

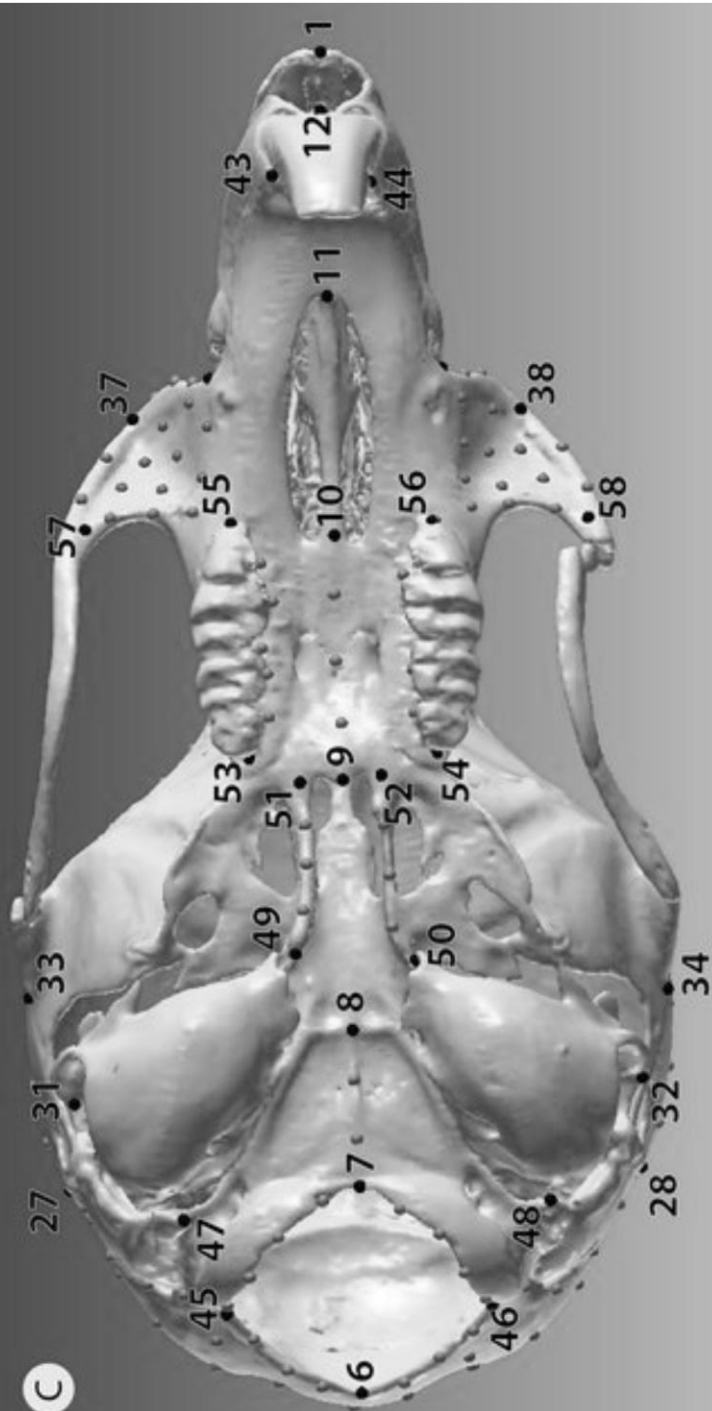
Introdução à Morfometria Geométrica

Dr. José E. Serrano-Villavicencio

serranovillavicencio@gmail.com

Dra. Joyce Rodrigues do Prado

joyce.prado@usp.br



FORMA (*shape*)

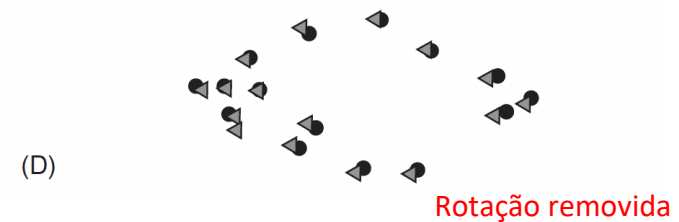
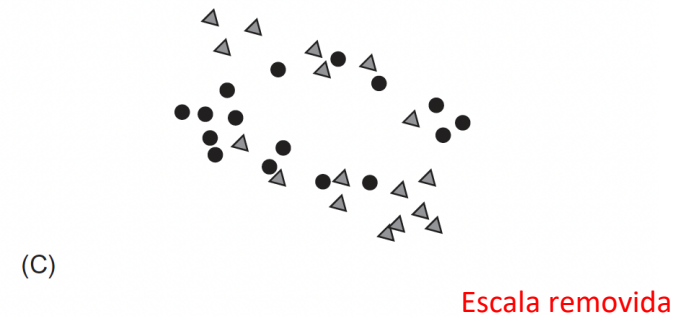
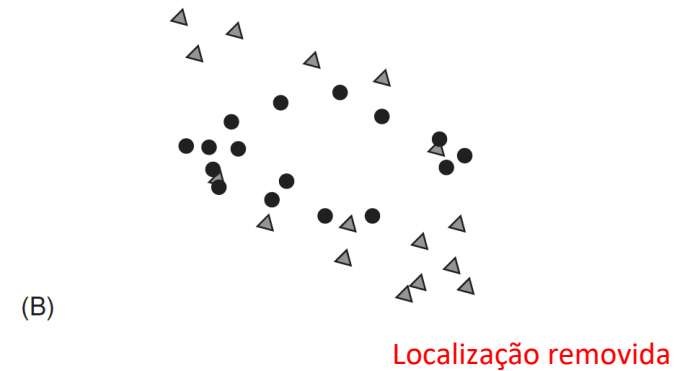
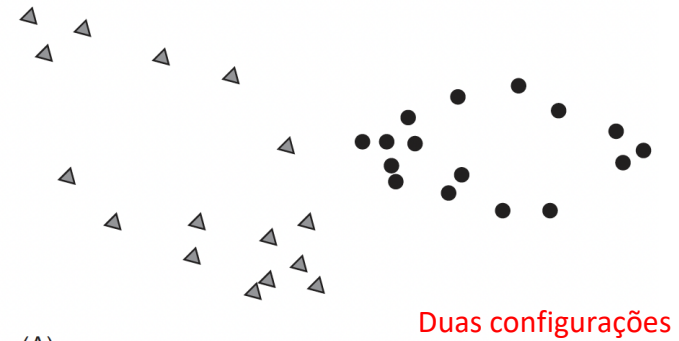


TAMANHO (*size*)

O significado de tamanho depende do significado de forma e vice versa

FORMA (*shape*)

“Toda a informação geométrica que resta quando os efeitos da localização, escala e rotação são filtrados de um objeto (Kendall, 1977).”



Shape x form



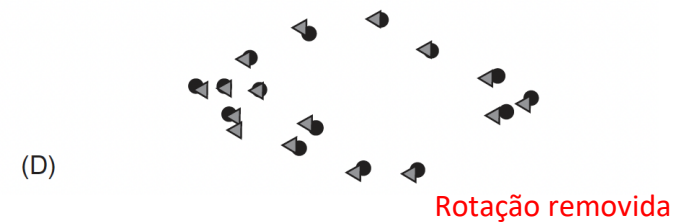
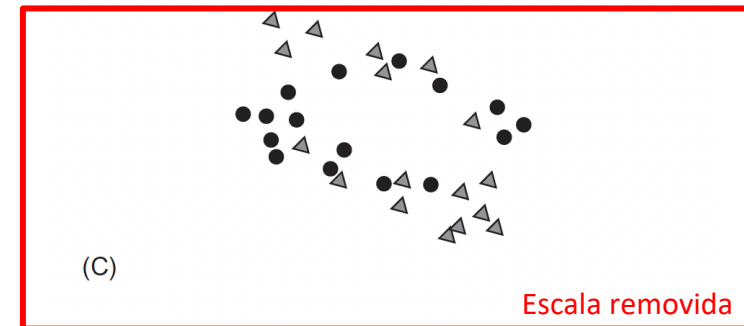
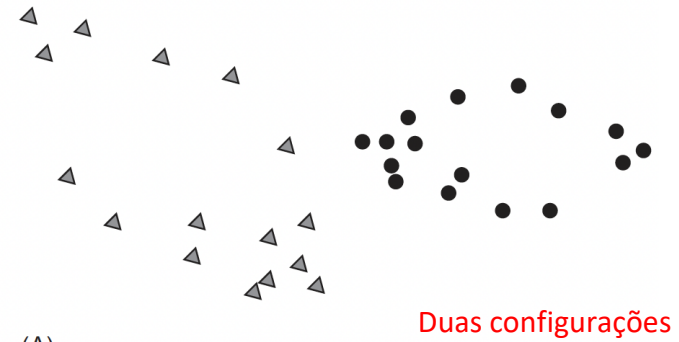
informação geométrica
independente de
localização, escala e
orientação

informação geométrica
independente da
localização, orientação,
mas não da escala

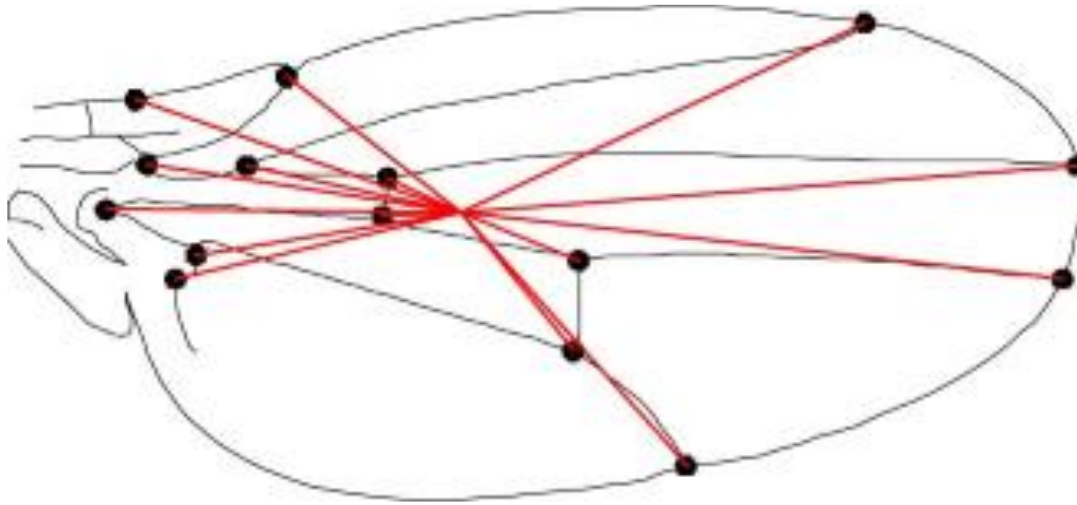
TAMANHO (*size*)

Escala geométrica complementar à forma
sob certos modelos

Para calcular a escala computamos as distâncias de todos
os *landmarks* ao centro da forma (**centróide**).



Tamanho do Centróide



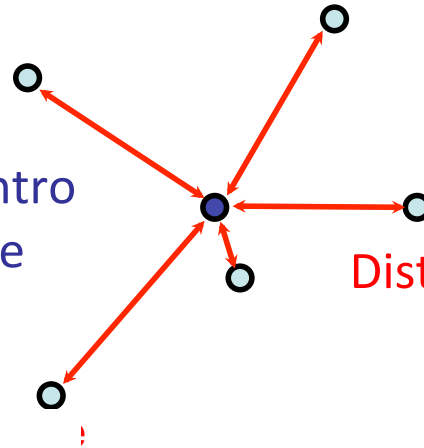
Raíz quadrada da soma dos quadrados das distâncias de todos os *landmarks* até o centróide (centro de gravidade).

* Matematicamente independente da forma: ortogonal à forma

Tamanho do Centróide

Configuração
dos *landmarks*

Centróide: centro
de gravidade

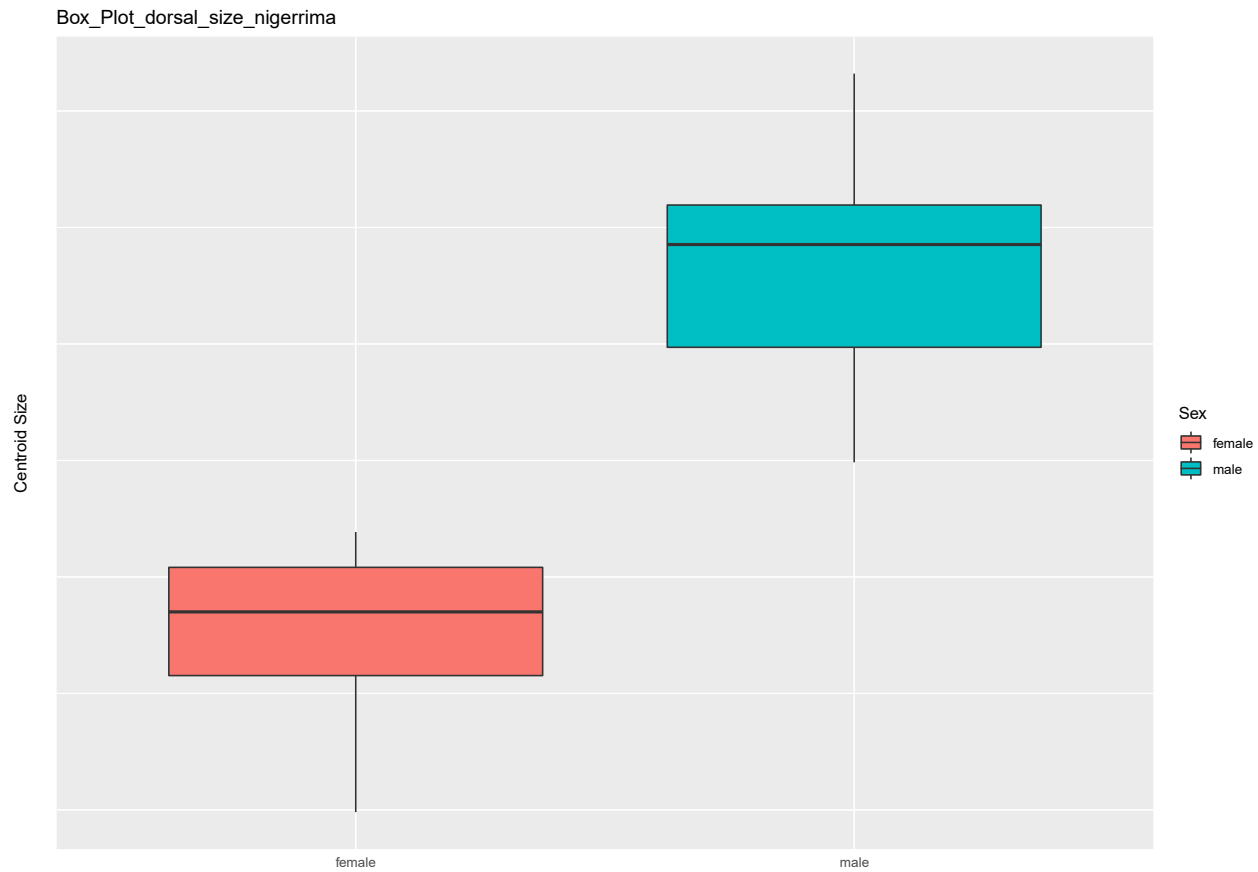


Distâncias dos landmarks
ao centróide

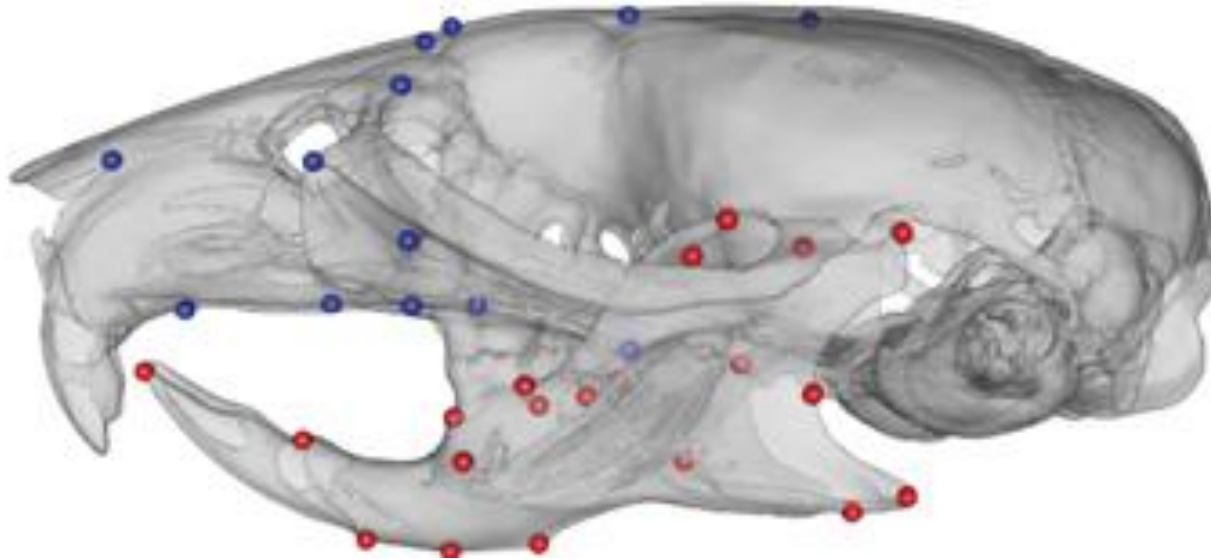
$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}$$

Tamanho do centróide: Raíz quadrada da soma dos quadrados das distâncias de todos os *landmarks* até o centróide (centro de gravidade).

Visualizando o tamanho

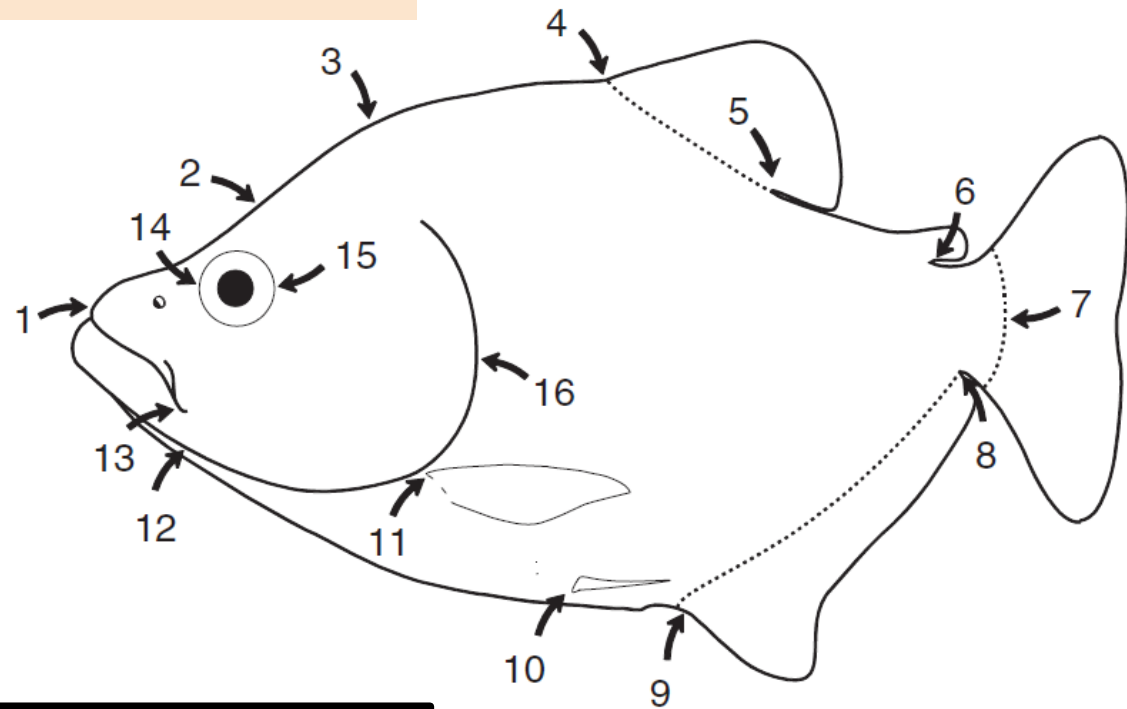


LANDMARKS

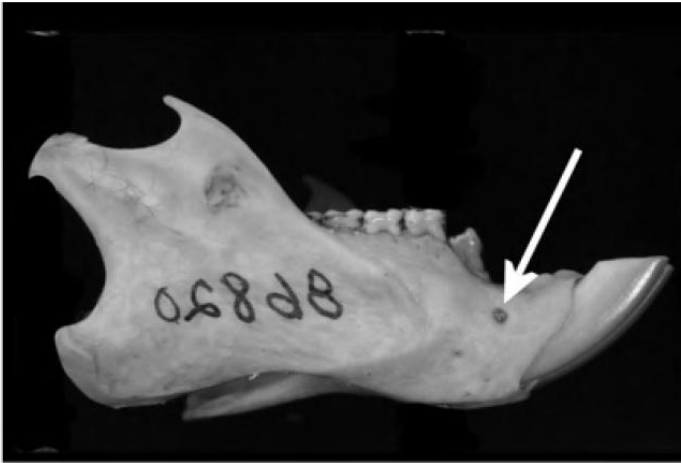


Marcos anatômicos **discretos** que podem ser reconhecidos no **mesmo ponto** em **todos** os espécimes do estudo – ‘pontos homólogos’.

LANDMARKS

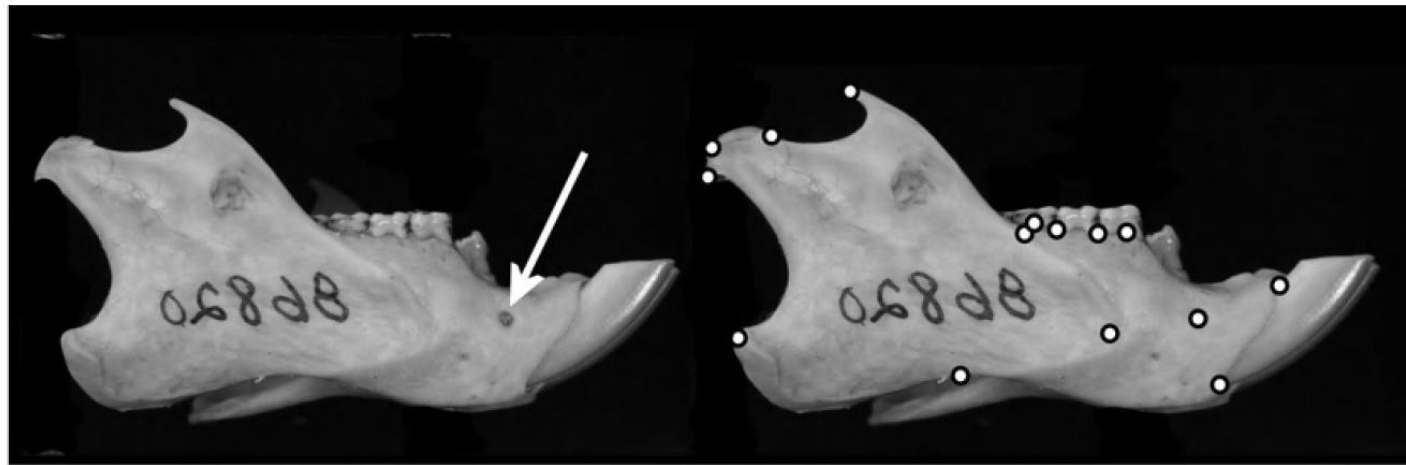


Caracteres baseados em coordenadas, a partir dos quais se pode deduzir a forma dos organismos e, posteriormente, estudá-la e compará-la por meio de métodos adequados para descrever e analisar as diferenças.



(A)

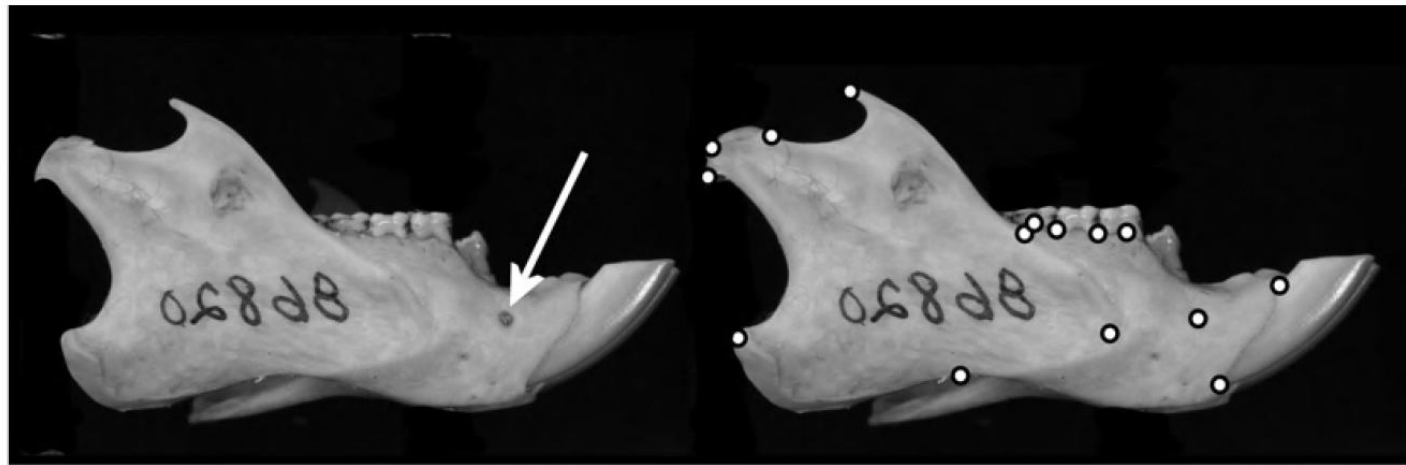
*forame mental da mandíbula inferior dos esquilos é um ponto discreto que corresponde ao forame mental de qualquer outra mandíbula de mamífero.



(A)

(B)

Poderíamos restringir a análise a esses poucos pontos, mas perderíamos grande parte da morfologia se o fizéssemos.



(A)

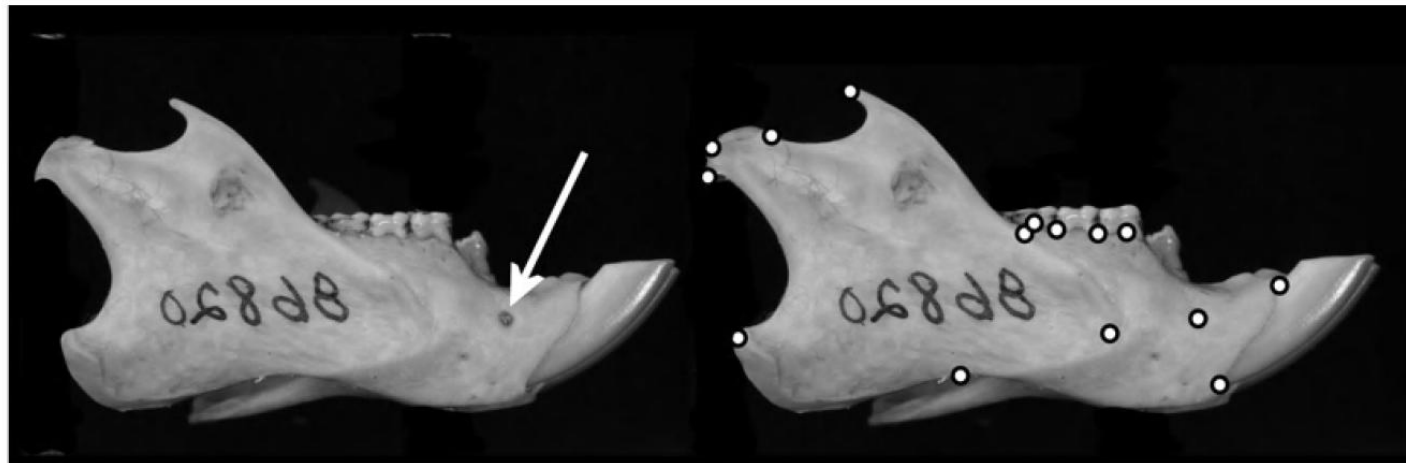
(B)



(C)

O quanto perderíamos se torna mais óbvio
ao remover a fotografia da imagem e olhar
apenas para os pontos de referência

Os pontos de referência são escassos, principalmente nas regiões de maior interesse, como onde os músculos se inserem na mandíbula.



(A)

(B)

(C)

(D)

Semilandmarks

As curvas complexas que contêm informações críticas sobre a morfologia motivam a inclusão de pontos adicionais que podem capturar informações sobre a curvatura

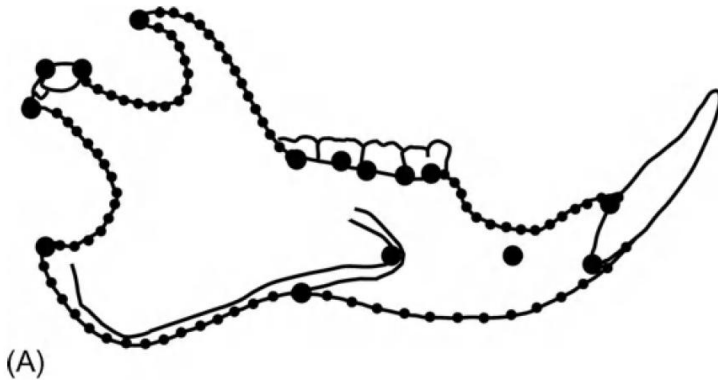


Landmarks X Semilandmarks

- *Landmarks* são pontos anatômicos discretos e *Semilandmarks* não

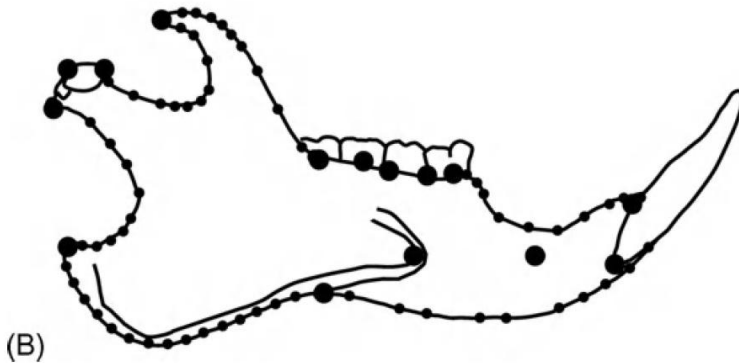
Landmarks X Semilandmarks

- *Landmarks* são pontos anatômicos discretos e *Semilandmarks* não
- *Landmarks* são homólogos e *Semilandmarks* não → a posição dos *Semilandmarks* ao longo da curva é arbitrária



Devemos ou não incluir *Semilandmarks* e como amostrá-los?

*Depende do peso atribuído a cada um dos vários critérios de seleção de marcos.



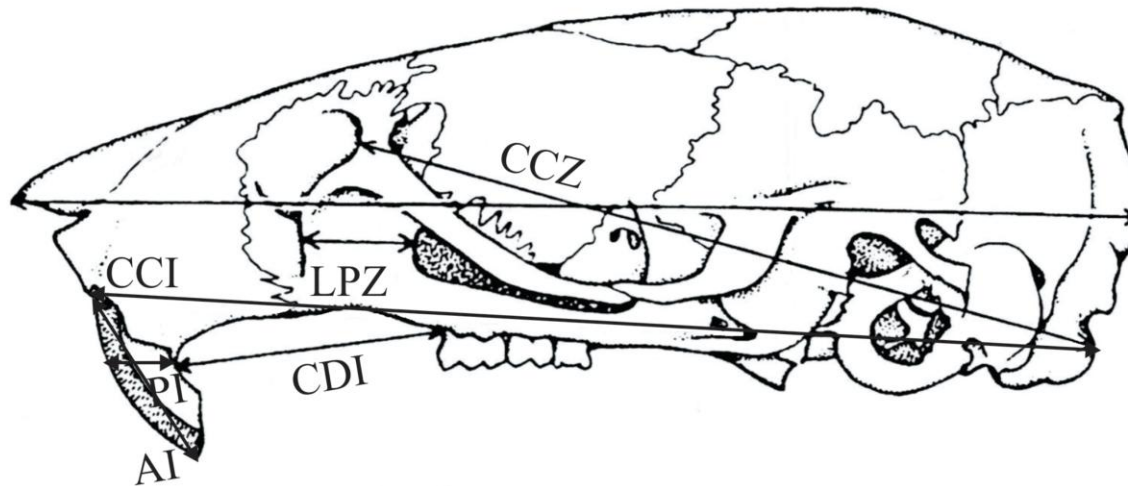
Critérios para Escolha de Landmarks

- (1) pontos anatômicos homólogos que
- (2) fornecem cobertura adequada da morfologia e
- (3) podem ser encontrados repetidamente e de forma confiável.
- (4) não trocam de posição em relação uns aos outros e
- (5) situam-se dentro do mesmo plano (dados bidimensionais (2D))

Homologia (Correspondência, se o termo homologia te incomoda!)

Os marcos em um espécime correspondem a esse mesmo marco em todos os indivíduos.

Cuidado! Na morfometria linear algumas medidas desconsideram homologia.

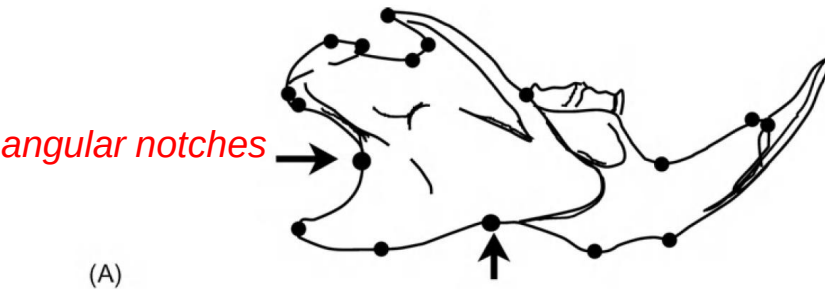


Por exemplo, medidas como "maior comprimento do crânio" podem ser tomadas entre diferentes pares de pontos finais em diferentes espécimes, porque são medidas onde o crânio é mais comprido, onde quer que isso aconteça. Os pontos finais dessas medidas não precisam corresponder um a um de um espécime para outro; é apenas o fato de o comprimento ser maior ou menor que torna as medidas comparáveis.

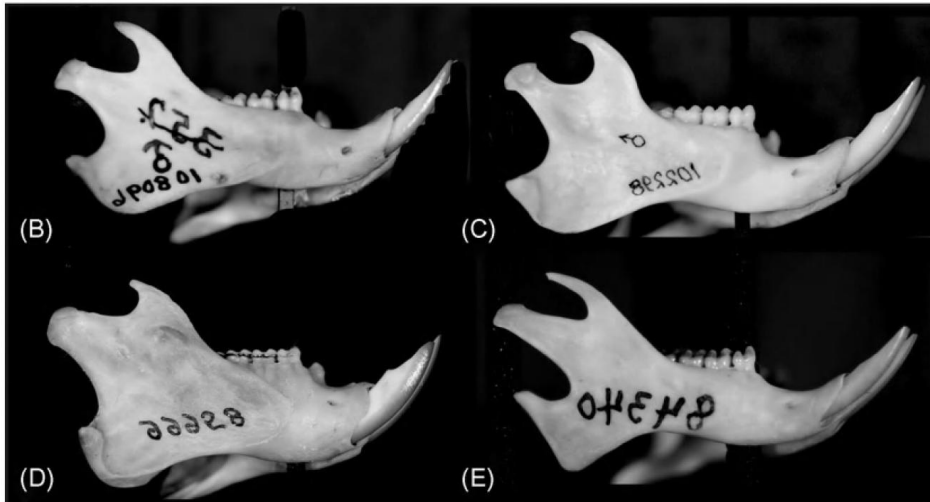
Homologia (Correspondência, se o termo homologia te incomoda!)

Os marcos em um espécime correspondem a esse mesmo marco em todos os indivíduos.

Cuidado! A anatomia comparativa muitas vezes não é suficiente para estabelecer a homologia dos marcos.



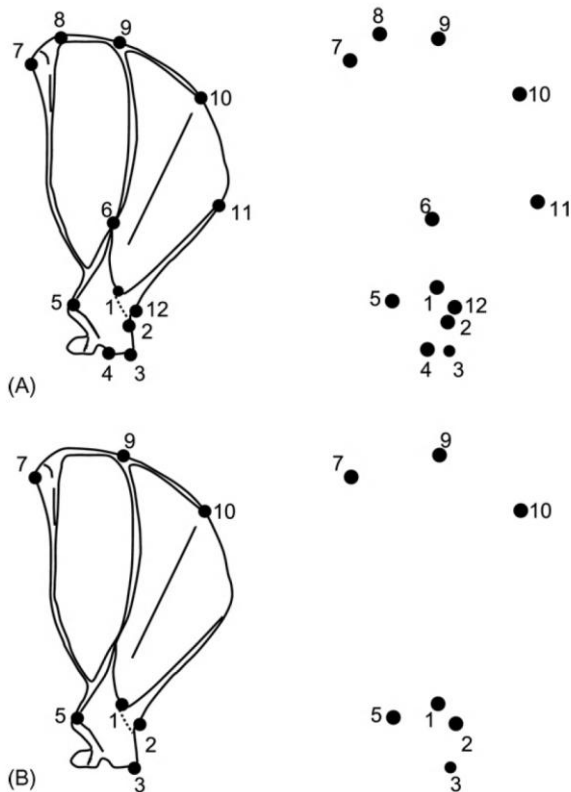
"angular notches" → pontos de inflexão cuja curvatura pode variar consideravelmente, mesmo dentro de uma mesma espécie (Figura 2.3B,C) e ainda mais entre espécies distintas (Figura 2.3B,D,E).



Não está claro onde os pontos anatomicamente correspondentes estão ao longo dessas curvas. A anatomia comparativa pode ser suficiente para estabelecer a homologia dos *notches*, mas não especifica onde, precisamente, um ponto homólogo pode ser encontrado dentro do entalhe.

Cobertura adequada da morfologia

- Não podemos detectar mudanças na forma sem dados, e os *landmarks* são os dados.
- Não podemos encontrar mudanças em regiões específicas a menos que tenhamos *landmarks* dentro delas.

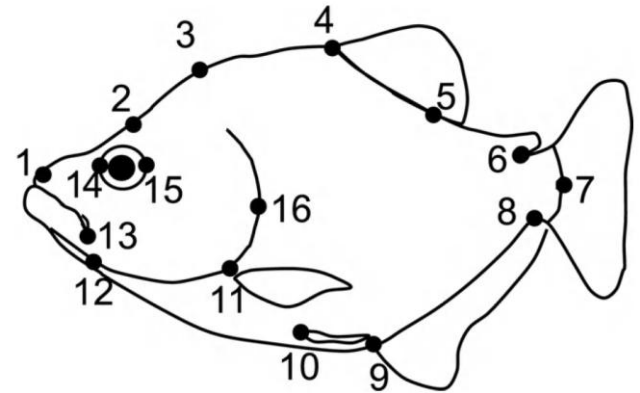


Uma maneira de decidir se você atendeu a esse critério é desenhar uma imagem dos landmarks sem traçar o restante do organismo ou, remover a fotografia e observar apenas a configuração dos pontos de referência.

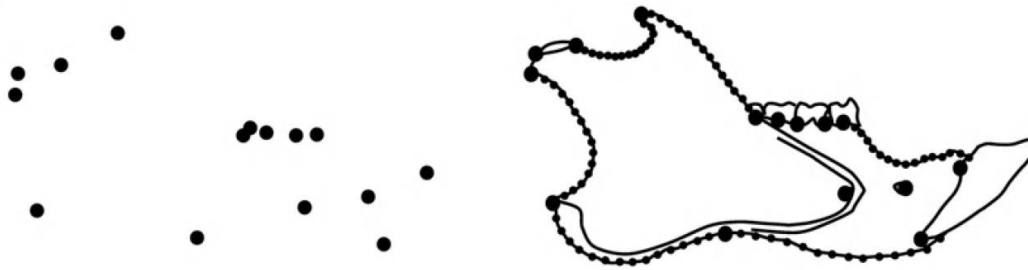
Cobertura adequada da morfologia

Às vezes não conseguimos encontrar pontos de referência onde precisamos.

- Como não há landmarks discretos nas partes anterior e posterior do olho das piranhas, mas o tamanho relativo do olho é uma mudança ontogenética visualmente marcante, foram marcados pontos nesses limites para não perder essa informação na análise.



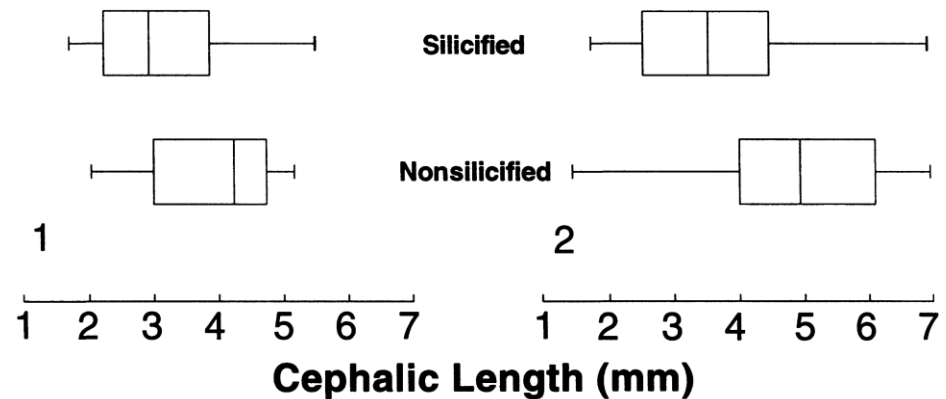
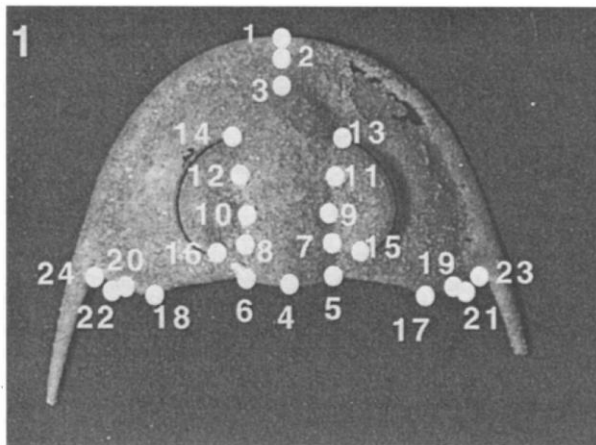
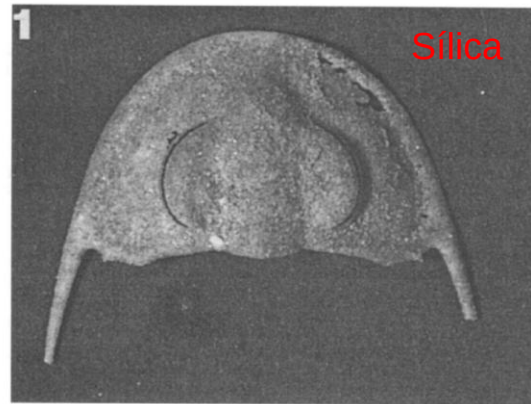
- Para representar curvas complexas sem landmarks, como na mandíbula, utilizamos semi-pontos de referência, garantindo uma amostragem adequada da forma.



Repetibilidade

Os marcos em um espécime devem ser encontrados de forma confiável

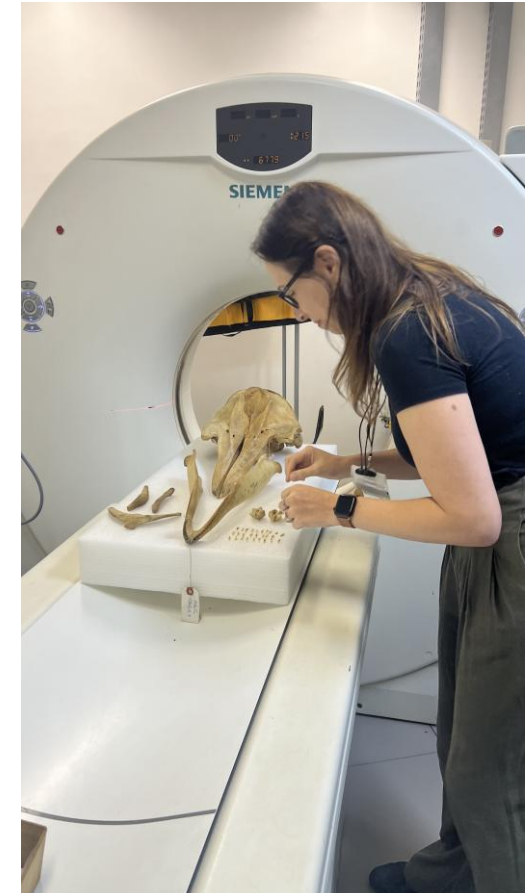
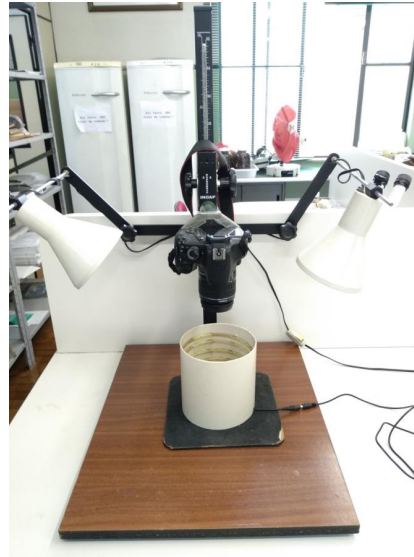
Em alguns casos, não é que os *landmarks* em si sejam difíceis de medir, mas sim que estão sujeitos a outras fontes de erro, algumas das quais tendenciosas (ex. artefatos de preservação)



Repetibilidade

Os marcos em um espécime devem ser encontrados de forma confiável

A tecnologia utilizada para capturar imagens e também para registrar os dados pode ser uma importante fonte de erro de medição. Mesmo variações muito sutis na orientação podem ter efeitos visíveis na forma



Repetibilidade

Os marcos em um espécime devem ser encontrados de forma confiável

- Capturar várias imagens do mesmo espécime, reposicionando-o entre cada sessão
- Medir cada imagem várias vezes para que você possa avaliar o erro introduzido pelo processo de captura e medição da imagem.
- Examinar vários espécimes que abrangem a variedade de tamanhos e formatos que você analisará (magnitude e a distribuição do erro podem estar relacionadas ao tamanho e/ou formato do espécime)
- Se possível utilizar mais de um instrumento e verificar se eles diferem na magnitude ou distribuição dos erros de medição

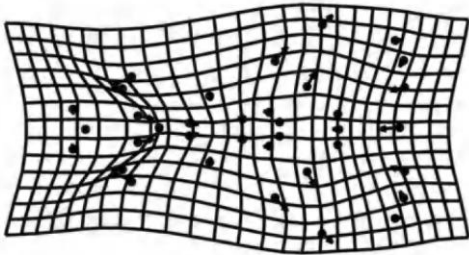
Consistência da Posição Relativa

Landmarks podem mudar de posição em relação uns aos outros. Isso pode ocorrer mesmo quando as mudanças na forma parecem muito modestas

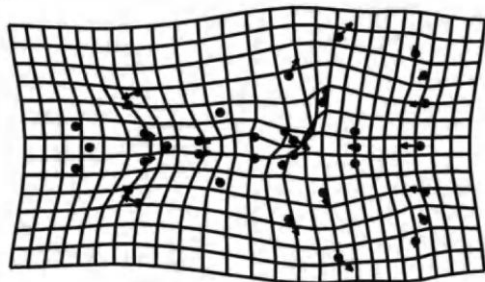


Landmarks que mudam de posições

Ex: quando um forame próximo a uma sutura ora é anterior, ora é posterior a ela. Esses dois pontos de referência podem se deslocar um em relação ao outro.



o terceiro componente principal, na ausência de qualquer mudança

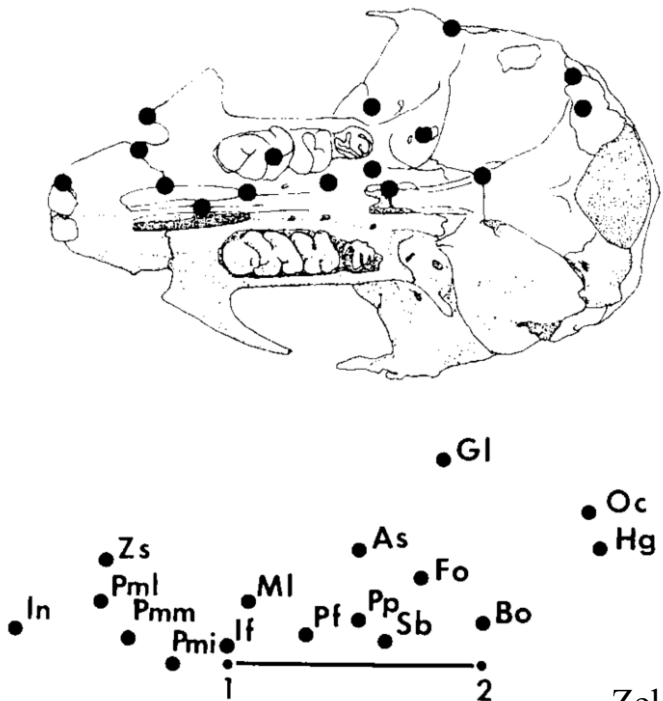


o terceiro componente principal, na presença da mudança

Coplanaridade de *Landmarks*

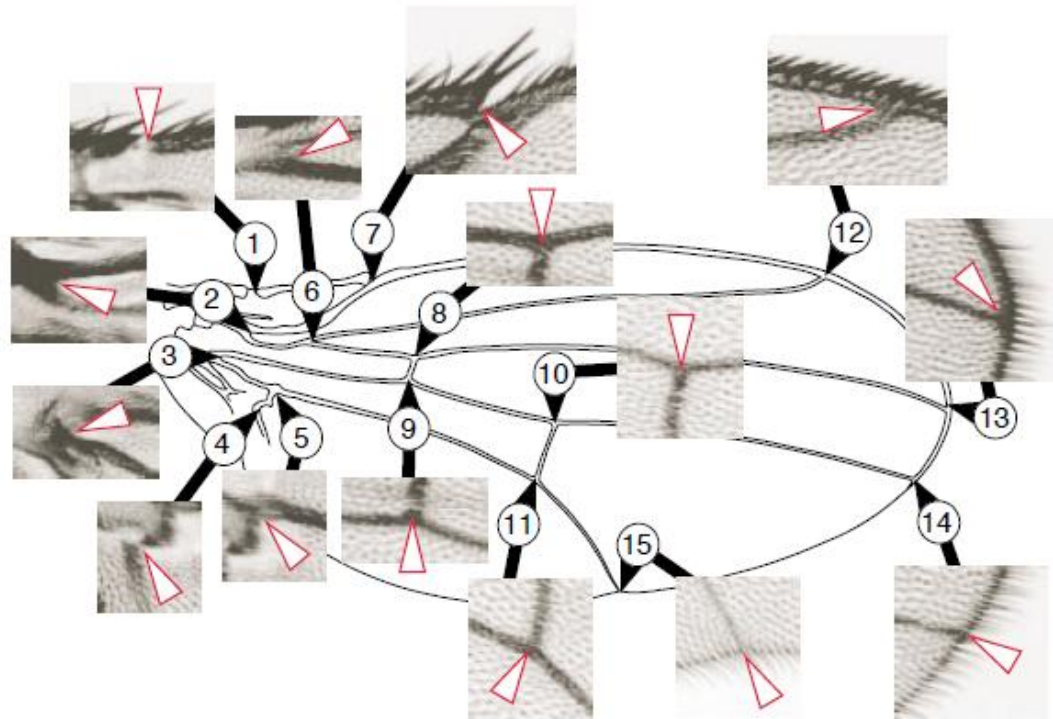
Específico para dados bidimensionais e surge da distorção causada pela projeção de um organismo tridimensional em um plano bidimensional

Para minimizar essa distorção os espécimes devem ser orientados de forma consistente sob a câmera, e um plano específico deve ser escolhido para essa orientação.



- Ex: mudança ontogenética na orientação da base craniana, com pontos iniciais na extremidade posterior movendo-se dorsalmente, saindo do plano da imagem
- Alguns pontos precisam ser excluídos por não serem visíveis em todas as idades.
- Outros podem ter localização imprecisa: embora aparentem estar na borda lateral nas fotografias, na verdade estão na superfície lateral, o que impede a determinação exata de seu movimento (se anteroposterior/mediolateral ou dorsoventral).

Landmarks: Definições detalhadas



As definições devem especificar exatamente como os pontos de referência são encontrados.

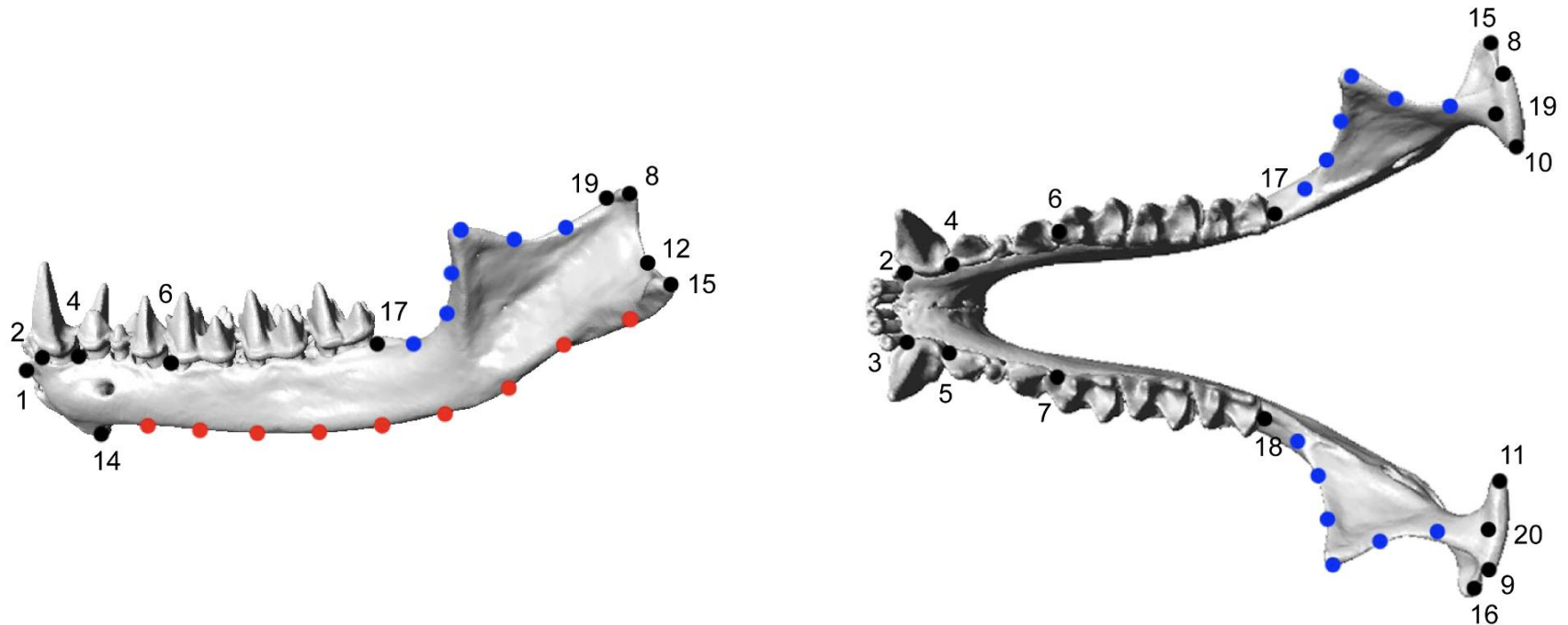
Description of Landmarks

Mandible Landmarks

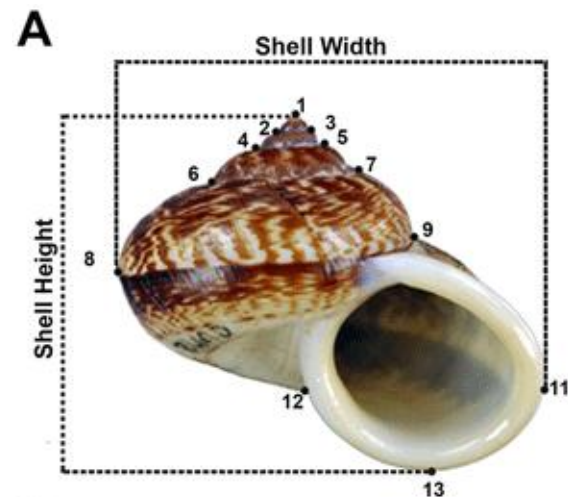
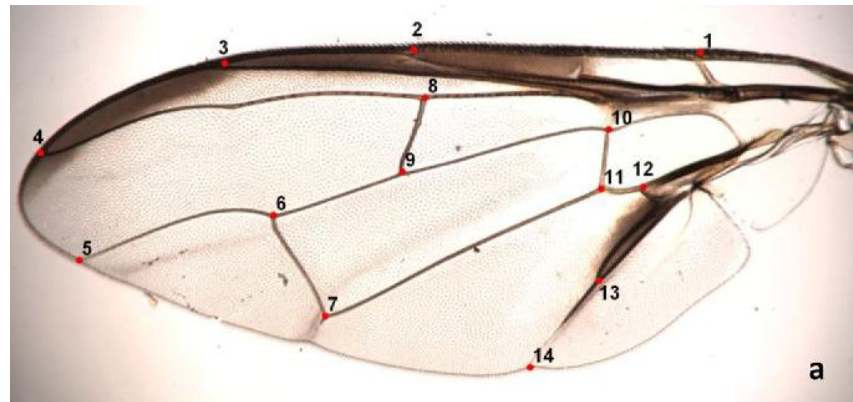
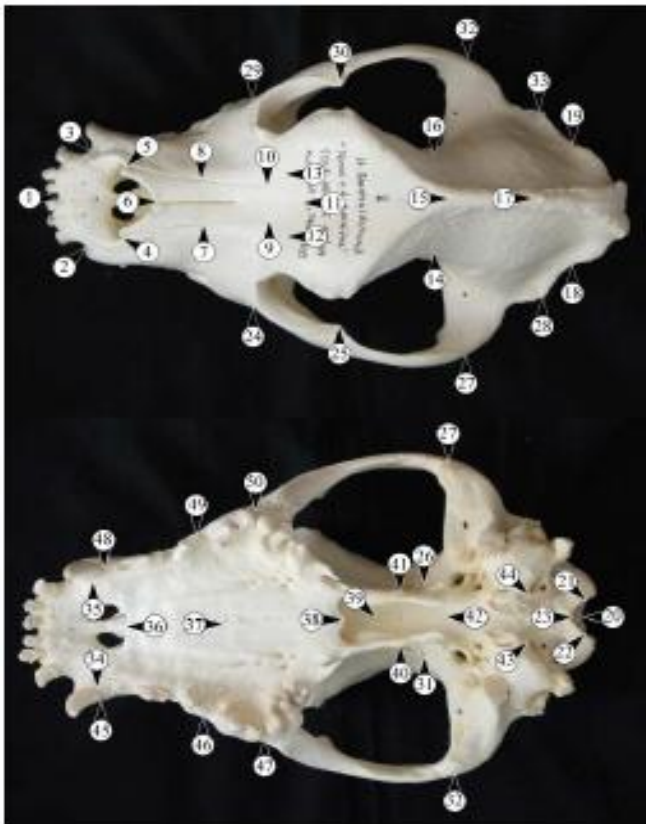
1. Anteriormost point on the mandibular symphysis
- 2-3. Anteriormost point on canine alveolus
- 4-5. Anteriormost point on premolar alveolus
- 6-7. Anteriormost point of first molar alveolus
- 8-9. Lateralmost point on mandibular condyle
- 10-11. Medialmost point on mandibular condyle
- 12-13. Inflection point on the posterior profile between the mandibular condyle and the angular process
14. Ventralmost point on the mandibular symphysis
- 15-16. Posteriormost point on the angular process
- 17-18. Posteriormost point on the last molar alveolus
- 19-20. Anterior inflection point on the articular surface, midpoint between L8/9 and L10/11.

Curves with equidistant sliding semi-landmarks

- 1-2, From L17/18 to L19/20, along the dorsal profile of the coronoid process. (blue)
- 3-4, From L14 to L15-16, along the ventral profile of the ramus and angular process. (red)



➤ Animais

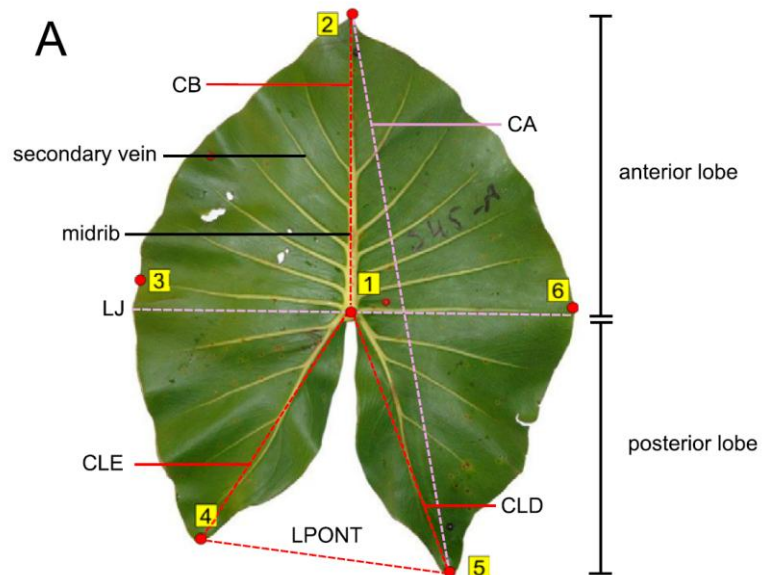


➤ Plantas



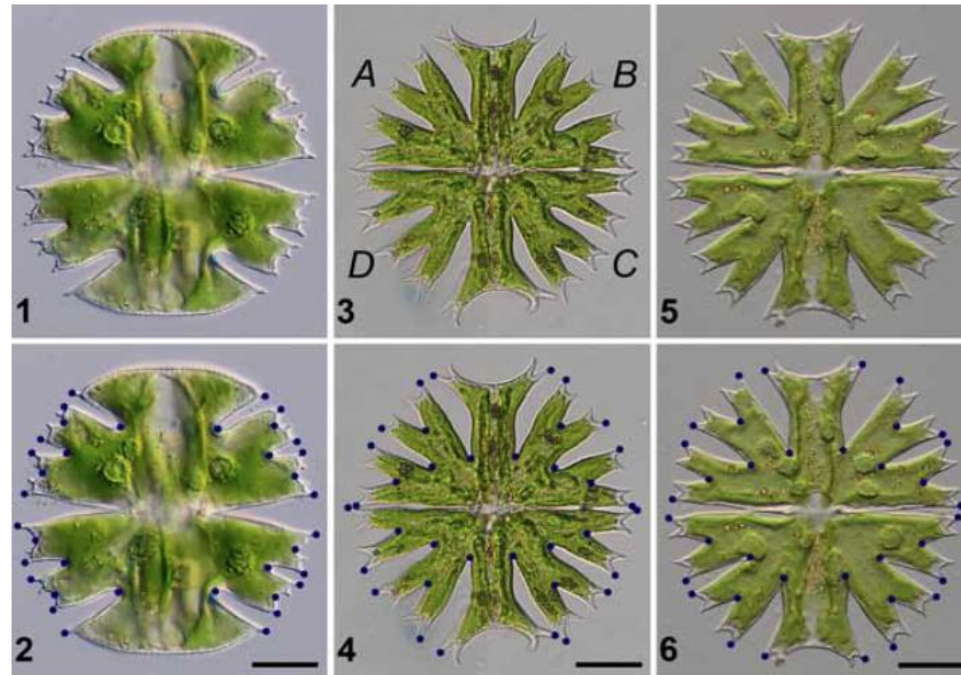
Savriama, Y., J. M. Gómez, F. Perfectti, and C. P. Klingenberg (2012)

A nervura nas folhas ou pétalas geralmente permite definir os *landmarks*. Isso pode ser difícil se o número de veias variar.



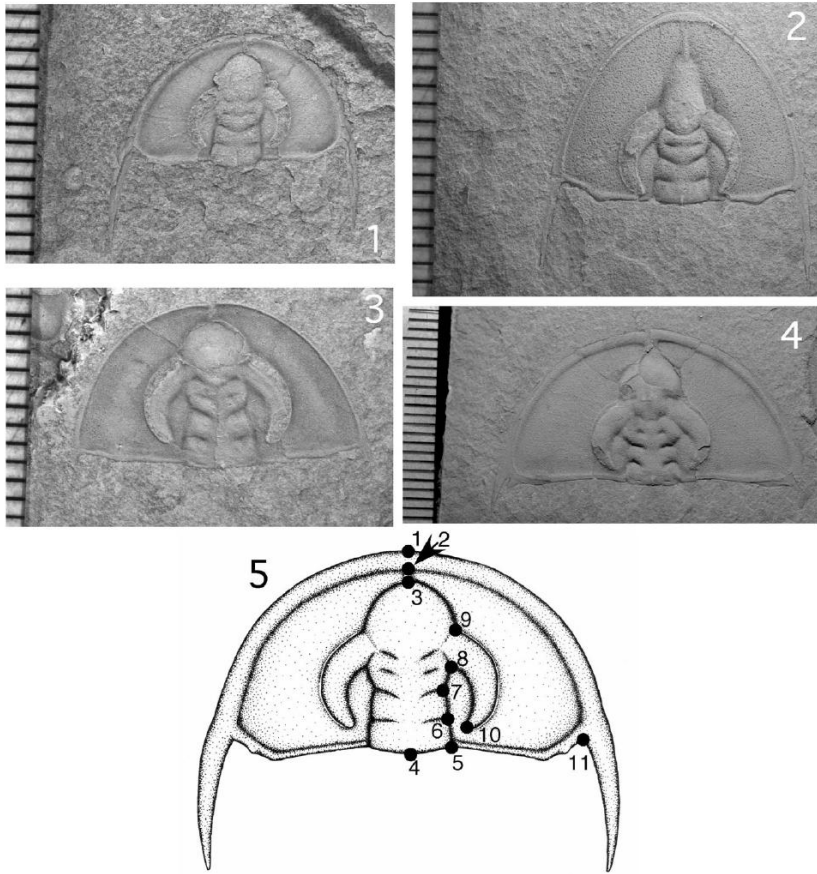
Silva, M. F. S., I. M. de Andrade, and S. J. Mayo (2012)

➤ Algas

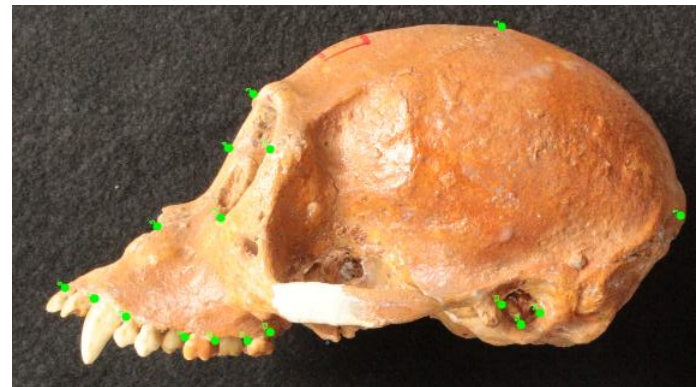


Neustupa J. 2013. Patterns of symmetric and asymmetric morphological variation in unicellular green microalgae of the genus *Micrasterias* (Desmiales, Viridiplantae). *Fottea* 13:53–63.

➤ Fósseis



Webster and Sheets (2010)



Serrano-Villavicencio (2016)

Quantos *Landmarks* são necessários?



COMMENTARY | Free Access

Modern morphometrics and the study of population differences: Good data behind clever analyses and cool pictures?

Andrea Cardini

JOURNAL ARTICLE

High-Density Morphometric Analysis of Shape and Integration: The Good, the Bad, and the Not-Really-a-Problem

Anjali Goswami , Akinobu Watanabe, Ryan N Felice, Carla Bardua, Anne-Claire Fabre, P David Polly

Integrative and Comparative Biology, Volume 59, Issue 3, September 2019, Pages 669–683, <https://doi.org/10.1093/icb/icz120>

Published: 27 June 2019

JOURNAL ARTICLE

Optimizing digitalization effort in morphometrics

Allwen Evin , Vincent Bonhomme, Julien Claude

Biology Methods and Protocols, Volume 5, Issue 1, 2020, bpaa023, <https://doi.org/10.1093/biomethods/bpaa023>

Published: 16 November 2020 **Article history** ▼



How many landmarks are enough to characterize shape and size variation?

Akinobu Watanabe

Published: June 4, 2018 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198341>

Quantos *Landmarks* são necessários?

Projetar os *landmarks* é uma etapa crucial que requer:

- tempo
- conhecimento biológico
- inspeção cuidadosa de múltiplos espécimes para avaliar a amplitude de variação a ser representada

Frequentemente, os principais padrões de variação podem ser inferidos a partir de conjuntos relativamente pequenos de *landmarks*, especialmente se as características forem conhecidas a priori e os *landmarks* adequados. Mas se as características forem desconhecidas ou de pequena escala espacial, um conjunto mais denso de marcos é necessário.

Quantos *Landmarks* são necessários?

Projetar os *landmarks* é uma etapa crucial que requer:

- tempo
- conhecimento biológico
- inspeção cuidadosa de múltiplos espécimes para avaliar a amplitude de variação a ser representada

O número e o espaçamento dos *landmarks* devem ser determinados pela variação e pela escala espacial de interesse, e pelo objetivo do estudo.

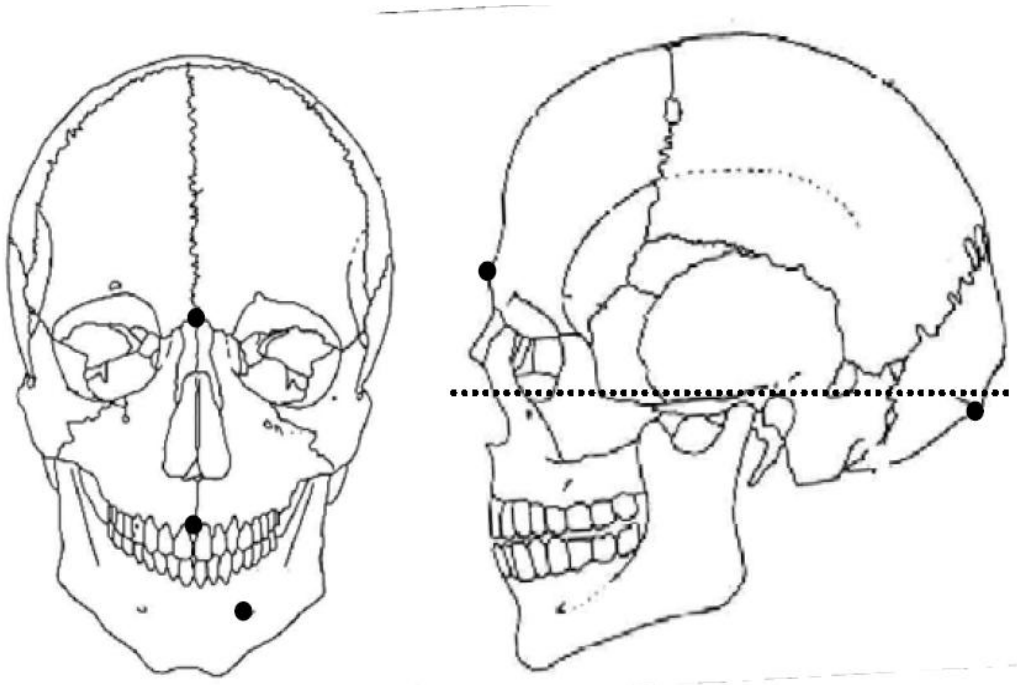
- estudo funcional ou comparativo, depende de uma representação mais detalhada das estruturas anatômicas.
- reconstrução fóssil requer um conjunto muito denso de *landmarks* e *semilandmarks*

Quantos *Landmarks* são necessários?

Como regra geral, pode-se tentar imaginar se conectar os *landmarks* por linhas representaria suficientemente a estrutura no nível de detalhe pretendido.



Tipos de *landmarks*



- **Tipo I:** Pontos tradicionais ou anatômicos são pontos matemáticos cuja suposta homologia de um indivíduo para outro é apoiada por evidências sólidas ou significância biológica (por exemplo, justaposição de tecidos, intersecção de suturas cranianas ou inserção de uma nadadeira).



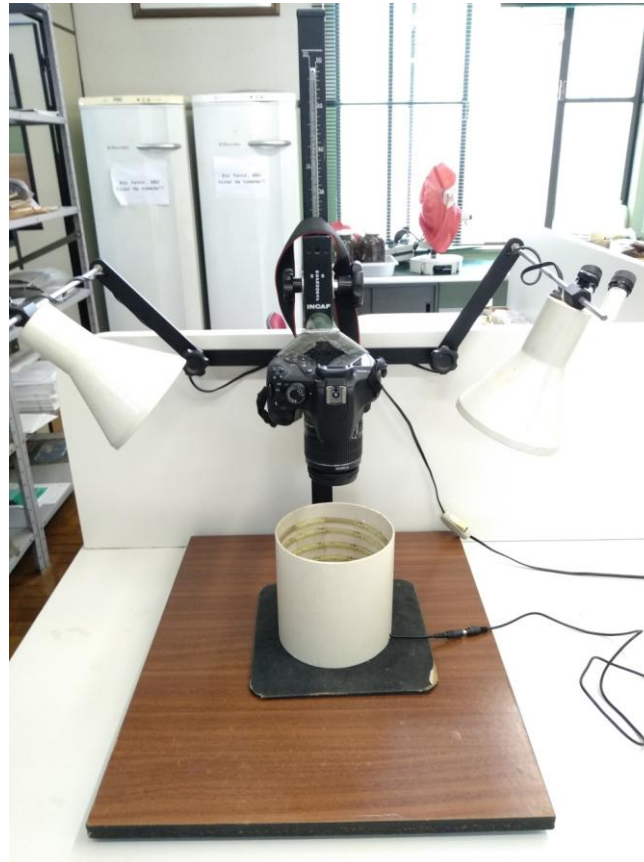
- **Tipo II:** São pontos matemáticos cuja suposta homologia de um indivíduo para outro é apoiada apenas pela geometria e não por evidências anatômicas. A definição desses pontos de referência geralmente inclui uma posição de referência (exemplo: um ponto de curvatura máxima, a cúspide de um dente).

- **Tipo III:** As definições de Lele e Richstemeier (2001, “construído”) e Dryden e Mardia (1998, “pseudo-marcos”) são coincidentes e referem-se a pontos localizados em qualquer lugar ao longo de um contorno ou entre dois *landmarks* anatômicos ou matemáticos.



Digitalização de *landmarks*

Digitalização em 2D



Dados em 2D

Landmarks são digitalizados em imagens



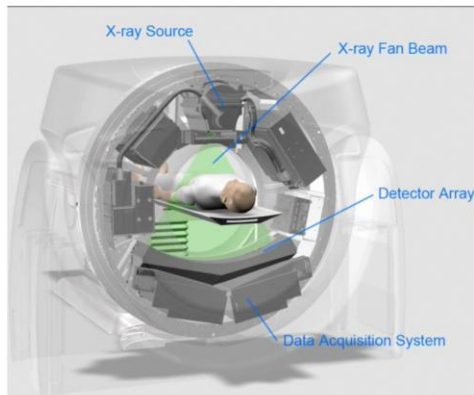
Captura de tela do software tpsDig

Digitalização em 3D

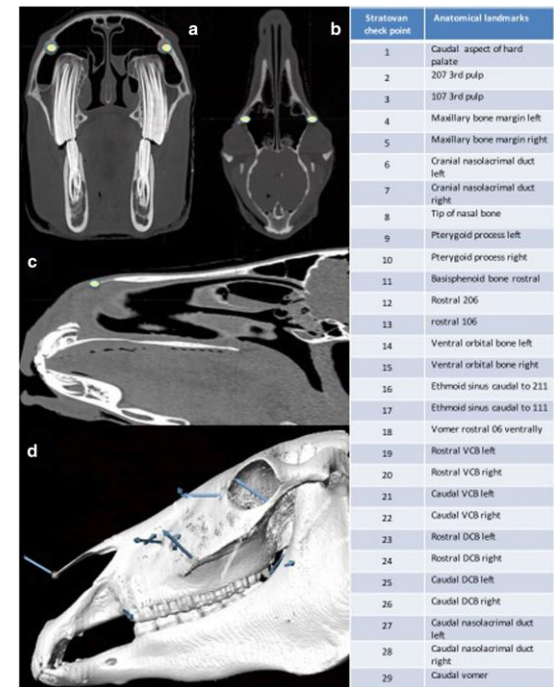
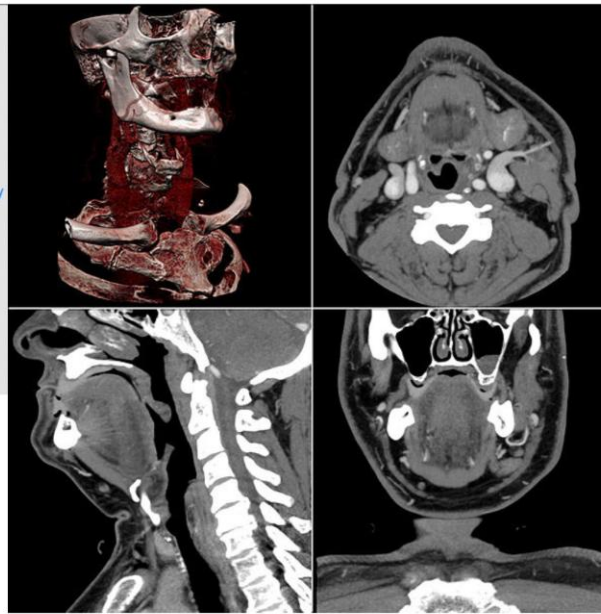


Digitalizador
tridimensional
(Microscribe)

➤ CT scanning (tomografia computadorizada)

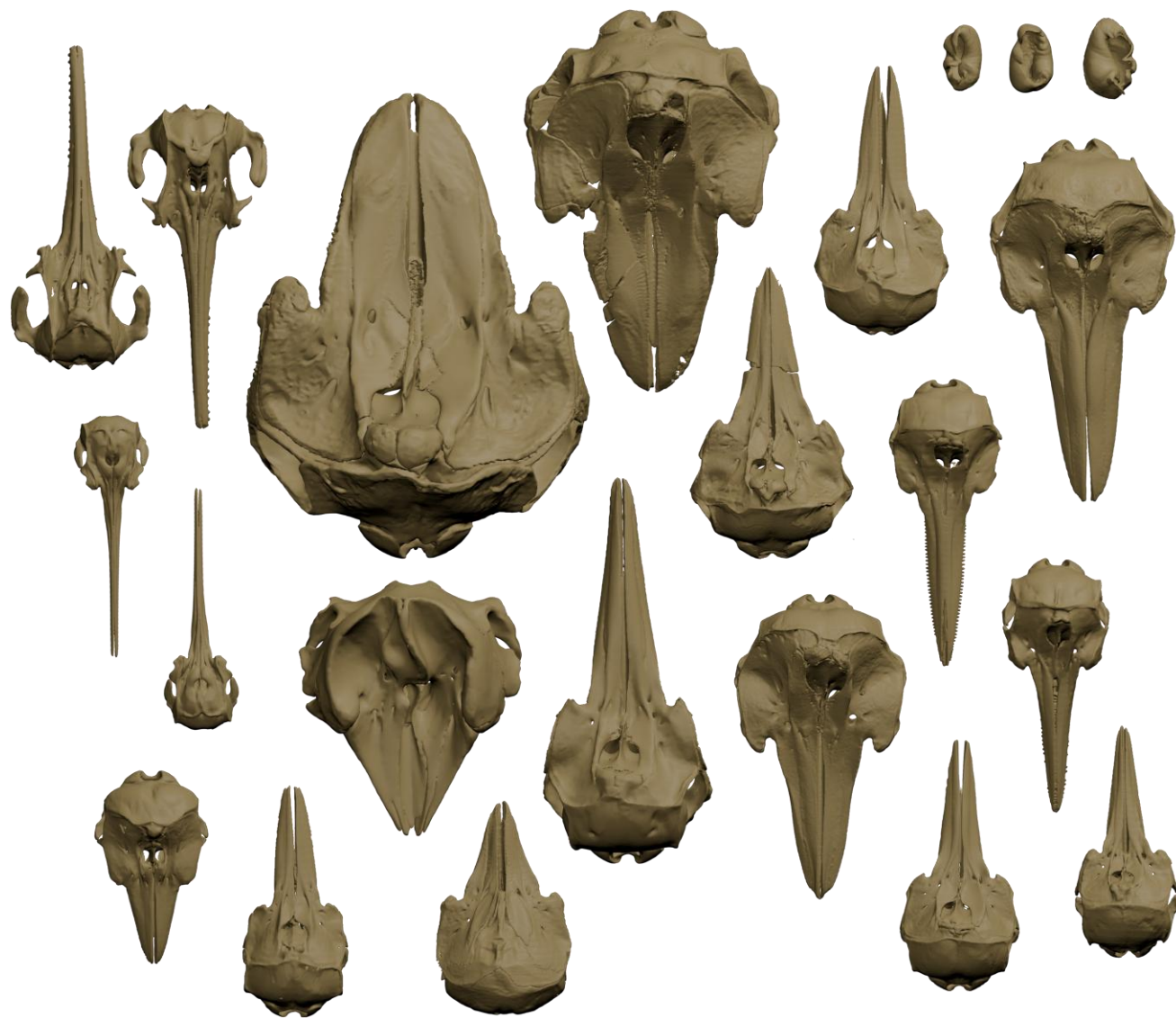


Medical CT scanner: the X-ray source and detector rotate around the patient. Data need to be extracted from 3D rendering or “sections” in various planes.



Liuti and Dixon (2020)

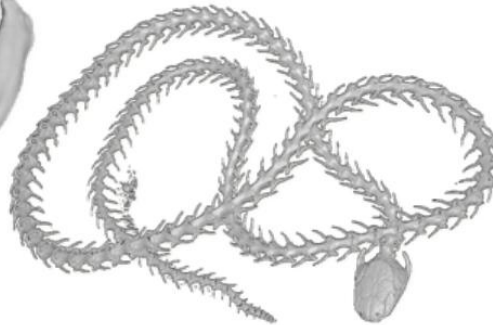
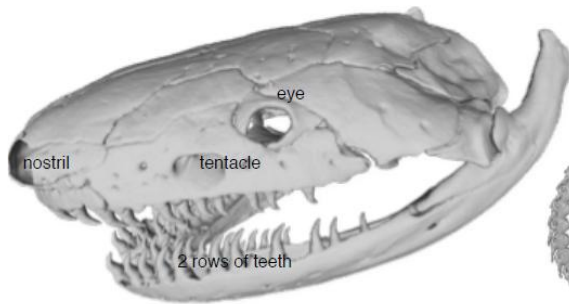




Micro-CT scanning



Table-top systems. The specimen rotates between the X-ray source and detector.

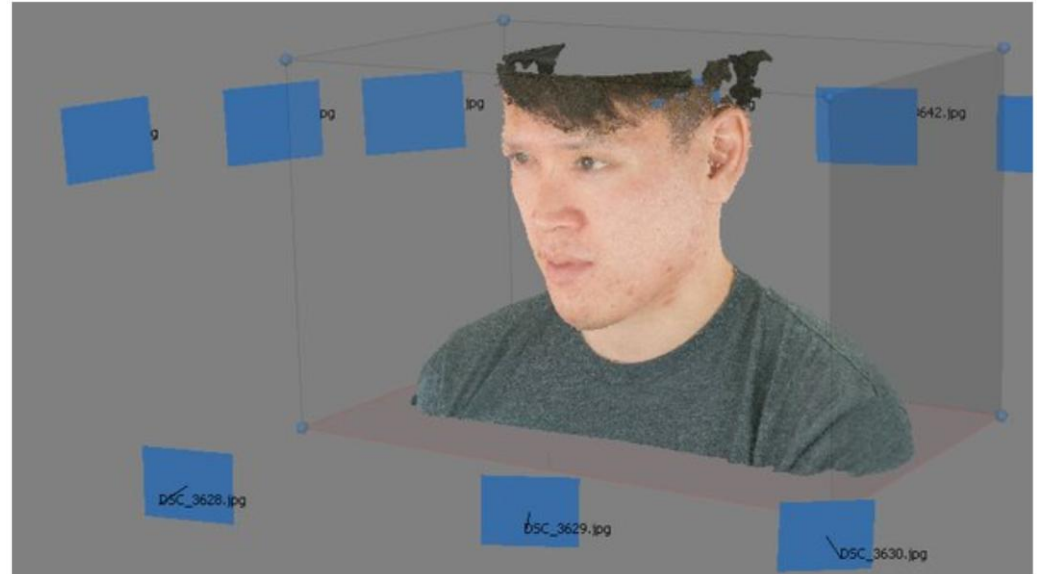


Very high resolution of scans is possible (depending on scanner).

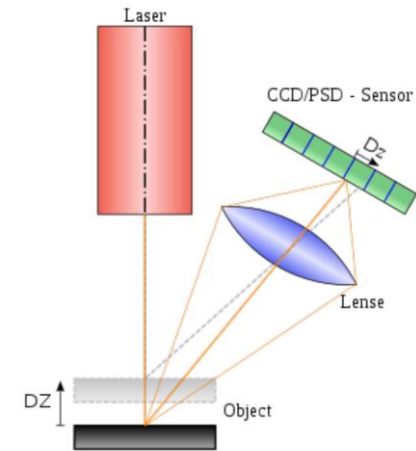
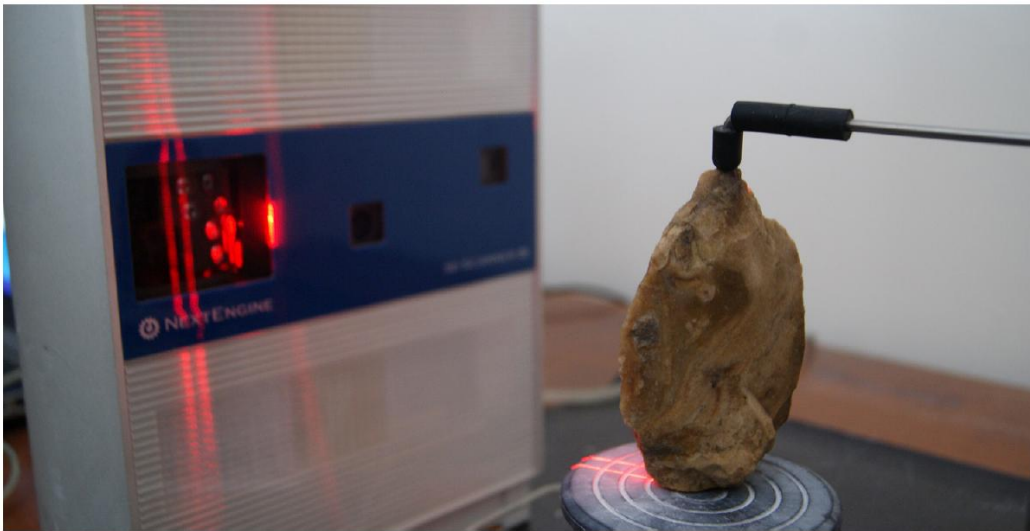


Fotogrametria

- Combina imagens do mesmo objeto tiradas de ângulos diferentes. O método pode ser barato (não é necessário equipamento especial), mas pode ser muito lento.



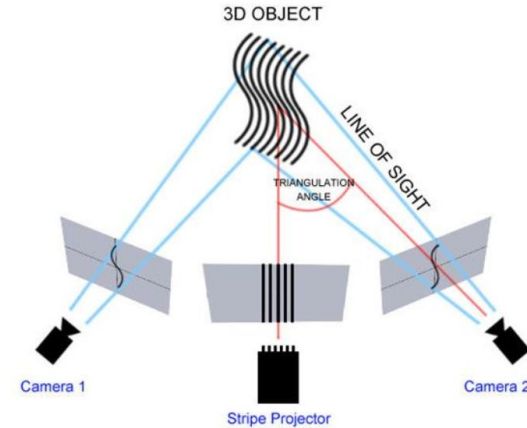
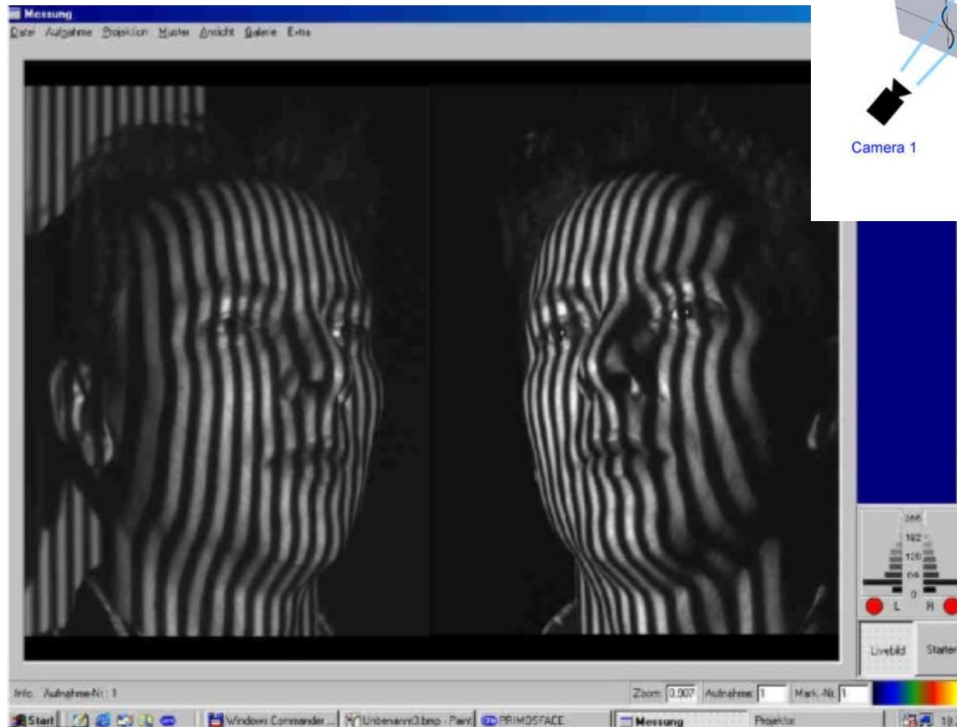
Scanners de superfície



Proyectar un rayo láser sobre el objeto, observando con al menos una cámara desde un ángulo

Os scanners a laser podem ser relativamente baratos (por exemplo, NextEngine), mas tendem a ser bem lentos. Para uso em humanos ou animais vivos, o uso de lasers pode ser um problema de segurança (olhos!)

Scanner de luz estruturada: rápido, seguro para uso em humanos, boa resolução.



Projetando um padrão listrado no objeto, observando com câmeras de várias direções



HandySCAN 3D | BLACK Series

HANDYSCAN 3D: ESCÂNERES DE ALTA PRECISÃO



Câmeras de alto desempenho

- Precisão:
0,025 mm.
0,012 mm com Edição Limitada
- Precisão volumétrica:
0,020 + 0,040 mm/m.
0,012 + 0,020 mm/m com Edição Limitada
- Laboratório acreditado pela ISO 17025.
- Alta resolução para detalhes finos.





3D Printer outlet



MINI 3D Scanner Set 0.02mm

R\$5.080,99 ~~R\$8.468,34~~ 40% desc.

🔥 **Atacado** 10+ unidades, extra 2% off

2x de a partir de R\$2.545,42 com juros ⓘ

🔥 **R\$28,58 off over R\$1.708,90**

Revopoint Mini Scanner 3D Set 0.02mm Precisão 10 fps Velocidade De Digitalização Industrial Luz Azul Turnable Scan Mode Dualaxis Turntable



Obrigada!

