

Desenvolvimento de software para determinação dos parâmetros sagitais e ponto de inflexão.

Adimilson S. Delgado

Programa de Pós-Graduação
Interunidades em Bioengenharia,
Universidade de São Paulo
São Carlos, Brasil
delganeuro@usp.br

Bruna S. Morais

Programa de Pós-Graduação
Interunidades em Bioengenharia,
Universidade de São Paulo
São Carlos, Brasil
b.souzamorais@usp.br

Helton L. A. Defino

Departamento de Biomecânica,
Medicina e Reabilitação,
Faculdade de Medicina
de Ribeirão Preto,
Universidade de São Paulo
Ribeirão Preto, Brasil
hldefin@fmrp.usp.br

Arlindo N. Montagnoli

Departamento de
Engenharia Elétrica,
Universidade Federal
de São Carlos
São Carlos, Brasil
arlindonm@gmail.com

Resumo—A otimização da análise paramétrica para programação cirúrgica da coluna vertebral passa pela inclusão de parâmetros funcionais que refletem as mudanças dinâmicas associadas ao movimento, além dos parâmetros anatômicos comumente utilizados. Assim, o objetivo deste trabalho é validar e apresentar uma nova ferramenta de análise paramétrica dinâmica. A metodologia de validação baseou-se na comparação pela diferença média absoluta dos parâmetros versão pélvica (VP), inclinação sacral (IS), incidência pélvica (IP), cifose torácica (CT) e lordose lombar (LL), calculados com o software proposto e o Surgimap, para 10 voluntários assintomáticos. O resultado para cada parâmetro foi: IS = 0.25° , VP = 0.09° , IP = 0.24° , CT = 4.3° , LL = 0.51° . Os pontos de inflexão da coluna foi localizado pela derivada da curva da coluna vertebral modelada pela interpolação dos centroides dos corpos vertebrais. Focando as análises na lordose lombar, demonstrou-se que o ponto de inflexão nem sempre coincide com o referencial anatômico da mudança de curvatura da coluna. Os resultados preliminares apresentam fortes indícios que a introdução dos parâmetros funcionais representam a coluna vertebral de forma mais próxima do real, sendo promissores para os avanços na programação cirúrgica.

Index Terms—Alinhamento sagital, Posição de suporte funcional, Morfologia espinopélvica, Ponto de inflexão, Lordose lombar.

I. INTRODUÇÃO

A manutenção do equilíbrio nas diversas posturas corporais evidencia a harmonia estático-dinâmica da coluna vertebral. É propriamente esse equilíbrio que proporciona sua funcionalidade na sustentação corporal e concomitantemente garante uma aparência harmoniosa [1]. Entretanto, grande parte dos estudos de análise da coluna são feitos em posturas estáticas considerando-a como uma estrutura rígida e ignorando suas curvaturas fisiológicas. Ainda assim não se dá o real valor a mudança dinâmica durante os movimentos fisiológicos da coluna vertebral.

Vários parâmetros anatômicos combinados foram descritos na literatura para se caracterizar o alinhamento da coluna vertebral e já estão bem consolidados na prática do planejamento cirúrgico da coluna vertebral [1]. Mas todos eles foram focados em parâmetros morfológicos na lordose lombar de L1 a S1 e em parâmetros pélvicos. No entanto, esta análise tem se

mostrado insuficiente para se determinar de forma fidedigna às estratégias do tratamento cirúrgico. Ao mesmo tempo não se pode ignorar a importância e a especificidade de dados relacionados aos parâmetros espinopélvicos.

Software de análise computadorizada, como o Surgimap, Optispine, keops, buscam aprimorar a acurácia e a reprodutibilidade entre os mais diversos parâmetros da coluna para poder ser utilizado como uma parametrização de análise para as correções cirúrgicas [1] [2]. Mesmo esses programas também levam em consideração a aferição apenas de parâmetros anatômicos, morfológicos e não-funcionais, não priorizando alterações dinâmicas e as mudanças correlacionadas com o ponto de inflexão da coluna vertebral.

O ponto de inflexão da coluna vertebral, oferece a possibilidade da análise das curvaturas da coluna baseados no ponto de mudança da curvatura das mesmas; já que pelos métodos utilizados nos cálculos paramétricos prévios os limites anatômicos eram pré-estabelecidos e imutáveis. Apesar de a literatura definir originalmente a lordose lombar com início e fim limitados anatomicamente pelo platô superior de L1 e o de S1, quando se leva em consideração o ângulo de mudança da curva da coluna este ponto pode não coincidente com o anatômico, se estendendo por exemplo a nível de T9 a T12. Esta observação vem de encontro a necessidade descrita nos trabalhos de Roussouly [1] [3], que vislumbrava a possibilidade de unir referenciais anatômicos e funcionais, que por sua vez pudessem determinar mudanças relevantes nos cálculos de programação cirúrgica da coluna, o que poderia de certa forma minimizar os erros vigentes até então.

Assim ressalta-se a importância da criação de uma nova metodologia de análise paramétrica da coluna que possa colaborar com as existentes, para uma melhor programação cirúrgica e minimização dos erros e falhas de cálculo. A necessidade de analisar o alinhamento sagital de uma forma mais dinâmica, vem de encontro a necessidade de se compreender melhor as alterações encontradas na coluna na amplitude de seu movimento [4] [5].

A proposta do presente estudo é a validação do software que implemente uma nova metodologia de análise paramétrica da

coluna lombar que possa colaborar com as existentes para uma programação cirúrgica e minimização de erros e falhas.

- Calcular os parâmetros anatómicos e comparar com resultados obtidos com o software de referência *Surgimap*;
- Determinar de forma automatizada através de cálculos matemático o ponto de inflexão da coluna vertebral como um parâmetro funcional a ser considerado para programação nas cirurgias de coluna.

II. METODOLOGIA

A. Protocolo de coleta

Um estudo prospectivo foi realizado com base em 10 exames radiológicos de Raio X de coluna panorâmica de pacientes sendo 8 do sexo masculino e 2 do sexo feminino, com idade entre 18 a 40 anos. As imagens foram coletadas de um banco de dados no período de Janeiro de 2019 a Julho de 2021.

Para a avaliação radiográfica do plano sagital, foi necessário a aquisição de imagens obtidas através de Raio-X simples de coluna vertebral panorâmica em incidência em perfil, desde a região crânio-vertebral, região cervical até as cabeças femurais, que devem estar incluídas nos campos de visão e possuir contornos visíveis.

O posicionamento do indivíduo para a radiografia panorâmica da coluna vertebral foi realizado com base no estudo de Marks *et al.* (2009) [6]. O estudo radiológico da coluna total foi obtido com o posicionamento do paciente em pé (pôsterio-anterior e lateral- perfil), sendo incluído apenas o estudo lateral, com os membros superiores apoiados em um suporte, em 30 graus de flexão e os cotovelos ligeiramente fletidos (conforme Figura 1). Este posicionamento foi escolhido por ser o mais comparável a uma posição ortostática funcional, que não altere significativamente o alinhamento sagital da coluna vertebral [7]. Foram incluídos no estudo somente imagens obtidas com total visualização de todos os elementos da estrutura óssea desde a transição crânio-vertebral, vértebras da coluna cervical, coluna torácica, coluna lombar e sacral, bacia até as cabeças femurais. Foram excluídos indivíduos com histórico prévio de cirurgia de coluna e/ou cirurgia do quadril ou doença na articulação femoroacetabular e doença neurológica ou neuromuscular.

B. Validação da Ferramenta

A validação da ferramenta foi feita pela comparação das medições no *Surgimap* e no novo software, dos principais parâmetros espino-pélvicos.

Para aferição no software proposto inicialmente foi determinada a localização da cabeça do fêmur. Ademais foi feita a identificação individual do corpo vertebral de C3 a S1 por meio da marcação dos vértices. A partir desta marcação foi realizada a modelagem matemática da coluna para padronização dos cálculos espino-pélvicos e vertebrais utilizando os mesmos referenciais do *Surgimap*.

No *Surgimap* as medições foram feitas com o *Sagital Spino-Pelvic Wizard* que leva em consideração os seguintes referenciais anatómicos: cabeças femurais, platô superior de



Fig. 1: Raio-X no plano sagital e posicionamento do voluntário para realizar o Raio-X panorâmico de coluna vertebral em incidência de perfil [7].

S1, L1 e T1 e platô inferior de C2. Para eliminar o viés topográfico de marcação, a fixação desses pontos no *Surgimap* foi feita sobre os mesmos pontos mapeados previamente no software apresentado.

Os seguintes parâmetros para validação do software foram documentados: parâmetros espino-pélvicos (versão pélvica (VP), inclinação sacral (IS) e incidência pélvica(IP)), parâmetros vertebrais (cifose torácica (CT), lordose lombar (LL)) [3] [8] [9].

A precisão foi avaliada pelo cálculo da diferença média absoluta para cada parâmetro [2].

C. Ponto de Inflexão

O ponto de inflexão foi calculado matematicamente através da mudança do ângulo da curva da coluna vertebral.

Inicialmente foi realizada uma modelagem da curvatura da coluna vertebral baseado no centróide dos corpos vertebrais. Em seguida foi calculada a inclinação do gráfico ajustado para coluna, com base no coeficiente angular. O ponto de inflexão da coluna vertebral corresponde quando o coeficiente angular é igual a zero.

III. RESULTADOS

Apesar de se obter a marcação da coluna vertebral desde a junção crânio-vertebral até o sacro e a cabeça do fêmur, como forma de sistematização para a criação da ferramenta

paramétrica, o presente estudo apresenta como alvo preliminar o estudo da coluna vertebral lombar do ponto de vista anatômico e funcional. Os limites anatômicos considerados foram: superiormente o platô superior de L1, inferiormente o platô superior de S1.

A análise de precisão das aferições feitas no novo software, e no *Surgimap*, foi realizada com base no cálculo da diferença média absoluta para cada parâmetro. Aonde os valores encontrados foram:

$$IS = 0.25^\circ, VP = 0.09^\circ, IP = 0.24^\circ, LL = 0.51^\circ \text{ e } CT = 4.3^\circ$$

Os valores obtidos da diferença média absoluta para IS, VP, IP e LL, próximos a zero, indicam a proximidade das medições do *Surgimap* e do *software* proposto validando a ferramenta.

A diferença maior observada na Cifose Torácica está em conformidade com resultados obtidos da literatura [2]. Uma possível justificativa para diferença maior encontrada cifose torácica pode estar correlacionada a dificuldade na visualização e demarcação exata dos referenciais anatômicos, causada pela sobreposição de imagens na região torácica superior. Portanto o estudo evidencia a necessidade de novas ferramentas de análise de imagem que melhoram a precisão dos resultados obtidos.

A Figura 2 mostram a análise paramétrica para os Pacientes A e B, respectivamente, calculada no novo *software*. O centróide de cada vértebra é calculado a partir de seus respectivos vértices. A linha azul representa o gráfico da modelagem da coluna obtido a partir do centróide e Os pontos em vermelho são os pontos de inflexão.

A Figura 3 é a proposição de um novo modelo para determinação do ponto de inflexão. O gráfico da modelagem da curvatura da coluna vertebral baseado no centróide dos corpos vertebrais, em azul, é a mesma mostrada nas Figuras 2a e 2b, respectivamente. A função em laranja é a derivada do gráfico da curvatura da coluna e representa a inclinação da curva ajustada para coluna com base no coeficiente angular. O ponto de inflexão lombar, em vermelho, está onde a derivada é igual a zero. Para o caso do paciente da Figura 3a o ponto de inflexão está próximo L1, correspondendo ao referencial anatômico da mudança de curvatura da coluna. Entretanto, observa-se na análise de outro paciente, Figure 3b, que o ponto de inflexão está mais próximo a L2 do que a L1. Isso ratifica a necessidade do ponto de inflexão, já que o referencial anatômico nem sempre coincide com o referencial funcional.

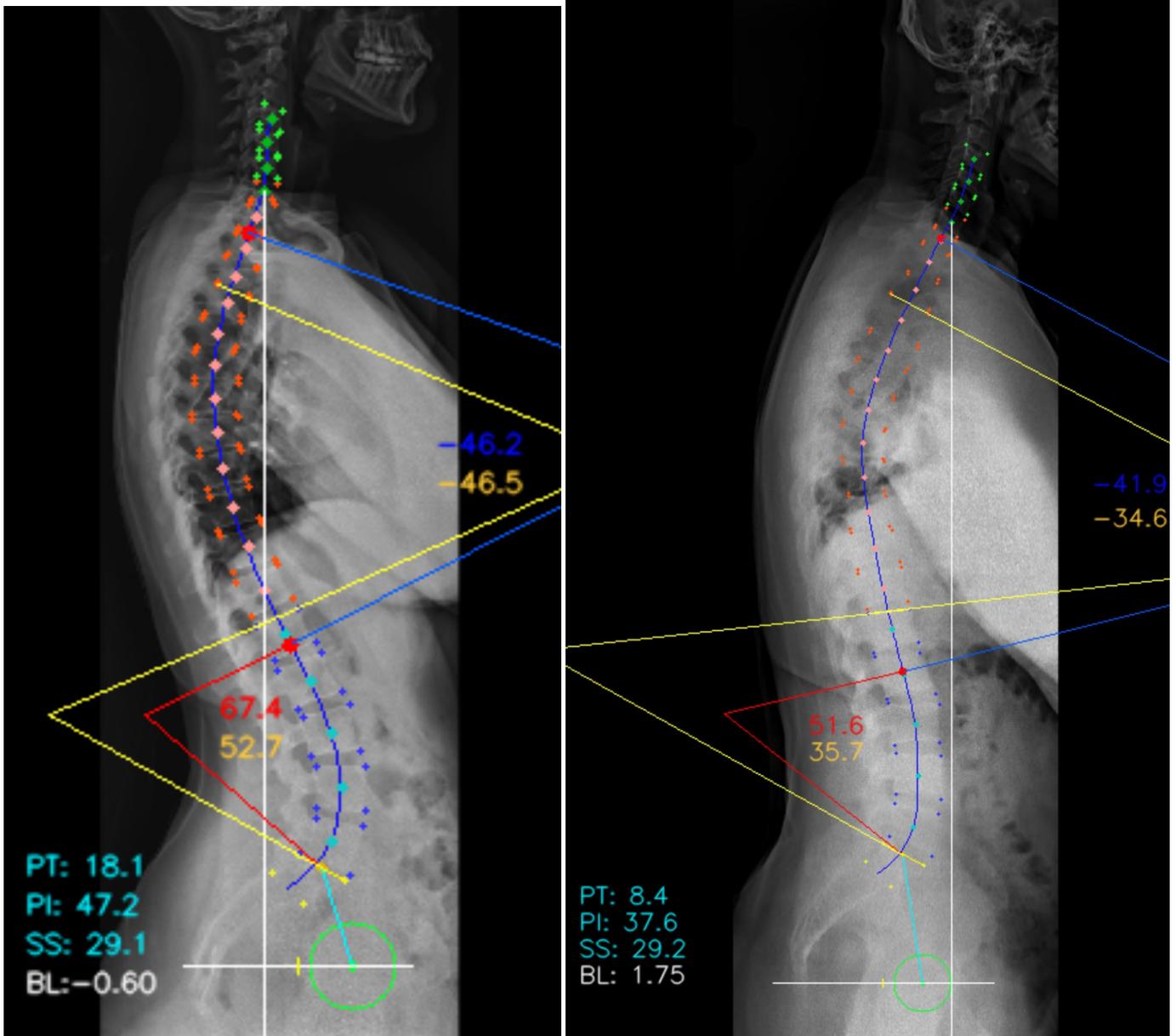
IV. CONCLUSÃO

O estudo em desenvolvimento aponta que os parâmetros funcionais associados aos anatômicos já consolidados, são promissores para minimização de possíveis falhas na programação cirúrgica da coluna vertebral.

Apesar do estudo preliminar evidenciar a validade da ferramenta proposta com o diferencial da determinação do ponto de inflexão de forma automatizada, reconhece-se a necessidade de estudos complementares para que o software tenha uma aplicabilidade clínica na programação cirúrgica do cirurgião de coluna.

REFERÊNCIAS

- [1] ROUSSOULY, P.; PINHEIRO-FRANCO, J.; LABELLE, H.; GEHRCHEN, M. Sagittal Balance of the Spine: From Normal to Pathology: A Key for Treatment Strategy. New York: Thieme Medical Publishers, 2019.
- [2] LAFAGE, R.; FERRERO, E.; HENRY, J. K.; CHALLIER, V.; DIEBO, B.; LIABAUD, B.; LAFAGE, V.; SCHWAB, F. Validation of a new computer-assisted tool to measure spino-pelvic parameters. *The Spine Journal*, v. 15, n. 12, p. 2493-502, 2015. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.08.067.
- [3] ROUSSOULY, P.; PINHEIRO-FRANCO, J. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach. *European Spine Journal*, p. 578-85, 2011. DOI: 10.1007/s00586-011-1924-1.
- [4] PAN, C.; WANG, G.; SUN, J.; LV, G. Correlations between the inflection point and spinal sagittal alignment in asymptomatic adults. *European Spine Journal*, v. 29, n. 9, p. 2272-2280, 2020. DOI: 10.1007/s00586-020-06360-4.
- [5] CHOI, S. H.; HWANG, C. J.; CHO, J. H.; LEE, C. S.; KANG, C. N.; JUNG, J. W.; AHN, H. S.; LEE, D. H. The influence of spinopelvic morphologies on sagittal spinal alignment: an analysis of incidence angle of inflection points. *European Spine Journal*, v. 29, n. 4, p. 831-839, 2020. DOI: 10.1007/s00586-020-06329-3.
- [6] MARKS, M.; STANFORD, C.; NEWTON, P. Which lateral radiographic positioning technique provides the most reliable and functional representation of a patient's sagittal balance? *Spine*, v. 34, n. 9, p. 949-954, 2009. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318199650a.
- [7] SAVARESE, L. G.; MENEZES-REIS, R.; BONUGLI, G. P.; HERRERO, C. F. P. S.; DEFINO, H. L. A.; NOGUEIRA-BARBOSA, M. H. Equilíbrio sagital espinopélvico: o que o radiologista precisa saber? *Radiol Bras*, v. 53, n. 3, p.175-184, 2020. DOI: 10.1590/0100-3984.2019.0048.
- [8] LE HUEC, J.C.; FAUNDEZ, A.; DOMINGUEZ, D.; HOFFMEYER, P.; AUNOBLE, S. Evidence showing the relationship between sagittal balance and clinical outcomes in surgi-cal treatment of degenerative spinal diseases: a literature review. *International Orthopaedics (SICOT)*, v. 39, p. 87-95, 2015. DOI: 10.1007/s00264-014-2516-6.
- [9] DIEBO, B. G.; VARGHESE, J. J.; LAFAGE, R.; SCHWAB, F. J.; LAFAGE, V. Sagittal alignment of the spine: What do you need to know? *Clinical Neurology and Neurosurgery*, vol. 139, p. 295-301, 2015.

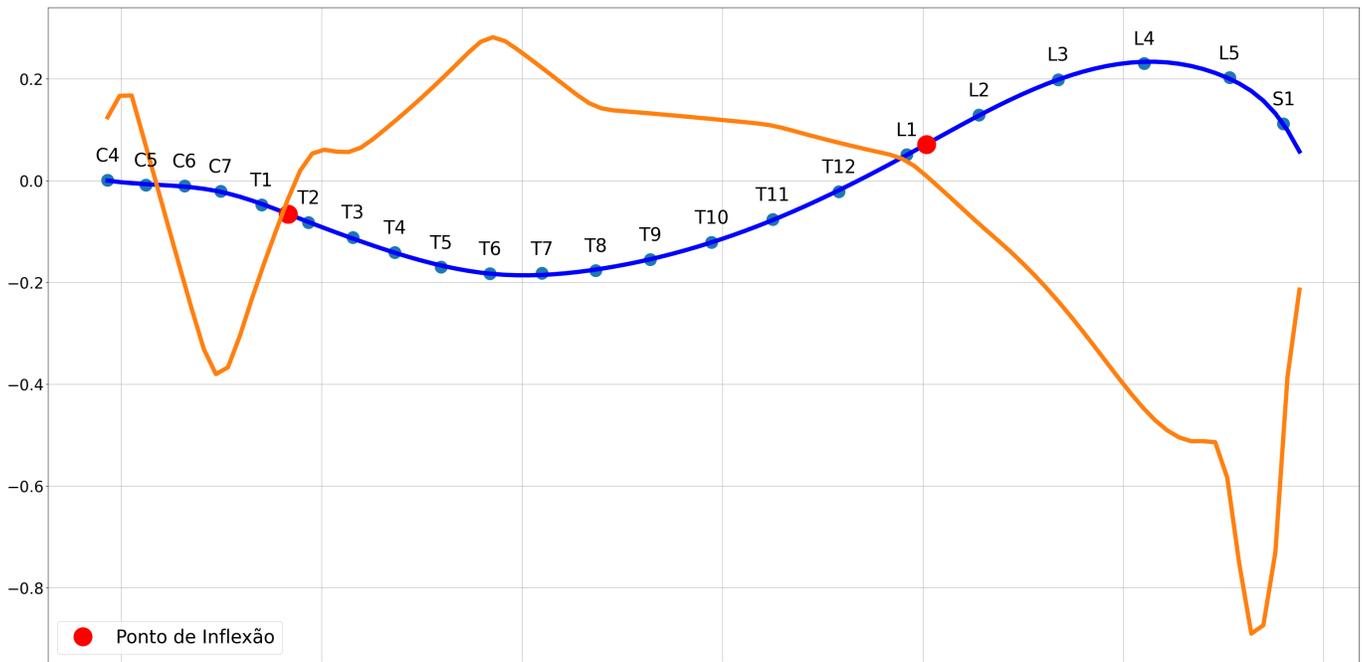


(a) Paciente A

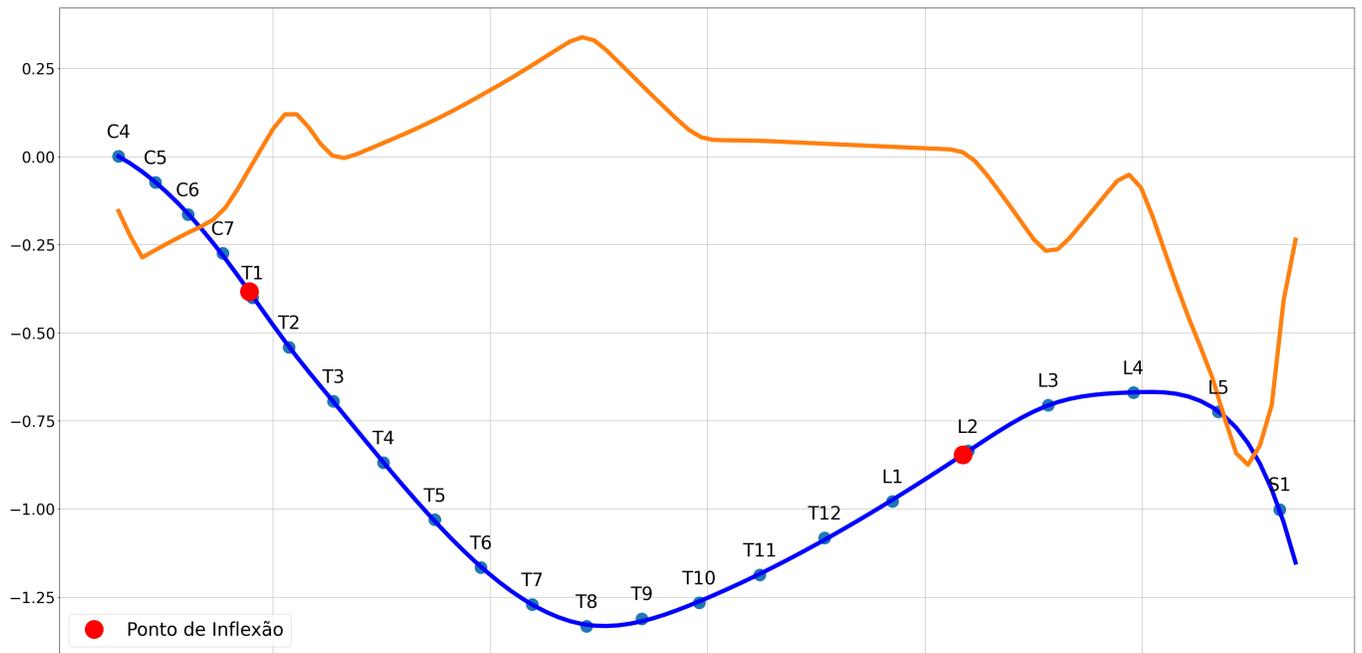
(b) Paciente B

Fig. 2: Análise Paramétrica da Colua.

O gráfico em azul é a modelagem da coluna vertebral ajustada pelos centróides dos corpos vertebrais.
Os pontos em vermelho são os pontos de inflexão



(a) Paciente A



(b) Paciente B

Fig. 3: Cálculo do Ponto de Inflexão.

O gráfico em azul é a modelagem da coluna vertebral. O gráfico em laranja é a derivada da curva da coluna vertebral. Os pontos em vermelho são os pontos de inflexão, quando a derivada da curva é zero.