



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS

**Reconstrução computacional de vértebras de um
fóssil de titanossauro através de escaneamento,
modelagem e impressão 3D**

AUTOR: Philipi Alves dos Santos

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ivan Ferreira da Costa

COORIENTADOR: Prof. Dr. Rodrigo Miloni Santucci

Planaltina - DF

Dezembro, 2016



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS

**Reconstrução computacional de vértebras de um
fóssil de titanossauro através de escaneamento,
modelagem e impressão 3D**

AUTOR: Philipi Alves dos Santos

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ivan Ferreira da Costa

COORIENTADOR: Prof. Dr. Rodrigo Miloni Santucci

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Banca Examinadora, como exigência parcial para a
obtenção do título de Licenciado do Curso de
Licenciatura em Ciências Naturais, da Faculdade
UnB Planaltina, sob a orientação do Prof. Dr. Ivan
Ferreira da Costa e co-orientação do Prof. Dr.
Rodrigo Miloni Santucci*

Planaltina - DF

Dezembro, 2016

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais e minha noiva pelo apoio, paciência e compreensão que sempre tiveram comigo, ao professor Marcelo Bizerril por ministrar tão bem o processo de construção dos TCCs dessa disciplina, e em especial, dedico esse trabalho aos meus orientadores, que me nortearam, auxiliaram de forma paciente, analisaram todos os erros e falhas cometidos por mim na construção desse trabalho, me oferecendo seu tempo e sua experiência.

RECONSTRUÇÃO COMPUTACIONAL DE VÉRTEBRAS DE UM FÓSSIL DE TITANOSSAURO ATRAVÉS DE ESCANEAMENTO, MODELAGEM E IMPRESSÃO 3D

Resumo

Muitas vezes um fóssil não pode ser restaurado com a utilização de metodologias mais convencionais, pois geralmente pode se apresentar incompleto ou muito desgastado para permitir a sua consolidação e reconstrução, dificultando muito o trabalho de pesquisa científica e os trabalhos de replicação para exposição museográfica. Este projeto visa solucionar parte desse problema com a utilização de um scanner e uma impressora 3D, e vários softwares de edição de imagens 3D, com o objetivo de reconstruir um fóssil a ser estudado ou exposto em um museu. Graças às poderosas ferramentas foi possível reconstruir uma vértebra danificada de um dinossauro saurópodo e simular as medidas de vértebras ausentes a partir de uma única vértebra preservada, através de análises de várias medidas de dinossauros aparentados.

Palavras-chave: fóssil, scanner 3D, impressora 3D, restauração, edição 3D.

1 - Introdução

Os fósseis são restos ou vestígios de seres vivos que se preservaram ao longo de milhares de anos devido a processos de fossilização que só ocorrem em situações bem específicas, o que os tornam raros e de difícil acesso (CARVALHO, 2010, p.3).

Os fósseis são importantes ferramentas de divulgação científica, especialmente os fósseis de dinossauros, que são os carros chefes de museus de história natural em diversos lugares do mundo. Porém, o Brasil ainda possui um grande *déficit* com relação ao acervo de fósseis de paleovertebrados, ainda mais se comparado com outros museus estrangeiros (KELLNER, 2005).

Os fósseis também são importantes ferramentas de estudos taxonômicos e paleoambientais. Porém, muitas vezes os fósseis estão incompletos ou quebrados devido ao próprio processo de fossilização ou da retirada da rocha. Dessa forma, às vezes é necessário o trabalho de um restaurador que possua habilidades manuais e conhecimentos anatômicos para que o fóssil seja restaurado da melhor maneira possível. Porém, mesmo que o restaurador possua total domínio das técnicas de restauração, um simples deslize pode danificar o fóssil completamente, causando perdas irreversíveis e muitas vezes impossibilitando estudos futuros (SANTANA. et al., 2011).

A prototipagem 3D e a impressão 3D, são recursos tecnológicos bem recentes que surgiram no final dos anos 80, e que vem ganhando cada vez mais espaço em diversas áreas de conhecimento. É um método simples, muito similar com os métodos de impressão convencionais, onde a partir de um modelo digital é possível, é possível gerar um modelo físico.

Diante dos problemas citados, este projeto visa propor uma forma alternativa de restauração, utilizando um scanner e uma impressora 3D e vários programas de modelagem 3D. De acordo com Lino (2014), nos últimos anos, a impressão 3D deixou de ser uma ideia fantasiosa para se tornar uma realidade em rápido desenvolvimento. Dessa forma, com a possibilidade de criar uma imagem digital de um determinado fóssil, é possível reconstruí-lo digitalmente, e até mesmo simular partes ausentes a partir de uma única peça conservada, e posteriormente realizar sua impressão.

2 - Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo simular algumas vértebras caudais e reconstruir uma vértebra de simetria bilateral danificada de um esqueleto de dinossauro saurópodo, coletado no Estado de São Paulo, utilizando-se de um scanner 3D, aplicando-se equações de medidas obtidas através de várias análises de vértebras caudais de outros dinossauros, e com o apoio de outros programas de edição 3D.

3 – Materiais e métodos

Reconstrução da vértebra danificada

Para a realização do processo de reconstrução foi escolhida uma vértebra de um dinossauro saurópodo encontrado na cidade de Marília-SP, onde sua metade esquerda posterior está danificada e sua metade inferior direita também está desgastada. Assim, de certa forma, essa vértebra é adequada para utilização do processo espelhamento e sobreposição de modelos 3D, visto que um lado incompleto pode ser reconstruído pelo espelhamento do lado preservado.

Após escolhermos a vértebra, a primeira etapa foi a digitalização. Para isso utilizamos a máquina *Vivid 910*, que é um scanner 3D da empresa *Konica Minolta*, juntamente com o programa *Polygon Editing Tool*, que é software correspondente para operar o aparelho.

O scanner *Vivid 910* não consegue digitalizar um objeto completo sem o auxílio de uma plataforma giratória de uma vez só, antes se faz necessário preparar o objeto, marcando-o com várias letras e números (Fig. 1) para se orientar durante o processo de digitalização (sobreposição das várias faces da vértebra digitalizada). Então, para montar um objeto é necessário fazer várias digitalizações de vários ângulos e depois utilizar a ferramenta *select points* do *Polygon Editing Tool*. Essa ferramenta permite que as partes digitalizadas se posicionem e rotacionem automaticamente ao selecionar três pontos em comum. Por isso, é necessário marcar pontos no objeto, para que tenhamos a orientação de onde colar os pontos em comum, gerando ao final uma versão digital da vértebra completa (Fig. 1). Por fim, se faz necessário utilizar a ferramenta *merge* do programa para unificar todas as partes em uma só gerando um arquivo 3D (*stl*). Vale ressaltar que nesse ponto possuímos uma versão digital do fóssil, que pode servir como ferramenta de estudos paleontológicos.

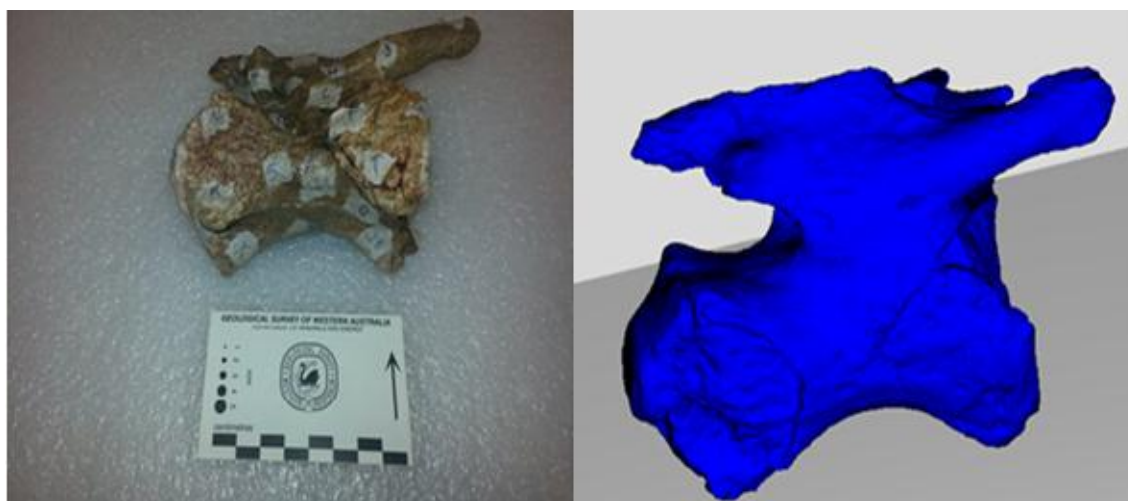


Figura 1: Vértebra selecionada e preparada para a digitalização à esquerda e o modelo digitalizado a direita.

A segunda etapa consiste em criar as partes ausentes do fóssil. Foi utilizada a técnica de espelhamento na qual partes existentes do fóssil são copiadas no lado oposto para compor o fóssil. Para tanto, foi utilizado o programa *Netfabb Basic*, um programa edição 3D de arquivos *stl*. Esse programa foi escolhido por ser de simples aprendizado e gratuito. Após abrir o modelo 3D é necessário selecionar o arquivo e utilizar a ferramenta *mirror*, assim gerando um segundo arquivo *stl*, porém espelhado em relação ao primeiro.

Vale citar que esse procedimento é importante, dependendo do fóssil a ser digitalizado. Por exemplo, ao espelhar um fêmur direito de um determinado dinossauro, com este método será possível obter o fêmur esquerdo, o qual não poderia ser feito através dos

métodos convencionais de confecção de moldes e réplicas a partir dos fósseis originalmente preservados.

Ainda, no programa *Netfabb*, foi necessário sobrepor e reposicionar as imagens de forma que as partes conservadas de um cobrissem a parte danificada do outro. Ao término do processo de reposicionamento foi necessário exportar os dois modelos stl para serem unidos em um outro programa, pois o *Netfabb basic* não possuía as funções necessárias para continuar a edição.

A terceira etapa é bem simples se comparada com as duas últimas: utilizando um programa de edição 3D gratuito chamado *MeshLab*, foram importados os dois arquivos gerados pelo *Netfabb* com a ferramenta *merge* que uniu os dois arquivos em um só, criando um único modelo 3D. Depois de unir os arquivos, o novo modelo foi exportado em formato *stl*. Neste ponto vale ressaltar que agora é possível visualizar um modelo 3D restaurado do fóssil real danificado (Fig. 2).

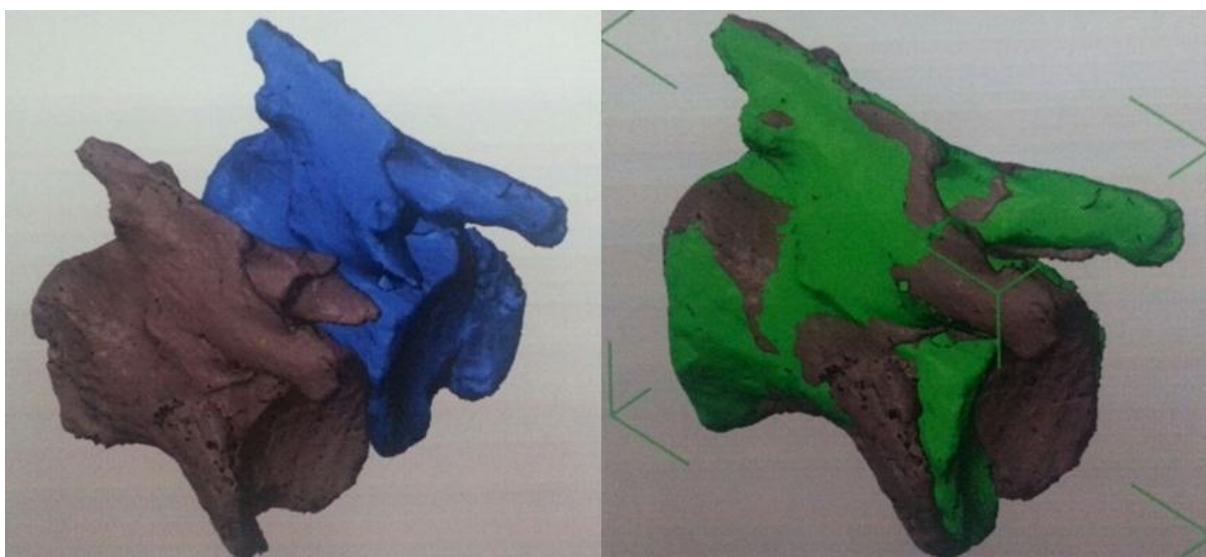


Figura 2: Modelo da vértebra espelhado a esquerda e modelo da vértebra reconstruído a esquerda.

O arquivo recém-criado contém partes superpostas que precisam ser removidas antes de fazer a impressão final, foi necessário otimizar o arquivo 3D utilizando a ferramenta online do *Netfabb*, para otimizar o arquivo. Nesse caso, basta fazer o upload do mesmo esperar e para que ele seja otimizado e depois fazer o download do arquivo com final do nome *fixed* e este estará pronto para ser usado no programa *CubeX* da impressora 3D.

Para criar um arquivo imprimível em nossa impressora foi necessário gerar um arquivo *cubex* usando o próprio software da impressora *CubeX*. Ao gerar o novo arquivo *cubex*, ele foi transferido para um pendrive que foi plugado na impressora *CubeX*. Para produzir uma peça impressa—bastou comandar a impressora para que realizasse a impressão do fóssil reconstruído.

Simulação de vértebras ausentes

Para a realização das simulações de vértebras ausentes, primeiramente foram analisadas as medidas de várias vértebras caudais de vários dinossauros saurópodos aparentados e já conhecidos na literatura, como *Janenschia* (Bonaparte et al., 2001), *Brachiosaurus* (Janensch, 1950), *Dreadnoughtus* (Lacovara et al., 2014) e *Baurutitan* (Campos et al., 2005), para verificarmos se havia alguma semelhança matemática entre o padrão de variação de tamanhos das vértebras caudais de diferentes espécies. Nessa etapa foram compiladas todas as medidas desses dinossauros em planilhas, a partir das quais foram ajustadas equações polinomiais que descrevem a variação do comprimento, altura e largura de cada vértebra da sequência caudal (vide **Anexo 1**).

Após organizarmos todas as planilhas com os dados das vértebras caudais de saurópodos conhecidos, foram escolhidas as equações relativas à sequência de vértebras caudais do saurópodo *Dreadnoughtus*, pois este possui maior grau de parentesco com o saurópodo objeto de estudo desse trabalho e também apresenta a maior sequência de elementos caudais preservados.

Ao determinarmos as equações para as medidas das vértebras caudais do saurópodo *Dreadnoughtus*, simulamos essas medidas para todas as suas outras vértebras com a finalidade de identificarmos o quanto essa equação é precisa. Após essa verificação, utilizamos uma regra de três para aplicarmos a equação aos valores da vértebra caudal do saurópodo em estudo. Deste modo, ao substituir a posição da vértebra pelo X da equação, conseguíamos simular as dimensões dos modelos que iríamos criar, as quais são apresentadas abaixo:

- Simulação de vértebras (posição) X comprimento:

$$y = 0,0005x^4 - 0,0362x^3 + 0,6586x^2 - 2,4079x + 181,66$$

($R^2 = 0,5338$).

- Simulação de vértebras (posição) X altura, sem o côndilo articular:

$$y = 0,0014x^4 - 0,1026x^3 + 2,6484x^2 - 34,689x + 384,32$$

($R^2 = 0,9187$)

Utilizando as ferramentas de escala do programa *3D builder*, os valores obtidos através das equações foram utilizados para a confecção dos modelos 3D (simulados) de outras vértebras da sequência caudal. Nesse caso, optou-se por reconstituir apenas três vértebras anteriores e três posteriores à vértebra originalmente preservada, pois além das proporções, a morfologia dessas vértebras muda ao longo da série caudal.

Por fim, foi utilizado o mesmo reparador online de modelos 3D utilizado no processo de reconstrução, para corrigir eventuais problemas nos modelos simulados e otimizar os arquivos para eventuais impressões em 3D.

4 - Resultados

Como salientado no item anterior, as equações selecionadas foram aquelas resultantes dos dados compilados para as vértebras caudais do saurópodo *Dreadnoughtus*.

Com essas equações, as medidas das vértebras caudais efetivamente preservadas no saurópodo em estudo foram extrapoladas para a simulação das vértebras adjacentes (**Tabela 1 e Figuras 3, 4 e 5**).

Tabela 1: Valores para a simulação de vértebras caudais do saurópodo em estudo a partir da 18ª vértebra caudal efetivamente preservada.

Vértebras simuladas do saurópodo estudado a partir da vértebra 18 (mm)							
Posição da vértebra	15	16	17	18	19	20	21
Comprimento sem o côndilo	91,48	91,57	91,57	91,5	91,354	91,143	90,878
Altura	105,74	102,48	99,07	95,5	91,724	87,758	83,626

Além da simulação das vértebras adjacentes, o programa 3D também permite a reconstrução de algumas partes não preservadas. Isso pode ser feito, no caso de um osso com simetria bilateral como as vértebras simuladas, pelo espelhamento de uma porção do fóssil

preservada em um dos lados para o outro lado onde eventualmente essa porção não esteja preservada (**Figura 2**). Ao final de todo o processo, os modelos 3D podem ser impressos em uma impressora 3D.

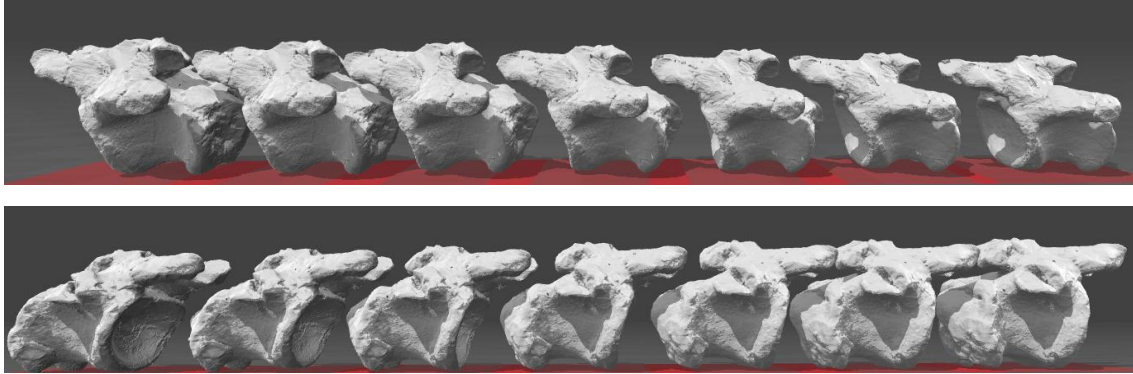


Figura 3: Simulação das vértebras caudais do saurópodo em estudo. Das sete vértebras apresentadas na figura, apenas a quarta vértebra está preservada (correspondendo aproximadamente à sexta vértebra da sequência caudal), sendo as três mais anteriores e posteriores o resultado da simulação feita neste estudo. Imagem superior, vértebras caudais em vista lateral direita. Imagem inferior, mesma sequência de vértebras em vista lateral esquerda.



Figura 4: Parte superior: 18ª vértebra caudal do saurópodo (esquerda) e modelo 3D impresso (direita). Parte inferior: exemplo de reconstrução de partes faltantes por rebatimento. No caso, vista posterior da 18ª vértebra caudal do saurópodo (esquerda) e modelo 3D (direita). Observar que no modelo 3D a lateral direita da 18ª vértebra caudal foi reconstruída a partir do rebatimento digital da porção esquerda, produzindo um modelo mais completo do que o fóssil original.



Figura 5: vértebras reconstruídas impressas com o tamanho reduzido para 25% em PLA.

5 – Conclusões

Fósseis de vertebrados podem se configurar em itens raros e, muitas vezes, de constituição frágil. Esses fatores podem representar barreiras para a manipulação, estudo e exposição desses materiais. O uso da reconstituição 3D se mostrou útil para a produção de modelos 3D, tanto digitais como físicos desses materiais. Essas técnicas e equipamentos utilizados, ainda que em desenvolvimento, mostram que esse tipo de procedimento pode ser mais seguro, barato e rápido que as técnicas de replicação clássicas, como a confecção de moldes de silicone. Este método, também facilita a troca de fósseis com outros países, pois os fósseis brasileiros originais, não podem sair do país.

O uso desses modelos pode resguardar a integridade física de fósseis que apresentam grande fragilidade simplesmente pela disponibilização de um modelo 3D digital ou físico para manipulação e estudo. Ainda, a possibilidade de impressão desses modelos em plástico e a simulação de partes faltantes torna a confecção de réplicas do esqueleto inteiro

muito mais simplificada. Isso gera grande expectativa para a melhora da qualidade e quantidade desse tipo de reconstrução usada em museus de ciências no país.

6 – Referências Bibliográficas

Bonaparte, J.F.; Heinrich, W.-D. & Wild, R. 2000. Review of *Janenschia* Wild, with the description of a new sauropod from the Tendaguru beds of Tanzania and a discussion on the systematic value of procoelous caudal vertebrae in the Sauropoda, *Palaeontographica Abteilung A* **256**: 25-76.

Campos, D.A.; Kellner, A.W.A.; Bertini, R.J. & Santucci, R.M. 2005. On a titanosaur (Dinosauria, Sauropoda, Titanosauridae) vertebral column from the Bauru Group, Late Cretaceous of Brazil. *Arquivos do Museu Nacional*, 63, 565–593.

Carvalho, I. Paleontologia: estudos e métodos. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência 2010. 734 p.

Janensch, W. 1950. Die Wirbelsäule von *Brachiosaurus brancai*. *Palaeontographica* (Supplement 7), **3**, 27–93.

Kellner, A.W.A. 2005. Museus e a Divulgação Científica no Campo da Paleontologia. *Anuário do instituto de Geociências – UFRJ*, Rio de Janeiro, v.28, n.1, p.116-130.

Lacovara, K.J.; Ibiricu, L.M.; Lamanna, M.C.; Poole, J.C.; Schroeter, E.R.; Ullmann, P.V.; Voegelé, K.K.; Boles, Z.M.; Egerton, V.M.; Harris, J.D.; Martínez, R.D. & Novas, F.E. 2014. A gigantic, exceptionally complete Titanosaurian Sauropod Dinosaur from Southern Patagonia, Argentina. *Scientific Reports*. **4**: 6196.

Lino, V.M. Impressão 3D. 2014. 36f. Monografia (Tecnologia em Vinicius Martins Lino) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2014.

Microsoft. Reparador de arquivos 3D. Disponível em: <https://netfabb.azurewebsites.net/> acesso em: 16 Jun. 2015

Santana, S. S.; Ribeiro, R. C.; Faria, F. H. C.; CARVALHO, I. S. 2011. Restauração de fósseis da megafauna do Quaternário tardio de Baixa Grande, Bahia. Atas do XXII Congresso Brasileiro de Paleontologia, Natal/RN, p.678-680.

Anexo 1

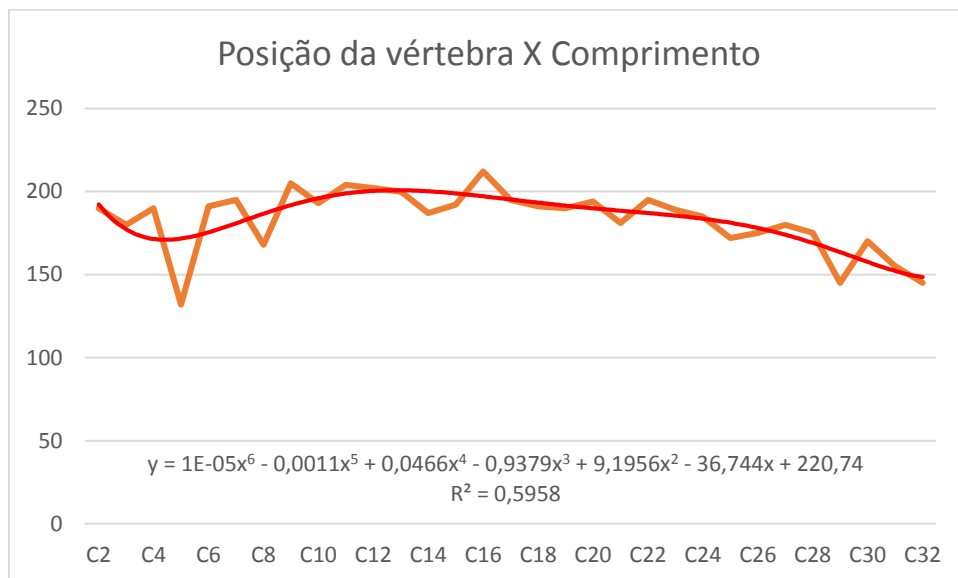
Medidas de sequências de vértebras caudais para diferentes dinossauros saurópodos aparentados com o dinossauro estudado nesse trabalho e respectivo gráfico com ajuste de equação polinomial para a variação do comprimento, largura e altura ao longo da sequência caudal. Valores em mm.

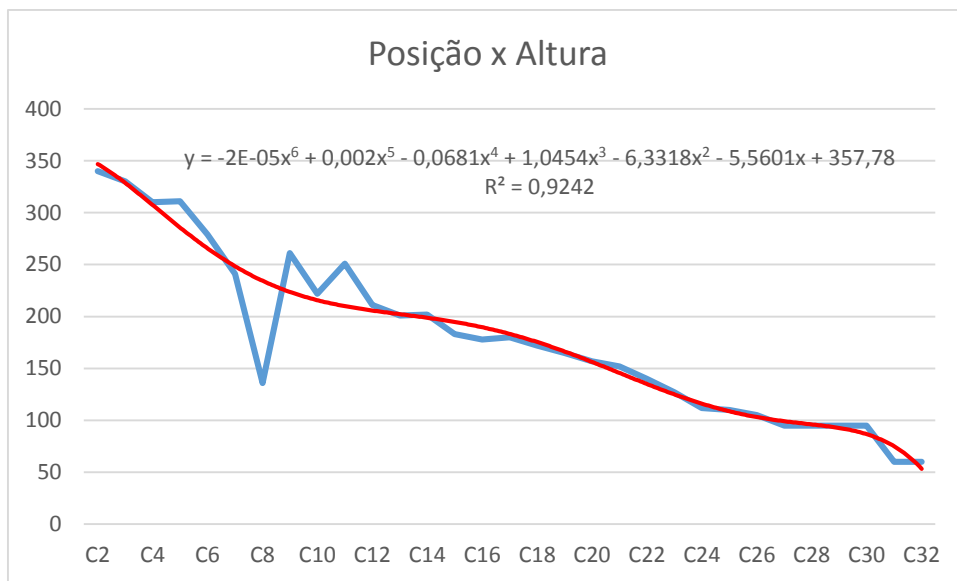
Dreadnoughtus

Posição	Altura	Comprimento	Largura
C1			
C2	340	190	340
C3	330	180	330
C4	310	190	310
C5	311	132	311
C6	279	191	279
C7	241	195	241
C8	136	168	136
C9	261	205	261
C10	222	193	222
C11	251	204	251
C12	211	202	211
C13	201	200	201
C14	202	187	202
C15	183	192	183
C16	178	212	178
C17	180	195	180
C18	172	191	172
C19	165	190	165
C20	157	194	157
C21	152	181	152
C22	140	195	140
C23	127	189	127
C24	112	185	112

C25	110	172	110
C26	105	175	105
C27	95	180	95
C28	95	175	95
C29	95	145	95
C30	95	170	95
C31	60	155	60
C32	60	145	60

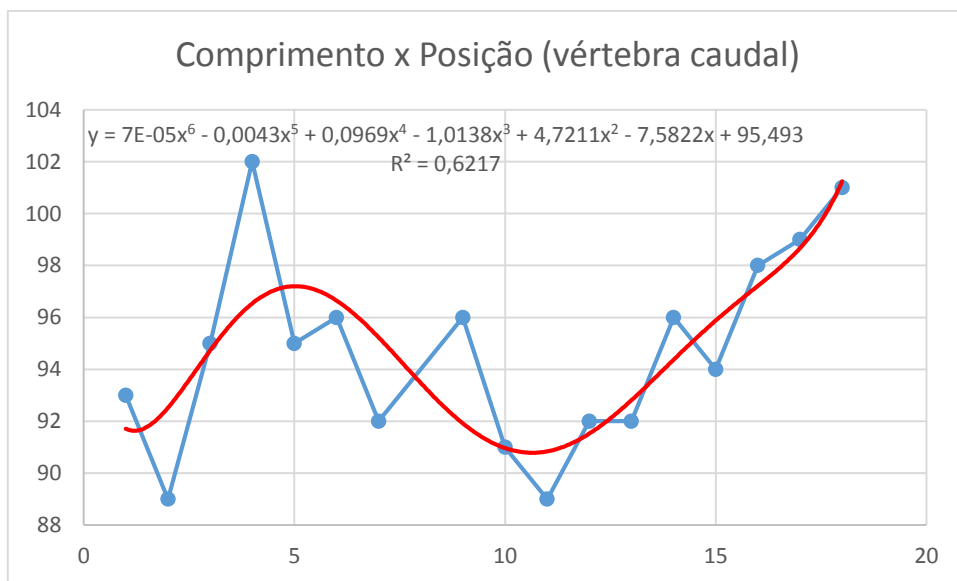
Dreadnoughtus

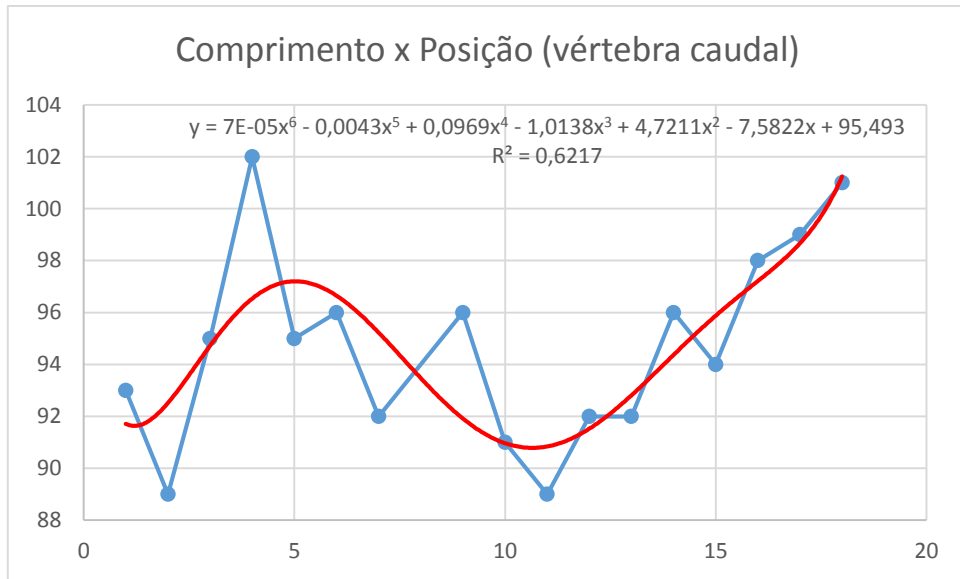




Baurutitan

Baurutitan	Comprimento	Altura
C1	93	119
C2	89	118
C3	95	109
C4	102	101
C5	95	97
C6	96	90
C7	92	85
C9	96	74
C10	91	76
C11	89	76
C12	92	75
C13	92	74
C14	96	74
C15	94	70
C16	98	68
C17	99	65
C18	101	67

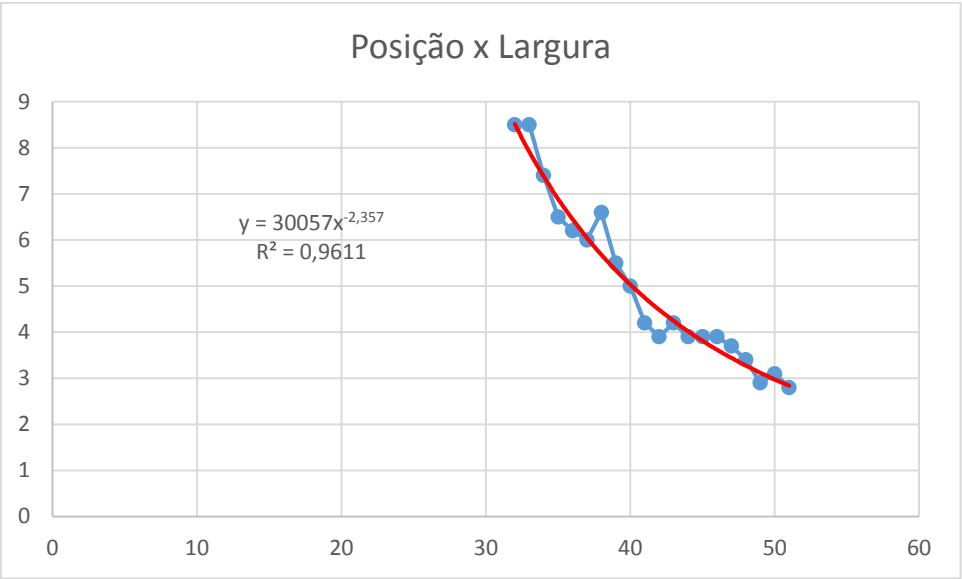
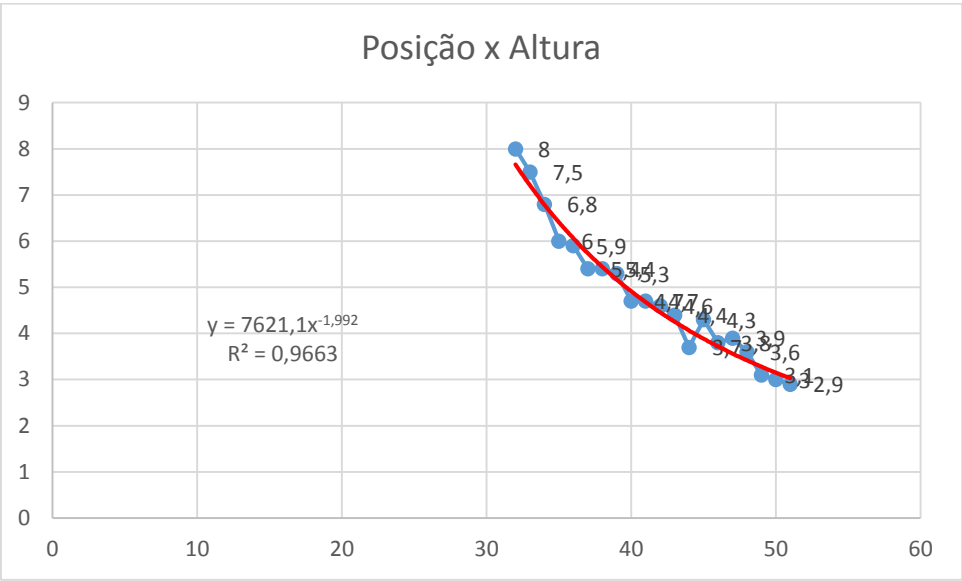




Brachiosaurus

Posição	Altura	Largura
2+-	32	35,9
C5	24,5	27,9
C7	21,8	26,6
C8	20	24,3
10(+/-)	18	17,7
C12	17,5	21,7
C13	17,2	0
15(+/-)	15,8	19,1
19+-	15	18,3
C25	12,1	13,4
C27	11,4	12,6
30*	9,6	0
C31	0	0
C32	8	8,5
C33	7,5	8,5
C34	6,8	7,4
C35	6	6,5
C36	5,9	6,2
C37	5,4	6
C38	5,4	6,6
C39	5,3	5,5
C40	4,7	5
C41	4,7	4,2
C42	4,6	3,9
C43	4,4	4,2
C44	3,7	3,9
C45	4,3	3,9
C46	3,8	3,9
C47	3,9	3,7
C48	3,6	3,4
C49	3,1	2,9
C50	3	3,1

C51	2,9	2,8
-----	-----	-----



Janenschia

Posição	Altura	Largura
C1	21	24,7
C2	20,5	25,5
C3	21,1	25
C4		23,5
C5		22,4
C6	17,3	20,5
C7	17,6	18,3
C8	15,3	16,1
C9	15,2	17,2
C10	14,7	
C11	14,4	
C12	13,4	
C13	13,3	15,7
C14	13,2	14,4
C15	12,4	13,9
C16	11,8	12,3
C17		
C18	10	
C19	9,6	11,3
C20	9,3	10,7
C21	8,3	11
C22	8,8	10,9

