. Revista Brasileira de Educação Médica, 2013; 37 (3): 350-358.
27. Percepções Acadêmicas sobre o Ensino e a Aprendizagem em Anatomia Humana. Salbego C, Oliveira EMD, Silva MAR, Bugança PR. Revista Brasileira de Educação Médica, 2015; 39 (1): 23-31.
28. George Dantas de Azevedo e Mércia Jeanne Duarte Bezerra. Avaliação da Aprendizagem: Uma estratégia inovadora na disciplina Anatomia Humana. Coleção Pedagógica; Universidade Federal do Rio Grande do Norte: 2015.
29. Heidegger W, Köpf-Maier P. Atlas de Anatomia Humana. 2013. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan.
30. Almeida NDF, Sousa RD, Moura MC, Silva TD, Strini PJSA, Strini PJSA. Avaliação da importância e do aprendizado promovido em atividades de extensão universitária. Revista UFG. 2017; 17 (1): 12-19.
31. Silva Júnior. E. X. Avaliação do uso de modelos anatômicos alternativos para ensino-aprendizagem da anatomia humana para alunos do ensino fundamental de uma Escola Pública da cidade de Petrolina, PE. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2015.
32. Chen S, Pan Z, Wu Y, Gu Z, Li M, Liang Z, et al. The Role of Three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial. Scientific Reports. 2017; 19(8): 7-575.

Sites citados:

1. AKSHAY DHAMANKAR. Thingiverse, 2017. Ventricular system of the Brain. Disponível em < <https://www.thingiverse.com/thing:2199907>> . Acesso em 20 de Out. de 2018.
2. AKSHAY DHAMANKAR. Thingiverse, 2017. About. Disponível em < https://www.thingiverse.com/akshay_d21/about>. Acesso em 23 de Out. de 2018.
3. 3B Scientific. 3B Scientific, 2019. Modelo de cérebro. Disponível em <https://www.3bscientific.com.br/ventriculo-cerebral-1001262-vh410-3b-scientific,p_13_2266.html>. Acesso em 28 de Abr. de 2019.